

Autonome Provinz Bozen - Provincia Autonoma di Bolzano
Stadtgemeinde Bozen - Comune di Bolzano

STÄDTEBAULICHER AUFWERTUNGSPLAN - ZONE PERATHONERSTRASSE - SÜDTIROLERSTRASSE
PIANO DI RIQUALIFICAZIONE URBANISTICA - ZONA VIA PERATHONER - ALTO ADIGE

WaltherPark

TUNNEL UND STRASSEN
TUNNEL DI ACCESSO E SISTEMAZIONI VIARIE

Proprietà



Città di Bolzano
Stadt Bozen

Città di Bolzano - Stadt Bozen

vicolo Gumer 7 - 39100 Bolzano - Bozen

Soggetto Attuatore

WaltherPark s.p.a.

SIGNA eine Gesellschaft der SIGNA Gruppe | una Società del Gruppo SIGNA

Team di Progettazione Esecutiva



Handwerkerstraße Süd, 1
I - 39044 NEUMARKT (BZ)
Tel. 0471-811511
Email: info@planpunkt.net
MwSt.Nr. 02610700219

Stefan Bernard Landschaftsarchitekten
Monumentenstraße 33-34 | Aufgang A
D-10829 Berlin

Büro für
Verkehrs- und
Raumplanung
BVR

area7
architetti associati

in.ge.na.
ingenieurwesen • geologie • naturraumplanung
ingegneria • geologia • natura e pianificazione

SECURPLAN
safety first

INGENIEURTEAM STUDIO DI INGEGNERIA
BERGMEISTER

Geologie e Ambiente
Geologie und Umweltschutz
INGENIEURTEAM STUDIUM DI INGEGNERIA
INGENIERIA • GEOLOGIA • INGEGNERIA AMBIENTALE • INGEGNERIA DEL TERRITORIO • INGEGNERIA DEL PAESAGGIO

Snøhetta

AE 13.0043

Impresa Esecutrice



Sede Centrale:
via C. Marx 101 Carpi (MO) - ITALY
Ph. +39.059.6322111



Costruzioni Repetto Srl
Via Marie Curie 15 I-39100 BZ
Ph. +39.0471.500937

Progetto strutturale



SOGEN s.r.l.
Galleria Spagna 35
35127 - Padova - ITALY
tel. +39.049.8646799
e-mail tecnico@sogen.it
www.sogen.it



Fase

PROGETTO STRUTTURALE

Descrizione Tavola

Relazione di calcolo delle strutture

Cod.

Indice

Tipologia

Statisches Projekt: Tunnel | Progetto strutturale: tunnel

Scala:

Formato:

Data :

23.06.2020

Redatto :

SGN

nr. Tavola:

Rev.

D1.01.2b

01

Cliente:



CMB

Soc. Cooperativa Muratori e Braccianti di Carpi
Via Carlo Marx 101, 41012 – Carpi (MO)

Lavoro:

**PIANO DI RIQUALIFICAZIONE URBANISTICA
ZONA VIA PERATHONER – ALTO ADIGE IN COMUNE
DI BOLZANO**

**WALTHER PARK
TUNNEL DI ACCESSO E SISTEMAZIONI VIARIE
PROGETTO ESECUTIVO / COSTRUTTIVO**

Documento:

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Codice documento:

D1.01.2b

E					
D					
C					
B	23.06.2020	AGGIORNAMENTO	V.GIORDANO	D.STELLA	S.CARRARO
A	17.02.2020	EMISSIONE	V.GIORDANO	D.STELLA	S.CARRARO
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO



Cert. Nr. 501008053

SOGEN s.r.l. SOCIETA' DI INGEGNERIA GEOTECNICA E STRUTTURALE

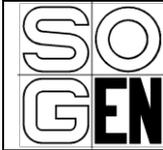
SEDE LEGALE: Galleria Spagna, 35 – 35132 Padova (PD) – IT
SEDE OPERATIVA: Galleria Spagna, 35 – 35132 Padova (PD) – IT
SEDE OPERATIVA: via Savona, 123 – 20144 Milano (MI) – IT
INTERNET: www.sogen.it - ftp.sogen.eu

p.iva e c.f. IT-03651260287
tel. +39 049 864 6799 fax +39 049 864 8442
email: info@sogen.it - tecnico@sogen.it - segreteria@sogen.it

INDICE

1	PREMESSA	5
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	Calcestruzzo per setti e platea di fondazione	8
3.2	Calcestruzzo per travi prefabbricate	9
3.3	Calcestruzzo per soletta gettata in opera	10
3.4	Acciaio per c.a.	11
4	PARAMETRI GEOTECNICI	12
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE	13
5.1	Sezione 8 – Via Alto Adige Nord	15
6	INQUADRAMENTO SISMICO	17
7	ANALISI DEI CARICHI	20
7.1	Carichi permanenti G	20
7.2	Azioni variabili Q	20
7.2.1	Azioni da traffico stradale	20
7.2.2	Carico neve	21
7.2.3	Spinta delle terre dovuta ai sovraccarichi variabili	21
7.3	Azione sismica	22
7.4	Azione eccezionale	23
8	MODELLAZIONE STRUTTURALE	24
8.1	Descrizione del software di calcolo impiegato: Midas GEN 2020	24
8.1.1	Generalità	24
8.1.1	Orientamento e convenzione di segno degli elementi	25
8.2	Descrizione del modello FEM	27
8.2.1	Modellazione delle strutture gettate in opera	27
8.2.2	Modellazione delle strutture prefabbricate	27
8.2.3	Descrizione di vincoli, rigidezze molle e sollecitazioni	29
8.3	Combinazioni di carico SLU, SLV e SLE	30
9	RISULTATI SEZIONE 8, DIMENSIONAMENTO E VERIFICA	34
9.1	Premessa	34
9.2	PLATEA DI FONDAZIONE - VERIFICHE SLU-SLV	36

9.2.1	Momento Mxx.....	36
9.2.2	Momento Myy.....	38
9.2.3	Taglio Vxx	39
9.3	PLATEA DI FONDAZIONE - VERIFICHE SLE.....	40
9.3.1	Momenti Mxx.....	40
9.3.2	Momenti Myy.....	51
9.4	SETTI - VERIFICHE SLU-SLV	57
9.4.1	Momento Mxx.....	57
9.4.2	Momento Myy.....	59
9.4.3	Taglio Vxx	60
9.5	SETTI - VERIFICHE SLE	61
9.5.1	Momenti Mxx.....	61
9.5.2	Momenti Myy.....	71
9.6	IMPALCATO DI COPERTURA - VERIFICHE SLU-SLV	77
9.6.1	Momento M_y in campata.....	77
9.6.2	Momento M_y agli estremi.....	78
9.6.3	Taglio V_z agli estremi	80
9.6.4	Taglio V_z in campata	81
9.7	IMPALCATO DI COPERTURA - VERIFICHE SLE.....	82
9.7.1	Verifica a fessurazione SLE FREQUENTE	82
9.7.2	Verifica tensionale SLE RARA	84
9.7.3	Verifica di deformabilità.....	87
9.8	Verifica locale sul setto per azioni da urto	88
9.9	Verifica di capacità portante terreno di fondazione	89



SOCIETA' DI INGEGNERIA GEOTECNICA E STRUTTURALE

FILE NR.

D1.01.2b

LAVORO:
PROGETTO ESECUTIVO / COSTRUTTIVO
Relazione di calcolo delle strutture

CLIENTE:

CMB

FOGLIO

4 di 92

1 PREMESSA

La presente relazione tecnico-illustrativa e di calcolo si inserisce nell'ambito del progetto "WaltherPark – Tunnel di accesso e sistemazioni viarie" contenuto nel più ampio PIANO DI RIQUALIFICAZIONE URBANISTICA – ZONA VIA PERATHONER – ALTO ADIGE nel Comune di Bolzano, il quale prevede la realizzazione di un nuovo immobile polifunzionale ad uso commerciale, abitativo, alberghiero, etc. sito in via Alto Adige e di una nuova viabilità interrata propedeutica all'accesso veicolare al nuovo edificio e al parcheggio interrato ubicato sotto Piazza Walther, con collegamento agli interrati esistenti del City Center e della Camera di Commercio. In particolare, il tunnel avrà accesso da Via Joseph Mayr – Nusser (lungo destra Isarco), attraverserà nel sottosuolo Piazza Verdi e proseguirà lungo Via Alto Adige fino a collegare il parcheggio interrato di Piazza Walther.

Nel presente documento si approfondisce la progettazione del tunnel su Via Alto Adige Nord, ovvero dall'incrocio tra Via Alto Adige e Via Perathoner fino all'imbocco al parcheggio esistente di Piazza Walther, con specifico riferimento alle varianti apportate al Progetto a base di gara (PBG) e alle soluzioni tecniche proposte in sede di gara d'appalto, le quali possono essere sintetizzate nelle seguenti modifiche:

- realizzazione di micropali di diametro 300 mm invece di pali di grande diametro (da 500 a 900 mm);
- realizzazione di due ordini di puntellazione;
- esecuzione di una struttura scatolare in c.a. definitiva invece della struttura prevista nel Progetto a base gara (d'ora in poi denominato Pbg) con schema statico a portale su pali di grande diametro, platea di fondazione connessa a cerniera ai pali e rifodera di chiusura non strutturale;
- uso di solai prefabbricati per la copertura della galleria artificiale.

Alla luce delle suddette proposte la galleria artificiale è costituita da una struttura scatolare in c.a. con platea di fondazione di spessore 70 cm, pareti in elevazione di spessore 60 cm e solaio di copertura realizzato mediante travi da ponte di 1^a categoria prefabbricate autoportanti tipo TopBridge di altezza 40 cm con getto di completamento in opera della cappa avente spessore 20 cm.

Preliminarmente alle strutture interrate, è prevista la realizzazione di due berlinesi di micropali ai lati del tunnel, finalizzate al sostegno della soletta di copertura e dei fronti di scavo che progressivamente si vanno ad approfondire. Procedendo con lo scavo in profondità della galleria artificiale è prevista l'installazione di puntelli idraulici atti a contrastare la deformazione dei micropali indotta dal progressivo aumento della spinta del terreno.

In particolare, nel presente elaborato di calcolo si riportano le scelte progettuali ed i criteri di verifica adottati per il dimensionamento delle opere definitive del tunnel, ovvero struttura scatolare in ca, in accordo all'attuale normativa nazionale vigente.

L'analisi e la verifica delle opere previste a progetto sono state condotte sulla sezione strutturale ritenuta più significativa e rappresentativa del tratto di tunnel di Via Alto Adige Nord.

Nel presente documento è riportata la modellazione FEM della sezione tipologica considerata ed i relativi risultati. Infine, sono riportate le verifiche dei diversi elementi strutturali (platea di fondazione, pareti ed impalcato di copertura).

Le suddette verifiche si eseguono con riferimento al Testo Unico per le Costruzioni NTC2018 secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

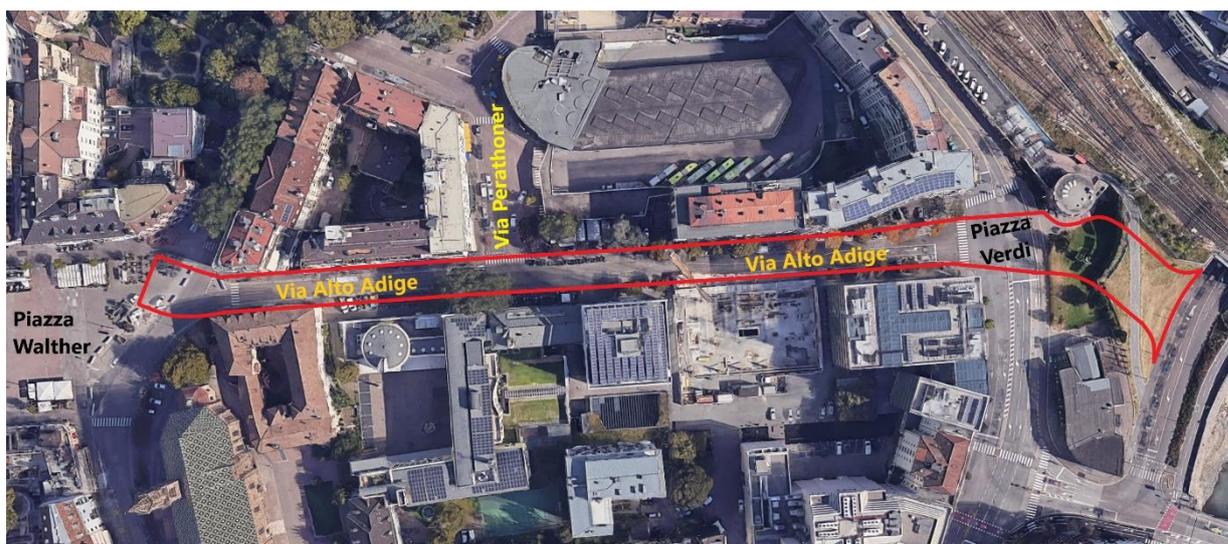


Figura 1.1 Area di intervento.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La normativa utilizzata per l'espletamento del presente documento è la seguente:

1. **Decreto Ministeriale Infrastrutture 17 gennaio 2018:** "Norme Tecniche per le Costruzioni".
2. **Circolare 21 gennaio 2019, n.7/C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
3. **UNI EN 1992-1-1: Eurocodice 2: Progettazione di strutture di calcestruzzo – Parte 1-1:** Regole generali e regole per gli edifici.
4. **UNI ENV 1998-5: Eurocodice 8: Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5:** Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
5. **D1.01.1b - Erläuterungs-und Statikbericht – Tunnel:** Relazione di calcolo delle strutture del tunnel del Progetto a base gara.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Vengono di seguito riportate le caratteristiche dei materiali impiegati nelle opere di nuova realizzazione e considerate nei calcoli di progetto.

3.1 Calcestruzzo per setti e platea di fondazione

CALCESTRUZZO - Rif. DM 17/01/2018			
classe di resistenza	C25/30		
resistenza cubica caratteristica a compressione	R_{ck}	30.00	MPa
peso specifico	ρ	25.00	kN/mc
classe d'esposizione	XF3		
coeff. espansione termica lineare	α	1×10^{-5}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
coeff. di Poisson	ν_{fess}	0.00	
	$\nu_{non\ fess}$	0.20	
modulo elastico secante	E_{cm}	31447	MPa
resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck}	24.90	MPa
resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	32.90	MPa
coeff. parziale per resistenze SLU	γ_c	1.50	
coeff. riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0.85	
resistenza media a trazione assiale	f_{ctm}	2.56	MPa
resistenza media a trazione per flessione	f_{ctm}	3.07	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 5%	$f_{ctk,0.05}$	1.79	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 95%	$f_{ctk,0.95}$	3.33	MPa
resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	14.11	MPa
resistenza di calcolo a compressione per spessori < 5cm	$f_{cd,sp<5}$	11.29	MPa
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.19	MPa
resistenza di calcolo a trazione per spessori < 5cm	$f_{ctd,sp<5}$	0.96	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara)	$\sigma_{c,rara}$	14.94	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara) per spessori < 5cm	$\sigma_{c,rara,sp<5}$	11.95	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	11.21	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente per spessori < 5cm	$\sigma_{c,q.p.,sp<5}$	8.96	MPa
resistenza tangenziale caratteristica di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bk}	4.03	MPa
resistenza tangenziale di calcolo di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bd}	2.69	MPa

3.2 Calcestruzzo per travi prefabbricate

CALCESTRUZZO - Rif. DM 17/01/2018			
classe di resistenza	C45/55		
resistenza cubica caratteristica a compressione	R_{ck}	55.00	MPa
peso specifico	ρ	25.00	kN/mc
classe d'esposizione	XF4		
coeff. espansione termica lineare	α	1×10^{-5}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
coeff. di Poisson	ν_{fess}	0.00	
	$\nu_{non\ fess}$	0.20	
modulo elastico secante	E_{cm}	36416	MPa
resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck}	45.65	MPa
resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	53.65	MPa
coeff. parziale per resistenze SLU	γ_c	1.50	
coeff. riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0.85	
resistenza media a trazione assiale	f_{ctm}	3.83	MPa
resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm}	4.60	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 5%	$f_{ctk,0.05}$	2.68	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 95%	$f_{ctk,0.95}$	4.98	MPa
resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	25.87	MPa
resistenza di calcolo a compressione per spessori < 5cm	$f_{cd,sp<5}$	20.69	MPa
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.79	MPa
resistenza di calcolo a trazione per spessori < 5cm	$f_{ctd,sp<5}$	1.43	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara)	$\sigma_{c,rara}$	27.39	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara) per spessori < 5cm	$\sigma_{c,rara,sp<5}$	21.91	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	20.54	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente per spessori < 5cm	$\sigma_{c,q.p.,sp<5}$	16.43	MPa
resistenza tangenziale caratteristica di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{pk}	6.04	MPa
resistenza tangenziale di calcolo di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bd}	4.02	MPa
tensione ammissibile di compressione all'atto della precompressione	$\sigma_{c,in.}$	31.96	MPa
tensione ammissibile di compressione all'atto della precompressione nelle zone di ancoraggio delle armature	$\sigma_{c,in.anc.}$	41.09	MPa

3.3 Calcestruzzo per soletta gettata in opera

CALCESTRUZZO - Rif. DM 17/01/2018			
classe di resistenza		C35/45	
resistenza cubica caratteristica a compressione	R_{ck}	45.00	MPa
peso specifico	ρ	25.00	kN/mc
classe d'esposizione		XF4	
coeff. espansione termica lineare	α	1×10^{-5}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
coeff. di Poisson	ν_{fess}	0.00	
	$\nu_{non\ fess}$	0.20	
modulo elastico secante	E_{cm}	34625	MPa
resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck}	37.35	MPa
resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	45.35	MPa
coeff. parziale per resistenze SLU	γ_c	1.50	
coeff. riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0.85	
resistenza media a trazione assiale	f_{ctm}	3.35	MPa
resistenza media a trazione per flessione	f_{ctf}	4.02	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 5%	$f_{ctk,0.05}$	2.35	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 95%	$f_{ctk,0.95}$	4.36	MPa
resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	21.17	MPa
resistenza di calcolo a compressione per spessori < 5cm	$f_{cd,sp<5}$	16.93	MPa
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.56	MPa
resistenza di calcolo a trazione per spessori < 5cm	$f_{ctd,sp<5}$	1.25	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara)	$\sigma_{c,rara}$	22.41	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara) per spessori < 5cm	$\sigma_{c,rara,sp<5}$	17.93	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	16.81	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente per spessori < 5cm	$\sigma_{c,q.p.,sp<5}$	13.45	MPa
resistenza tangenziale caratteristica di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bk}	5.28	MPa
resistenza tangenziale di calcolo di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bd}	3.52	MPa

3.4 Acciaio per c.a.

ACCIAIO DA C.A.			
tipo		B450C	
coeff. parziale per le resistenze SLU	γ_M	1.15	
resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk}	450.00	MPa
resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	540.00	MPa
rapporto $(f_t / f_y)_k$		$1,15 \leq (f_t / f_y)_k \leq 1,35$	
rapporto $(f_y / f_{y,nom})_k$		$(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1,25$	
allungamento $(A_{gt})_k$	$(A_{gt})_k$	$\geq 7,50 \%$	
resistenza di calcolo	f_{yd}	391.30	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara)	$\sigma_{s,rara}$	360.00	MPa

4 PARAMETRI GEOTECNICI

Con riferimento alla Relazione geologica ed alla Relazione geotecnica (documenti B7.01.1 e B7.02.1 del Pbg) è stato definito il seguente modello geotecnico del terreno, nel quale si identificano due diverse unità litostratigrafiche omogenee:

1. materiali di riporto (unità R) e depositi alluvionali (unità A2) costituiti da sabbie fini e limi finemente sabbiosi;
2. depositi alluvionali grossolani (unità A1) costituiti da ghiaia in matrice sabbiosa con presenza di ciottoli e blocchi.

STRATI	Profondità dello strato (m dal p.c.)	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	k_w (kN/m ³)	k_h (kN/m ³)
Unità A2+R - materiali di riporto e sabbia fine	0 – 4.0	19	30	0	-	-
Unità A1 - ghiaia in matrice sabbiosa	4 – 25.0	20	38	0	30'000	15'000

La falda è mediamente compresa tra le quote assolute 242÷246 m s.l.m. e può arrivare eccezionalmente alla quota assoluta di 247 m s.l.m. Si precisa che la falda non interferisce con le opere previste a progetto in quanto, alla massima profondità di realizzazione, tali opere raggiungono la quota assoluta di 251.70 m s.l.m.

Nella tabella sopra riportata si è indicato con k_w il coefficiente di Winkler per il terreno di fondazione mentre con k_h il coefficiente di rigidità orizzontale del terreno a tergo dei setti verticali.

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La galleria artificiale prevista a progetto collega Via Joseph Mayr Nusser al parcheggio interrato di Piazza Walther, attraversando Piazza Verdi e Via Alto Adige. Essa è costituita da una struttura scatolare in c.a. con platea di fondazione di spessore 70 cm, pareti di spessore 60 cm e soletta di copertura di spessore variabile da 60 a 115 cm realizzata con travi autoportanti prefabbricate e getto in opera della cappa di completamento.

Preliminarmente allo scavo del tunnel vero e proprio vengono realizzate ai lati dello stesso due berlinesi di micropali di diametro 30 cm, interasse 30 cm e lunghezza di 16 m.

La galleria artificiale viene scavata con la tecnica del Top-Down, ovvero al di sotto della soletta di copertura già realizzata, a partire dall'incrocio tra Via Alto Adige e Via Perathoner fino all'imbocco al parcheggio interrato esistente di Piazza Walther. Così facendo non si interferisce con le attività in superficie (viabilità stradale, pedonale, attività commerciali ecc), in quanto dopo la realizzazione della copertura del tunnel si procede al ricoprimento della stessa ed al ripristino del pacchetto stradale per consentire la riapertura della viabilità.

Da ciò ne consegue che per l'impalcato di copertura si individuano due fasi di calcolo: una provvisoria in cui esso è "appoggiato" alla berlinese di micropali (il grado di vincolo alle estremità è funzione della rigidità della paratia di micropali), ed una definitiva in cui il solaio è solidale con il resto della struttura del tunnel.

Allo scopo di identificare i diversi tratti in cui viene realizzato il tunnel sono stati definiti i seguenti tratti illustrati in Figura 5.1:

- Imbocco tunnel;
- Piazza Verdi;
- Via Alto Adige Sud;
- Via Alto Adige – accesso al Walther Park;
- Via Alto Adige – accesso al City Center;
- Rotatoria tra Via Alto Adige e Via Perathoner;
- Via Alto Adige Nord.

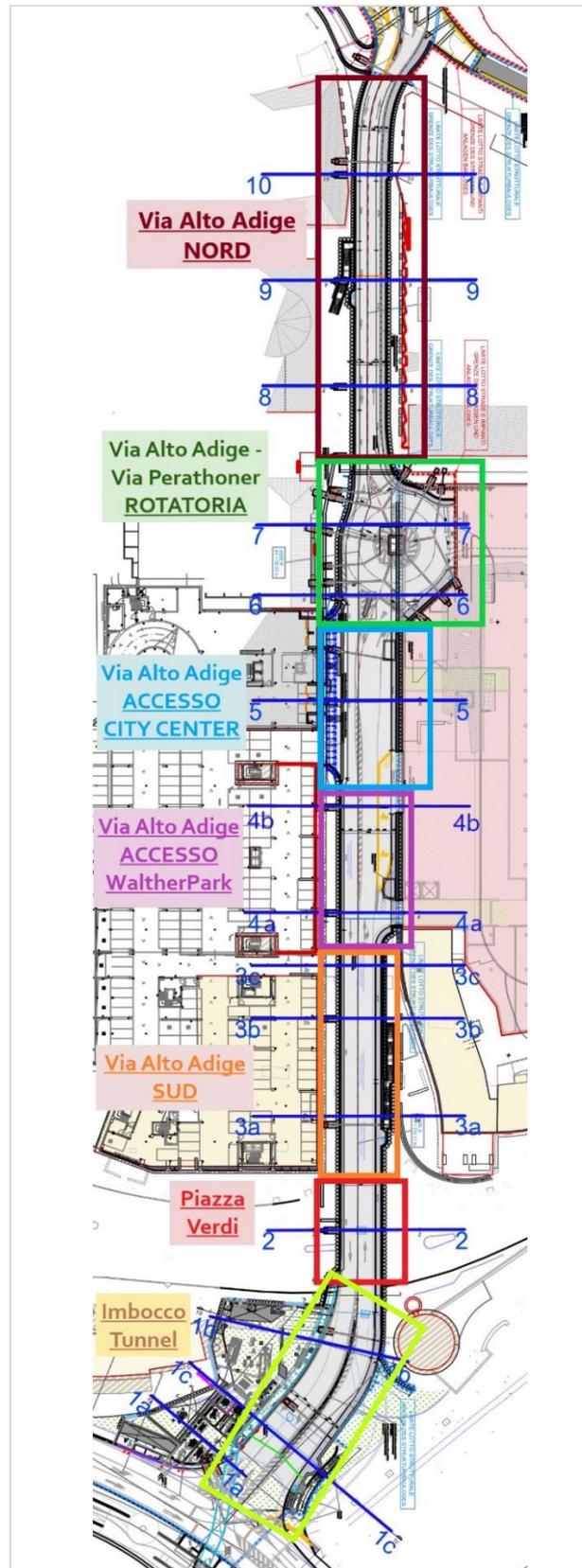


Figura 5.1 Inquadramento generale e tratti identificativi tunnel

Con riferimento al tratto di tunnel di Via Alto Adige Nord e valutate le caratteristiche geometrico-strutturali del tunnel nel suo sviluppo dall'incrocio tra Via Alto Adige e Via Perathoner fino all'imbocco al parcheggio esistente in Piazza Walther, è stata individuata la sezione di calcolo più significativa in corrispondenza della sezione 8-8 per la quale si è proceduto alla modellazione FEM e alle successive verifiche strutturali e geotecniche.

5.1 Sezione 8 – Via Alto Adige Nord

In Figura 5.2 è illustrata la sezione tipologica 8.

La prima fase costruttiva consiste nella posa in opera del solaio prefabbricato, per tutta la luce del tunnel, costituito da travi ad U (tipo Top Bridge di 1^a categoria) di altezza 40cm e cappa di completamento gettata in opera di altezza 20cm; tale getto consente la realizzazione di un appoggio sulla berlinese di micropali.

Staticamente l'appoggio è schematizzato come una molla avente determinata rigidità alla traslazione ed alla rotazione fornita dalla paratia di micropali.

Nel calcolo sono stati assunti i seguenti valori di rigidità derivanti dal modello FEM geotecnico:

$k_v = 240'000 \text{ kN/m}$, $k_h = 180'000 \text{ kN/m}$, $k_\varphi = 180'000 \text{ kNm/rad}$ (valori riferiti ad una profondità di 1.20m, ovvero pari alla larghezza della trave prefabbricata).

La seconda fase costruttiva consiste nella realizzazione, mediante tecnica top down, della platea di fondazione e dei setti. La prima ha spessore 70cm, mentre i secondi hanno spessore 60cm. La configurazione statica di questa fase vede decadere il contributo di rigidità delle paratie di micropali in quanto il comportamento della struttura definitiva (quindi a lungo termine) è quella di uno scatolare in cui l'impalcato di copertura ha continuità strutturale con i setti.

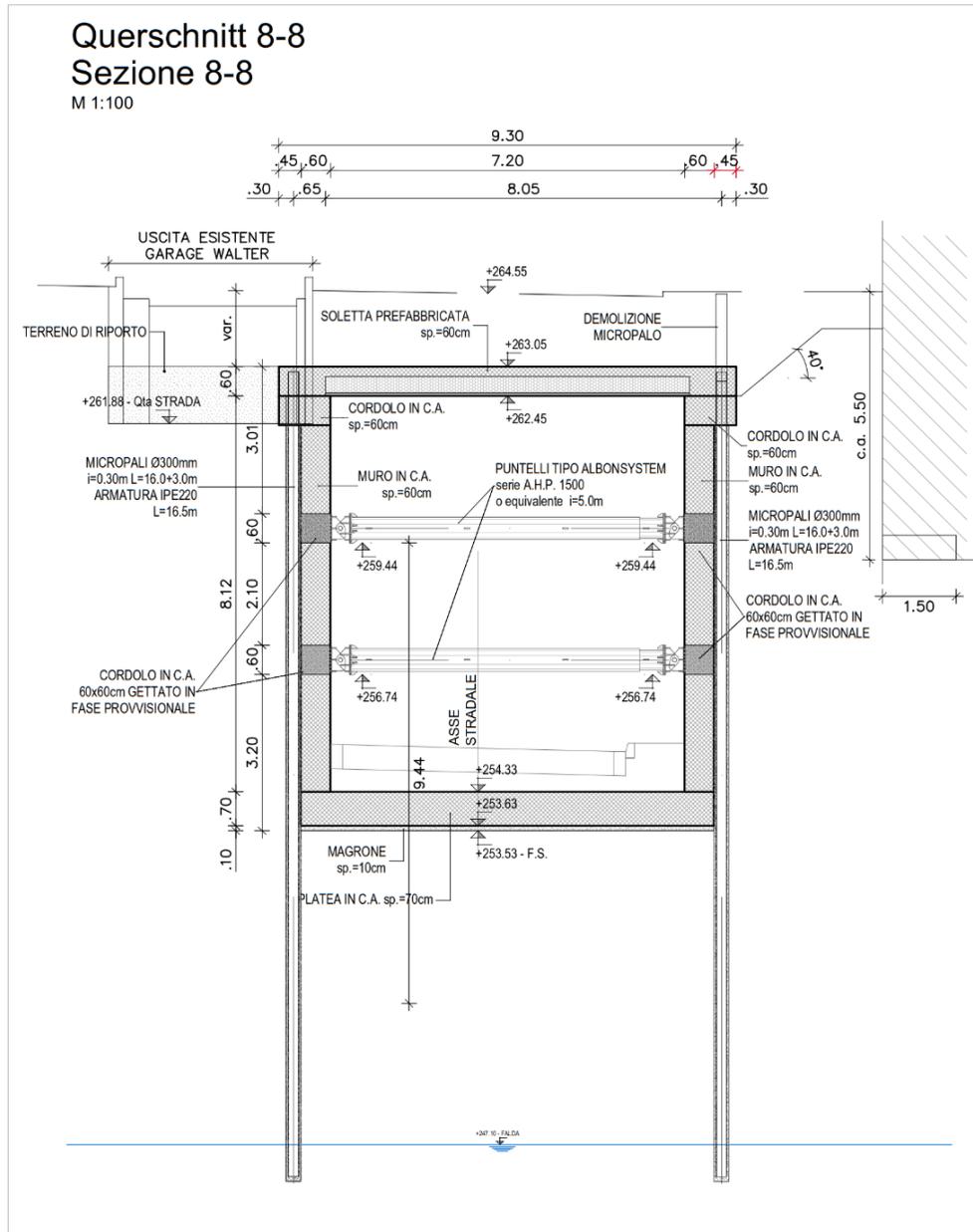


Figura 5.2 Sezione 8

6 INQUADRAMENTO SISMICO

La normativa sismica vigente impone, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione di tali azioni, la stima del fattore di amplificazione dell'energia sismica funzione della natura dei terreni attraversati e delle loro caratteristiche di spessore e rigidità.

In mancanza di studi specifici della risposta sismica locale, la normativa vigente definisce cinque categorie di suolo di fondazione (A,B,C,D,E) a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità di propagazione delle onde di taglio decrescenti e quindi effetti amplificativi crescenti.

I coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, oltre all'accelerazione a_g , sono stati ottenuti attraverso il programma sperimentale "Spettri di risposta ver.1.0.3", messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) dell'azione sismica di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Per il dimensionamento delle opere del presente elaborato di calcolo sono state considerate le stesse categorie definite nel documento "D1.01.1b - Erläuterungs-und Statikbericht – Tunnel" del Pbg ovvero: **categoria di sottosuolo B**: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"; **categoria topografica T1**, cioè "Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ".

La vita nominale dell'opera viene assunta pari a 100 anni, in accordo con quanto definito nel Pbg.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso diverse; nel nostro caso si fa riferimento alla **Classe d'uso II** così come definito nel Pbg.

Gli spettri di risposta per uno stato limite ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita), con relativi punti e parametri, ottenuti col programma "Spettri di risposta ver.1.0.3" sono riportati di seguito.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	
a_g	0.063 g
F_o	2.692
T_C	0.382 s
S_S	1.200
C_C	1.334
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.170 s
T_C	0.509 s
T_D	1.850 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

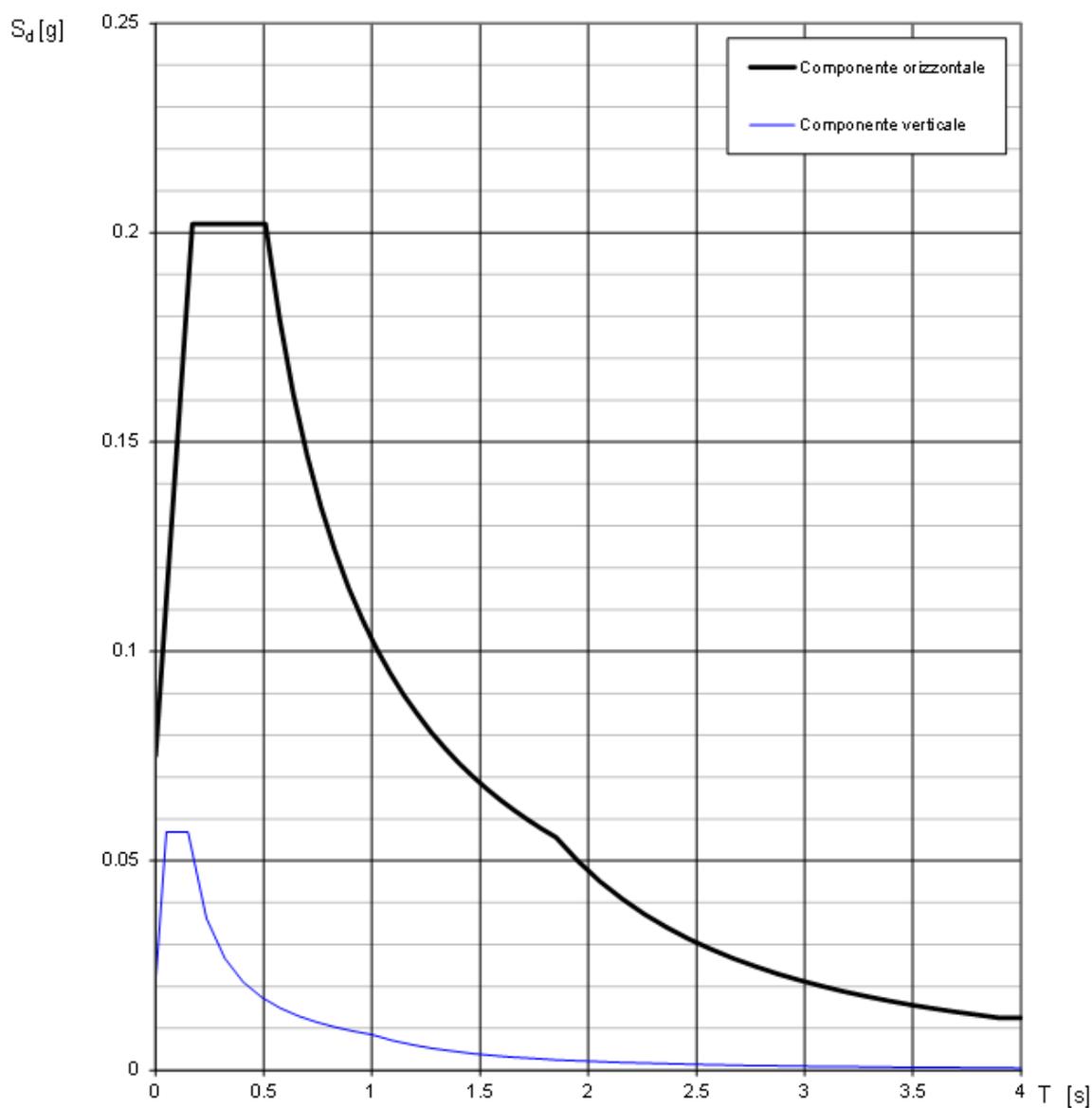
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.075
T_B ←	0.170	0.202
T_C ←	0.509	0.202
	0.573	0.180
	0.637	0.162
	0.701	0.147
	0.764	0.135
	0.828	0.124
	0.892	0.115
	0.956	0.108
	1.020	0.101
	1.084	0.095
	1.148	0.090
	1.212	0.085
	1.275	0.081
	1.339	0.077
		0.073
	1.467	0.070
	1.531	0.067
	1.595	0.064
	1.659	0.062
	1.723	0.060
	1.786	0.058
T_D ←	1.850	0.056
	1.953	0.050
	2.055	0.045
	2.157	0.041
	2.260	0.037
	2.362	0.034
	2.464	0.031
	2.567	0.029
	2.669	0.027
	2.772	0.025
	2.874	0.023
	2.976	0.021
	3.079	0.020
	3.181	0.019
	3.283	0.018
	3.386	0.017
	3.488	0.016
	3.591	0.015
	3.693	0.014
	3.795	0.013
	3.898	0.013
	4.000	0.013

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



7 ANALISI DEI CARICHI

I carichi agenti sulla struttura e considerati nel calcolo sono di seguito riportati.

7.1 Carichi permanenti G

I carichi permanenti agenti risultano:

- **Peso proprio G_1** degli elementi strutturali con peso specifico del calcestruzzo pari a $\gamma_{cls} = 25.00$ kN/m³.
- **Peso proprio G_{1t}** del terreno di ricoprimento con peso specifico pari a $\gamma = 19.00$ kN/m³.
- **Peso dei permanenti non strutturali portati G_2** . Tra questi sono stati considerati:
 - Pacchetto stradale sulla soletta superiore;
 - Pacchetto stradale sulla platea di fondazione.
- **Spinta statica delle terre sulle pareti laterali $S_{t.stat}$** . Tale azione è stata valutata secondo la teoria classica della spinta delle terre in accordo ai parametri geotecnici definiti al Capitolo 4.

7.2 Azioni variabili Q

7.2.1 Azioni da traffico stradale

I **sovraccarichi stradali sull'impalcato** vengono calcolati secondo lo Schema di carico 1 relativo al carico da ponti definito in normativa.

A seconda della larghezza dell'impalcato sono state considerate due o tre corsie, con eventuale parte rimanente. Per tali corsie, ed eventuale parte rimanente, sono stati considerati i carichi riportati in Figura 7.1. Sull'impalcato tali carichi vengono considerati in modo da massimizzare le sollecitazioni flessionali e taglienti.

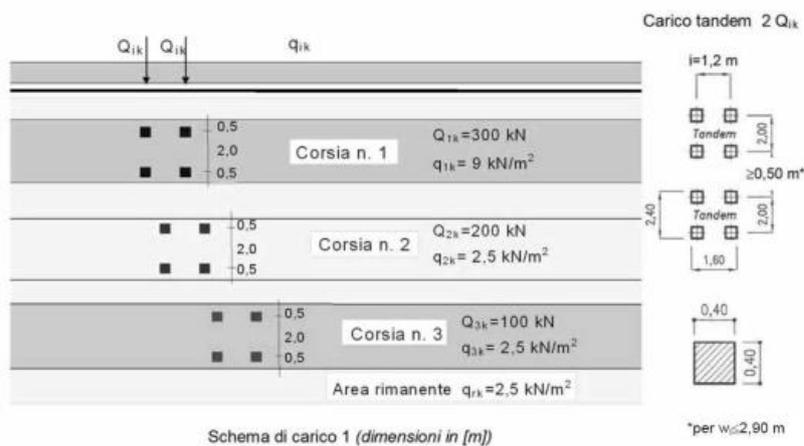


Figura 7.1 Schema di carico 1 – NTC2018

7.2.2 Carico neve

La struttura ricade in zona I – Alpina, ad una quota di $a_s = 262 \text{ m.s.l.m.}$ Ne deriva che il valore caratteristico della neve al suolo viene determinato nel seguente modo:

$$q_{sk} = 1.39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$$

Da cui si ottiene $q_{sk} = 1.57 \text{ kN/m}^2$.

Il coefficiente topografico c_t e il coefficiente di esposizione c_e vengono assunti unitari.

Il coefficiente di forma, essendo l'inclinazione nulla, viene assunto pari a $\mu = 0.8$.

Ne risulta un carico neve $q_s = 1.26 \text{ kN/m}^2$.

7.2.3 Spinta delle terre dovuta ai sovraccarichi variabili

È stata considerata la spinta delle terre dovuta ai sovraccarichi variabili posti ai lati della struttura.

Tale azione è stata valutata in accordo alla teoria classica della spinta delle terre presente in letteratura considerando un sovraccarico variabile pari a:

$$q_{\min} = 5 \text{ kPa}$$

$$q_{\max} = 20 \text{ kPa}$$

Tali valori si intendono applicati alle strutture del tunnel laddove si può avere presenza di folla oppure sosta di mezzi pesanti.

7.3 Azione sismica

La spinta sismica delle terre sulle pareti laterali $S_{t,sisma}$ è stata determinata nell'ipotesi di struttura rigida. Tale spinta è definita, come riportato al punto E9 dell'Eurocodice8 UNI ENV1998-5, come un incremento costante di spinta statica del terreno distribuita su tutta l'altezza e valutata con la seguente formula:

$$S_{t,sisma} = \alpha \gamma_t H^2 \quad (\text{formula di Wood})$$

con $\alpha = a_g/g \cdot S_s \cdot S_T$, H altezza del muro soggetto a spinta, ed S_s ed S_T i coefficienti definiti al Capitolo 6.

Per il calcolo dell'**azione sismica inerziale** si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente orizzontale pari al prodotto tra il peso sismico della struttura ed un opportuno coefficiente sismico k_h .

$$F_h = k_h \cdot W \text{ in direzione orizzontale}$$

In cui:

- $k_h = \frac{a_{max}}{g}$, dove $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 0.08g$
- W è il peso sismico della struttura pari alla somma dei carichi permanenti, strutturali e non, presi con il loro valore caratteristico così come definito nell'attuale normativa vigente.

L'aliquota di W dei permanenti strutturali è stata assunta pari al peso dell'impalcato di copertura e di metà pareti.

L'azione pseudostatica orizzontale così ottenuta è stata poi applicata come carico uniformemente distribuito su tutto l'impalcato di copertura.

7.4 Azione eccezionale

Le azioni eccezionali considerate sono quelle relative al possibile urto di un veicolo in svio contro le pareti del tunnel. Tale azione, non risultata dimensionante a seguito di un'analisi globale eseguita attraverso apposito modello FEM, è stata considerata per una verifica locale a punzonamento sul setto.

Si riporta di seguito uno stralcio della normativa relativo all'azione eccezionale da urto da traffico veicolare.

3.6.3.3 URTI DA TRAFFICO VEICOLARE

3.6.3.3.1 Traffico veicolare sotto ponti o altre strutture

Le azioni da urto hanno direzione parallela a quella del moto del veicolo al momento dell'impatto. Nelle verifiche si possono considerare, non simultaneamente, due azioni nelle direzioni parallela ($F_{d,x}$) e ortogonale ($F_{d,y}$) alla direzione di marcia normale, con

$$F_{d,y} = 0,50F_{d,x} \quad [3.6.7]$$

In assenza di determinazioni più accurate e trascurando la capacità dissipativa della struttura, si possono adottare le forze statiche equivalenti riportate in Tab. 3.6.III.

Tab. 3.6.III – Forze statiche equivalenti agli urti di veicoli

Tipo di strada	Tipo di veicolo	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Autostrade, strade extraurbane	-	1000
Strade locali	-	750
Strade urbane	-	500
Aree di parcheggio e autorimesse	Automobili	50
	Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t	150

Per urti di automobili su membrature verticali, la forza risultante di collisione F deve essere applicata sulla struttura 0,5 m al di sopra della superficie di marcia. L'area di applicazione della forza è pari a 0,25 m (in altezza) per il valore più piccolo tra 1,50 m e la larghezza della membratura (in larghezza).

In particolare, è stata considerata una forza $F_{d,x}$ per un tipo di strada urbana; ne consegue che la forza $F_{d,y}$ ortogonale al setto, utilizzata per la verifica a punzonamento, è pari a 250 kN.

Nell'analisi globale eseguita per la valutazione degli effetti di tale azione sulla struttura, il carico da urto è stato applicato su un'area pari a 0.25 x 1.50 m ad un'altezza di 0.50m dal piano stradale, area che è stata poi ampliata adoperando una diffusione degli sforzi nel calcestruzzo a 45° fino all'asse del setto.

8 MODELLAZIONE STRUTTURALE

8.1 Descrizione del software di calcolo impiegato: Midas GEN 2020

8.1.1 Generalità

Il programma Midas GEN 2020 è un software di calcolo agli elementi finiti di tipo generico. Esso permette la modellazione mono, bi e tridimensionale di modelli numerici basati su database di tipologie di elementi, materiali e conseguenti sezioni di calcolo nonché condizioni di vincolo e di carico applicabili in campo ingegneristico per l'analisi virtuale del comportamento strutturale considerato.

Le analisi che possono essere condotte si possono riassumere in: analisi elastico lineare, calcolo degli autovalori e autovettori, analisi spettrale, time history lineare e non lineare, P-Delta, buckling, carichi mobili, cedimenti, pushover, non linearità geometrica e non linearità del materiale, analisi di simulazione costruzione per fasi in ambito lineare e non lineare, calore di idratazione, pre e post compressione, analisi statica di sezioni composite, adeguamento passo passo delle condizioni di vincolo. Tali analisi possono tra loro essere combinate simultaneamente o meno a seconda del caso considerato.

Sono disponibili i seguenti elementi finiti per la discretizzazione del modello strutturale di volta in volta inserito: elementi reagenti a sola compressione e/o trazione, elementi resistenti a sola trazione, elementi che seguono la legge di Hook, elementi fune, elementi resistenti a sola compressione, elementi a comportamento rigido plastico, elementi trave generici a sezione qualsiasi e variabile lungo l'asse di sviluppo dell'elemento stesso, elementi plate membranali e non, elementi in stato piano di tensione, elementi tridimensionali, elementi "muri" membranali e non (estensione del modello plate), elementi in stato piano di deformazione, elementi in assialsimmetria. Non tutti gli elementi possono essere impiegati con le analisi che si possono condurre precedentemente descritte.

I materiali e le sezioni che possono essere impiegati sono di seguito riportati: materiale elastico, materiale non lineare in funzione del tempo, sezioni composite calcestruzzo – acciaio, sezioni composite precomprese, sezioni composite generiche, sezioni composite, variabili lungo l'asse di sviluppo dell'elemento considerato, sezioni a spessore assegnato e di rigidità assegnata. Anche in questo caso non tutti i materiali e/o sezioni possono essere impiegati simultaneamente con le analisi che si possono condurre precedentemente descritte.

8.1.1 Orientamento e convenzione di segno degli elementi

Si riportano nel seguito le convenzioni di segno e orientamento dei principali elementi FEM utilizzati:

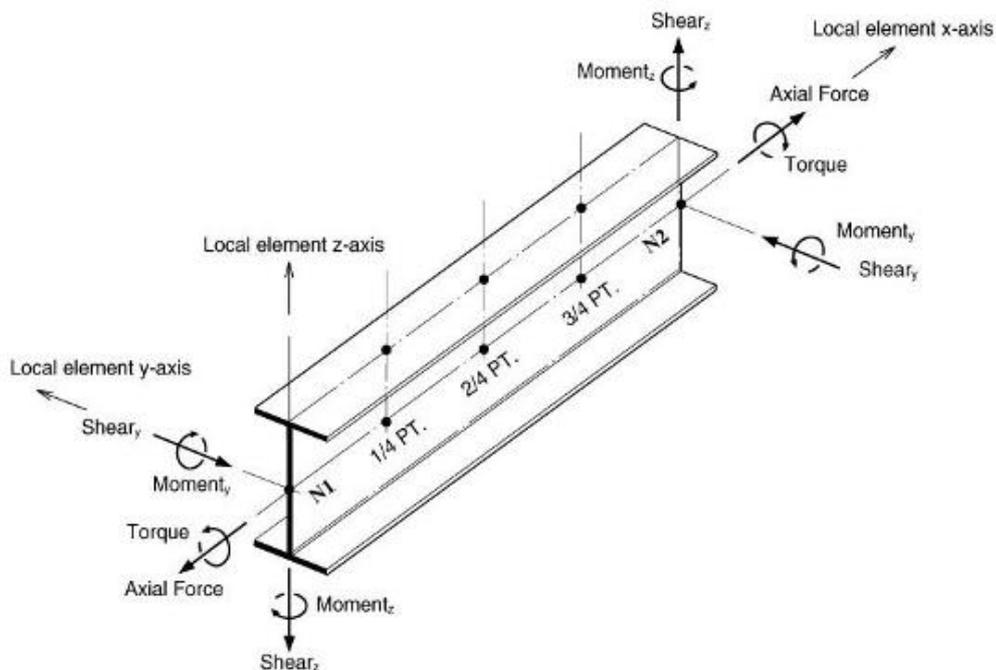


Figura 8.1: Orientamento e convenzioni di segno per elementi beam

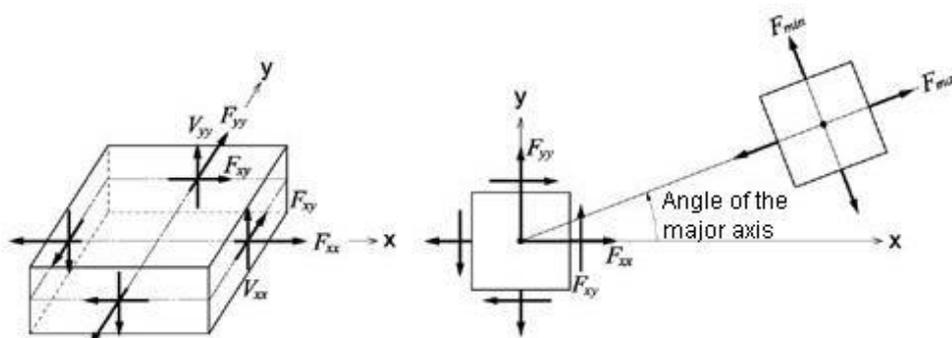


Figura 8.2: Forze per unità di lunghezza negli elementi plate

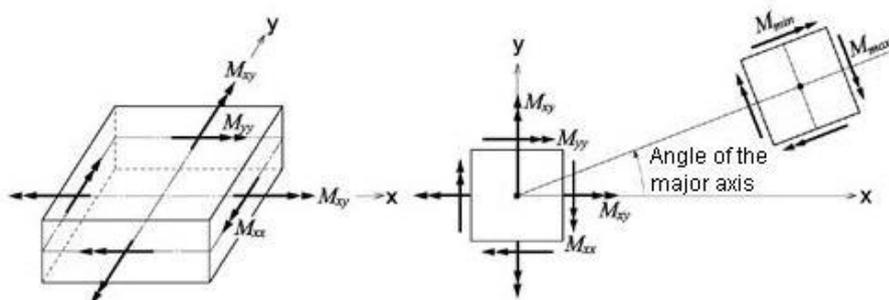
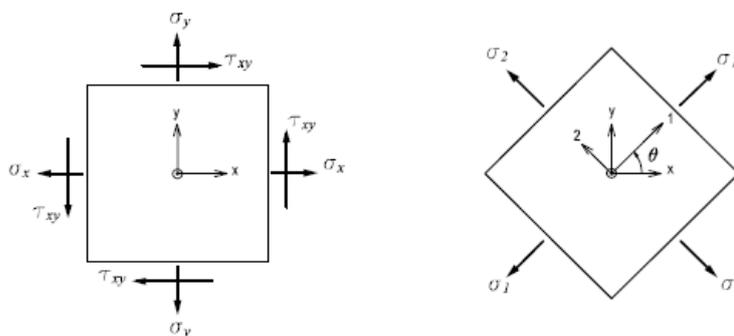


Figura 8.3: Momenti per unità di lunghezza negli elementi plate

(a) Output locations of element stresses



σ_x : Axial stress in the ECS x - direction

σ_y : Axial stress in the ECS y - direction

τ_{xy} : Shear stress in the ECS x - y plane

$$\sigma_1 : \text{Maximum principal stress} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 : \text{Minimum principal stress} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{xy} : \text{Maximum shear stress} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

θ : Angle between the x - axis and the principal axis, 1

$$\sigma_{eff} : \text{von - Mises Stress} = \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)}$$

(b) Sign convention for plate element stresses

Figura 8.4: Convenzioni per le tensioni negli elementi plate

8.2 Descrizione del modello FEM

8.2.1 Modellazione delle strutture gettate in opera

La platea di fondazione, i setti e la soletta piena di copertura sono stati modellati con elementi *plate* di spessore pari a quello dell'elemento reale, mentre il materiale assegnato a ciascun elemento è quello previsto dalla normativa e riportato al capitolo relativo alle caratteristiche dei materiali.

L'elemento *plate* viene posto, a favore di sicurezza, in asse allo spessore dell'elemento reale.

8.2.2 Modellazione delle strutture prefabbricate

Le travi prefabbricate sono state modellate con elementi *beam* aventi sezione pari a quella di progetto, ovvero una sezione composta formata dall'elemento in c.a.p. ad U e dalla soletta di completamento gettata in opera. Per cogliere il comportamento bidirezionale dell'impalcato di copertura, ovvero per tener conto del fatto che, attraverso la cappa di completamento, le travi collaborano nella direzione dello sviluppo del tunnel, sono stati inseriti degli elementi *beam*, in direzione trasversale all'asse delle travi, aventi sezione pari a quella della cappa e peso nullo. In tal modo si porta in conto il contributo di rigidità offerto dalla cappa in direzione trasversale alle travi ma senza tener conto del proprio peso già computato nella definizione della sezione composta in c.a.p.

Il materiale assegnato a ciascun elemento è quello previsto dalla normativa e riportato al capitolo relativo alle caratteristiche dei materiali.

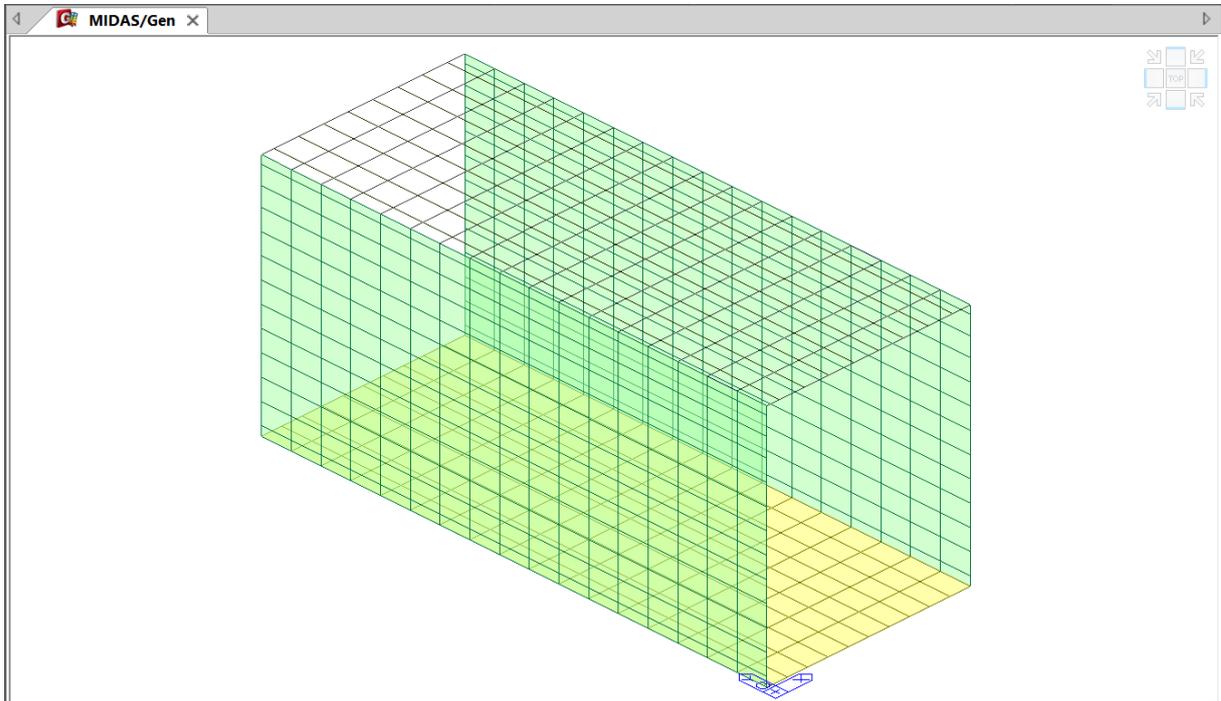


Figura 8.5: Modello FEM 3D – Sezione tipologica 8

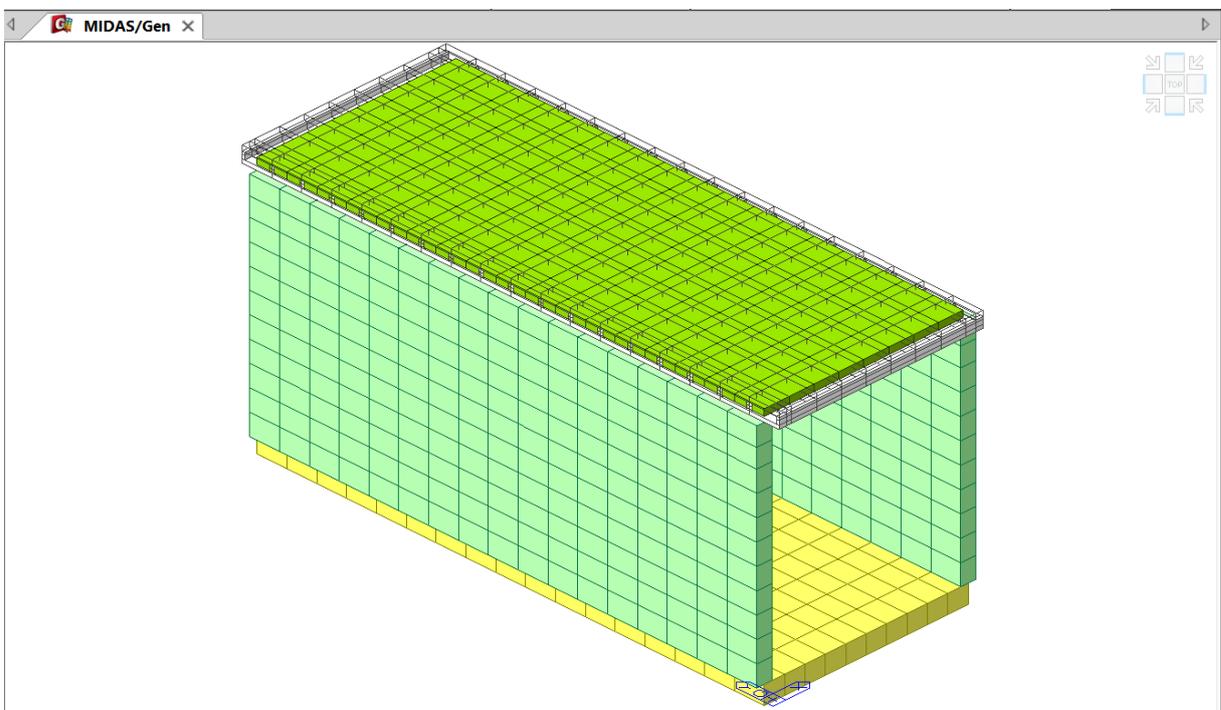


Figura 8.6: Modello FEM 3D – Sezione tipologica 8. Vista estrusa

Per la sezione tipologica in esame si è modellato un tratto di tunnel di lunghezza compresa tra i 25 e 30m e comunque in accordo con quanto definito nelle tavole progettuali.

8.2.3 Descrizione di vincoli, rigidzze molle e sollecitazioni

Nel modello in fase provvisoria, ovvero quella in cui è presente solo l'impalcato di copertura soggetto alle azioni ad esso sovrastanti, i vincoli modellati sono quelli derivanti dalle paratie/setti di micropali così come già descritto al Capitolo 5 per le diverse sezioni di progetto. Il modello di questa fase viene utilizzato per il dimensionamento delle armature a momento positivo in campata dell'impalcato di copertura, ovvero le armature inferiori.

Nel modello in fase finale lo scatolare risulta vincolato verticalmente in fondazione ed orizzontalmente sulle pareti con molle elastiche reagenti a sola compressione. Il valore di rigidzza assegnato a tali molle è quello definito al Capitolo 4.

La struttura finale è stata infine vincolata, in accordo alle ipotesi fatte sul comportamento della stessa di tipo rigido, alla traslazione orizzontale e verticale assegnando dei vincoli fissi ai nodi della platea di fondazione (direzioni X e Y globale rappresentate nelle figure precedenti).

Il modello di questa fase finale viene utilizzato per il dimensionamento delle strutture di platea e setti, e delle armature a momento negativo agli estremi dell'impalcato di copertura, ovvero le armature superiori.

Si applicano sul modello le azioni di cui al paragrafo precedente. I pesi permanenti strutturali G_1 sono calcolati direttamente dal programma di calcolo definite geometrie e densità dei materiali. I carichi portati e accidentali, definiti precedentemente, sono stati assegnati come carichi nodali e/o carichi distribuiti uniformemente su unità di superficie o di lunghezza.

Il sistema di riferimento prevede asse X globale trasversale alla struttura, asse Y globale che si sviluppa nella direzione longitudinale del tunnel, ed asse Z globale in direzione verticale verso l'alto a formare una terna di assi levogiro.

Le sollecitazioni sugli elementi strutturali però sono calcolate con riferimento agli assi locali degli elementi e pertanto saranno da interpretarsi nel seguente modo:

Platea di fondazione

$M_{xx} - V_{xx}$: sollecitazioni lungo lo sviluppo trasversale della platea

$M_{yy} - V_{yy}$: sollecitazioni lungo lo sviluppo longitudinale della platea

Pareti

$M_{xx} - V_{xx}$: sollecitazioni lungo la verticale

$M_{yy} - V_{yy}$: sollecitazioni lungo l'orizzontale, ovvero lungo la direzione longitudinale del tunnel

Travi prefabbricate

$M_y - V_z$: sollecitazioni lungo lo sviluppo della trave

Impalcato con soletta gettata in opera

$M_{xx} - V_{xx}$: sollecitazioni lungo lo sviluppo trasversale della platea

$M_{yy} - V_{yy}$: sollecitazioni lungo lo sviluppo longitudinale della platea

8.3 Combinazioni di carico SLU, SLV e SLE

Le verifiche strutturali (STR) sia allo SLU che allo SLE vengono effettuate secondo l'Approccio 1, combinazione A1+M1+R1 sulla sezione tipo più sollecitata del muro. I carichi agenti sono stati quindi implementati secondo le direttive della Normativa Vigente e sono stati combinati tra loro con i rispettivi coefficienti parziali di sicurezza.

Per gli stati limite ultimi si sono adottate le combinazioni del tipo:

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

essendo: G_k il valore caratteristico delle azioni permanenti;

Q_{1k} il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;

Q_{ik} i valori caratteristici delle azioni variabili tra dipendenti.

Le combinazioni sismiche adottate sono invece del tipo:

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

Per gli stati limite di esercizio si sono considerate le combinazioni rara, frequente e quasi permanente necessarie per le successive verifiche tensionali e di fessurazione.

In forma convenzionale le combinazioni SLE possono essere espresse nel modo seguente:

Combinazioni rara: $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$

Combinazioni frequenti: $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

Combinazioni quasi permanente: $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

Le combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche sono state stabilite in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto per garantire la sicurezza della struttura.

Le sollecitazioni sono state ricavate facendo l'involuppo delle combinazioni precedentemente descritte per i due diversi stati della struttura: stato limite ultimo (SLU ed SLV) e stato limite di esercizio (combinazione rara, frequente e quasi permanente).

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

Figura 8.7: Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

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

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

Figura 8.8: Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Figura 8.9: Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

9 RISULTATI SEZIONE 8, DIMENSIONAMENTO E VERIFICA

9.1 Premessa

Ai fini delle verifiche allo Stato limite di Esercizio, si riportano di seguito degli stralci della normativa vigente (NTC2018 e Circolare annessa) in cui viene definito, in funzione della classe di esposizione dichiarata, il valore limite di: apertura delle fessure (Figura 13.1), tensione di esercizio delle barre d'acciaio tese e del calcestruzzo compresso (Figura 13.2), tensione nell'acciaio d'armatura per la verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta (Figura 13.3) applicata per le sole travi in c.a.p.

4.1.2.2.4.2 Condizioni ambientali

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, le condizioni ambientali possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III con riferimento alle classi di esposizione definite nelle *Linee Guida per il calcestruzzo strutturale* emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nonché nella UNI EN 206:2016.

Tab. 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

4.1.2.2.4.3 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso.

Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili, si può tener conto della loro minor sensibilità alla corrosione sulla base di documenti di comprovata validità.

4.1.2.2.4.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tab. 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_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

w_1, w_2, w_3 sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore w_k è definito al § 4.1.2.2.4.5.

Figura 9.1: Condizioni ambientali e stati limite di fessurazione

I valori limiti assunti in fase di verifica sono: $w_1 = 0.2$ mm per la combinazione SLE Quasi permanente, e $w_2 = 0.3$ mm per la combinazione SLE Frequente.

4.1.2.2.5 Stato limite di limitazione delle tensioni

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 deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

4.1.2.2.5.1 Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo $\sigma_{c,max}$, deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica} \quad [4.1.15]$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad [4.1.16]$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra prescritti vanno ridotti del 20%.

4.1.2.2.5.2 Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

La tensione massima, $\sigma_{s,max}$, per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{s,max} \leq 0,8 f_{yk} \quad [4.1.17]$$

Figura 9.2: Limitazione delle tensioni
Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III -Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Spaziatura massima s delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Figura 9.3: Limitazione delle tensioni nell'acciaio per verifica a fessurazione indiretta

9.2 PLATEA DI FONDAZIONE - VERIFICHE SLU-SLV

9.2.1 Momento Mxx

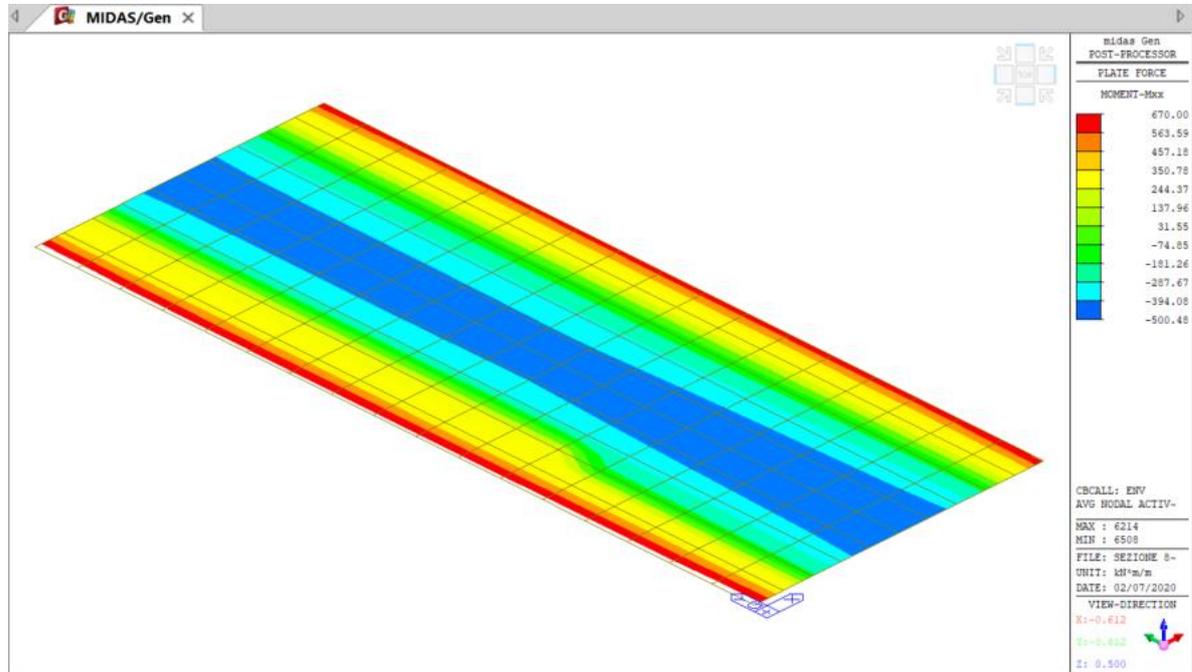


Figura 9.4: Sollecitazioni Mxx su platea di fondazione in combinazione SLU-SLV

Verifica momento Mxx che tende le fibre inferiori (estremi)

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

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

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	15.71	5
			2	15.71	65

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C25/30

E_{su} 67.5 % E_{c2} 2 %
f_{yd} 391.3 N/mm² E_{cu} 3.5 %
E_s 200000 N/mm² f_{cd} 14.17 %
E_{syd} 1.957 % σ_{c,adm} 9.75 %
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6 %
τ_{c1} 1.829 %

M_{xRd} 385.7 kN m
σ_c -14.17 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 %
ε_s 40.94 %
d 65 cm
x 5.119 x/d 0.07876
δ 0.7

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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

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

Precompresso

Figura 9.5: Φ20/20 superiori, Φ20/20 inferiori

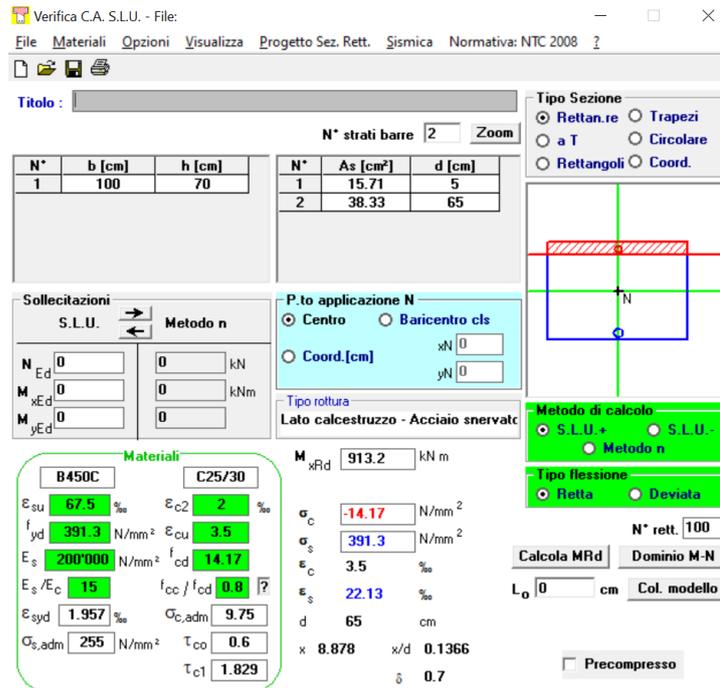


Figura 9.6: Φ20/20 superiori, Φ20/20 inferiori + Φ24/20 inferiori (cfr tavole di progetto)

Verifica momento M_{xx} che tende le fibre superiori (campata)

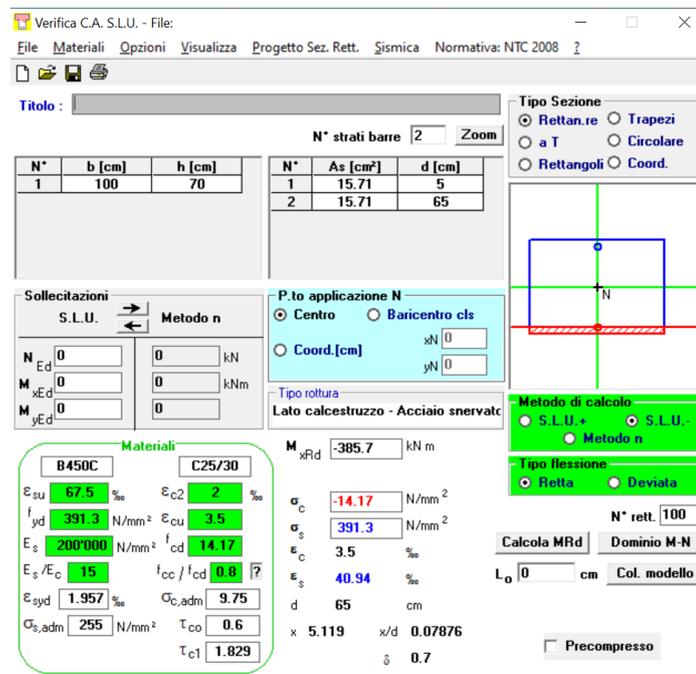


Figura 9.7: Φ20/20 superiori, Φ20/20 inferiori

Verifica C.A. S.L.U. - File: - □ ×

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

Titolo: _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	15.71	5
			2	25.76	65

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali
 B450C C25/30
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 14.17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

M_{xRd} 621.9 kN m
 σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 31.34 ‰
 d 65 cm
 x 6.529 x/d 0.1004
 δ 0.7

Calcola MRd cm Col. modello
 Precompresso

Figura 9.8: $\Phi 20/20$ superiori + $\Phi 16/20$ superiori, $\Phi 20/20$ inferiori (cfr tavole di progetto)

9.2.2 Momento Myy

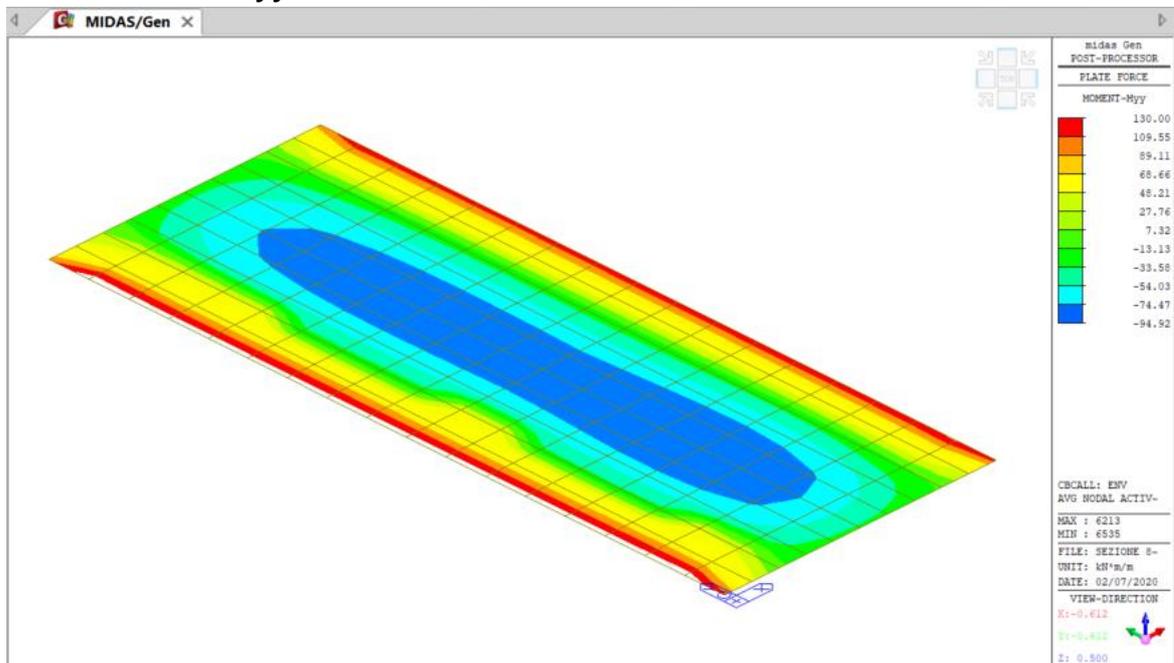


Figura 9.9: Sollecitazioni Myy su platea di fondazione in combinazione SLU-SLV

Verifica

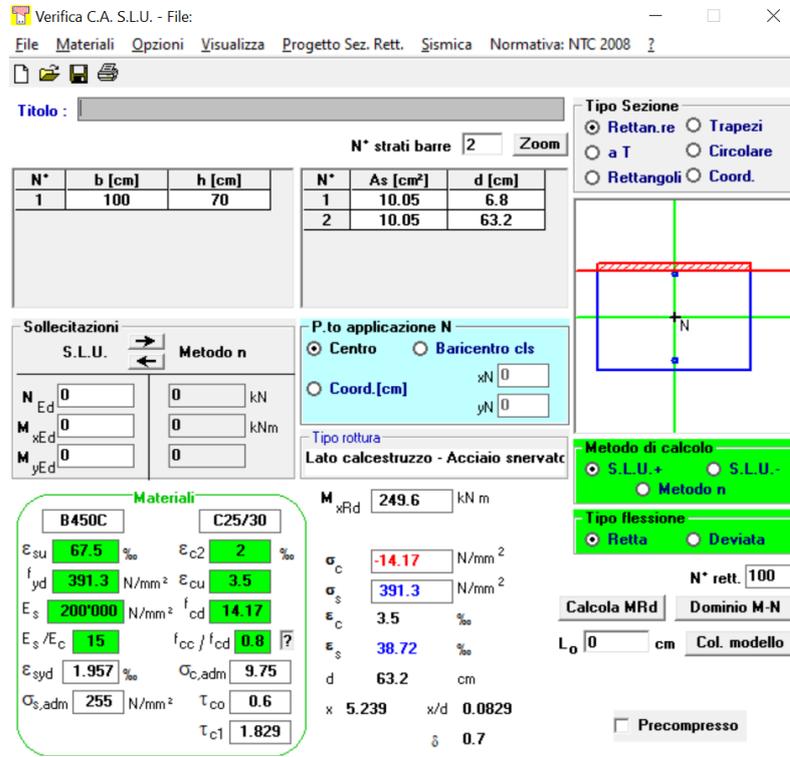


Figura 9.10: $\Phi 16/20$ superiori, $\Phi 16/20$ inferiori

9.2.3 Taglio Vxx

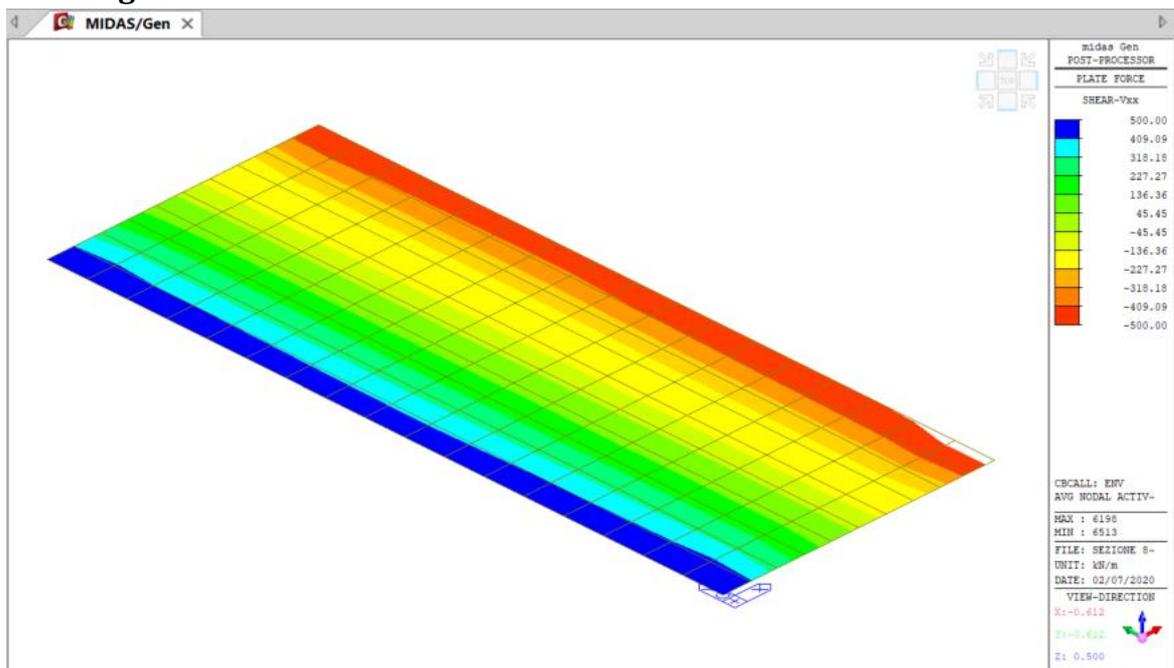


Figura 9.11: Sollecitazioni Vxx su platea di fondazione in combinazione SLU-SLV

Verifica

RESISTENZA DI ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	NO !!!
b _w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R _{ck} (MPa)	f _{yk} (MPa)			
100.00	70.00	5.00	65.00	30.00	450.00	0.00	500.00	
Resistenza a taglio senza armatura specifica						V _{Rd} (kN)	V _{Ed} / V _{Rd}	
A _{SL,tot} (mmq)	k	v _{min} (MPa)	ρ _L	σ _{cp} (MPa)				
38.327	1.55	0.34	0.0059	0	296.94	1.68		

RESISTENZA DI ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	OK
b _w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R _{ck} (MPa)	f _{yk} (MPa)			
100.00	70.00	5.00	65.00	30.00	450.00	0.00	500.00	
ARMATURE A TAGLIO						V _{Rd} (kN)	V _{Ed} / V _{Rd}	
n _{b,sw}	Φ _{sw} (mm)	s (cm)	A _{sw} (mmq)	α (°)	θ (°)			
4	14	20.00	615.75	90.00	44.00	729.81	0.69	

Staffe Φ14/20 a 4 bracci per 2.5m a partire dalle due estremità (cfr tavole di progetto).

9.3 PLATEA DI FONDAZIONE - VERIFICHE SLE

9.3.1 Momenti Mxx

9.3.1.1 Verifica a fessurazione SLE FREQUENTE

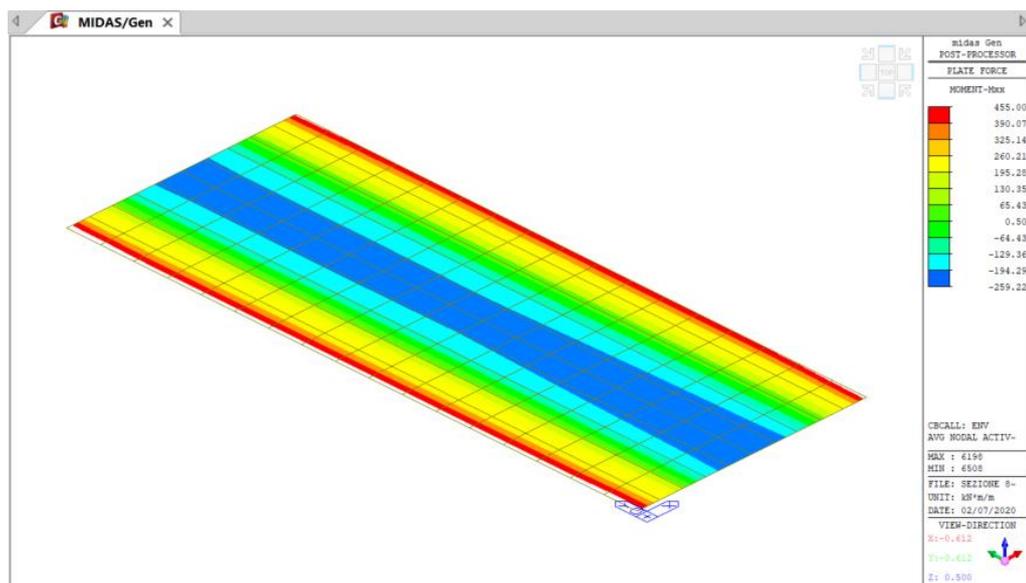


Figura 9.12: Sollecitazioni Mxx su platea di fondazione in combinazione SLE FREQUENTE

La porzione di estremità della platea (e larga circa 25cm) rientra nello spessore del setto verticale per cui le sollecitazioni risultano disturbate e quindi trascurabili ai fini della progettazione e conseguente verifica.

ESTREMI

Verifica C.A. S.L.U. - File: _ □ ×

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

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	70

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	38.33	65

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200'000 N/mm ²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -6.392 N/mm²
 σ_s 203.5 N/mm²

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

ϵ_s 1.017 ‰
d 65 cm
x 20.82 x/d 0.3203
 δ 0.8404

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	700	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	650	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	38	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	1571	[mm ²]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	24	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	2262	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	203.5	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	208.2	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	3833	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff.2}$	163933	[mm ²]
	$A_{c,eff.3}$	350000	[mm ²]
	$A_{c,eff.min}$	125000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.03066	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}]_{min}$	0.000611	[-]
	$[\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000818	[-]
	$[\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}]$	0.000818	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	22.18	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	245.4545	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	252	[mm]
	$s_{r,max.2}$	639	[mm]
	$s_{r,max}$	252	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.21	[mm]

CAMPATA

Verifica C.A. S.L.U. - File: - □ ×

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

Titolo: _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	70

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	25.76	65

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. ← Metodo n ←

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M _{xEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="259"/> kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm]

xN

yN

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Materiali

B450C	C25/30
ε _{su} 67.5 ‰	ε _{c2} 2 ‰
f _{yd} 391.3 N/mm ²	ε _{cu} 3.5 ‰
E _s 200'000 N/mm ²	f _{cd} 14.17
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0.8 ?
ε _{syd} 1.957 ‰	σ _{c,adm} 9.75
σ _{s,adm} 255 N/mm ²	τ _{co} 0.6
	τ _{c1} 1.829

σ_c **-4.178** N/mm²

σ_s **169.6** N/mm²

ε_s **0.8479** ‰

d **65** cm

x **17.54** x/d **0.2699**

δ **0.7773**

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	700	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	650	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	40	[mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	1571	[mm ²]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	1005	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	169.6	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	175.4	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2576	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff.2}$	174867	[mm ²]
	$A_{c,eff.3}$	350000	[mm ²]
	$A_{c,eff.min}$	125000	[mm ²]

Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02061	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]

Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000509	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000566	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000566	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	18.22	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	245.5556	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	286	[mm]
	$s_{r,max.2}$	682	[mm]
	$s_{r,max}$	286	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.16	[mm]

9.3.1.2 Verifica a fessurazione SLE QUASI PERMANENTE

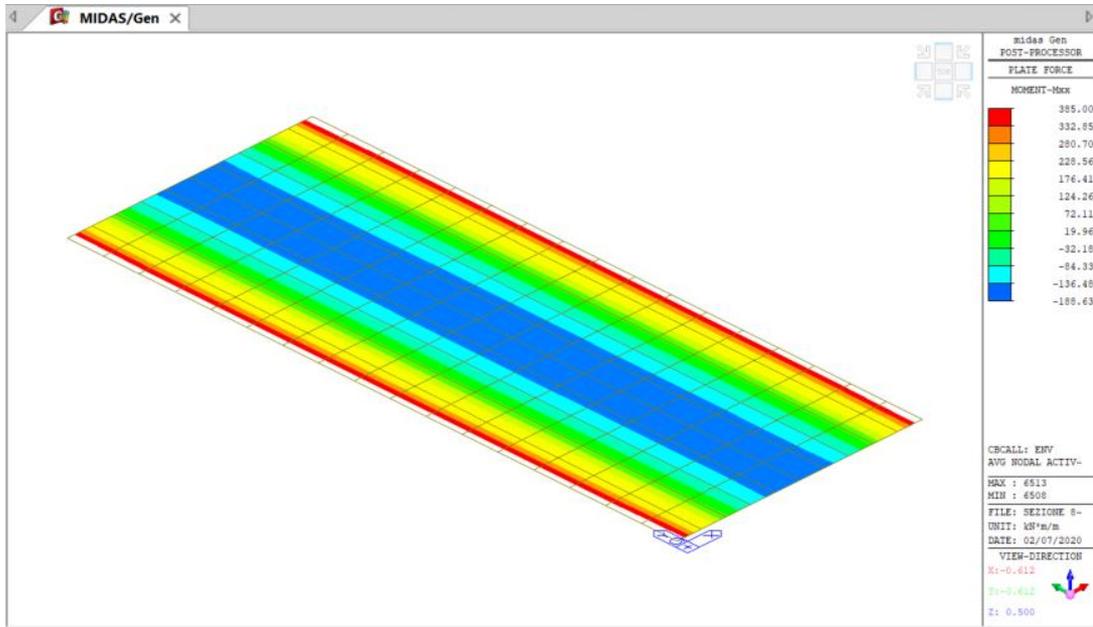


Figura 9.13: Sollecitazioni Mxx su platea di fondazione in combinazione SLE QUASI PERMANENTE

La porzione di estremità della platea (e larga circa 25cm) rientra nello spessore del setto verticale per cui le sollecitazioni risultano disturbate e quindi trascurabili ai fini della progettazione e conseguente verifica.

ESTREMI

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

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

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	15.71	5
			2	38.33	65

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	0	0	kN
M _{xEd}	0	385	kNm
M _{yEd}	0	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 C25/30

ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰	σ_c	-5.409 N/mm ²
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰	σ_s	172.2 N/mm ²
E_s	200'000 N/mm ²	f_{cd}	14.17	ϵ_s	0.8608 ‰
E_s / E_c	15	f_{cc} / f_{cd}	0.8	d	65 cm
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75	x	20.82 x/d 0.3203
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6	δ	0.8404
		τ_{c1}	1.829		

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	700	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	650	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	38	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	1571	[mm ²]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	24	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	2262	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	172.2	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	208.2	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	3833	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff.2}$	163933	[mm ²]
	$A_{c,eff.3}$	350000	[mm ²]
	$A_{c,eff.min}$	125000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.03066	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000517	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000661	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000661	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	22.18	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	245.4545	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	252	[mm]
	$s_{r,max.2}$	639	[mm]
	$s_{r,max}$	252	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.20	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.17	[mm]

CAMPATA

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

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

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	15.71	5
			2	25.76	65

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{Ed} 0 188.63 kNm
M_{yEd} 0 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		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200'000 N/mm²	f_{cd}	14.17
E_s / E_c	15	f_{cc} / f_{cd}	0.8 ?
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -3.043 N/mm²
 σ_s 123.5 N/mm²
 ϵ_s 0.6175 ‰
d 65 cm
x 17.54 x/d 0.2699
 δ 0.7773

Verifica
N° iterazioni: 4

Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h 700 [mm]
Larghezza della sezione	b 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d 650 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' 50 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c 40 [mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$ 5 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$ 20 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ 1571 [mm ²]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$ 5 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$ 16 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ 1005 [mm ²]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck} 25 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm} 2.6 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm} 31476 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk} 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s 200000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s 123.5 [MPa]
Asse neutro della sezione	x 175.4 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga ▾
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e 6.35 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s 2576 [mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$ 125000 [mm ²]
	$A_{c,eff.2}$ 174867 [mm ²]
	$A_{c,eff.3}$ 350000 [mm ²]
	$A_{c,eff.min}$ 125000 [mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$ 0.02061 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$ 2.6 [MPa]
Fattore di durata del carico	k_t 0.4 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$ 0.000371 [-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$ 0.000336 [-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$ 0.000371 [-]
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s 100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq} 18.22 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$ 245.5556 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1 0.800 [-]
	k_2 0.500 [-]
	k_3 3.400 [-]
	k_4 0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	
	$s_{r,max.1}$ 286 [mm]
	$s_{r,max.2}$ 682 [mm]
	$s_{r,max}$ 286 [mm]
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$ 0.20 [mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k 0.11 [mm]

$$0.45 \times f_{ck} = 0.45 \times 25 = 11.25 \text{MPa} > 5.409 \text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360 \text{MPa} > 213.7 \text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

CAMPATA

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. It includes a menu bar (File, Materiali, Opzioni, Visualizza, Progetto Sez. Rett., Sismica, Normativa: NTC 2008), a toolbar, and several data entry and display panels.

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

N* strati barre: 2

N*	b [cm]	h [cm]	N*	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	15.71	5
			2	25.76	65

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n:

N _{Ed}	0	0	kN
M _{xEd}	0	288	kNm
M _{yEd}	0	0	

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

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

Materiali:

B450C		C25/30	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	200'000 N/mm²	f _{cd}	14.17
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.957 ‰	σ _{c,adm}	9.75
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6
		τ _{c1}	1.829

Calcolo:

σ _c	-4.646	N/mm²	
σ _s	188.6	N/mm²	
ε _s	0.9428	‰	
d	65	cm	
x	17.54	x/d	0.2699
		δ	0.7773

Verifica: N* iterazioni: 4

Precompresso

Figura 9.15: Armatura

$$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 25 = 15 \text{MPa} > 4.646 \text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.45 \times f_{ck} = 0.45 \times 25 = 11.25 \text{MPa} > 3.043 \text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360 \text{MPa} > 188.6 \text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

9.3.2 Momenti Myy

9.3.2.1 Verifica a fessurazione SLE FREQUENTE

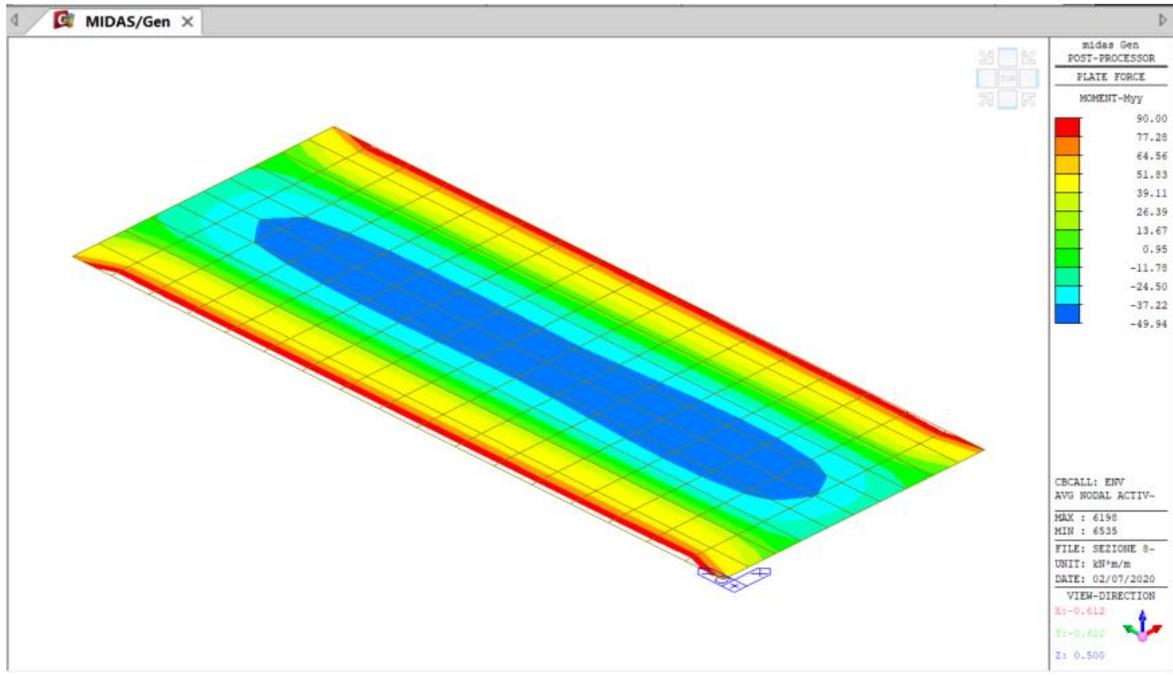


Figura 9.16: Sollecitazioni Myy su platea di fondazione in combinazione SLE FREQUENTE

ESTREMI

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

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

TITOLO: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	10.05	6.8
			2	15.71	63.2

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 0 90 kNm
 M_{yEd} 0 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 C25/30
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 14.17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 9.75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

σ_c -1.935 N/mm²
 σ_s 98.43 N/mm²
 ε_s 0.4921 ‰
 d 63.2 cm
 x 14.39 x/d 0.2277
 δ 0.7247

Verifica N° iterazioni: 5

Precompresso

Si predispongono alle estremità della platea, inferiormente, in direzione longitudinale, 5 Φ 12 integrativi per 1 metro di sviluppo (cfr tavole di progetto)

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h = 700 [mm]
Larghezza della sezione	b = 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d = 632 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' = 68 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c = 60 [mm]
Armatura tesa ordinaria	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,1}$ = 5 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{t,1}$ = 16 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ = 1005 [mm ²]
Armatura tesa di infittimento	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,2}$ = 5 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{t,2}$ = 12 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ = 565 [mm ²]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck} = 25 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm} = 2.6 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm} = 31476 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk} = 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s = 200000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s = 98.43 [MPa]
Asse neutro della sezione	x = 143.9 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e = 6.35 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s = 1571 [mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$ = 170000 [mm ²] $A_{c,eff,2}$ = 185367 [mm ²] $A_{c,eff,3}$ = 350000 [mm ²] $A_{c,eff,min}$ = 170000 [mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$ = 0.00924 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$ = 2.6 [MPa]
Fattore di durata del carico	k_t = 0.4 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$ = 0.000295 [-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$ = -0.000096 [-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$ = 0.000295 [-]
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s = 100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq} = 14.29 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$ = 335.7143 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	
	k_1 = 0.800 [-]
	k_2 = 0.500 [-]
	k_3 = 3.400 [-]
	k_4 = 0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	
	$s_{r,max,1}$ = 467 [mm]
	$s_{r,max,2}$ = 723 [mm]
	$s_{r,max}$ = 467 [mm]
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$ = 0.30 [mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k = 0.14 [mm]

9.3.2.2 Verifica a fessurazione SLE QUASI PERMANENTE

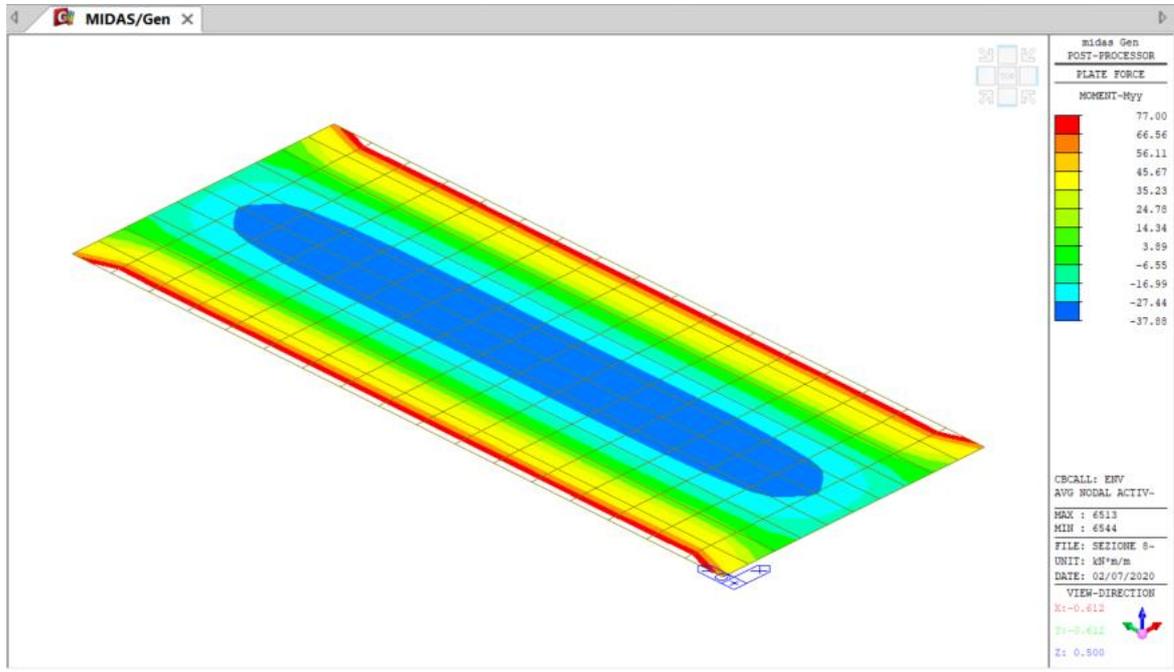


Figura 9.17: Sollecitazioni Myy su platea di fondazione in combinazione SLE QUASI PERMANENTE

ESTREMI

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

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

TITOLO: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	10.05	6.8
			2	15.71	63.2

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

Diagramma di sezione con centro G e punto N.

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

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	0	kN
M _{xEd}	77	kNm
M _{yEd}	0	

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

Materiali

B450C		C25/30	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	200'000 N/mm²	f _{cd}	14.17
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.957 ‰	σ _{c,adm}	9.75
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6
		τ _{c1}	1.829

σ_c -1.655 N/mm²
σ_s 84.21 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 5

Precompresso

ε_s 0.4211 ‰
d 63.2 cm
x 14.39 x/d 0.2277
δ 0.7247

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3

Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	700	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	632	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	68	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	1005	[mm ²]
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	12	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	565	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	84.21	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	143.9	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	▼
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$	170000	[mm ²]
	$A_{c,eff,2}$	185367	[mm ²]
	$A_{c,eff,3}$	350000	[mm ²]
	$A_{c,eff,min}$	170000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00924	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_f	0.4	[-]

Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls

	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000253	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000167	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000253	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	14.29	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	335.7143	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure

	$s_{r,max,1}$	467	[mm]
	$s_{r,max,2}$	723	[mm]
	$s_{r,max}$	467	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.20	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.12	[mm]

9.3.2.3 Verifica tensionale

SLE Rara

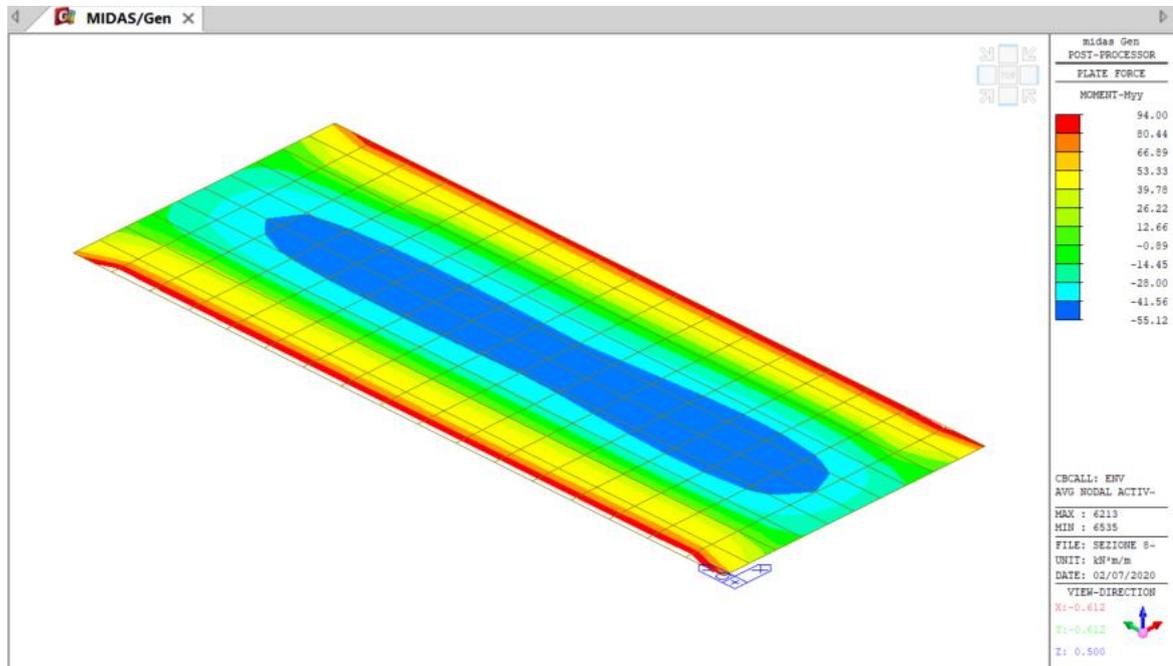


Figura 9.18: Sollecitazioni Myy su platea di fondazione in combinazione SLE RARA

ESTREMI

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

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

Titolo: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	10.05	6.8
			2	15.71	63.2

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 Metodo n

N Ed 0 kN
 M xEd 0 kNm
 M yEd 0 kNm

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

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

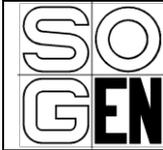
Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E _s	200'000 N/mm ²	f _{cd}	14.17
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -2.021 N/mm²
 σ_s 102.8 N/mm²

Verifica
 N° iterazioni: 5
 Precompresso

ϵ_s 0.514 ‰
 d 63.2 cm
 x 14.39 x/d 0.2277
 δ 0.7247



$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 25 = 15\text{MPa} > 2.021\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

$0.45 \times f_{ck} = 0.45 \times 25 = 11.25\text{MPa} > 1.655\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360\text{MPa} > 102.8\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

9.4 SETTI - VERIFICHE SLU-SLV

9.4.1 Momento Mxx

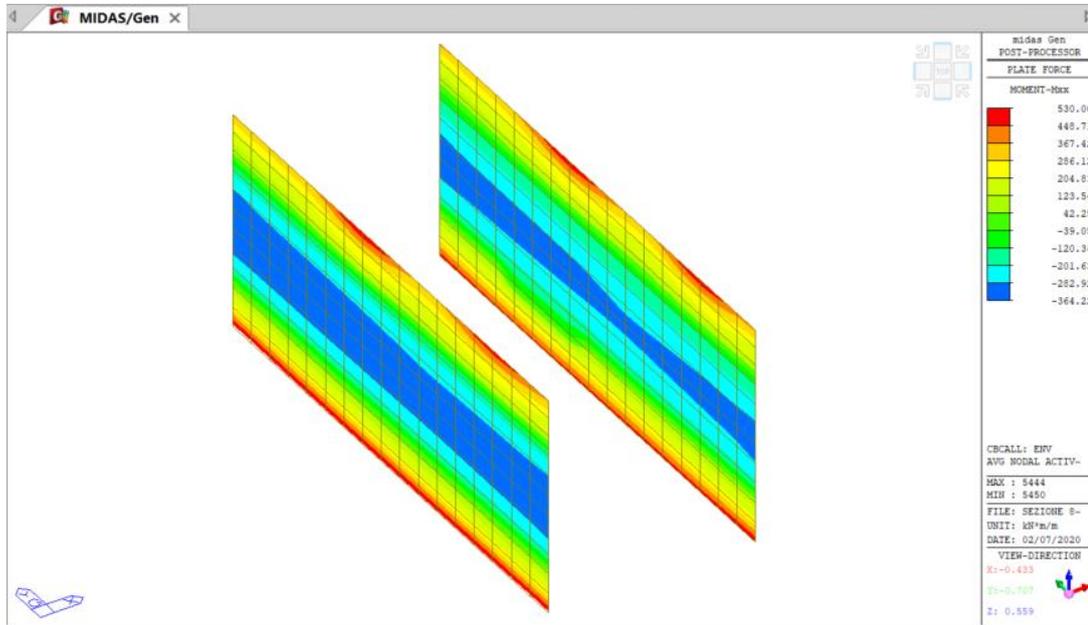


Figura 9.19: Sollecitazioni Mxx sui setti in combinazione SLU-SLV

Verifica momento Mxx

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

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

TITOLO: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	25.76	5
			2	20.11	55

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 410.5 kN m

Materiali: B450C C25/30

ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 200000 N/mm²	f_{cd} 14.17
E_s / E_c 15	f_{cc} / f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.6
	τ_{c1} 1.829

σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 31.65 ‰
d 55 cm
x 5.476 x/d 0.09957
 δ 0.7

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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

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

Figura 9.20: lato esterno: $\Phi 16/10$, lato interno: $\Phi 20/20 + \Phi 16/20$

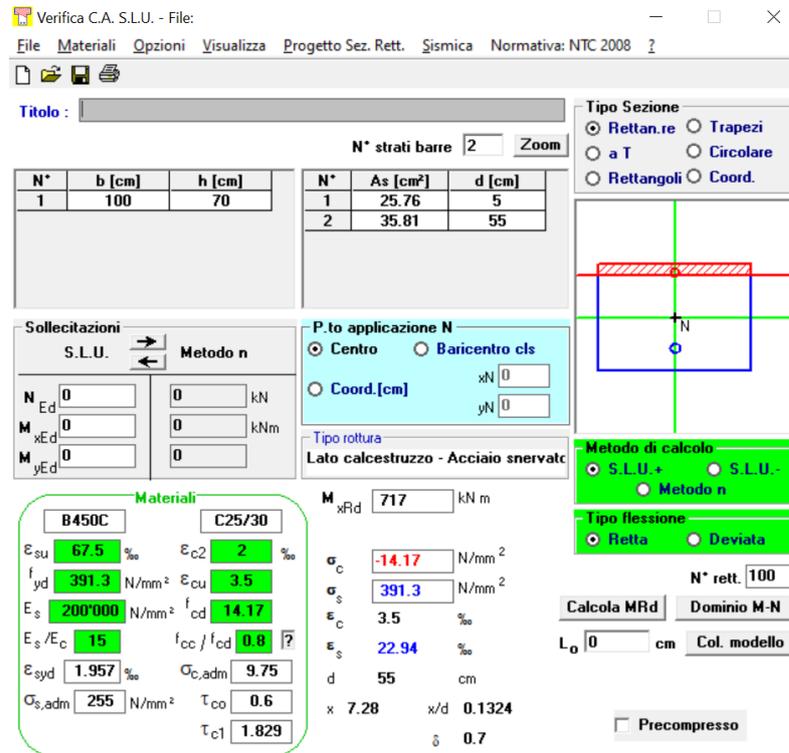


Figura 9.21: lato esterno: $\Phi 16/10 + f_{20}/20$ che salgono dalla platea di fondazione (in corrispondenza dell'estremo inferiore), lato interno: $\Phi 20/20 + \Phi 16/20$

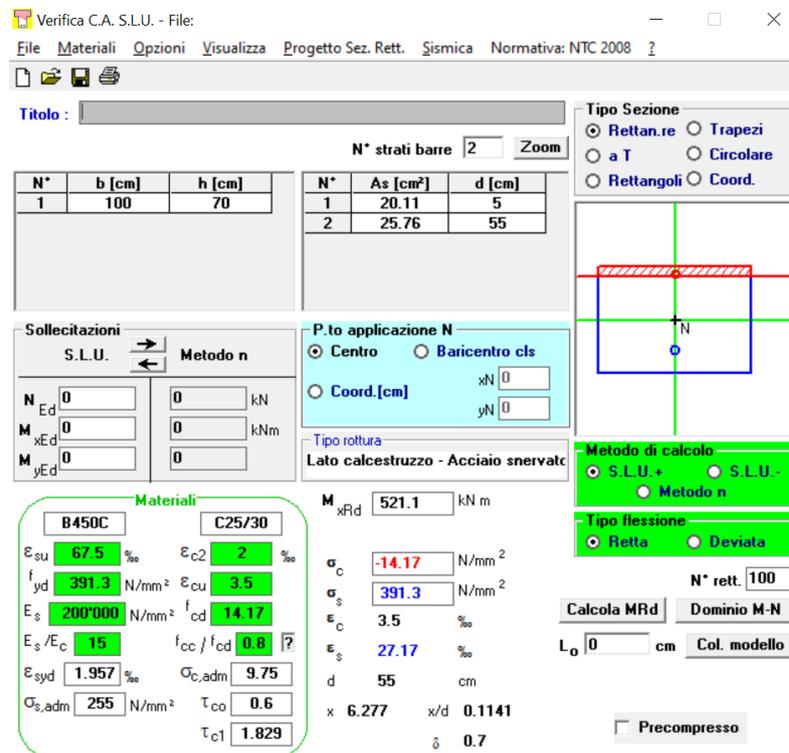


Figura 9.22: lato interno: $\Phi 20/20 + \Phi 16/20$, lato esterno: $\Phi 16/10$

9.4.2 Momento Myy

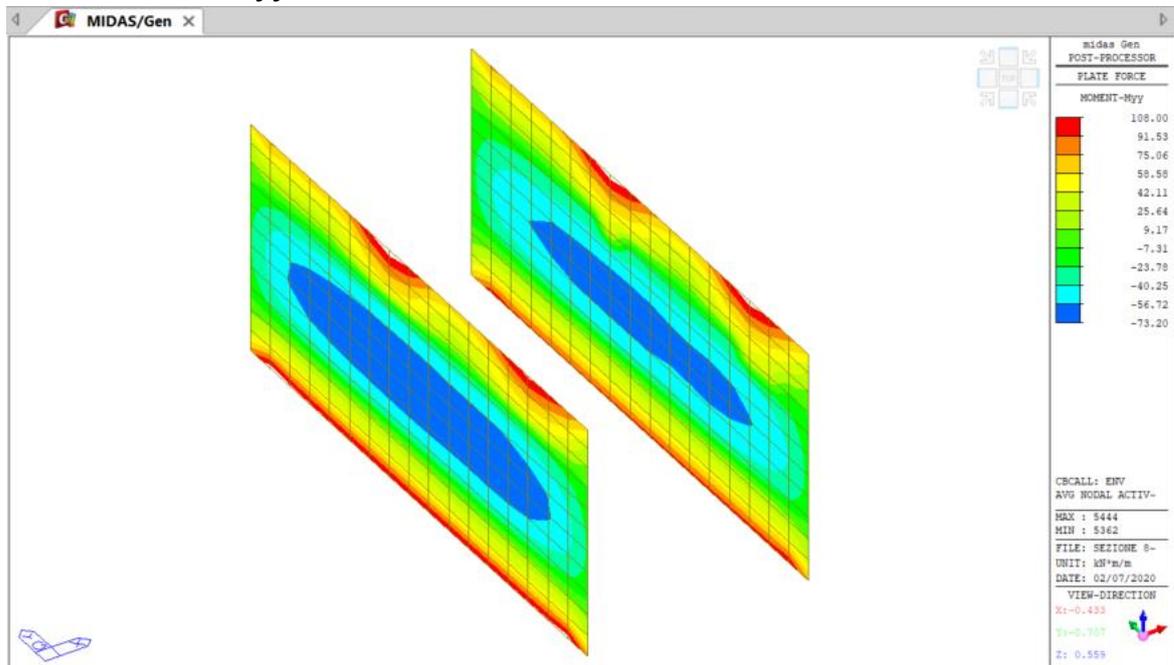


Figura 9.23: Sollecitazioni Myy sui setti in combinazione SLU-SLV

Verifica momento Myy

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

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

TITOLO: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	11.31	6.4
			2	11.31	53.6

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 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 C25/30
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 14.17 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 9.75 ‰
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6 ‰
τ_{c1} 1.829 ‰

M_{xRd} 234.4 kN m
σ_c -14.17 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 31.95 ‰
d 53.6 cm
x 5.292 x/d 0.09873
δ 0.7

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

Figura 9.24: Ø12/10 a destra e sinistra

9.4.3 Taglio Vxx

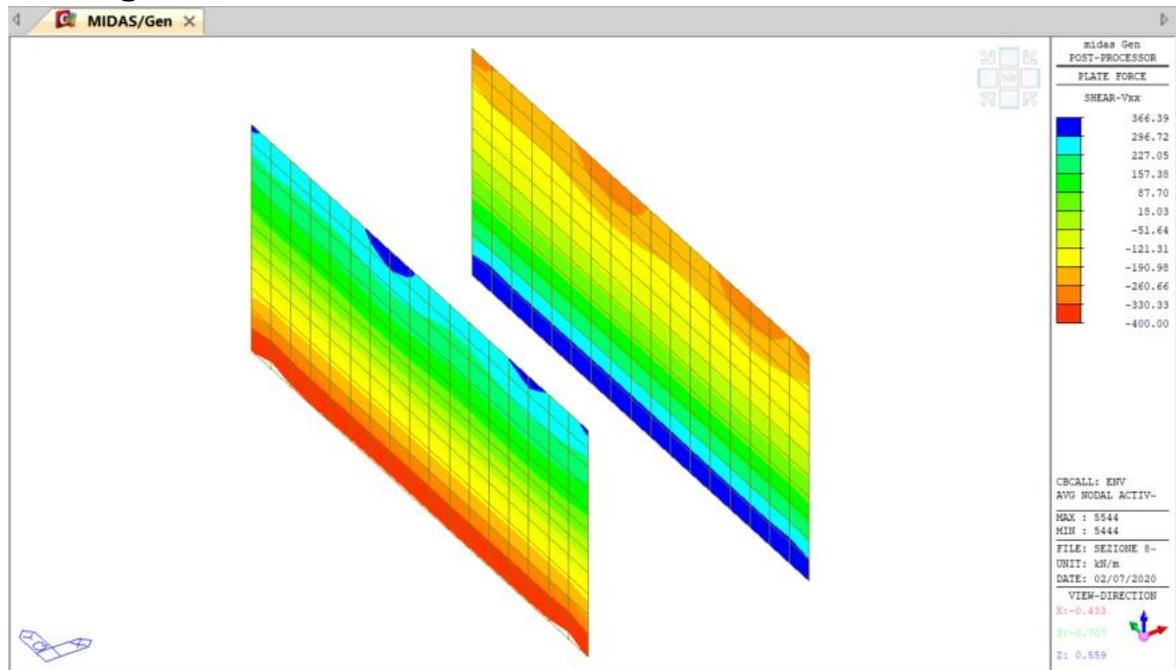


Figura 9.25: Sollecitazioni Vxx sui setti in combinazione SLU-SLV

Verifica taglio Vxx

RESISTENZA DI ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	NO !!!
b _w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R _{ck} (MPa)	f _{yk} (MPa)			
100.00	60.00	5.00	55.00	30.00	450.00	0.00	400.00	
Resistenza a taglio senza armatura specifica						V_{Rd} (kN)	V_{Ed} / V_{Rd}	
A _{SL,tot} (mmq)		k	v _{min} (MPa)	ρ _L	σ _{cp} (MPa)			
35.814		1.60	0.35	0.0065	0	267.78	1.49	

RESISTENZA DI ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	OK
b _w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R _{ck} (MPa)	f _{yk} (MPa)			
100.00	60.00	5.00	55.00	30.00	450.00	0.00	400.00	
ARMATURE A TAGLIO						V_{Rd} (kN)	V_{Ed} / V_{Rd}	
n _{b,sw}	Φ _{sw} (mm)	s (cm)	A _{sw} (mmq)	α (°)	θ (°)			
5	8	10.00	251.33	90.00	45.00	486.81	0.82	

Spilli Φ8/10 a 5 bracci per i primi 2.5m di sviluppo del setto a partire dalla base (cfr tavole di progetto)

9.5 SETTI - VERIFICHE SLE

9.5.1 Momenti Mxx

9.5.1.1 Verifica a fessurazione SLE FREQUENTE

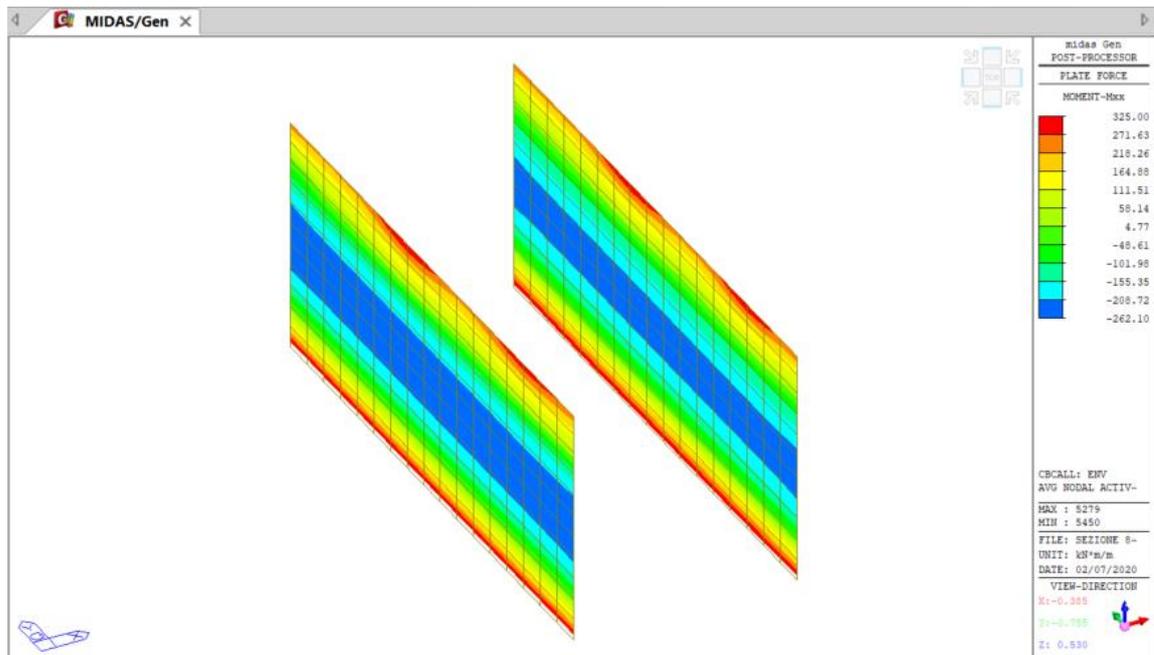


Figura 9.26: Sollecitazioni Mxx sui setti in combinazione SLE FREQUENTE

ESTREMO

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

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

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	25.76	5
			2	35.81	55

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 0 325 kNm
M_{yEd} 0 0

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

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

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

Verifica
N° iterazioni: 4
 Precompresso

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200000 N/mm ²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -5.72 N/mm²
 σ_s 183.8 N/mm²
 ϵ_s 0.9192 ‰
d 55 cm
x 17.5 x/d 0.3182
 δ 0.8377

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	600	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	550	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	42	[mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$	10	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	2011	[mm ²]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	1571	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	183.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	175	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	▼
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	3581	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff.2}$	141667	[mm ²]
	$A_{c,eff.3}$	300000	[mm ²]
	$A_{c,eff.min}$	125000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02865	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000551	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000707	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000707	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	17.54	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	253.8462	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure

	$s_{r,max.1}$	247	[mm]
	$s_{r,max.2}$	553	[mm]
	$s_{r,max}$	247	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente

	$w_{k,lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.17	[mm]

CAMPATA

Verifica C.A. S.L.U. - File: _ □ ×

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

Titolo:

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	20.11	5
			2	25.76	55

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

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200'000 N/mm ²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²

ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ

Verifica

Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	600	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	550	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	42	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	1005	[mm ²]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	1571	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	204.1	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	155.4	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	▼
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2576	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff,2}$	148200	[mm ²]
	$A_{c,eff,3}$	300000	[mm ²]
	$A_{c,eff,min}$	125000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02061	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000612	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000739	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000739	[-]
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	18.22	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	255.5556	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max,1}$	293	[mm]
	$s_{r,max,2}$	578	[mm]
	$s_{r,max}$	293	[mm]
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.22	[mm]

9.5.1.2 Verifica a fessurazione SLE QUASI PERMANENTE

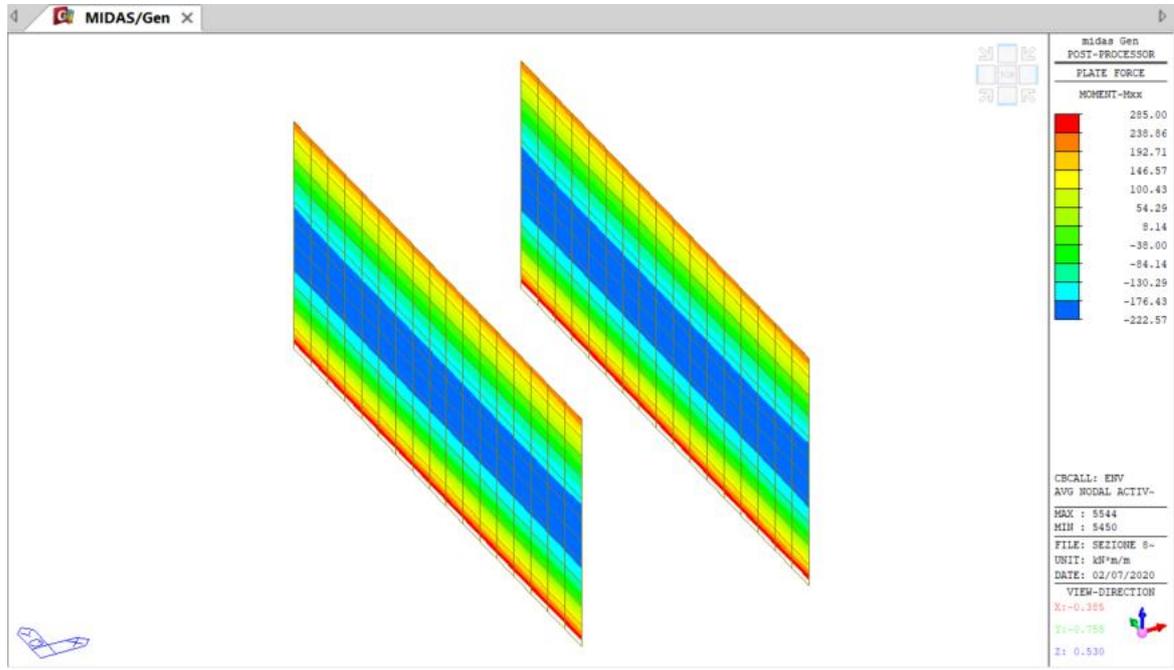


Figura 9.27: Sollecitazioni Mxx sui setti in combinazione SLE QUASI PERMANENTE

ESTREMI

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

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

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	25.76	5
			2	35.81	55

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

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: 0 285 kNm
 M_{yEd}: 0 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 C25/30
 E_{su}: 67.5‰ E_{c2}: 2‰
 f_{yd}: 391.3 N/mm² E_{cu}: 3.5‰
 E_s: 200'000 N/mm² f_{cd}: 14.17
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 E_{syd}: 1.957‰ σ_{c,adm}: 9.75
 σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.6
 τ_{c1}: 1.829

σ_c: -5.016 N/mm²
 σ_s: 161.2 N/mm²
 ε_s: 0.8061‰
 d: 55 cm
 x: 17.5 x/d: 0.3182
 δ: 0.8377

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	600	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	550	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	42	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$	10	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	2011	[mm ²]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	1571	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	161.2	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	175	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	3581	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff.2}$	141667	[mm ²]
	$A_{c,eff.3}$	300000	[mm ²]
	$A_{c,eff.min}$	125000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02865	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000484	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000594	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000594	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	17.54	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	253.8462	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure

	$s_{r,max.1}$	247	[mm]
	$s_{r,max.2}$	553	[mm]
	$s_{r,max}$	247	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.20	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.15	[mm]

CAMPATA

Verifica C.A. S.L.U. - File: - □ ×

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

TITOLO:

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	20.11	5
			2	25.76	55

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		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200'000 N/mm ²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8 ?
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -4.549 N/mm²
 σ_s 173.3 N/mm²

ϵ_s 0.8666 ‰
d 55 cm
x 15.54 x/d 0.2825
 δ 0.7931

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	600	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	550	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	50	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	42	[mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	20	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	1571	[mm ²]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	1005	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	173.3	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	155.4	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2576	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$	125000	[mm ²]
	$A_{c,eff,2}$	148200	[mm ²]
	$A_{c,eff,3}$	300000	[mm ²]
	$A_{c,eff,min}$	125000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02061	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
<u>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</u>	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000520	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000585	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000585	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	18.22	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	255.5556	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure

	$s_{r,max,1}$	293	[mm]
	$s_{r,max,2}$	578	[mm]
	$s_{r,max}$	293	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0.20	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.17	[mm]

9.5.1.3 Verifica tensionale

SLE RARA

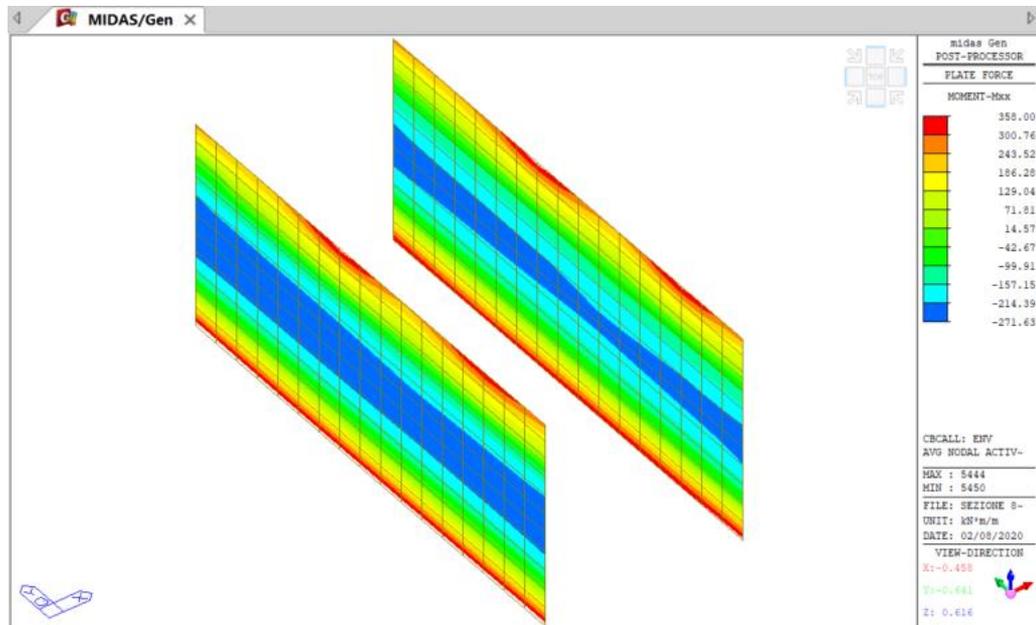


Figura 9.28: Sollecitazioni Mxx sui setti in combinazione SLE RARA

ESTREMI

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

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

Titolo: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	25.76	5
			2	35.81	55

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 358 kNm
 M_{yEd} 0 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 **C25/30**
 E_{su} 67.5 ‰ E_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² E_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 14.17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 [?]
 E_{syd} 1.957 ‰ C_{c,adm} 9.75
 C_{s,adm} 255 N/mm² T_{co} 0.6
 T_{c1} 1.829

σ_c -6.3 N/mm²
 σ_s 202.5 N/mm²
 ε_s 1.013 ‰
 d 55 cm
 x 17.5 x/d 0.3182
 δ 0.8377

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

$$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 25 = 15\text{MPa} > 6.3\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.45 \times f_{ck} = 0.45 \times 25 = 11.25\text{MPa} > 5.016\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360\text{MPa} > 202.5\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

CAMPATA

Verifica C.A. S.L.U. - File: - □ ×

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

TITOLO: _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	20.11	5
			2	25.76	55

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali: **B450C** **C25/30**

ϵ_{su}	<input type="text" value="67.5"/> ‰	ϵ_{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰	σ_c	<input type="text" value="-5.551"/> N/mm ²
f_{yd}	<input type="text" value="391.3"/> N/mm ²	ϵ_{cu}	<input type="text" value="3.5"/> ‰	σ_s	<input type="text" value="211.5"/> N/mm ²
E_s	<input type="text" value="200'000"/> N/mm ²	f_{cd}	<input type="text" value="14.17"/> ‰	ϵ_s	<input type="text" value="1.057"/> ‰
E_s/E_c	<input type="text" value="15"/>	f_{cc}/f_{cd}	<input type="text" value="0.8"/>	d	<input type="text" value="55"/> cm
ϵ_{syd}	<input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="9.75"/>	x	<input type="text" value="15.54"/> x/d <input type="text" value="0.2825"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm ²	τ_{co}	<input type="text" value="0.6"/>	δ	<input type="text" value="0.7931"/>
		τ_{c1}	<input type="text" value="1.829"/>		

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

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

$$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 25 = 15\text{MPa} > 5.551\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.45 \times f_{ck} = 0.45 \times 25 = 11.25\text{MPa} > 4.549\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360\text{MPa} > 211.5\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$$

9.5.2 Momenti Myy

9.5.2.1 Verifica a fessurazione SLE FREQUENTE

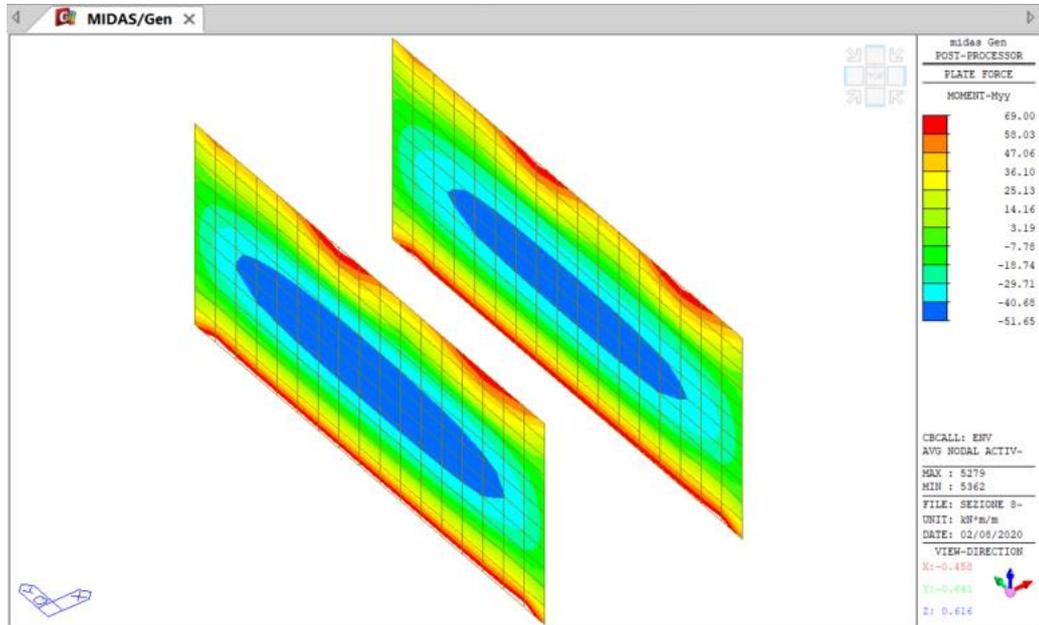


Figura 9.29: Sollecitazioni Myy sui setti in combinazione SLE FREQUENTE

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

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

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	11.31	6.4
			2	11.31	53.6

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N Ed: 0 kN
M xEd: 0 kNm
M yEd: 0

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

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

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

Materiali: B450C C25/30

ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰	σ_c -2.187 N/mm²
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰	σ_s 123.2 N/mm²
E_s 200'000 N/mm²	f_{cd} 14.17	ϵ_s 0.6158 ‰
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0.8	d 53.6 cm
ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75	x 11.27 x/d 0.2103
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.6	δ 0.7029
	τ_{c1} 1.829	

Verifica: N° iterazioni: 5

Precompresso

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h 600 [mm]
Larghezza della sezione	b 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d 536 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' 64 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c 58 [mm]
Armatura tesa ordinaria	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$ 5 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$ 12 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ 565 [mm ²]
Armatura tesa di infittimento	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$ 5 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$ 12 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ 565 [mm ²]

Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck} 25 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm} 2.6 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm} 31476 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk} 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s 200000 [MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s 123.2 [MPa]
Asse neutro della sezione	x 112.7 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e 6.35 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s 1131 [mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$ 160000 [mm ²]
	$A_{c,eff,2}$ 162433 [mm ²]
	$A_{c,eff,3}$ 300000 [mm ²]
	$A_{c,eff,min}$ 160000 [mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$ 0.00707 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$ 2.6 [MPa]
Fattore di durata del carico	k_t 0.4 [-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$ 0.000370 [-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$ -0.000142 [-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$ 0.000370 [-]
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s 100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq} 12.00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$ 320 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1 0.800 [-]
	k_2 0.500 [-]
	k_3 3.400 [-]
	k_4 0.425 [-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max,1}$ 486 [mm]
	$s_{r,max,2}$ 633 [mm]
	$s_{r,max}$ 486 [mm]
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$ 0.30 [mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k 0.18 [mm]

9.5.2.2 Verifica a fessurazione SLE QUASI PERMANENTE

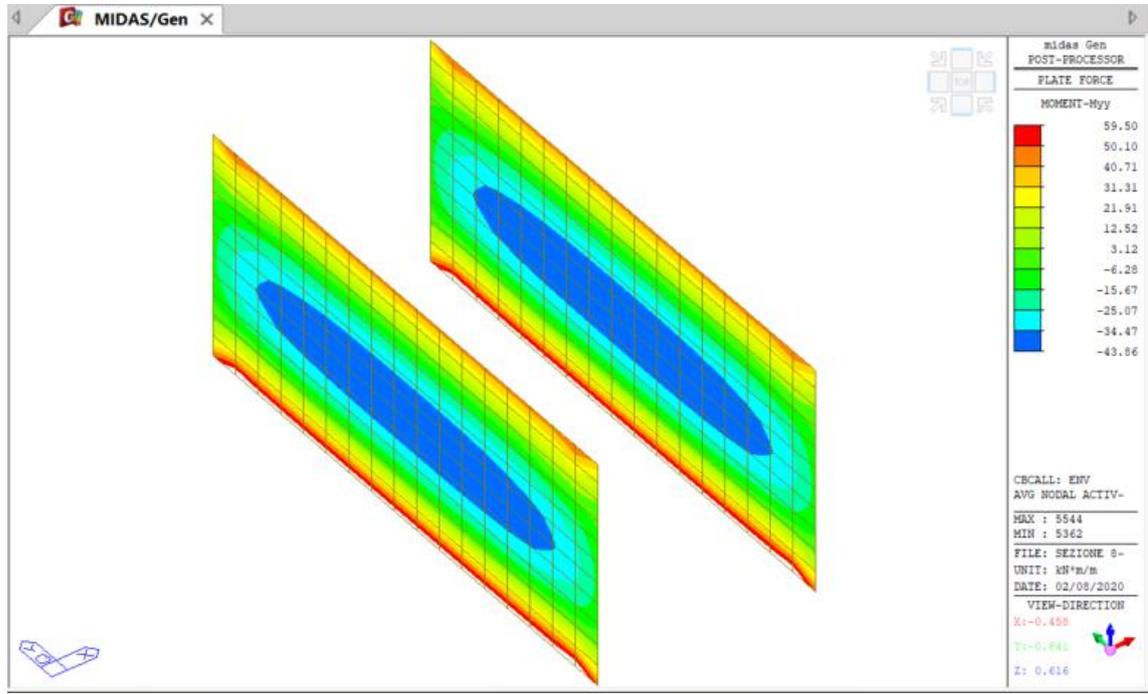


Figura 9.30: Sollecitazioni Myy sui setti in combinazione SLE QUASI PERMANENTE

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

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

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	11.31	6.4
2	11.31	53.6

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

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

Solecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200'000 N/mm²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -1.886 N/mm²
 σ_s 106.2 N/mm²

Verifica
 N° iterazioni: 5

Precompresso

Calculated values:
 ϵ_s 0.531 ‰
 d 53.6 cm
 x 11.27 x/d 0.2103
 δ 0.7029

STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. UNI EN 1992-1-1: 2005 Par.7.3
Geometria della sezione

Altezza della sezione	h	600	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	536	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	64	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	58	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$	12	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$	565	[mm ²]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{t,2}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$	12	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$	565	[mm ²]

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	25	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	2.6	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	31476	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE

Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	106.2	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	112.7	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Lunga	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.35	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1131	[mm ²]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$	160000	[mm ²]
	$A_{c,eff,2}$	162433	[mm ²]
	$A_{c,eff,3}$	300000	[mm ²]
	$A_{c,eff,min}$	160000	[mm ²]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00707	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.6	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.4	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{min}$	0.000319	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000227	[-]
	$[\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}]$	0.000319	[-]

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	12.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	320	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]

Distanza massima tra le fessure

	$s_{r,max,1}$	486	[mm]
	$s_{r,max,2}$	633	[mm]
	$s_{r,max}$	486	[mm]

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente

	$w_{k,lim}$	0.20	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	w_k	0.15	[mm]

9.5.2.3 Verifica tensionale

SLE Rara

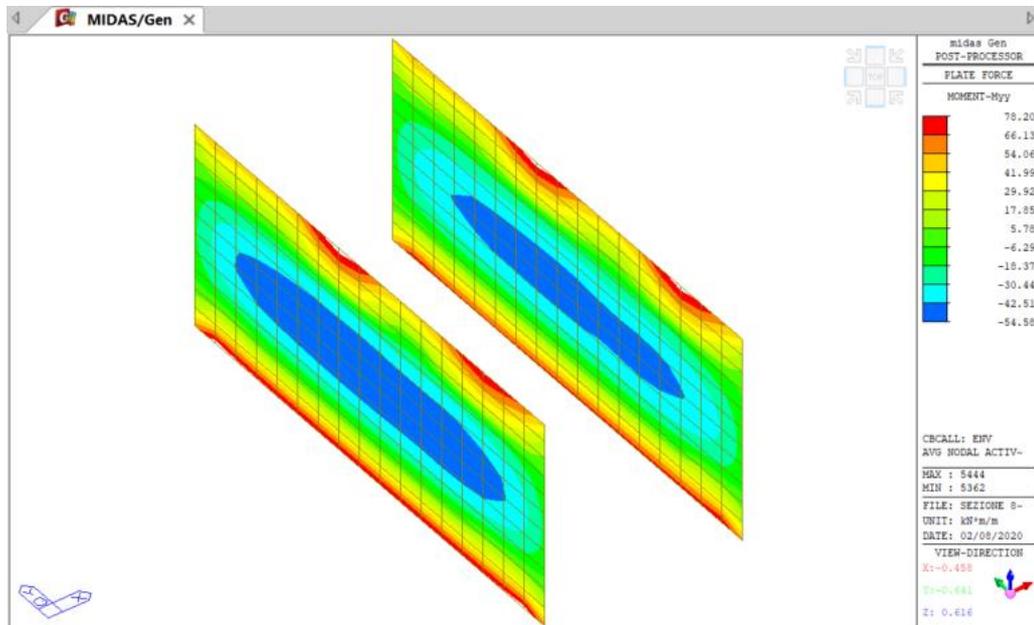


Figura 9.31: Sollecitazioni Myy sui setti in combinazione SLE RARA

Verifica C.A. S.L.U. - File: _ _ X

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

Titolo: _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	11.31	6.4
			2	11.31	53.6

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} kN
 M_{xEd} 78.2 kNm
 M_{yEd}

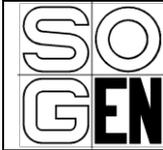
P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

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

Materiali
 B450C C25/30
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 14.17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ‰
 ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 9.75 ‰
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6 ‰
 τ_{c1} 1.829 ‰

σ_c -2.478 N/mm²
 σ_s 139.6 N/mm²
 ε_s 0.6379 ‰
 d 53.6 cm
 x 11.27 x/d 0.2103
 δ 0.7029

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso



$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 25 = 15\text{MPa} > 2.478\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

$0.45 \times f_{ck} = 0.45 \times 25 = 11.25\text{MPa} > 1.886\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360\text{MPa} > 139.6\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

9.6 IMPALCATO DI COPERTURA - VERIFICHE SLU-SLV

9.6.1 Momento M_y in campata

Sollecitazioni in fase provvisoria, ovvero quando l'impalcato poggia sulla paratia di micropali.

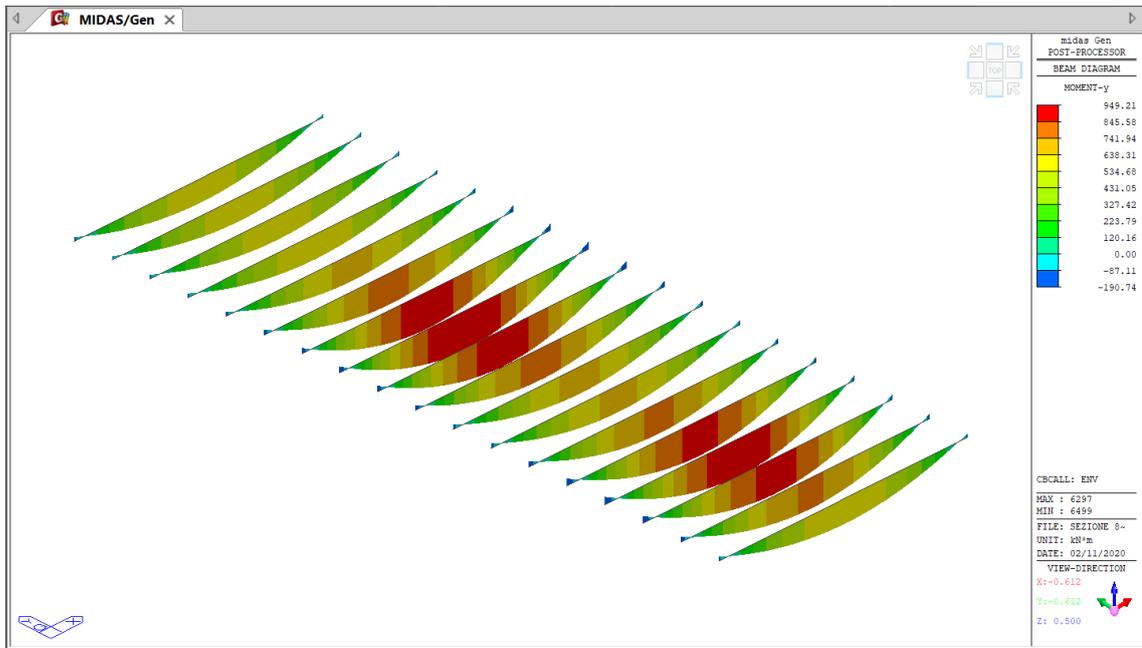


Figura 9.32: Sollecitazione M_y sull'impalcato in combinazione SLU-SLV in fase provvisoria

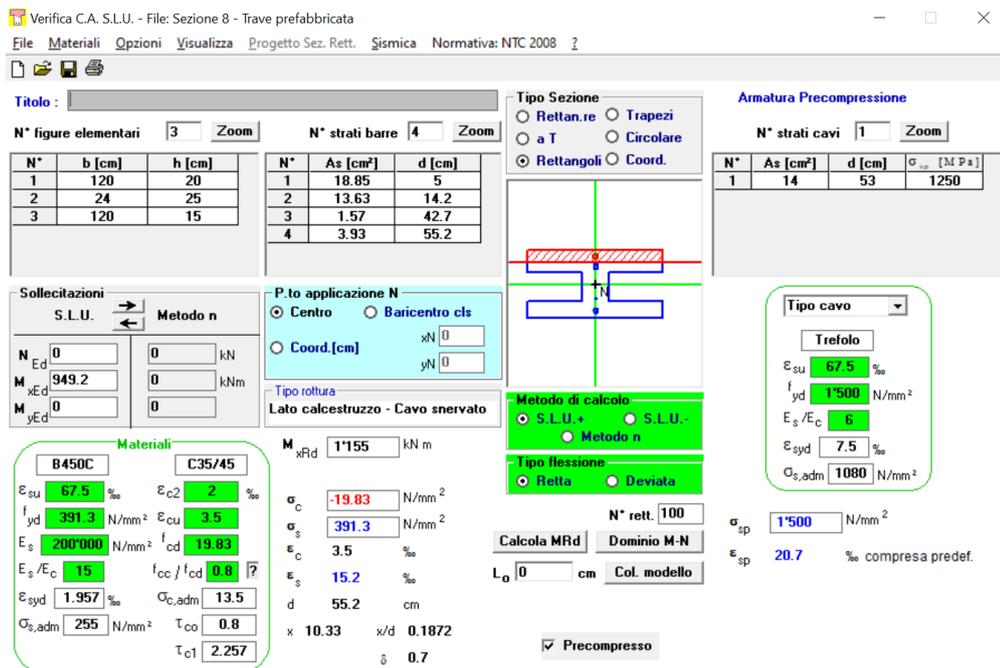


Figura 9.33: Verifica SLU-SLV a momento positivo

Nella sezione è contemplata, oltre all'armatura armonica, la presenza di una doppia rete nella cappa: quella inferiore $\Phi 16$ a maglie quadre $20 \times 20 \text{cm}$ nelle due direzioni, mentre quella superiore è una rete a maglie $20 \times 20 \text{cm}$ composta da barre $\Phi 20$ nella direzione della trave e $\Phi 16$ nella direzione ortogonale; inoltre è presente un'armatura lenta nella trave prefabbricata costituita da $2\Phi 10$ per ogni tratto verticale e $5\Phi 10$ sul tratto orizzontale (cfr tavole di progetto).

9.6.2 Momento M_y agli estremi

Sollecitazioni in fase definitiva, ovvero quando l'impalcato è solidale con il resto della struttura del tunnel.

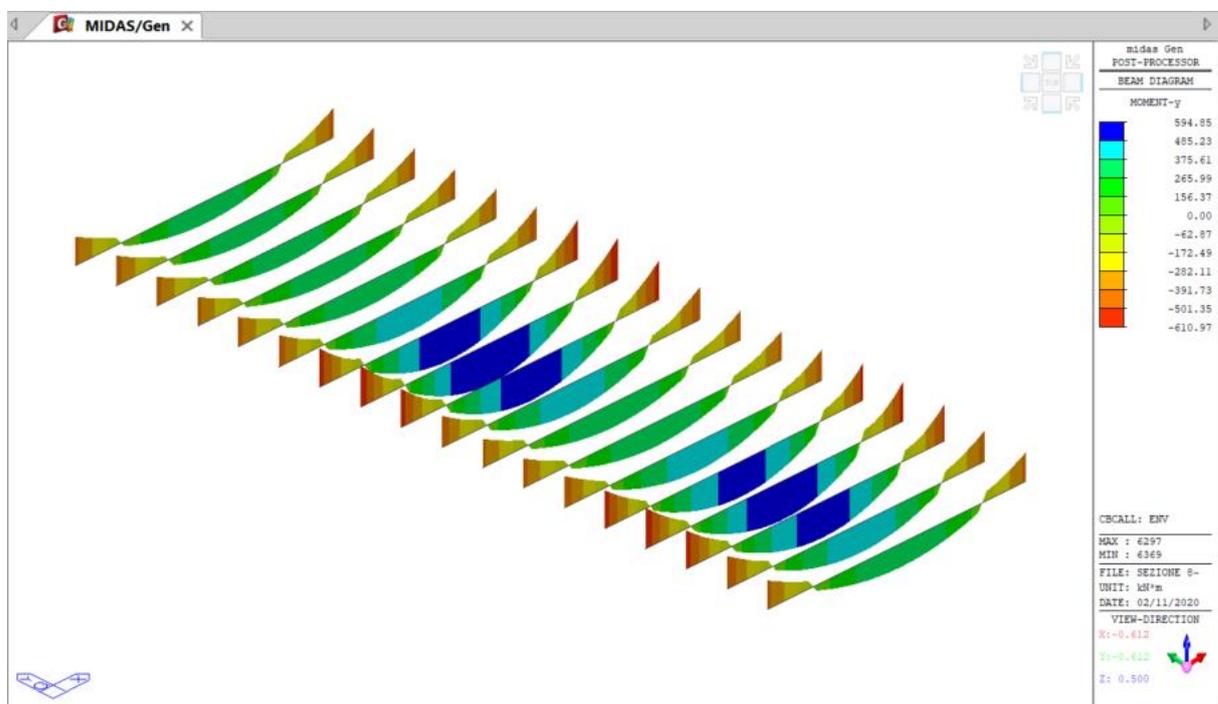


Figura 9.34: Sollecitazione M_y sull'impalcato in combinazione SLU-SLV in fase definitiva

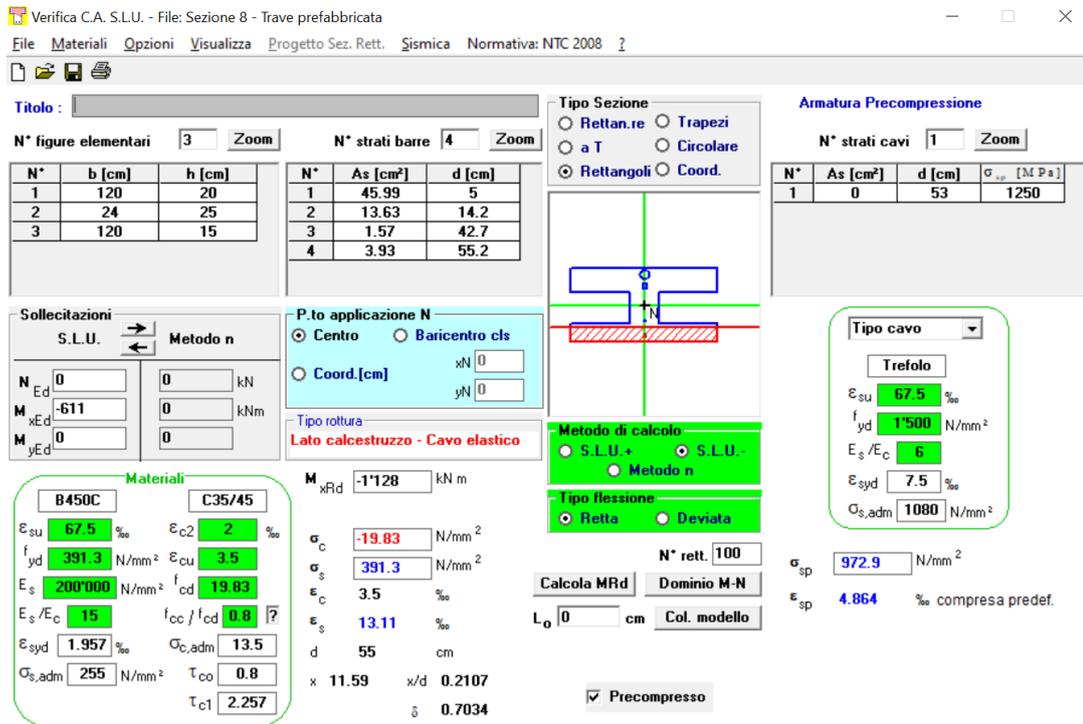


Figura 9.35: Verifica SLU-SLV a momento negativo

Agli estremi della trave si rende necessaria l'integrazione di ferri longitudinali (ovvero quelli che corrono lungo lo sviluppo della trave) con ulteriori $\Phi 24/20$ che si aggiungono pertanto ai $\Phi 20/20$ della rete superiore; tali ferri integrativi si estendono per 1.4m oltre il bordo interno del setto (cfr tavole di progetto).

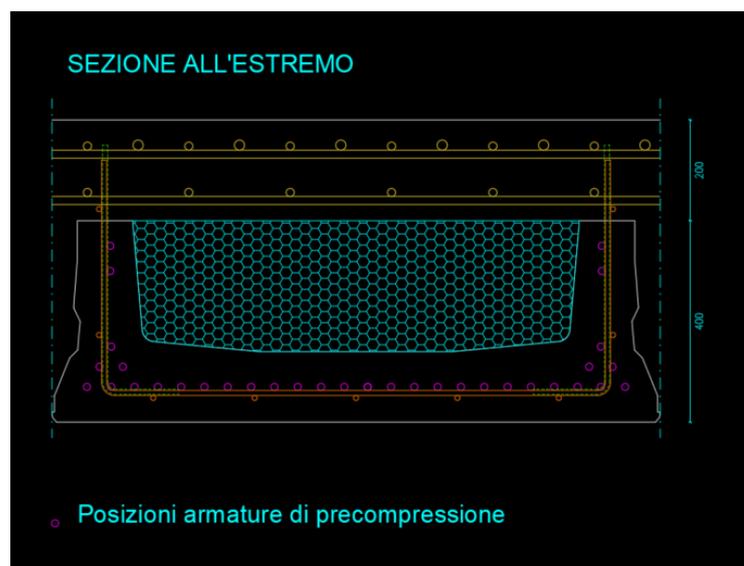


Figura 9.36: Sezione tipo all'estremo della trave di impalcato.

9.6.3 Taglio V_z agli estremi

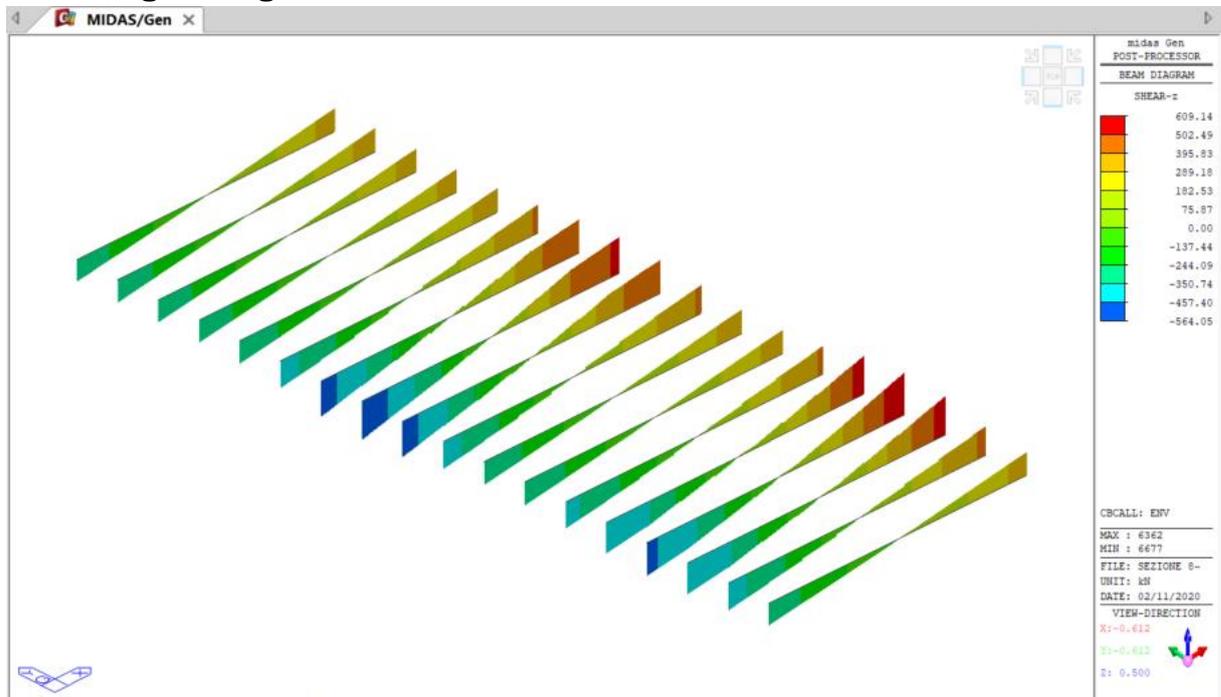


Figura 9.37: Sollecitazione V_z sull'impalcato in combinazione SLU-SLV

RESISTENZA DI ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	NO !!!
b_w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)			
24.00	60.00	5.00	55.00	45.00	450.00	0.00	609.14	
Resistenza a taglio senza armatura specifica						V_{Rd} (kN)	V_{Ed} / V_{Rd}	
$A_{SL,tot}$ (mmq)	k	v_{min} (MPa)	ρ_L	σ_{cp} (MPa)				
58.057	1.60	0.43	0.0200	0	106.94	5.70		

RESISTENZA DI ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	OK
b_w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)			
24.00	60.00	5.00	55.00	45.00	450.00	0.00	609.14	
ARMATURE A TAGLIO						V_{Rd} (kN)	V_{Ed} / V_{Rd}	
$n_{b,sw}$	Φ_{sw} (mm)	s (cm)	A_{sw} (mmq)	α (°)	θ (°)			
2	10+2f12	20.00	610.00	90.00	40.00	619.05	0.98	

Si prevedono staffe $\Phi 12/10$ a 2 bracci ad integrazione dei ferri $\Phi 10/20$ già previsti in sezione per uno sviluppo di 2.5m a partire da ogni estremità.

9.6.4 Taglio V_z in campata

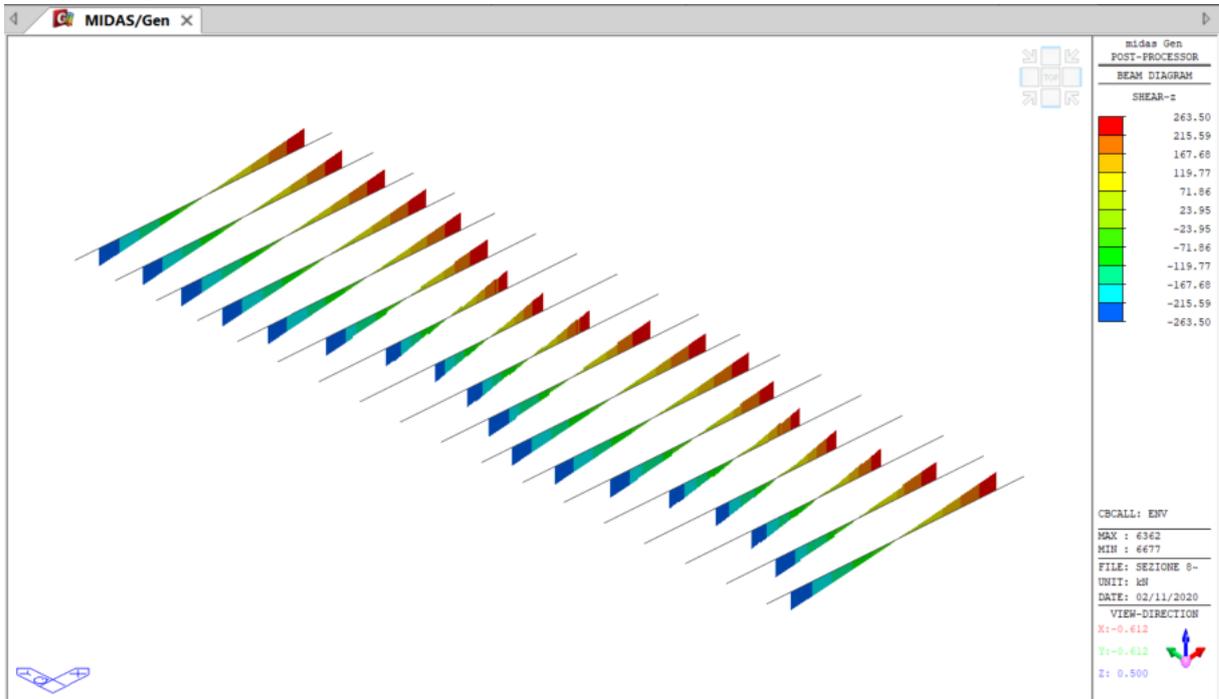


Figura 9.38: Sollecitazione V_z in campata in combinazione SLU-SLV

In questa sezione si considera lo sforzo di precompressione pari a $N_{pc} = A_s \times f_{yd} = 1400 \times 1250 = 1750 \text{ kN}$.

RESISTENZA DI ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	NO !!!
b_w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)			
24.00	60.00	5.00	55.00	45.00	450.00	1700.00	263.00	
Resistenza a taglio senza armatura specifica						V_{Rd} (kN)	V_{Ed} / V_{Rd}	
$A_{SL,tot}$ (mmq)		k	v_{min} (MPa)	ρ_L	σ_{cp} (MPa)			
30.913		1.60	0.43	0.0200	4	190.75	1.38	

RESISTENZA DI ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	OK
b_w (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)			
24.00	60.00	5.00	55.00	45.00	450.00	1700.00	263.00	
ARMATURE A TAGLIO						V_{Rd} (kN)	V_{Ed} / V_{Rd}	
$n_{b,sw}$	Φ_{sw} (mm)	s (cm)	A_{sw} (mmq)	α (°)	θ (°)			
2	10	20.00	157.08	90.00	30.00	263.49	1.00	

Si passa pertanto in campata a staffe $\Phi 10/20$ a 2 bracci.

9.7 IMPALCATO DI COPERTURA - VERIFICHE SLE

9.7.1 Verifica a fessurazione SLE FREQUENTE

9.7.1.1 Momento M_y in campata

Sollecitazioni in fase provvisoria, ovvero quando l'impalcato poggia sulla paratia di micropali.

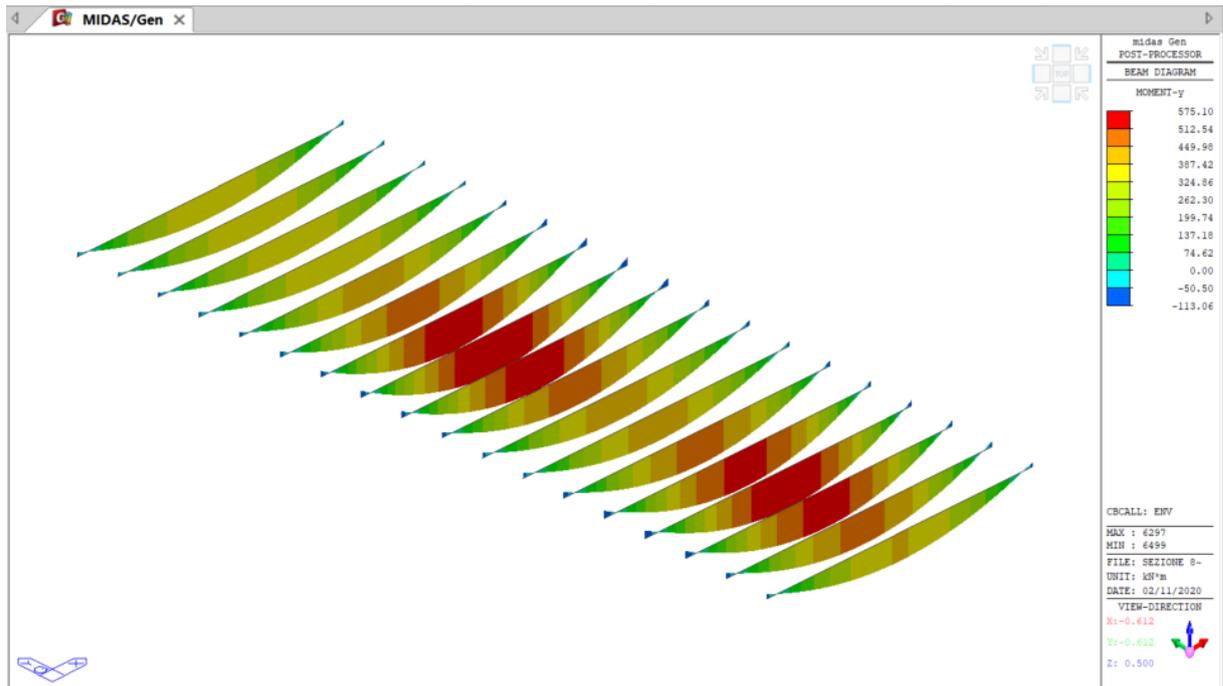
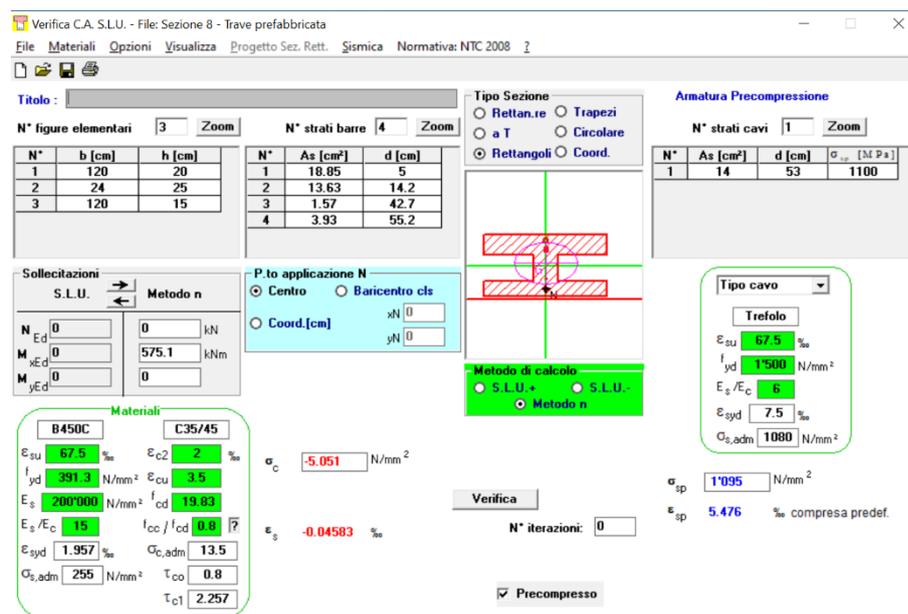


Figura 9.39: Sollecitazione M_y in campata in combinazione SLE FREQUENTE in fase provvisoria



La sezione risulta interamente compressa, motivo per cui la verifica è implicitamente soddisfatta.

9.7.1.2 Momento M_y agli estremi

Sollecitazioni in fase definitiva, ovvero quando l'impalcato è solidale con il resto della struttura del tunnel.

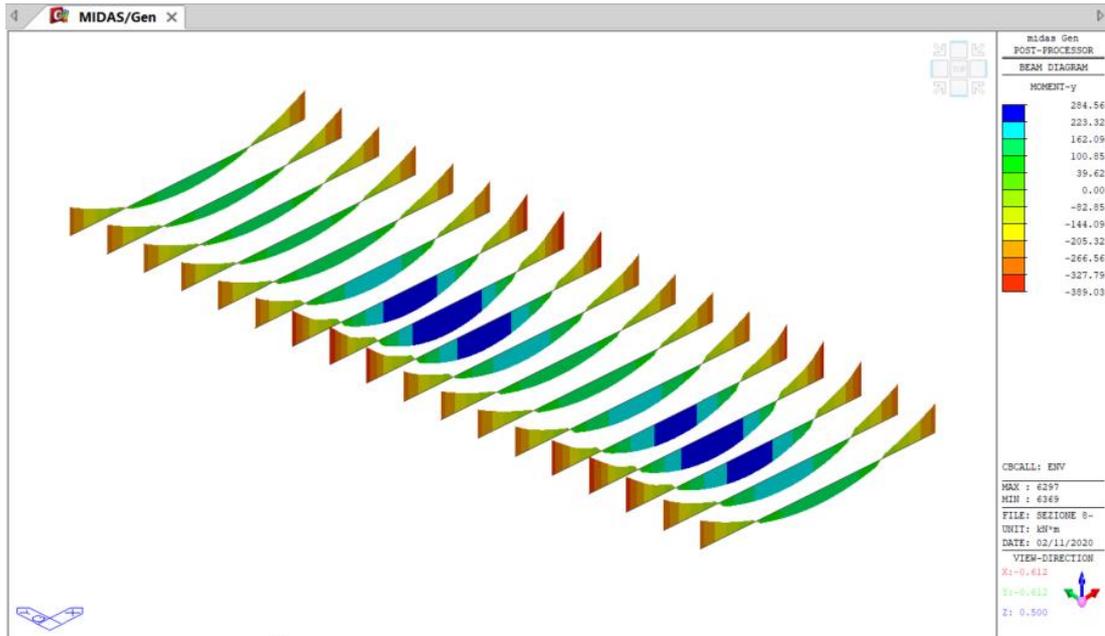


Figura 9.40: Sollecitazione M_y agli estremi in combinazione SLE FREQUENTE in fase provvisionale

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sezione 8 - Trave prefabbricata

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

Titolo: _____

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	120	20
2	24	25
3	120	15

N°	As [cm²]	d [cm]
1	45.99	5
2	13.63	14.2
3	1.57	42.7
4	3.93	55.2

Armatura Precompressione

N°	As [cm²]	d [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	0	53	1100

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 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

Verifica

N° iterazioni: 3

Precompresso

Materiali

Proprietà	B450C	C35/45
ϵ_{su}	67.5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	3.5 N/mm²
E_s/E_c	200'000 N/mm²	19.83
ϵ_{syd}	1.957 ‰	0.8
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	13.5
τ_{co}	0.8	2.257
τ_{c1}		

Tipo cavo

Trefolo

ϵ_{su} 67.5 ‰
 f_{yd} 1'500 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 7.5 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

σ_{sp} 1'073 N/mm²
 ϵ_{sp} 5.366 ‰ compressa pref.

La massima tensione sull'acciaio risulta pari a 148.4 MPa, inferiore al limite di 160 MPa valido per la verifica indiretta per barre di diametro massimo 25mm (Tabella C4.1.II della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP); la verifica risulta pertanto soddisfatta.

9.7.2 Verifica tensionale SLE RARA

Si riportano di seguito le verifiche relative ai casi più gravosi.

9.7.2.1 Momento M_y in campata

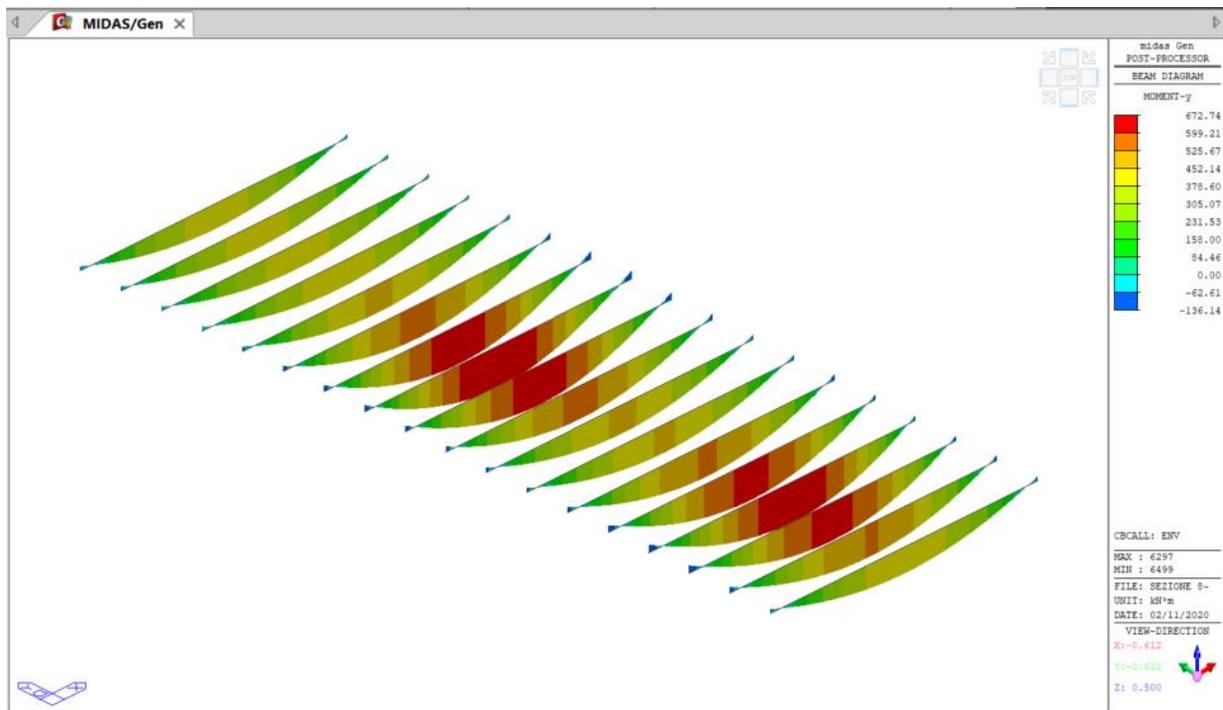
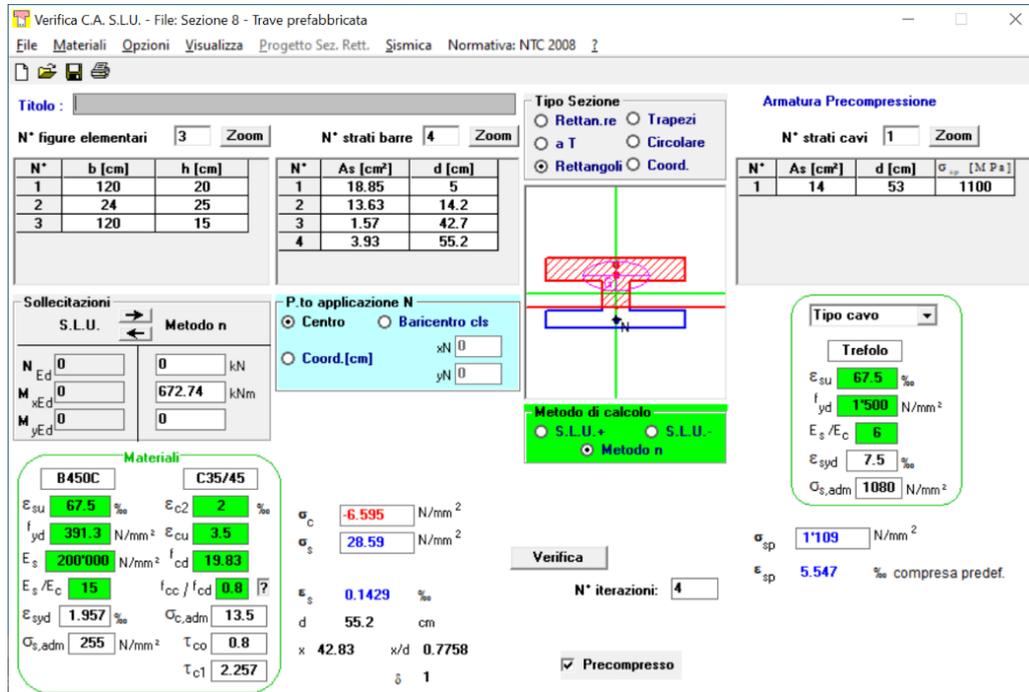


Figura 9.41: Sollecitazione M_y in campata in combinazione SLE RARA



$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 35 = 21\text{MPa} > 6.595\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360\text{MPa} > 28.59\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

9.7.2.2 Momento M_y agli estremi

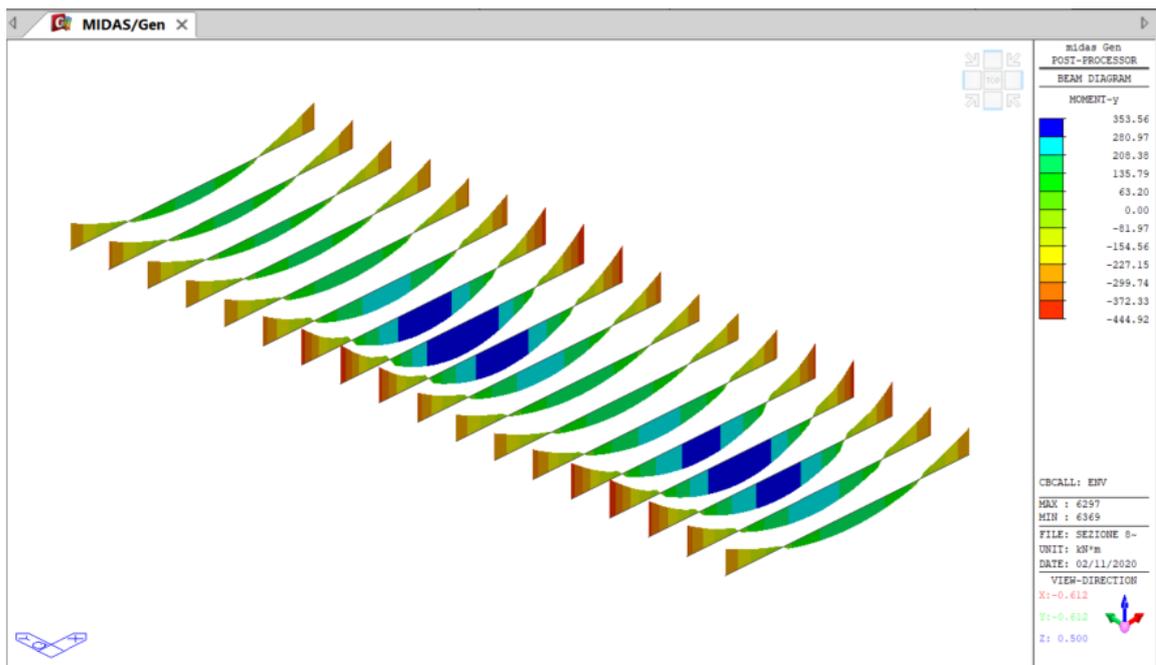


Figura 9.42: Sollecitazione M_y agli estremi in combinazione SLE RARA

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sezione 8 - Trave prefabbricata

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	120	20
2	24	25
3	120	15

N°	As [cm²]	d [cm]
1	45.99	5
2	13.63	14.2
3	1.57	42.7
4	3.93	55.2

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

Armatura Precompressione
 N° strati cavi Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	0	53	1100

Tipologia cavo:
 ϵ_{su} ‰
 f_{yd} N/mm²
 E_s/E_c
 ϵ_{syd} ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm²

Materiali:

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

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

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

Verifica
 N° iterazioni:

Precompresso

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

σ_{sp} N/mm²
 ϵ_{sp} ‰ compressa predef.

$0.60 \times f_{ck} = 0.60 \times 35 = 21\text{MPa} > 7.51\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

$0.80 \times f_{sk} = 0.80 \times 450 = 360\text{MPa} > 169.8\text{MPa} \rightarrow \text{OK!}$

9.7.3 Verifica di deformabilità

La freccia massima sotto il carico variabile (valore caratteristico) risulta pari a:

9mm – 4.9mm (dovuto ai carichi permanenti caratteristici) = **4.1mm**

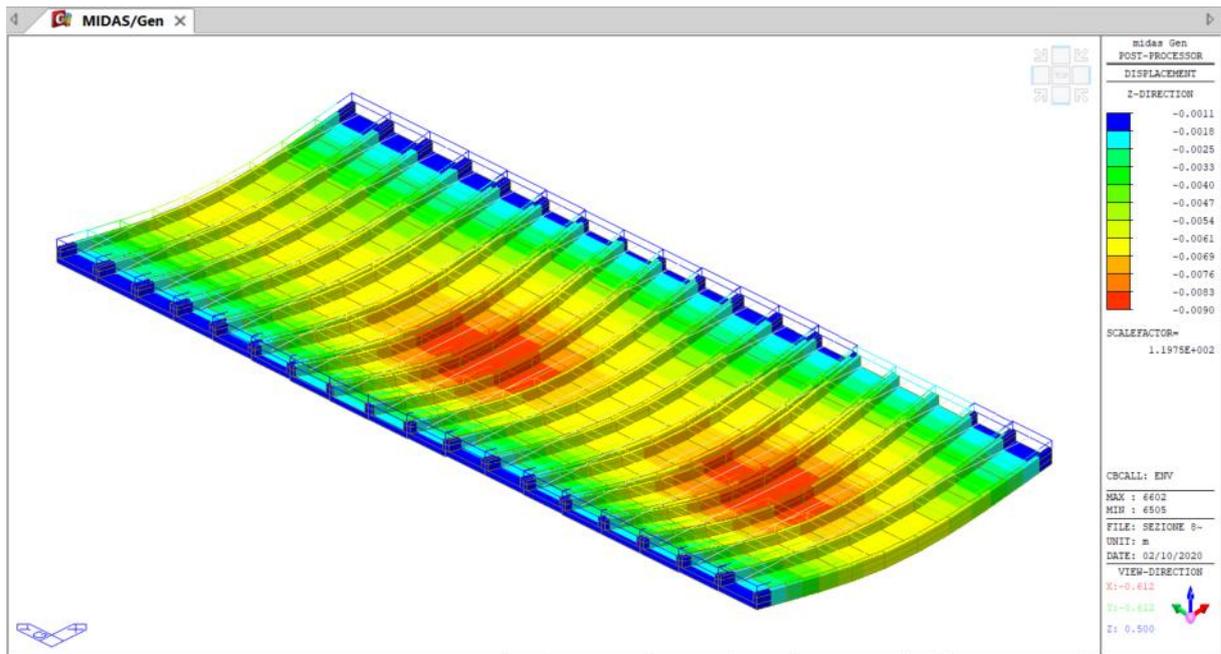


Figura 9.43: Deformata dell'impalcato.

Tale valore va confrontato con il limite di deformabilità posto pari a $L/500 = 8800/500 = 17.6\text{mm}$.

Chiaramente la verifica risulta soddisfatta.

9.8 Verifica locale sul setto per azioni da urto

Si esegue una verifica locale a punzonamento del setto per effetto dell'azione d'urto di veicoli in svio.

VERIFICA SOLETTA A PUNZONAMENTO - riferimento es. 9.4 vol.1 AICAP

Geometria soletta di studio			armatura long. sup. dir. Y (all'interno di Lz)					armatura long. sup. dir. Z (all'interno di Ly)				
Ly [mm]	Lz [mm]	s [mm]	pos.	c [mm]	n _{barre}	& [mm]	A _{sl} [mm ²]	pos.	c [mm]	n _{barre}	& [mm]	A _{sl} [mm ²]
1000	1000	600	1	50	10	16	2011	1	64	10	12	1131
			2	0	0	0	0	2	0	0	0	0
			3				0	3				

Geometria pilastro		Carichi			Eccentricità	
c ₁ [mm]	c ₂ [mm]	N _{Ed} [kN]	M _{Ed,y} [kNm]	M _{Ed,z} [kNm]	e _y [mm]	e _z [mm]
1500	250	250	0	0	0	0

c.i.s	classe	C25/30	Acciaio	B450C	
f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	f _{cd} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	f _{yd} [Mpa]
24.90	1.50	14.11	450.00	1.15	391.30

Posizione pilastro
Interno

Verifica a punzonamento lungo il contorno del pilastro (se non verifica aumentare sp. piastra o dimensioni pilastro)

d _y [mm]	d _z [mm]	d [mm]	u ₀ (=2p) [mm]	V _{Ed} [kN]	β [-]	V _{Ed} [MPa]	V _{Rd,max} [MPa]	OK
550.00	536.00	543.00	3500.00	250.00	1.00	0.132	2.822	

Verifica a punzonamento lungo il 2p di verifica a distanza 2d (se non verifica aumentare sp. piastra o mettere armatura a punzonamento)

u ₁ [mm]	V _{Ed} [kN]	C _{Rd,c} [-]	k [-]	ρ _{ly} [-]	ρ _{lz} [-]	ρ _l [-]	v _{min} [MPa]	V _{Ed} [MPa]	V _{Rd,c} [MPa]	OK
10323.54	250.00	0.12	1.61	0.0037	0.0021	0.0028	0.356	0.045	0.367	

La verifica risulta ampiamente soddisfatta.

9.9 Verifica di capacità portante terreno di fondazione

Di seguito si riporta la verifica della capacità portante realizzata con un foglio di elaborazione interno.

Si assume una pressione media pari a $q_m = 235$ kPa.

La verifica risulta ampiamente soddisfatta.

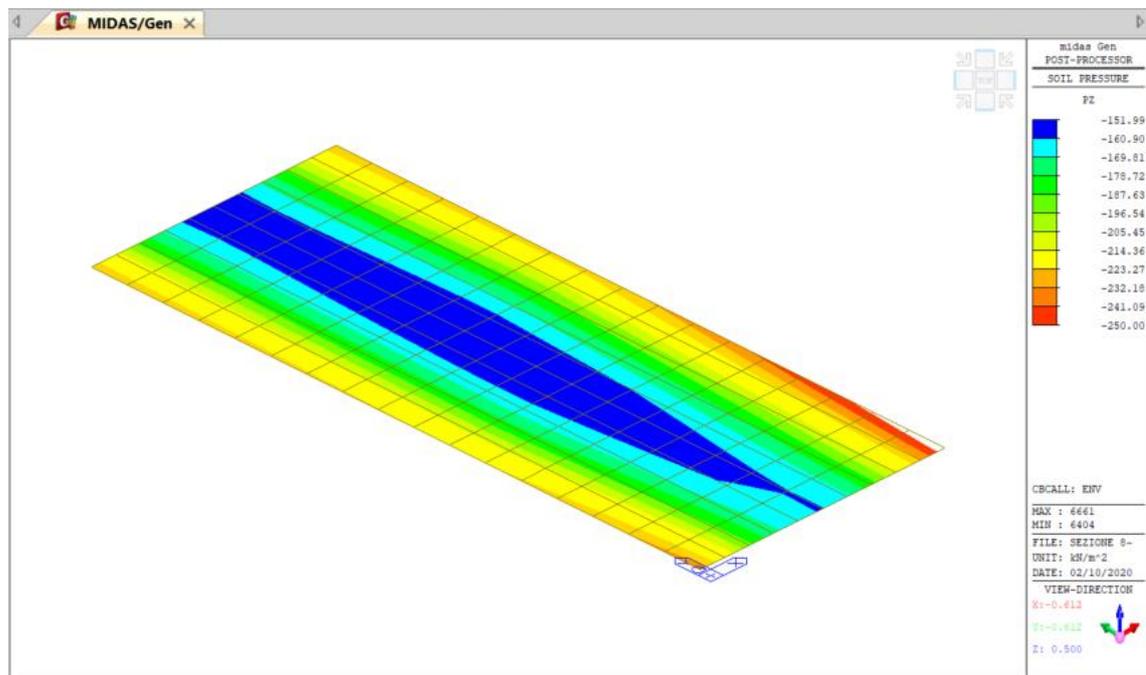


Figura 9.44: Pressioni sul terreno in combinazione SLU-SLV

GEOMETRIA ED AZIONI

DATI GEOMETRICI

• **fondazione:**

B [m] = 8.2 base
 L [m] = 20 larghezza
 H [m] = 0.7 altezza
 h [m] = 0 altezza bicchiere
 γ_{ds} [kN/m³] = 0 peso specifico materiale
 B / L = 0.410

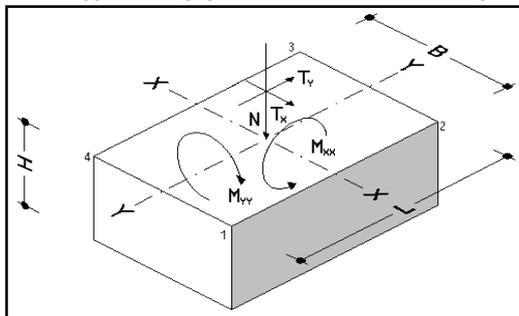
• **pilastro o muratura:**

b [m] = 0 base
 l [m] = 0 larghezza
 A [m²] = 0 area

• **caratteristiche meccaniche fondazione:**

Area fondazione [m²] = 164.00
 Volume fondazione [m³] = 114.80
 Peso fondazione [kN] = 0.00

SCHEMA DI GEOMETRIA E TERNA DI RIFERIMENTO



DATI CARICHI AGENTI

• **estradosso fondazione o bicchiere (h)**

-azioni pilastro o muratura (S.L.U.):

N [kN] = 38540
 My-y [kNm] = 0
 Mx-x [kNm] = 0
 V_x [kN] = 0
 V_y [kN] = 0

-sovraccarichi caratteristici su fondazione (compreso terreno di riporto):

$q_{k,p}$ [kN/m²] = 0 permanente
 $q_{k,v}$ [kN/m²] = 0 variabile
 -eccentricità N:
 ex-x [m] = 0
 ey-y [m] = 0

• **intradosso fondazione**

I carichi globali sono calcolati secondo la combinazione:

S.L.U. (A1)

-carichi agenti intradosso:

N [kN] = 38540
 My-y [kNm] = 0
 Mx-x [kNm] = 0
 V_x [kN] = 0
 V_y [kN] = 0

VERIFICHE STATICHE SLU- NTC2018

COMBO	COMBO	COEFF.	COMBO	COMBO	COEFF.
A1	A2		A1	A2	
1.00	1.00	Perm. Sfav. γ_{G1}	1.00	1.00	Perm. Fav. γ_{G1}
1.00	1.00	Var. Sfav. γ_{Q1}	0.00	0.00	Var. Fav. γ_{Q1}

COMB. STR: S.L.U. (A1)
 COMB. GEO: S.L.U. (A2)

GEOMETRIA FONDAZIONE RIDOTTA

Le eccentricità globali lungo i due assi risultano:

e lungo X-X [m] = 0.00 < B/6 → B/6 [m] = 1.37 → B non parzializzato!
 e lungo Y-Y [m] = 0.00 < L/6 → L/6 [m] = 3.33 → L non parzializzato!

Le dimensioni della fondazione ridotta sono:

B' [m] = 8.20
 L' [m] = 20.00 q_m [kPa] = 235.00
 A' [m²] = 164.00

AZIONE SOLLECITANTE

Azione sollecitante di progetto: **Ed [kN] = 38540**

TERRENO E CAPACITA' PORTANTE LIMITE (formulazione di Vesic)

PARAMETRI TERRENI

I parametri di progetto dei suoli sono calcolati secondo la combinazione: S.L.U. (M1)

• terreno al di sotto del piano di posa

-caratteristiche	-progetto
γ_k [kN/m ³] = 19	γ_d [kN/m ³] = 19.00
ϕ_k [°] = 38	ϕ_d [°] = 38.00
c_k [kPa] = 0	c_d [kPa] = 0.00
cu_k [kPa] = 0	cu_d [kPa] = 0.00

GEOMETRIA PIANO DI POSA E FALDA

D [m] = 10.5	profondità della fondazione rispetto al p.c.
α [°] = 0	inclinazione p.p. (+ se diretta verso l'alto)
β [°] = 0	inclinazione p.c. (+ se diretta verso il basso)
F' [m] = 50.00	profondità della falda da p.c.
F [m] = 39.50	posizione falda rispetto al p.p.
Fi [m] = 8.41	profondità di influenza della falda sulla capacità portante
$\gamma_{d,cal}$ [kN/m ³] = 19.0	peso specifico di calcolo terreno al di sotto del p.p.
q [kPa] = 199.5	pressione efficace sul p.p.

FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE

Nq = 48.93	Nc = 61.35	N γ = 78.02
------------	------------	--------------------

FATTORI CORRETTIVI

• fattore di dimensione

Il fattore r_γ (secondo Vesic 1969, De Beer 1965) è valido per fondazioni larghe (B \geq 2m) con rapporto D/B basso, caso nel quale il termine BN γ è predominante: $r_\gamma = 0.847$

• fattori di forma

Tipo fondazione: Rettangolo (B) 1

$s_q = 1.320$	$s_c = 1.327$	$s_\gamma = 0.836$
---------------	---------------	--------------------

• fattori di profondità

Coefficiente k = 0.908	$d_q = 1.210$	$d_c = 1.214$	$d_\gamma = 1.000$
------------------------	---------------	---------------	--------------------

• fattori di inclinazione del piano di posa

$\alpha_q = 1.000$	$\alpha_c = 1.000$	$\alpha_\gamma = 1.000$
--------------------	--------------------	-------------------------

• fattori di inclinazione del piano campagna

$\beta_q = 1.000$	$\beta_c = 1.000$	$\beta_\gamma = 1.000$
-------------------	-------------------	------------------------

• fattori di inclinazione del carico

Le componenti verticale e orizzontale sono: N[kN] = 38540.00 V[kN] = 0.00

δ [°] = 0.00	inclinazione rispetto la normale al piano di posa
θ [°] = 90.00	inclinazione risultante taglio (V) rispetto ad L
m = 0.000	

Tipologia di terreno:

Incoerente

$\xi_q = 1.000$	$\xi_c = 0.000$	$\xi_\gamma = 1.000$
-----------------	-----------------	----------------------

CAPACITA' PORTANTE LIMITE

La formula trinomia del carico limite è:

per $\phi \neq 0$ $q_{lim} = s_q d_q \alpha_q \beta_q \xi_q (q Nq) + s_c d_c \alpha_c \beta_c \xi_c (c Nc) + r_\gamma s_\gamma d_\gamma \alpha_\gamma \beta_\gamma \xi_\gamma (0.5 \gamma B N\gamma)$

per $\phi = 0$ $q_{lim} = s_q d_q \alpha_q \beta_q \xi_q (q Nq) + s_c d_c \alpha_c \beta_c \xi_c (c_u Nc)$

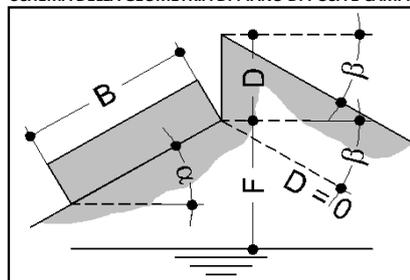
La capacità portante ultima è data dalla somma dei contributi:

• contributo del sovraccarico [kPa]:	15589.97	→	q_{lim} [kPa] = 19892.82
• contributo della coesione [kPa]:	0.00		
• contributo peso di volume [kPa]:	4302.85		
			Q_{lim} [kN] = q_{lim} · A' = 3262423.27

VERIFICHE STATICHE SLU - NTC2018

COEFF.	COMBO	COMBO
	M1	M2
γ_ϕ	1.00	1.25
γ_c	1.00	1.25
γ_{cu}	1.00	1.40
γ_γ	1.00	1.00
COMB. STR:		S.L.U. (M1)
COMB. GEO:		S.L.U. (M2)

SCHEMA DELLA GEOMETRIA DI PIANO DI POSA E CAMPAGNA



VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE

La combinazione di calcolo considerata risulta ▼

I coefficienti da applicare al valore limite di calcolo sono:

	cap. portante	scorrimento
A1+M1+R1	1.0	1.0
A2+M2+R2	1.8	1.1
A1+M1+R3	2.3	1.0

ROTTURA GENERALE

•verifica di capacità portante

Azione sollecitante di progetto:

E_d [kN]= 38540.00

Capacità portante limite:

$q_{v,lim}$ [kPa]= 19892.82

Carico limite normale di calcolo:

$Q_{v,lim}$ [kN]= 3262423.27

Carico limite normale di progetto:

$Q_{v,d}$ [kN]= 1418444.90

La verifica allo S.L.U. risulta soddisfatta se:

$$E_d \leq Q_{v,d}$$

$$38540.00 \leq 1418444.90 \quad \text{soddisfatta!}$$