



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

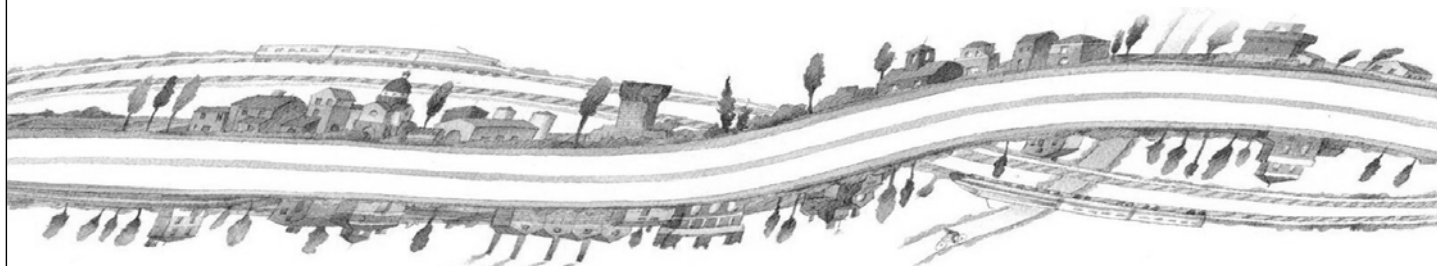
PROGETTO DEFINITIVO

**ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI
DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)
OPERE STRUTTURALI**

TIPOLOGICI PONTI E VIADOTTI

VIADOTTI IN ACCIAIO INTERCONNESSIONI:

RELAZIONE DI CALCOLO TIPO PER LA SOLETTA, PREDALLES E IRRIGIDIMENTI TRASVERSALI



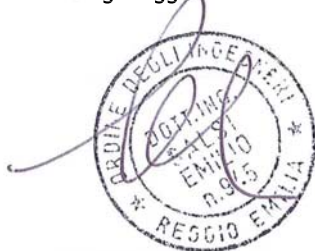
IL PROGETTISTA

Ing. Antonello Mezzalana
Albo Ing. Bologna n° 5225 A

Ing. Giancarlo Guadagnini
Albo Ing. Ravenna n° 700 A

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G					
F					
E					
D					
C					
B					
A	17.04.2012	EMISSIONE		A.Fagnocchi	G.Guadagnini E.Salsi
REV.	DATA	DESCRIZIONE		REDAZIONE	CONTROLLO APPROVAZIONE

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

NUM. Progr.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.
2328	PD	0	100	10000	0	OM	RT	01	A

DATA: MAGGIO 2012

SCALA: -

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	3
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	4
4. DATI DI BASE	5
4.1. APERTURA LIMITE FESSURE	5
5. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE	7
5.1. DIMENSIONAMENTO CONTROVENTAMENTI TRASVERSALI	7
5.1.1. Modello di calcolo, analisi dei carichi e combinazioni di carico.....	7
5.1.2. Verifiche di resistenza	19
5.1.3. Verifiche di stabilità.....	23
5.2. DIMENSIONAMENTO DELLE LASTRE PREDALLE	23
5.2.1. Premessa, analisi dei carichi e combinazioni di carico.....	23
5.2.2. Modelli di calcolo	25
5.2.3. Risultati di calcolo.....	30
5.2.4. Verifiche	32
5.3. DIMENSIONAMENTO SOLETTA D'IMPALCATO	36
5.3.1. Valutazioni preliminari in merito agli effetti delle coazioni.....	37
5.3.2. Analisi dei carichi.....	38
5.3.3. Combinazioni di carico	43
5.3.4. Risultati delle analisi e verifiche di resistenza.....	43
5.3.5. Verifiche di deformabilità	57

1. PREMESSA

La presente relazione è redatta per il dimensionamento delle seguenti opere:

- Soletta in calcestruzzo facente parte dell'impalcato dei ponti metallici;
- Lastre predalles con funzione di cassero durante le fasi di getto della soletta;
- Controventi trasversali (traversi) degli impalcati a cassone metallico e trave rompitratta.

Considerando che il livello di progettazione in esame (progetto definitivo) è mirato principalmente alla definizione delle scelte tipologiche e delle quantità in gioco, il calcolo è eseguito definendo un'unica geometria di calcolo per la sezione trasversale; si ritiene che i risultati dei calcoli che seguono possano essere adeguatamente rappresentativi anche per sezioni trasversali di diversa geometria quali si possano riscontrare nell'ambito delle opere d'arte in progetto.

La definizione dei carichi di progetto e delle relative combinazioni, nonché l'illustrazione dei criteri di calcolo e delle modellazioni adottate sono dettagliatamente descritte nei singoli paragrafi relativi a ciascuna opera esaminata.

2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Si veda in proposito l'elaborato "PD_0_0000_0000_0_GE_KT_01".

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si veda in proposito gli elaborati "PD_0_0000_0000_0_GE_TB_01" e "PD_0_0000_0000_0_GE_KT_02".

Si precisa inoltre che si sono assunti i seguenti valori per la resistenza caratteristica a snervamento e di calcolo dell'acciaio da carpenteria.

ACCIAIO DA CARPENTERIA "CORTEN" S355J0W (ex 510C) e S355K2G1W (ex 510D)		
Spessore elemento	f_{yk} (MPa)	f_{yd} (MPa)
$t \leq 40$ mm	355.0	338.1
$t > 40$ mm	335.0	319.0

4. DATI DI BASE

4.1. APERTURA LIMITE FESSURE

Con riferimento a quanto descritto al paragrafo 3 viene determinata per ogni tipologia di getto in conglomerato cementizio armato la classe di esposizione: ciò, ai sensi della Tab. 4.1.III delle NTC08, qualifica automaticamente la "Condizione ambientale".

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

Nella tabella seguente sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle condizioni ambientale e al tipo di armatura.

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

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

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

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

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto tabellare proposto al punto C4.1.2.2.4, cioè limitando la tensione di trazione agente nelle barre in acciaio calcolata in ipotesi classica di sezione parzializzata (metodo "n") secondo la combinazione di calcolo pertinente (a seconda dell'aggressività

dell'ambiente) in funzione del diametro massimo delle barre e dell'interasse tra le barre stesse. Qualora la tensione risultasse inferiore a 160.0 MPa la verifica a fessurazione si considera automaticamente soddisfatta.

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	-

Al fine di garantire una maggior attendibilità alla verifica in oggetto, si è proceduto anche alla verifica secondo il metodo diretto riportato nella stessa C.M. 617 del 2009.

5. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

5.1. DIMENSIONAMENTO CONTROVENTAMENTI TRASVERSALI

5.1.1. Modello di calcolo, analisi dei carichi e combinazioni di carico

Il traverso è modellato con elementi tipo frames ed è costituito dalle seguenti aste:

- Porzione di soletta superiore $b = 3500$ mm, $h = 350$ mm (essendo 3.50 m l'interasse tra due traversi consecutivi);
- Aste di parete diagonali ognuna delle quali costituite da 2 profili L 120x12 accoppiati;
- Correnti di parete orizzontali (inferiore e superiore) ognuno dei quali costituito da 2 profili L 120x12 accoppiati;
- Nervature d'anima verticali costituite da un piatto di sezione 465x20 e dalle relative porzioni d'anima delle travi principali considerabili come collaboranti con la nervatura (larghezza d'anima collaborante su ciascun lato della nervatura: $15 \cdot \epsilon \cdot t_a = 15 \cdot 0.81 \cdot 20 \text{ mm} = 243 \text{ mm}$, approssimata a 240mm);
- Nervatura della flangia inferiore costituita da un piatto 900x20 e dalle relative porzioni di flangia del cassone considerabili come collaboranti (larghezza collaborante da ciascun lato della nervatura: $15 \cdot \epsilon \cdot t_a = 15 \cdot 0.81 \cdot 35 \text{ mm} = 425 \text{ mm}$).

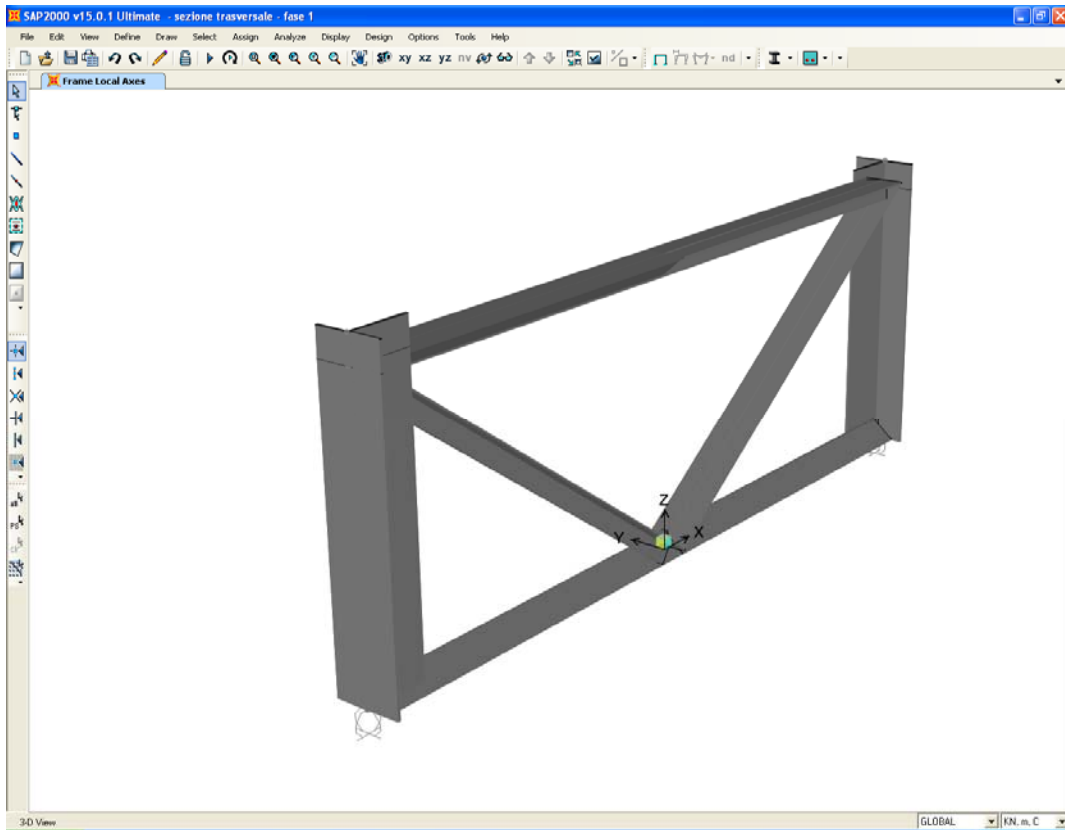
Il sistema di vincolamento esterno è costituito da una cerniera ed un carrello; in tal modo si trascurano i modesti effetti conseguenti alle rigidità traslazionali dei vincoli effettivi (isolatori frizionali).

Al fine di tenere correttamente in conto delle diverse fasi costruttive di seguito descritte si sono implementati due modelli:

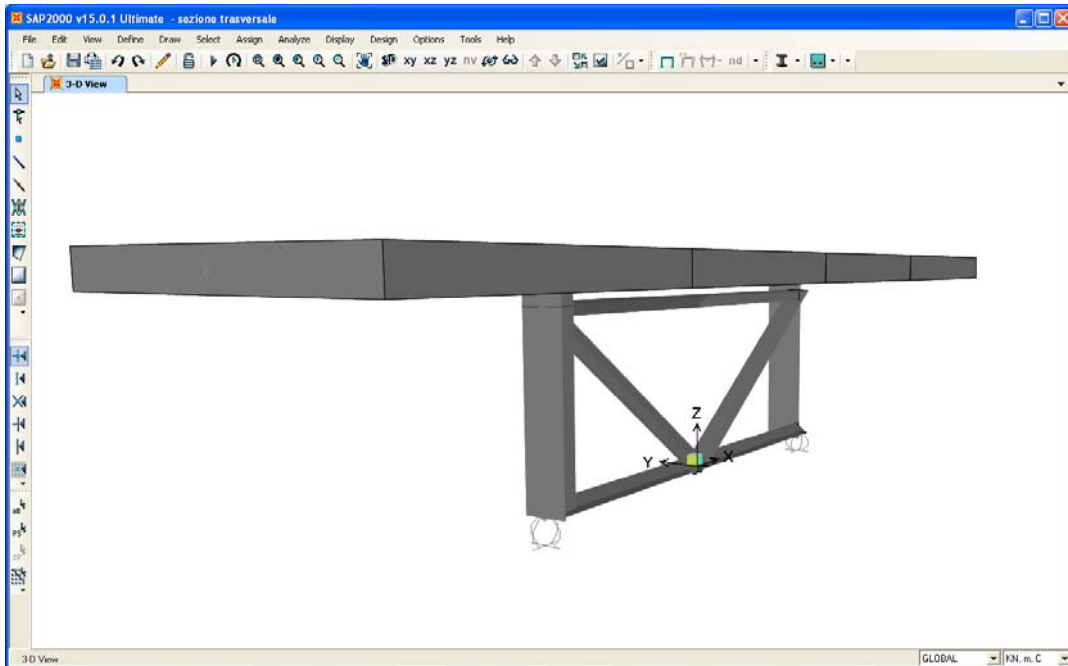
1 - Fase 1 - Montaggio delle lastre predalle ed esecuzione della soletta con caricamento della sola parte metallica (anche il peso della struttura metallica è attivo in questa prima fase).

2 - Fase 2 - Applicazione dei rimanenti carichi di esercizio una volta completata la struttura dell'impalcato (soletta maturata).

Le figure che seguono riportano la vista solida dei modelli di calcolo e le geometrie delle sezioni delle aste.



Modello di fase 1



Modello di fase 2

Tee Section

Section Name: Anima 1

Section Notes: Modify/Show Notes...

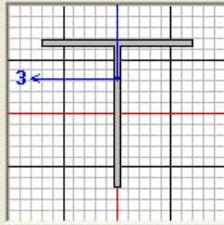
Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + A992Fy50

Dimensions:

Outside stem (t3)	0.485
Outside flange (t2)	0.5
Flange thickness (tf)	0.02
Stem thickness (tw)	0.02



Display Color: ■

OK Cancel

Double Angle Section

Section Name: 2L120x12/20/

Section Notes: Modify/Show Notes...

Extract Data from Section Property File

Open File... c:\programmi\computers and structures\sap2000 Import...

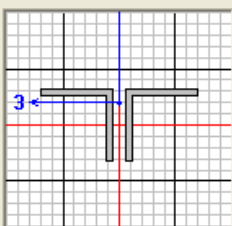
Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + A992Fy50

Dimensions:

Outside depth (t3)	0.12
Outside width (t2)	0.26
Horizontal leg thickness (tf)	0.012
Vertical leg thickness (tw)	0.012
Back to back distance (dis)	0.02



Display Color: ■

OK Cancel

I carichi in gioco sono i seguenti:

Fase 1

- Peso proprio della struttura metallica (calcolato automaticamente dal programma);
- Peso proprio delle lastre predalle e del getto della soletta, assegnato per area di influenza ai nodi della struttura metallica (si assume per il cls il peso del calcestruzzo fresco pari a 26kN/mc che per semplicità e cautelativamente si applica anche alla lastra predalle per un carico complessivo di 9.1kPa); per quanto riguarda le zone di marciapiede (larghezza 2.00 m) si considera uno spessore medio della soletta pari a 59 cm (50 cm di getto + 9 cm di predalle) per un carico complessivo di 15.34 kPa.

Fase 2

- Sovraccarichi permanenti costituiti dal peso di guardrail (1.0 kN/m), parapetti (0.75 kN/m), velette (1.5 kN/m), pavimentazione stradale (3 kPa);
- Coazioni: ΔT_{estiva} , $\Delta T_{invernale}$, ritiro;
- Carichi mobili.

Considerando che l'oggetto del calcolo è il dimensionamento delle parti metalliche e non della soletta (calcolata con altra modellazione), non è necessaria una particolare precisione nella modellazione dei carichi mobili. Per tale motivo si è operato facendo riferimento allo schema di carico n.1 di norma, schematizzando ogni colonna di carico come carico lineare distribuito applicato su una porzione di soletta di larghezza pari a 3 m (larghezza di corsia). Nel seguito il dettaglio di calcolo dei carichi lineari distribuiti equivalenti:

Pozione di soletta carrabile (9.00 m):

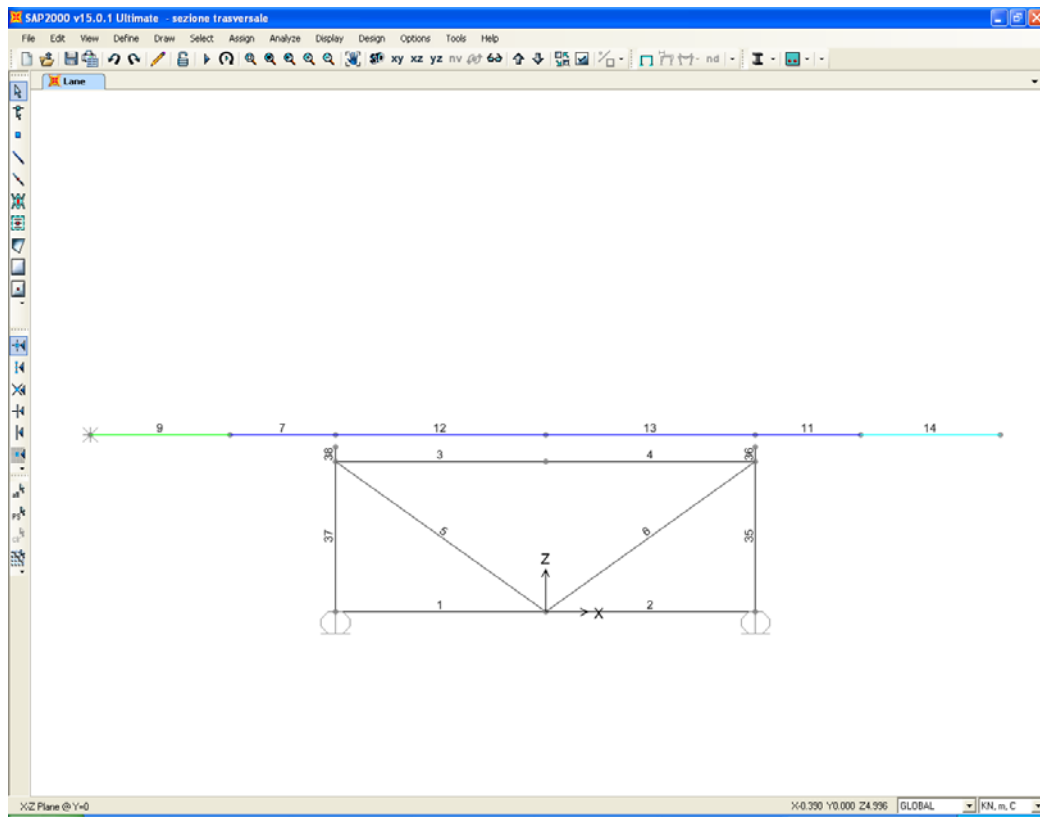
- Corsia 1: $Q=600\text{kN}$, $q=9\text{kPa}$ --> $p=600\text{kN}/3\text{m}+9\text{kN}/\text{mq}\times 3.5\text{m}=232\text{kN}/\text{m}$
- Corsia 2: $Q=400\text{kN}$, $q=2.5\text{kPa}$ --> $p=400\text{kN}/3\text{m}+2.5\text{kN}/\text{mq}\times 3.5\text{m}=142\text{kN}/\text{m}$
- Corsia 3: $Q=200\text{kN}$, $q=2.5\text{kPa}$ --> $p=200\text{kN}/3\text{m}+2.5\text{kN}/\text{mq}\times 3.5\text{m}=75\text{kN}/\text{m}$

Marciapiedi (2.00 m + 2.00 m):

- Area rimanente: $q=2.5\text{kPa}$ --> $p=2.5\text{kN}/\text{mq}\times 3.5\text{m}=9\text{kN}/\text{m}$

I carichi lineari equivalenti sopra descritti sono stati applicati al modello come carichi "viaggianti" ("moving load") applicati ad una "lane" rappresentata dalla sequenza di elementi frames costituenti la soletta. In tal modo, il programma di calcolo svolge le necessarie analisi delle linee di influenza al fine di individuare, di volta in volta, per ogni singola sollecitazione e movimento, le configurazioni di carico maggiormente gravose.


La figura che segue illustra le distribuzioni di carico mobile implementate nel modello.



Paths assegnate per la definizione dei carichi viaggianti

Vehicle Data

Vehicle name: Corsia 1 Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	3.		232.	0.
Fixed Length	3.		232.	0.


Add Insert Modify Delete

Vehicle Remains Fully In Path

OK Cancel

Vehicle Data

Vehicle name: Corsia 2 Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	3.		142.	0.
Fixed Length	3.		142.	0.


Add Insert Modify Delete

Vehicle Remains Fully In Path

OK Cancel

Vehicle Data

Vehicle name: Corsia 3 Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	3		75	0
Fixed Length	3		75	0


Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Remains Fully In Path

Buttons: OK, Cancel

Vehicle Data

Vehicle name: Rimanente Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	2		5	0
Fixed Length	2		5	0

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Remains Fully In Path

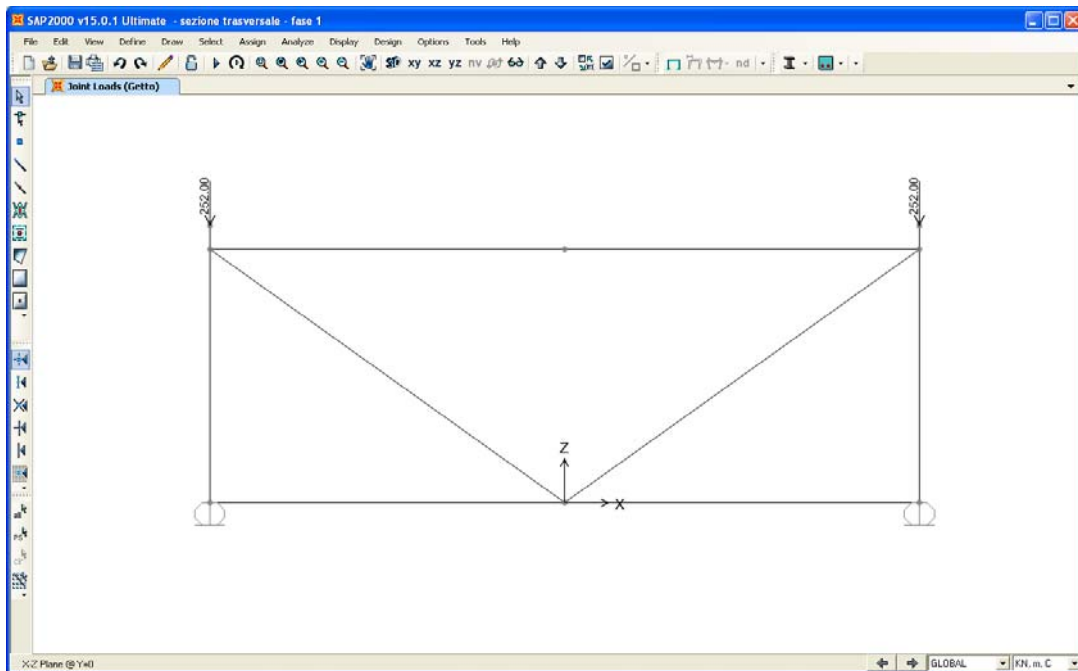
Buttons: OK, Cancel

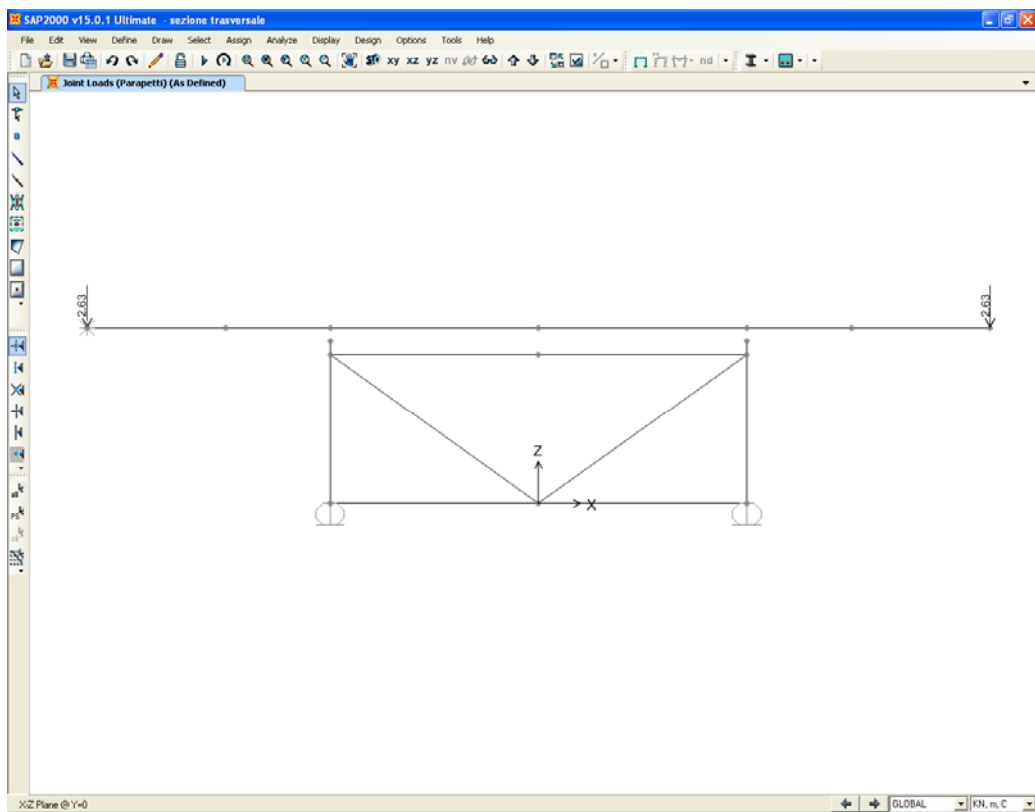
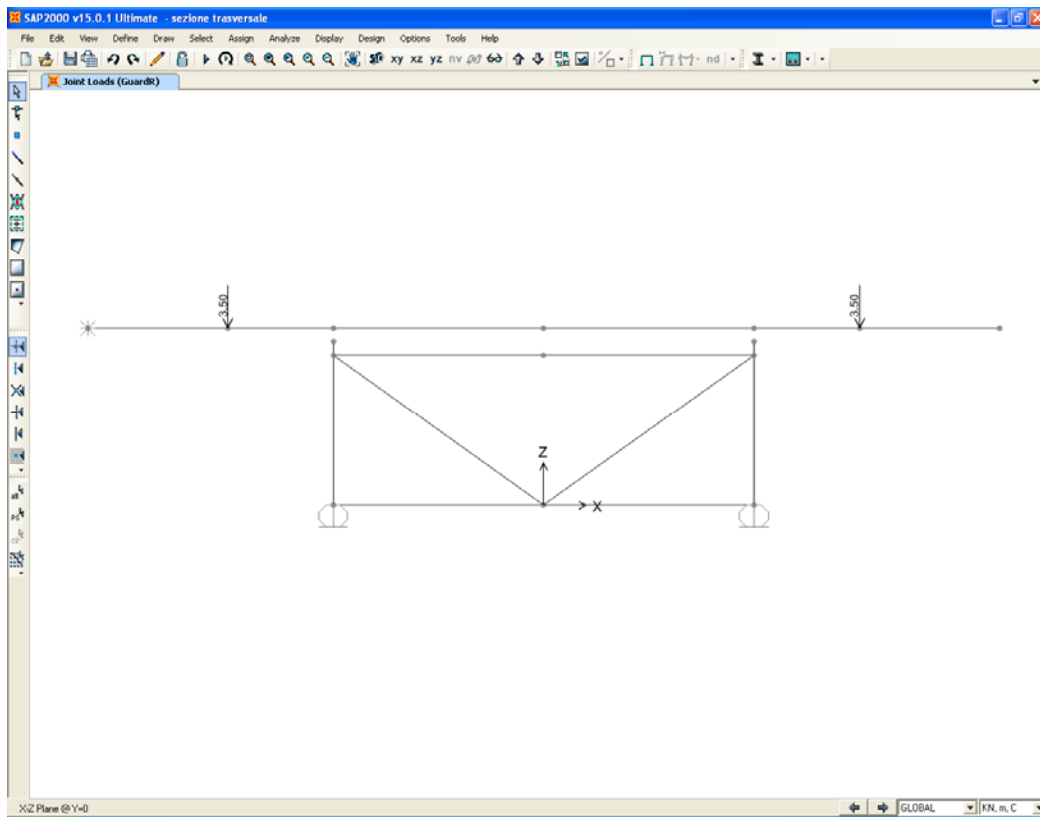
La variazione termica estiva da assegnare alla sezione trasversale prevede una distribuzione di temperatura cautelativamente variabile in altezza dai +30°C del corrente inferiore fino ai + 72°C in asse soletta; per semplicità si è operato assegnando agli elementi intermedi del controvento (anime ed aste di parete) una temperatura media di 51°C.

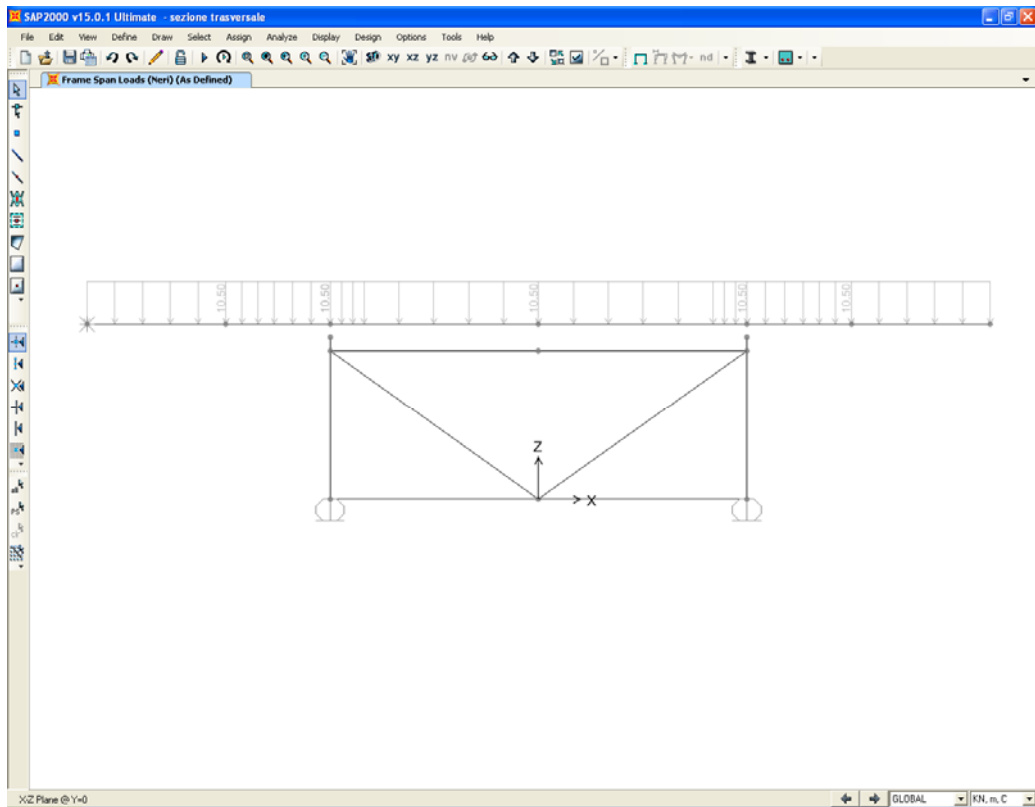
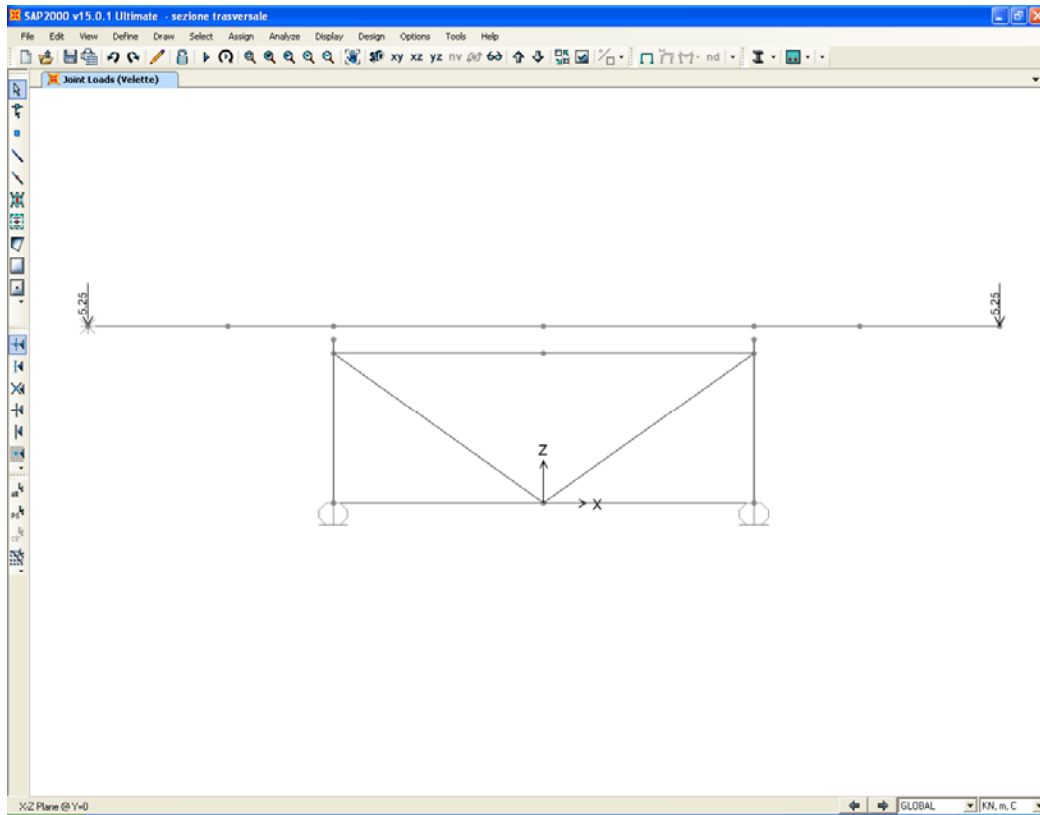
La variazione termica invernale è costituita da una variazione termica uniforme di -30°C.

Il ritiro è applicato alla soletta sotto forma di variazione termica negativa equivalente di intensità pari a 6°C.

La figura che segue illustra l'applicazione delle condizioni elementari di carico ai modelli e le combinazioni di carico di progetto adottate.







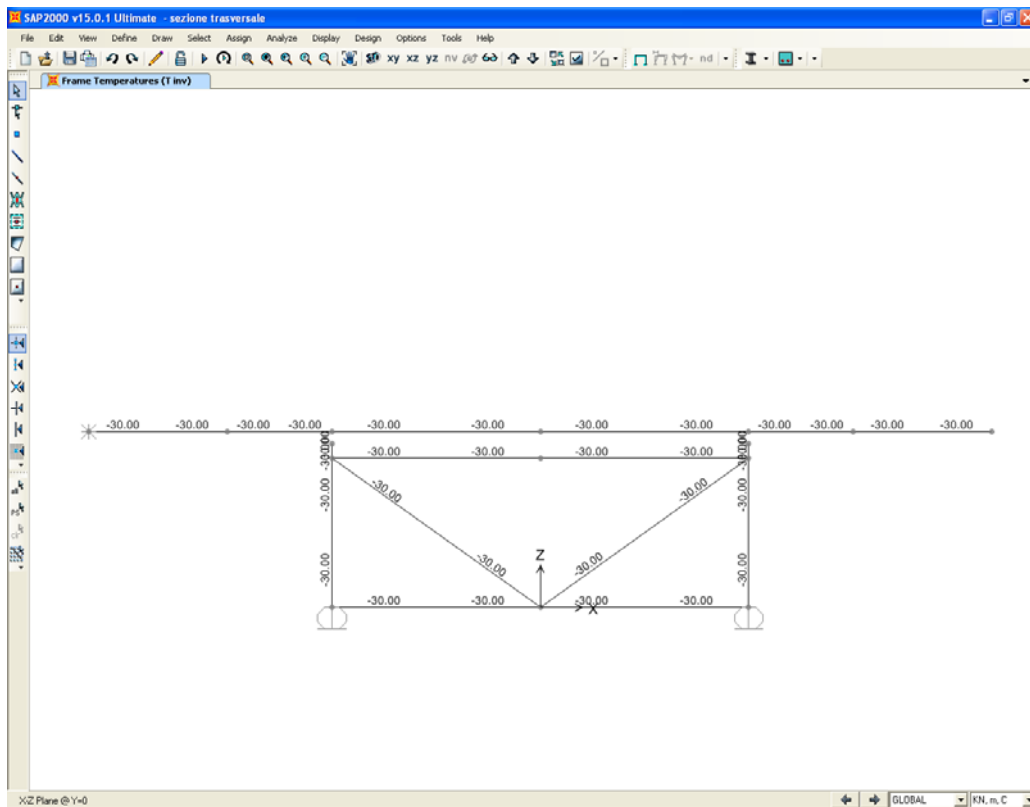
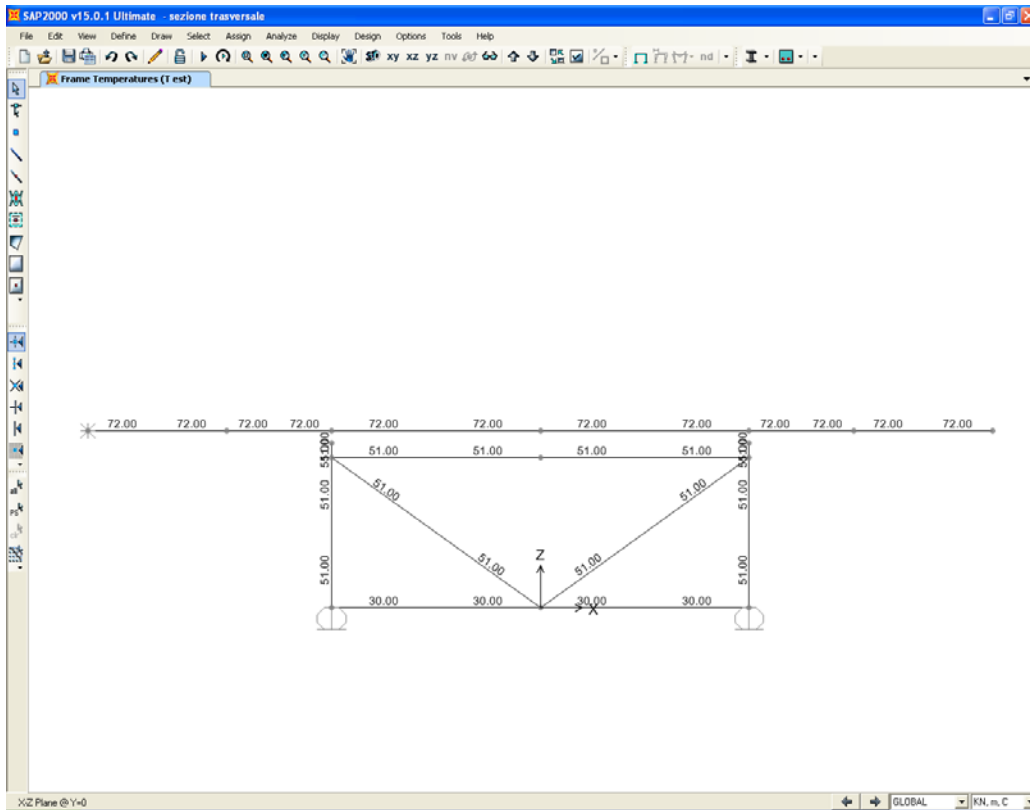


TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
SLU1	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU1			Moving Load	Moving	1.35
SLU1			Linear Static	T est	0
SLU1			Linear Static	T inv	0
SLU2	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU2			Moving Load	Moving	1.35
SLU2			Linear Static	T est	0.72
SLU2			Linear Static	T inv	0
SLU3	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU3			Moving Load	Moving	1.35
SLU3			Linear Static	T est	0
SLU3			Linear Static	T inv	0.72
SLU4	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU4			Moving Load	Moving	1.35
SLU4			Linear Static	T est	0
SLU4			Linear Static	T inv	0
SLU5	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU5			Moving Load	Moving	1.35
SLU5			Linear Static	T est	0.72
SLU5			Linear Static	T inv	0
SLU6	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU6			Moving Load	Moving	1.35
SLU6			Linear Static	T est	0
SLU6			Linear Static	T inv	0.72
SLU7	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU7			Moving Load	Moving	1.01
SLU7			Linear Static	T est	1.2
SLU7			Linear Static	T inv	0
SLU8	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU8			Moving Load	Moving	1.01
SLU8			Linear Static	T est	0
SLU8			Linear Static	T inv	1.2
SLU9	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU9			Moving Load	Moving	1.01
SLU9			Linear Static	T est	1.2
SLU9			Linear Static	T inv	0
SLU10	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU10			Moving Load	Moving	1.01
SLU10			Linear Static	T est	0
SLU10			Linear Static	T inv	1.2
SLU11	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU11			Moving Load	Moving	0
SLU11			Linear Static	T est	1.2
SLU11			Linear Static	T inv	0
SLU12	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1.35
SLU12			Moving Load	Moving	0
SLU12			Linear Static	T est	0
SLU12			Linear Static	T inv	1.2
SLU13	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU13			Moving Load	Moving	0
SLU13			Linear Static	T est	1.2
SLU13			Linear Static	T inv	0
SLU14	Linear Add	No	Response Combo	PERMANENTI	1
SLU14			Moving Load	Moving	0
SLU14			Linear Static	T est	0
SLU14			Linear Static	T inv	1.2

5.1.2. Verifiche di resistenza

Le tensioni normali di calcolo per ogni singolo elemento strutturale metallico sono ricavate, sulla base delle proprietà inerziali delle sezioni trasversali, a partire dagli involucri di sollecitazione di calcolo ottenuti dai modelli strutturali. Il calcolo delle sollecitazioni complessive dovute alla somma delle due fasi ed il calcolo delle conseguenti tensioni sono stati eseguiti con fogli excel appositamente predisposti.

Le proprietà inerziali adottate per le sezioni trasversali dei singoli elementi strutturali sono di seguito elencate:

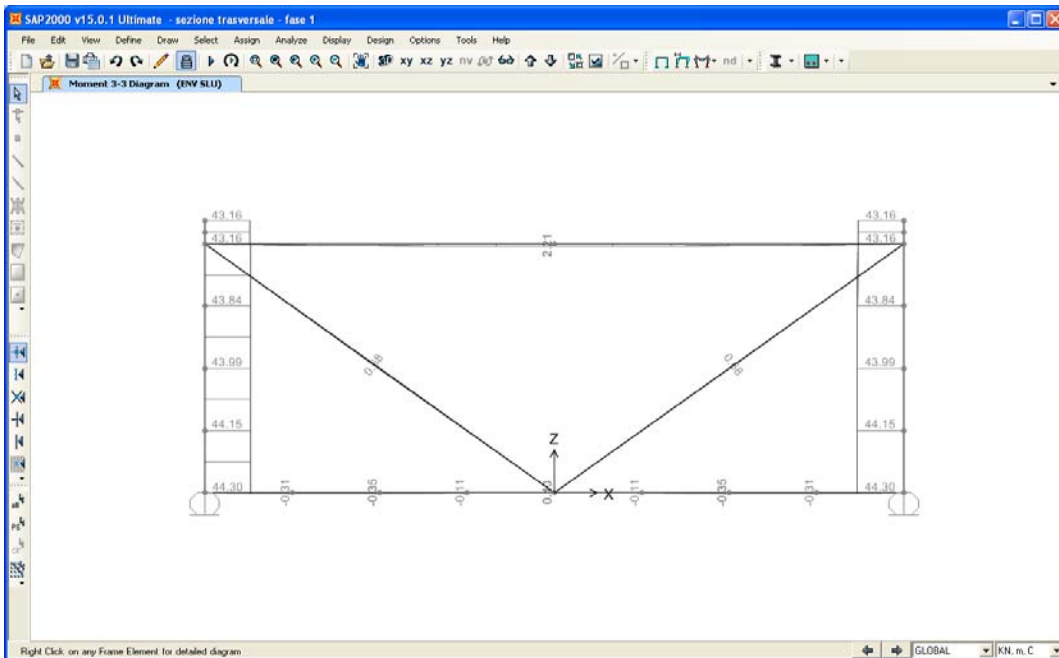
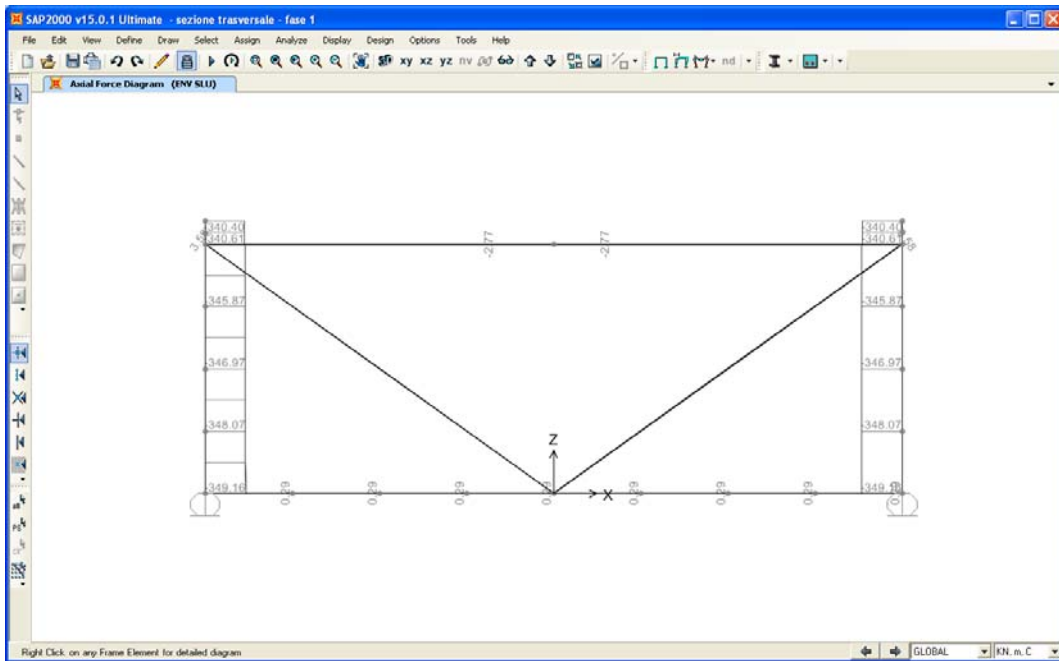
- Nervature verticali d'anima: $W = 0.00126 \text{ mc}$; $A = 0.0193 \text{ mq}$
- Corrente inferiore/Aste diagonali/Corrente superiore: $W = 0.0000855 \text{ mc}$; $A = 0.00551 \text{ mq}$

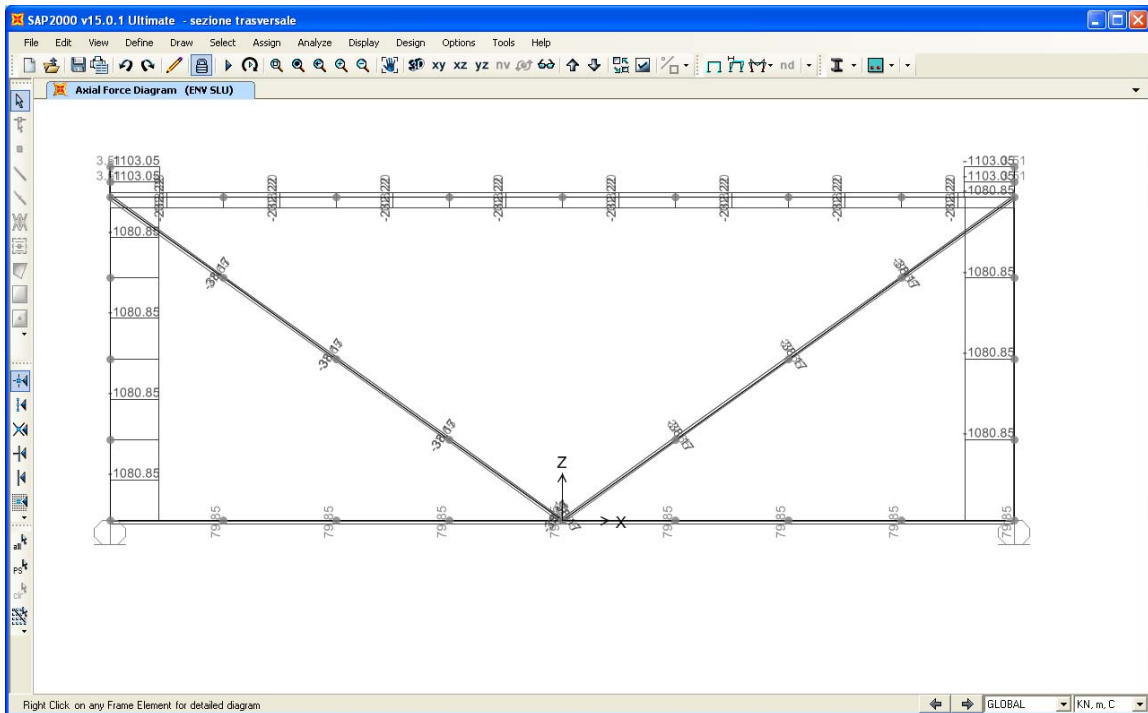
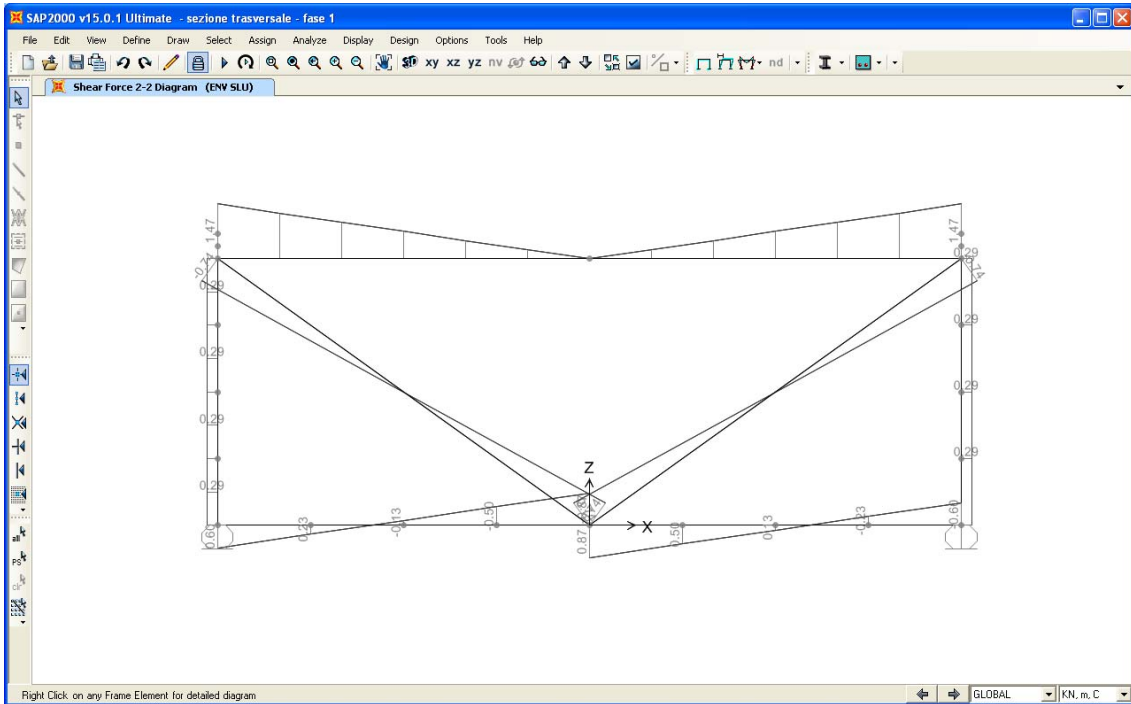
Le figure che seguono illustrano le sollecitazioni di involucro ottenute dai due modelli di calcolo.

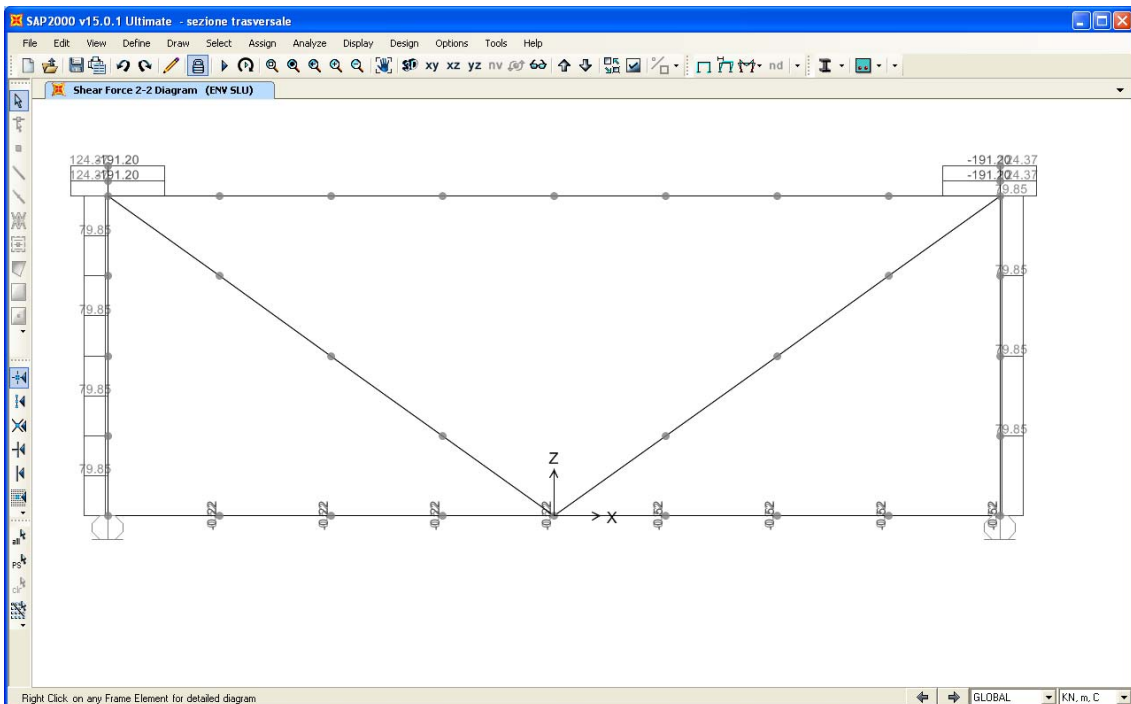
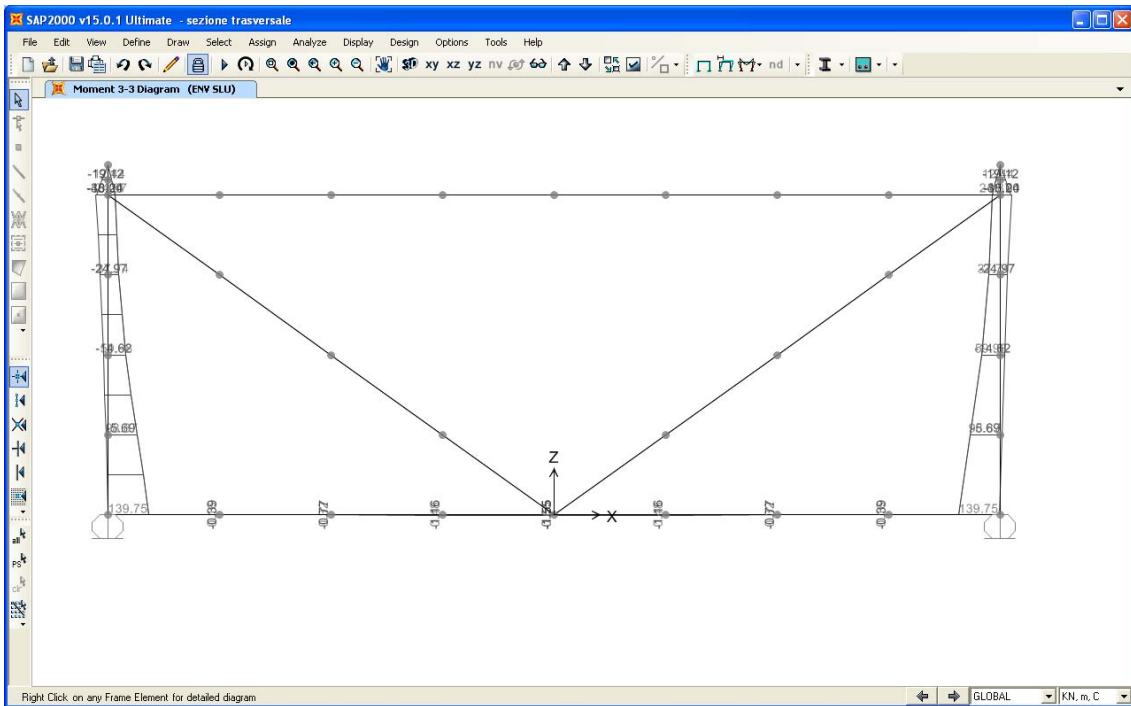
La tabella che segue riassume i valori massimi di tensione normale valutati per i singoli elementi strutturali.

Le tensioni di calcolo sono inferiori alla resistenza di progetto $f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$.

	smax
Nervature d'anima	220
Corrente inferiore	28
Aste diagonali	17
Corrente superiore	80
	MPa







Considerati i modesti valori delle tensioni normali si ritengono superflue ulteriori valutazioni in merito alle tensioni ideali di calcolo.

5.1.3. Verifiche di stabilità

La verifica di stabilità delle aste composte da elementi ravvicinati collegati con imbottiture si esegue come per un'asta semplice (L_0) qualora la distanza tra le imbottiture sia inferiore ad un' opportuna quantità prevista dalle norme. Si ritiene che tale distanza minima sia rispettata e pertanto la verifica è svolta come per un'asta semplice.

Gli sforzi di compressione massimi che caratterizzano le aste compresse sono:

- Aste diagonali: $P = 35\text{kN}$
- Traverso superiore: $P = 270\text{ kN}$

La verifica di stabilità è eseguita per il solo traverso superiore.

Asta traverso (2 L 120x12//20)

$$L_0 = 6000\text{ mm}$$

$$A = 5508\text{ mm}^2$$

$$i_{\min} = 36.54\text{ mm} \quad (L_0/i_{\min} = 164)$$

$$N_{cr} = 423\text{ kN}$$

$$\alpha = 0.49$$

$$f_{yk} = 355\text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{m1} = 1.1$$

$$N_{b,Rd} = 308\text{ kN} > 270\text{ kN}$$

L'asta è verificata a compressione.

5.2. DIMENSIONAMENTO DELLE LASTRE PREDALLE

5.2.1. Premessa, analisi dei carichi e combinazioni di carico

La soletta di impalcato esaminata presenta una sezione trasversale caratterizzata da 1 campate centrale ($L = 6.00\text{ m}$) e due sbalzi terminali ($L = 3.50\text{ m}$) per una larghezza complessiva di 13.00 m .

Le lastre predalle sono verificate per la fase di getto della soletta. Dal punto di vista esecutivo, per ovviare a problemi di dimensionamento degli sbalzi, si prevede di effettuare un getto suddiviso in due fasi:

- Fase 1 – Getto della campata centrale e delle sola porzione di sbalzo adiacente alle piattabande della trave metallica per una larghezza di 1.50 m (misurata da asse anima trave metallica);
- Fase 2 – A getto di prima fase indurito, montaggio della veletta di bordo e getto della rimanente porzione di sbalzo (larghezza 2.00m).

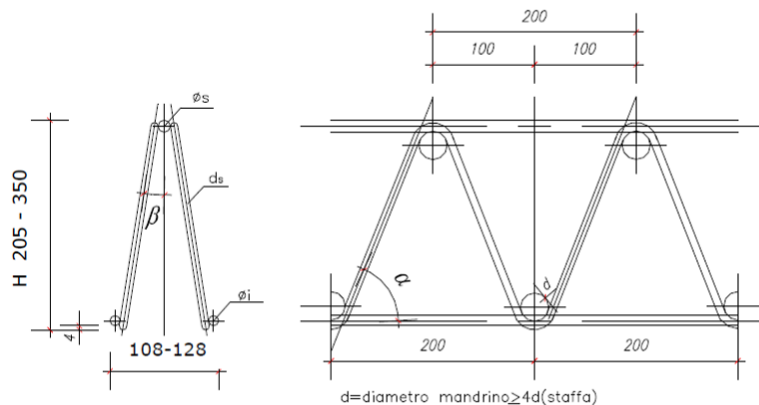
Per le lastre predalle si prevedono moduli da 240 cm di spessore 9 cm, armati con 6 tralicci, ognuno di essi costituito da due ferri longitudinali inferiori $\phi_i = 20\text{mm}$ ed uno superiore $\phi_s = 20\text{mm}$ e da una doppia staffatura continua $d_s = 10\text{mm}/200$ (vedi schema di seguito riportato). Per il singolo traliccio si prevede un'altezza complessiva di 223mm.

In corrispondenza degli appoggi costituiti dalle piattabande superiori del cassone metallico (dove il momento negativo è alto), si prevede continuità dei tralicci a cavallo delle piattabande stesse.

Le caratteristiche geometriche assunte per il traliccio sono le seguenti:

- $h =$ interasse verticale $\phi_s - \phi_i = 200 \text{ mm}$;
- $\alpha = 63^\circ$;
- $\beta = 6^\circ$.

VISTA TRALICCIO



Considerando un singolo pannello di larghezza 2.40m, i carichi in gioco (valori caratteristici) sono di seguito riassunti:

- $p_L =$ peso lastra ($\gamma = 25\text{kN/mc}$) = 5.40 kN/m;
- $p_{g1} =$ peso getto, tipico ($\gamma = 26\text{kN/mc}$, spessore 26 cm) = 16.22 kN/m;

- pg_2 = peso getto, marciapiedi ($\gamma=26\text{kN/mc}$, spessore medio 50 cm) = 31.20 kN/m;
- p_v = sovraccarico di costruzione (1.50kN/mq) = 3.60 kN/m;
- F = Peso pannello chiusura di bordo = 2.50 kN.

I carichi per le due fasi di costruttive sono fattorizzati secondo le seguenti combinazioni:

- Fase 1 SLU – $1.35p_l + 1.35pg_1 + 1.50p_v$;
- Fase 2 SLU – $1.35pg_2 + 1.35F + 1.50p_v$.

La freccia residua all'estremità dello sbalzo è calcolata con riferimento ai seguenti carichi:

- $p_l + pg_1$ [fase 1] (+) $pg_2 + F$ [fase 2].

5.2.2. Modelli di calcolo

Sono da prevedersi due schemi di calcolo, uno per la fase 1 ed uno per la fase 2. La lastra predalle è modellata assegnando ai corrispondenti elementi frames un momento d'inerzia che tiene conto del contributo offerto dall'armatura metallica ($J_{id} = 57773 \text{ cm}^4$, vedi figura seguente).

Nel modello di fase 2, la porzione di soletta gettata in fase 1 (e pertanto già indurita) è modellata assegnando ai corrispondenti elementi frames la sezione della soletta definitiva ($h=35 \text{ cm}$).

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

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

Titolo: **Predalle**

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	240	9	1	18.85	-15.5
			2	37.7	4.5

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

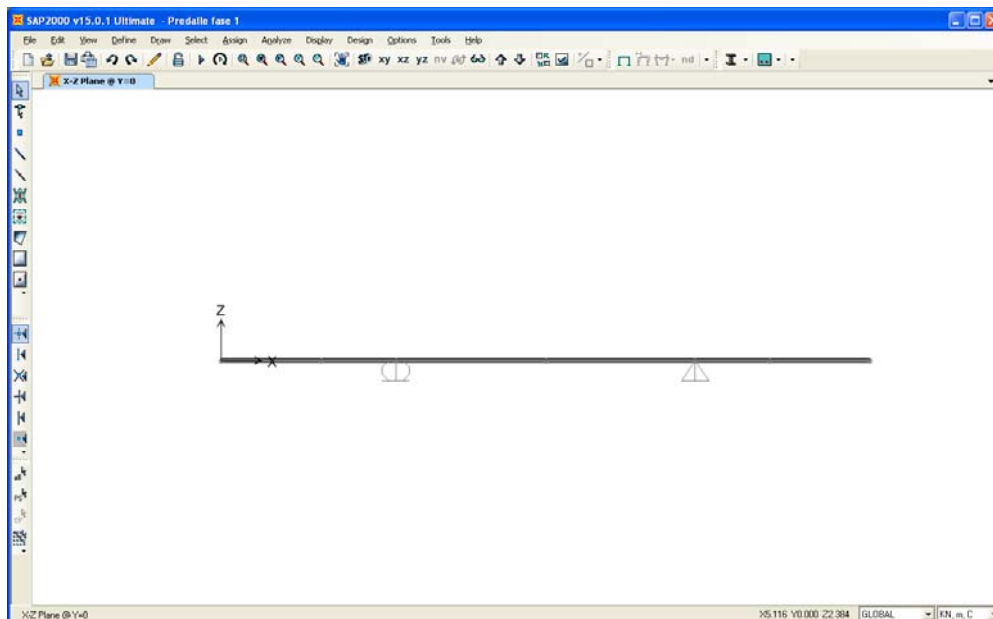
P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

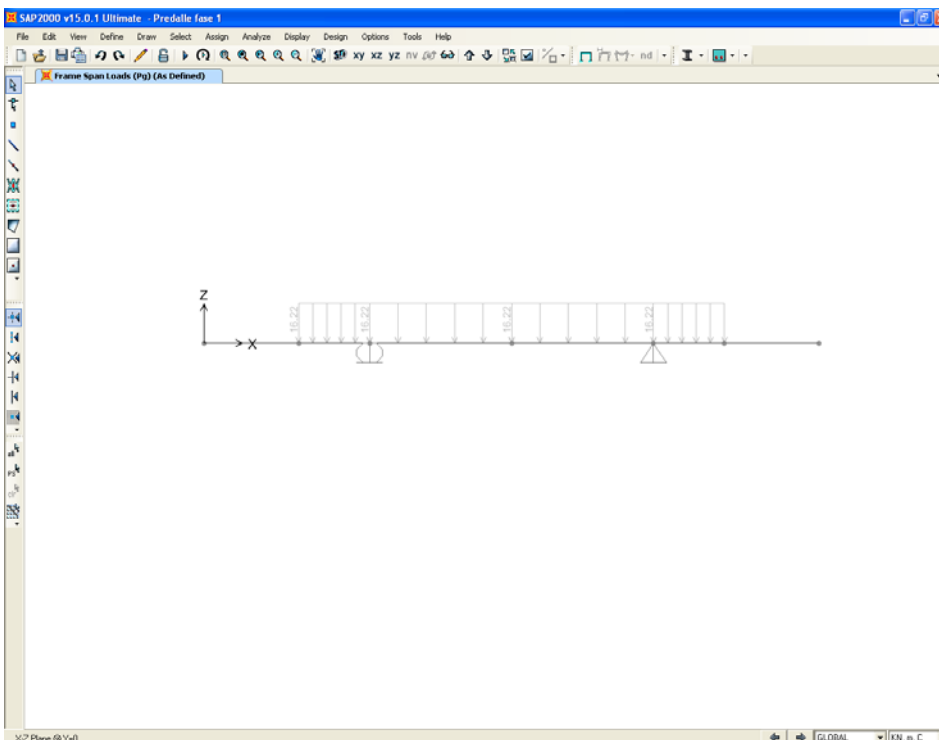
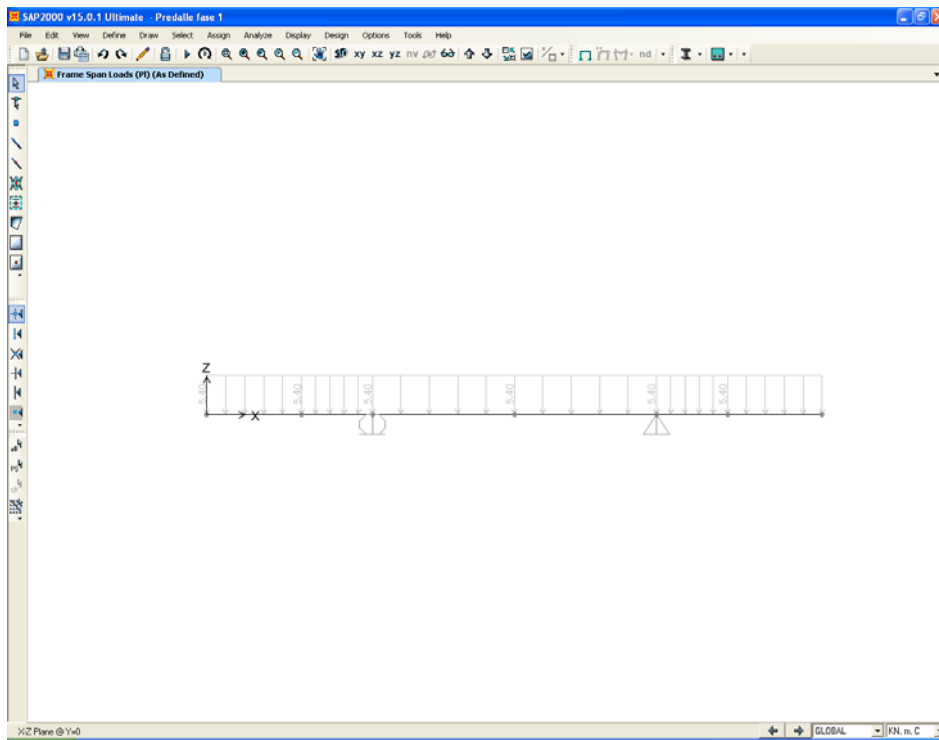
Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

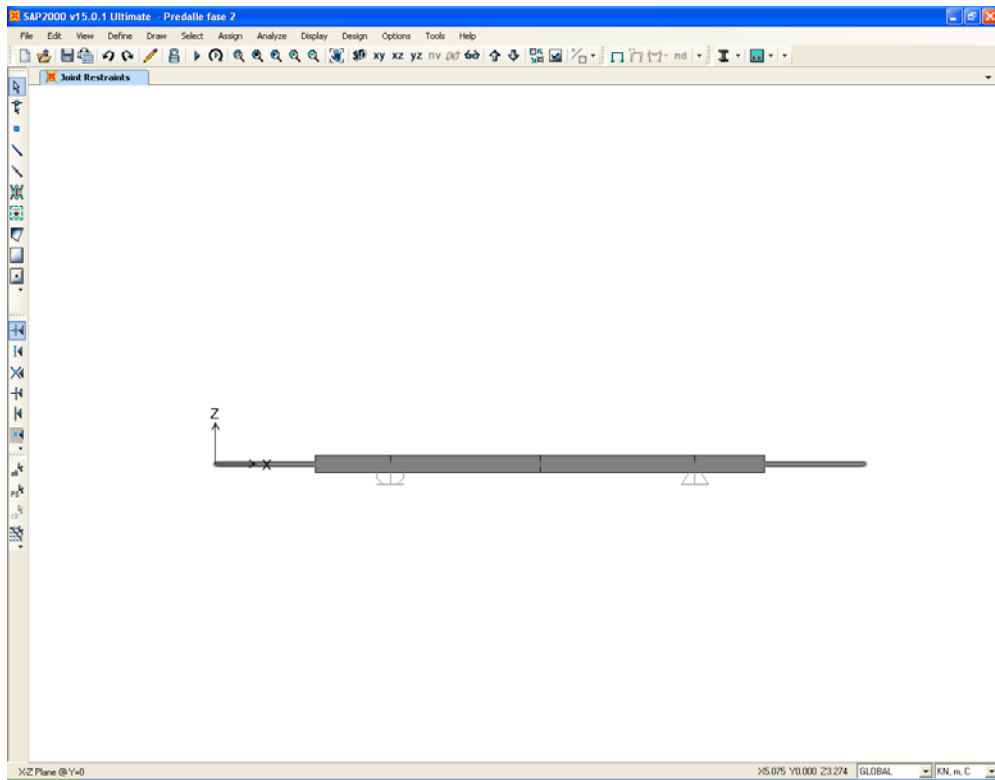
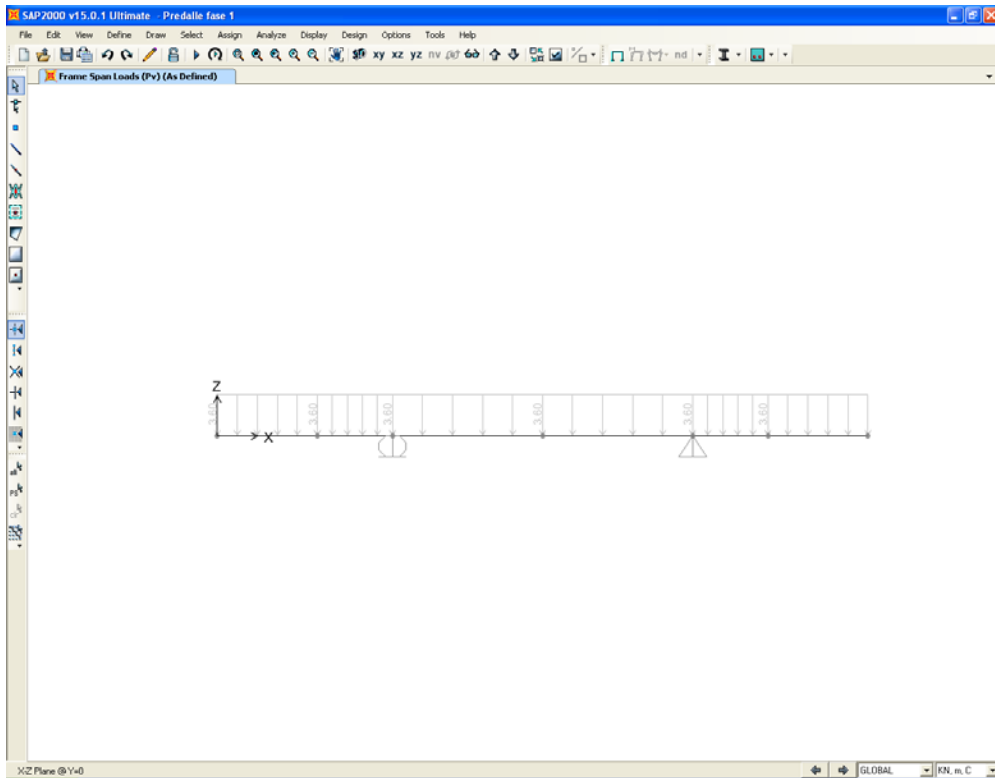
Materiali

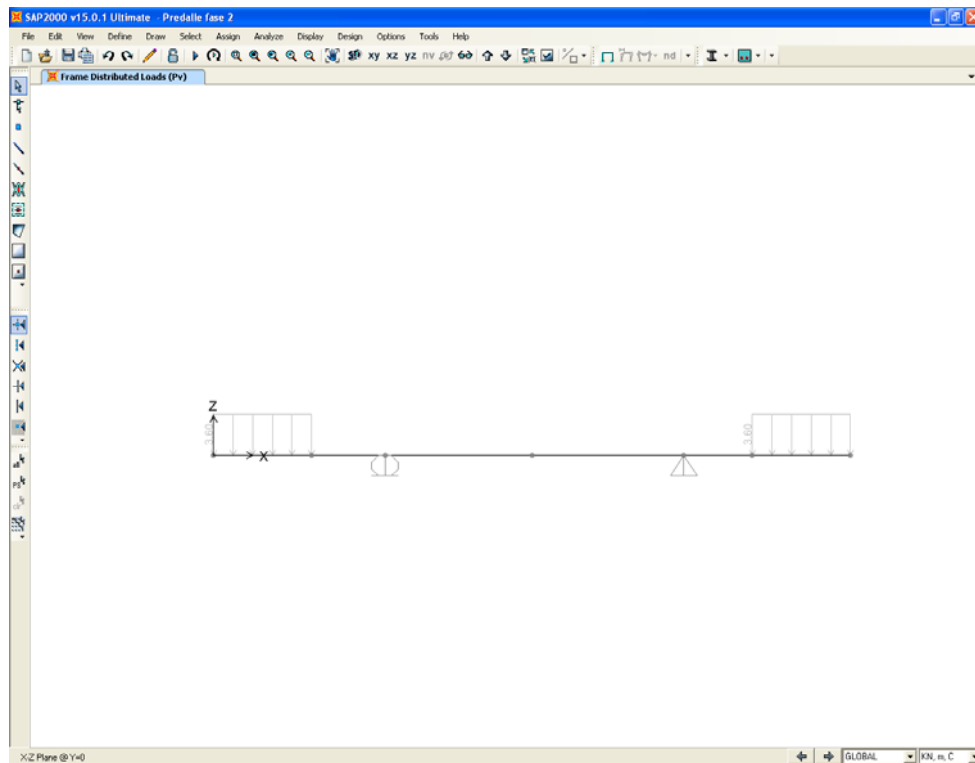
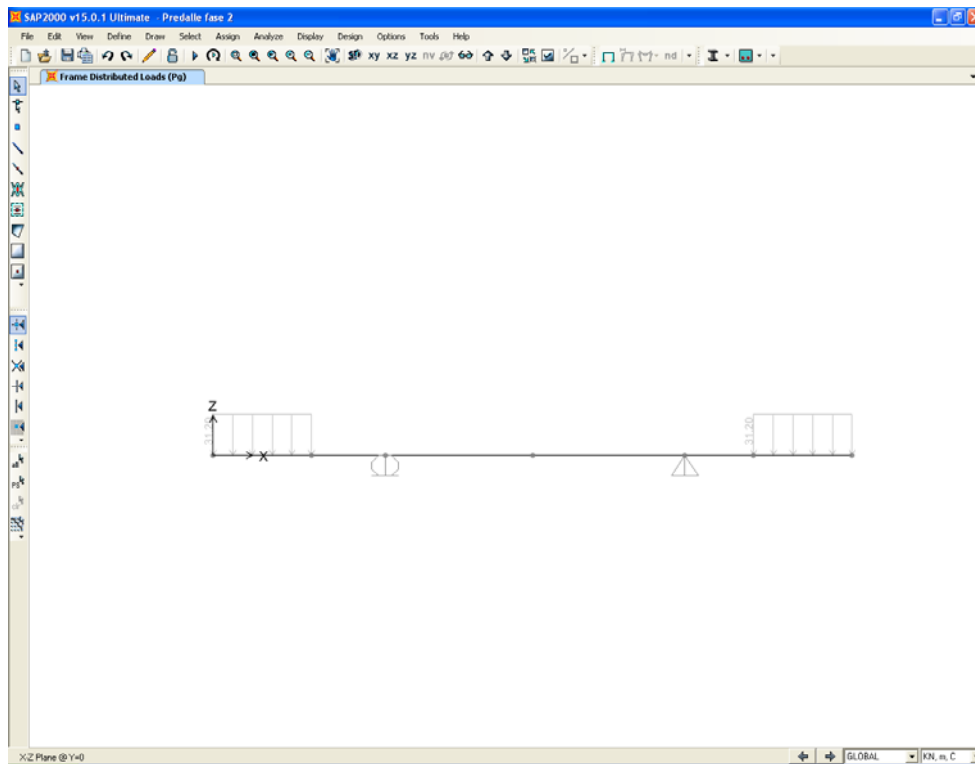
 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu}
 E_s N/mm² f_{cd}
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

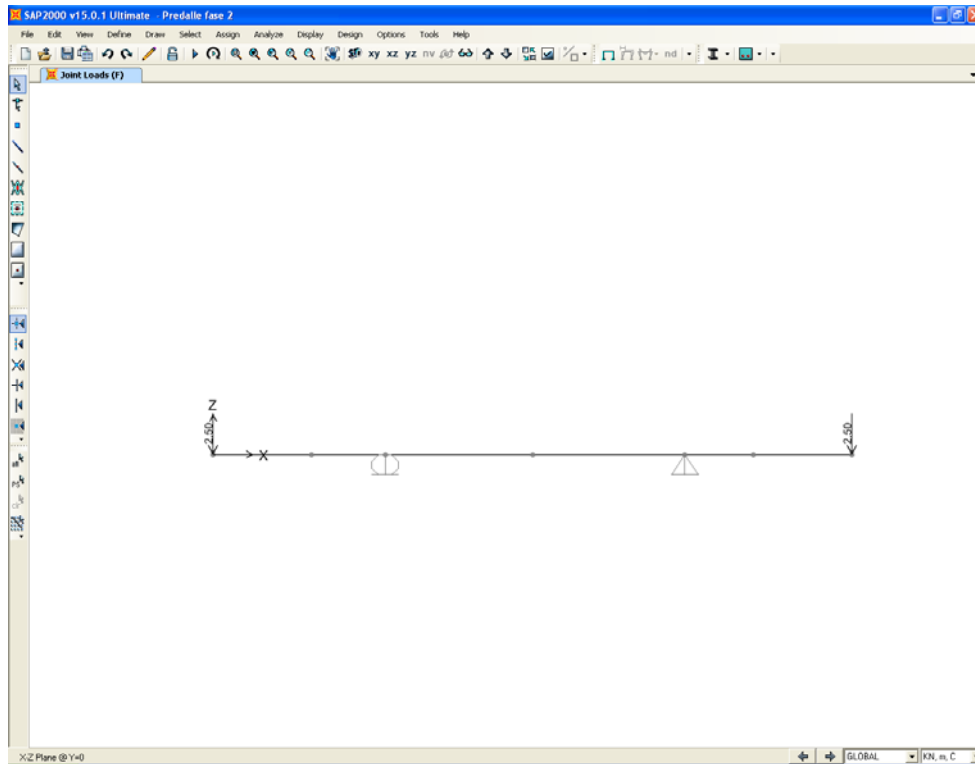
Verifica Precompresso





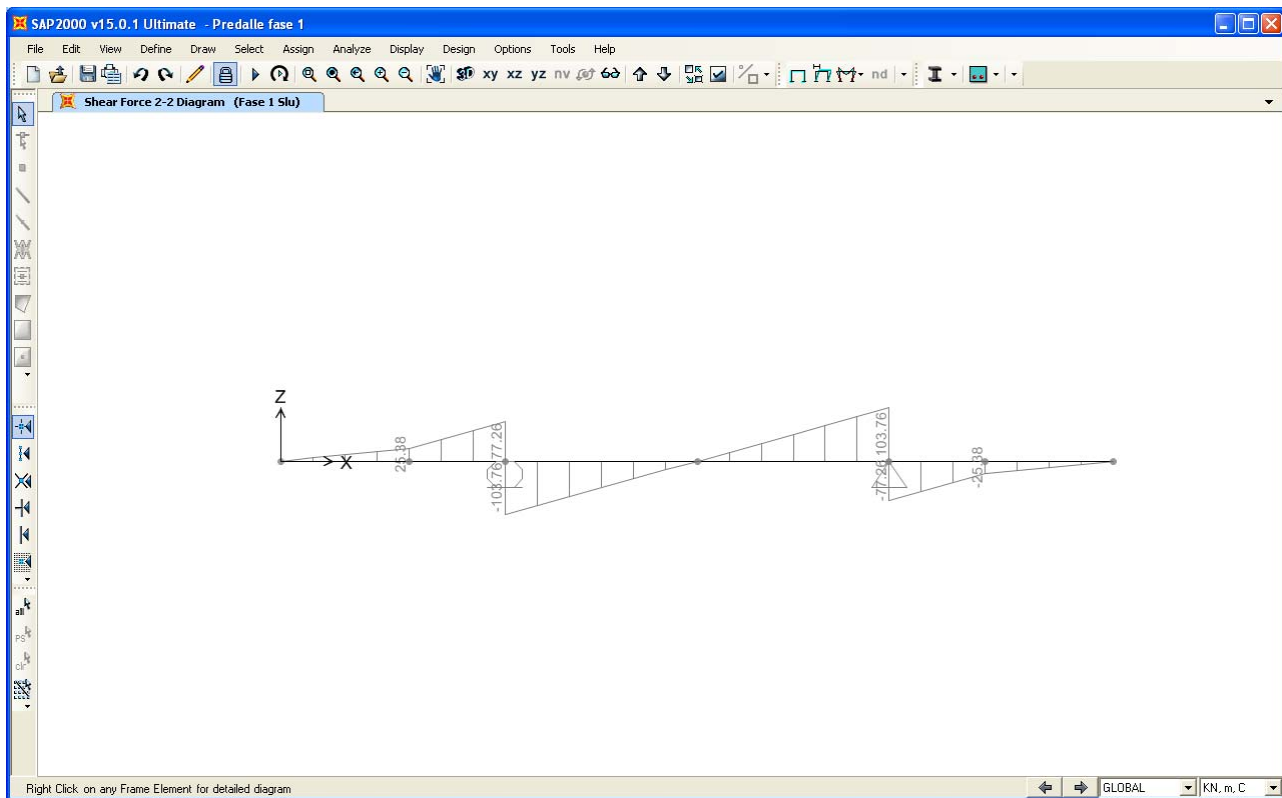
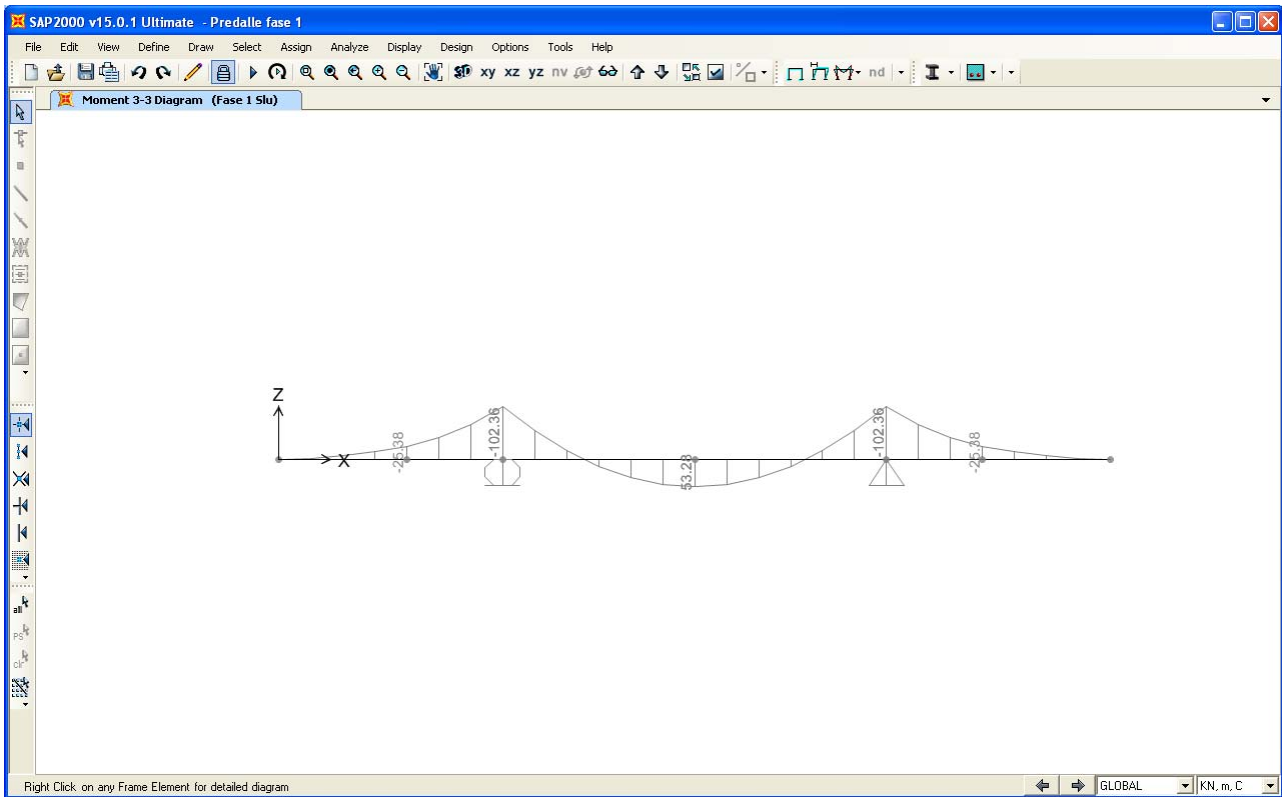


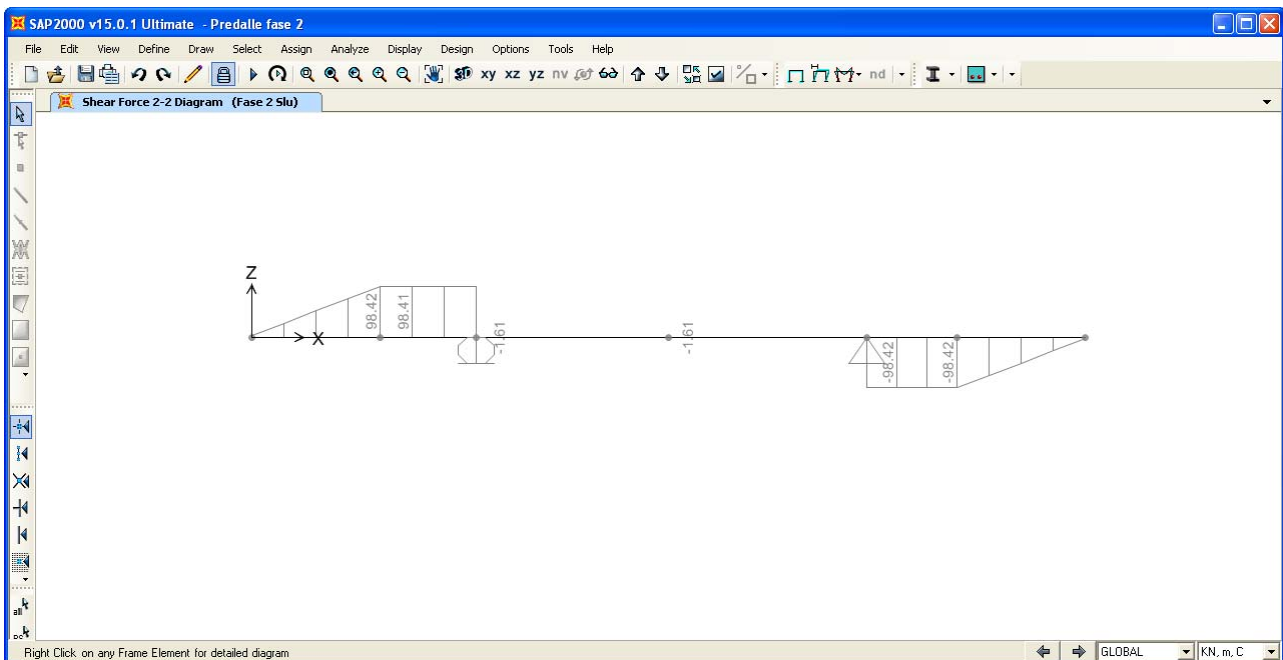
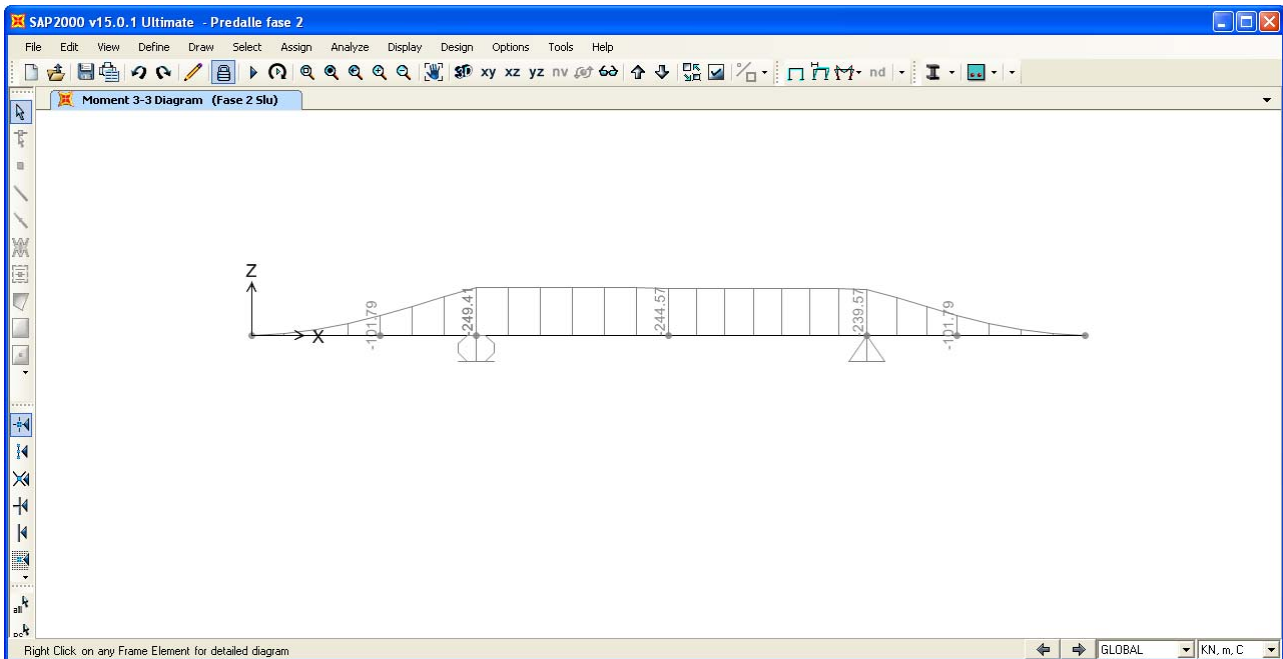




5.2.3. Risultati di calcolo

Nelle figure che seguono si riportano i diagrammi delle sollecitazioni di progetto.





5.2.4. Verifiche

1. Lo spostamento verticale totale residuo all'estremità dello sbalzo ammonta a:

$$f = -0.7 \text{ mm (fase 1)} + 11.9 \text{ mm (fase 2)} = 11.2 \text{ mm (} 2L/f = 625 \text{)}$$

2. Lo spostamento verticale totale residuo in mezzeria ammonta a:

$$f = 7.3 \text{ mm (fase 1)} - 2.7 \text{ mm (fase 2)} = 4.6 \text{ mm (L/f = 1304)}$$

3. Verifica a momento negativo in corrispondenza dell'appoggio

Si verificano a trazione le barre superiori e si esegue la verifica di stabilità a compressione delle barre inferiori. La sollecitazione di calcolo si ricava dal modello di fase 1.

Le figure che seguono riassumono l'esito delle verifiche.

Md	102.4	kNm
h	200	mm
nf	6	
F	85.3	kN
ϕ	20	mm
γ_s	1.15	
Nrd	122.9	kN

Verifica a trazione delle barre superiori

Md	102.4	kNm
h	200	mm
nf	12	
F	42.7	kN
Lo	200	mm
ϕ	20	mm
A	314	mmq
I	7854	mm ⁴
fy	450	N/mmq
Ncr	406.96	kN
λ	0.59	
ϕ	0.77	
ξ	0.79	
γ_s	1.15	
Nrd	97.3	kN

Verifica a compressione delle barre inferiori

4. Verifica a momento positivo in campata

Si verificano a trazione le barre inferiori e si esegue la verifica di stabilità a compressione della barra superiore. La sollecitazione di calcolo si ricava dal modello di fase 1.

Le figure che seguono riassumono l'esito delle verifiche.

Md	53.28	kNm
h	200	mm
nf	12	
F	22.2	kN
ϕ	20	mm
γ_s	1.15	
Nrd	122.9	kN

Verifica a trazione delle barre inferiori

Md	53.28	kNm
h	200	mm
nf	6	
F	44.4	kN
Lo	200	mm
ϕ	20	mm
A	314	mmq
I	7854	mm ⁴
fy	450	N/mmq
Ncr	406.96	kN
λ	0.59	
ϕ	0.77	
ξ	0.79	
γ_s	1.15	
Nrd	97.3	kN

Verifica a compressione delle barre superiori

5. Verifica a momento negativo in corrispondenza della sezione di ripresa di getto di seconda fase

La sezione esaminata è quella maggiormente sollecitata in seconda fase. Nella figura che segue si riporta l'esito della verifica a trazione delle barre superiori.

Md	101.79	kNm
h	200	mm
nf	6	
F	84.8	kN
ϕ	20	mm
γ_s	1.15	
Nrd	122.9	kN

Verifica a trazione delle barre superiori

6. Verifica a taglio

La resistenza a taglio del sistema è affidata alle staffe che lavorano secondo un meccanismo a traliccio con bracci inclinati alternativamente tesi e compressi. La verifica è svolta con riferimento alla situazione più gravosa, ossia al taglio generato nella sezione di appoggio per effetto della prima fase di carico ($V=103.76\text{kN}$). Si riporta la verifica di stabilità a compressione del braccio compresso.

Lo sforzo di compressione nel singolo braccio è calcolato come: $F_d = [V/(2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\beta)]/6 = 9.76\text{kN}$

F	9.8	kN
L_0	224	mm
ϕ	10	mm
A	79	mmq
I	491	mm ⁴
f_y	450	N/mmq
Ncr	20.28	kN
λ	1.32	
ϕ	1.65	
ξ	0.38	
γ_s	1.15	
Nrd	11.7	kN

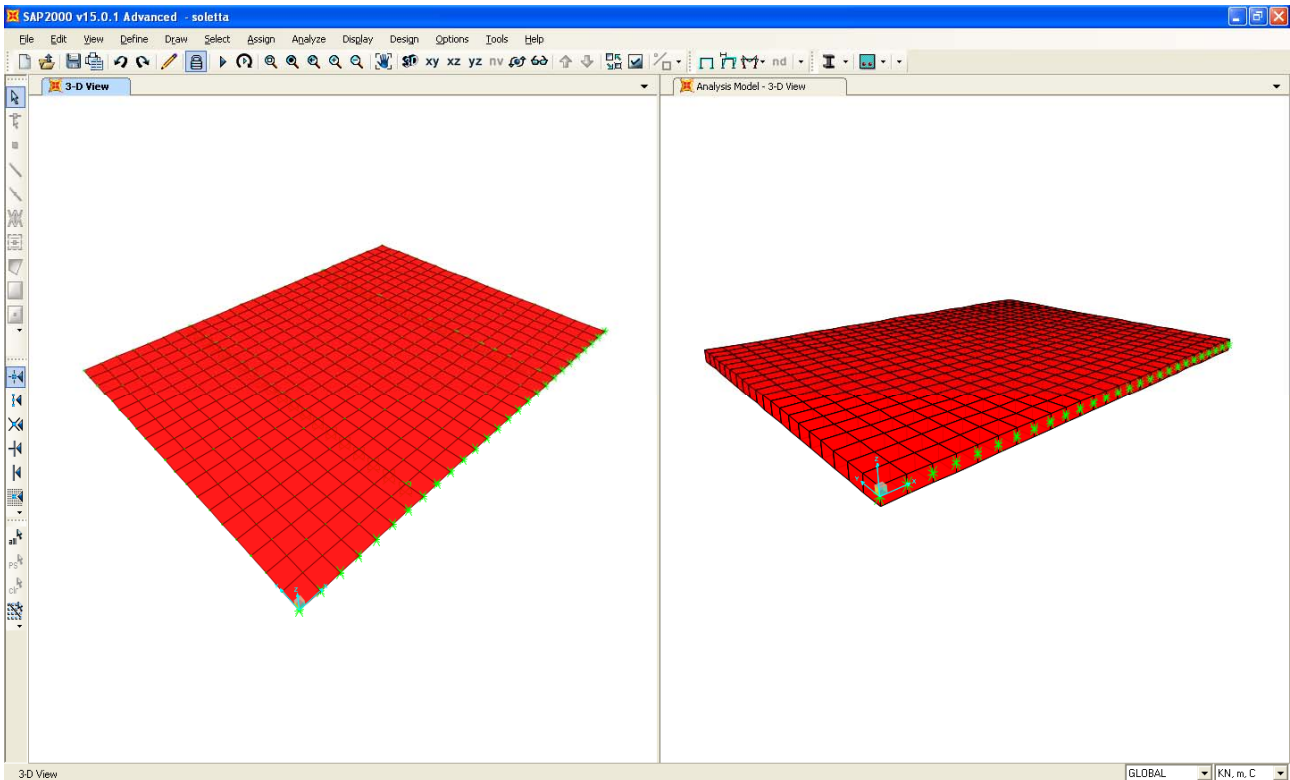
Verifica a compressione del braccio del traliccio

5.3. DIMENSIONAMENTO SOLETTA D'IMPALCATO

Il dimensionamento della soletta di impalcato è eseguito mediante un apposito modello agli elementi finiti realizzato con il programma di calcolo SAP2000 Advanced v.15.0.1, in grado di analizzare lo stato tensio-deformativo della soletta modellata con elementi bidimensionali tipo "thin shell".

A tal fine si è presa in considerazione una porzione di impalcato di lunghezza opportuna (10.0 m), adottando per la soletta elementi finiti di dimensioni 0.50 m x 0.50 m in modo da poter applicare alla soletta nel modo più preciso possibile i carichi trasmessi dalle impronte dei veicoli di norma.

Per quanto riguarda il vincolamento della soletta, si è operato schematizzando il vincolo offerto dalle anime metalliche come vincolo fisso in direzione verticale; il vincolamento nel piano, invece, è di tipo isostatico in virtù di quanto esposto al punto seguente. La figura che segue illustra il modello di calcolo adottato.



5.3.1. Valutazioni preliminari in merito agli effetti delle coazioni

Le coazioni in grado di generare uno stato di sollecitazione significativo sulla soletta sono rappresentate dal ritiro e dalla variazione termica estiva. Per quanto riguarda il ritiro, valutazioni già effettuate per il calcolo degli impalcati delle opere d'arte hanno indicato la possibilità di simulare gli effetti del ritiro con una variazione termica negativa equivalente di $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ applicata alla soletta. Per quanto riguarda invece l'effetto di surriscaldamento estivo della soletta, relativamente alla temperatura raggiunta dal sottostante cassone metallico, si assume cautelativamente una variazione termica positiva della soletta pari a $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gli effetti delle coazioni sul regime di sollecitazione della soletta dipendono dalla rigidità del vincolamento offerto dalla sottostante struttura metallica. In particolare, i controventi trasversali sono in grado di offrire un significativo contributo di rigidità nei confronti dei movimenti trasversali della soletta: occorre pertanto eseguire una stima di tale rigidità. In virtù di quanto ottenuto dalle analisi svolte per la sezione trasversale

delle opere di linea (si veda in proposito l'apposita relazione), è ragionevole ammettere la trascurabilità degli effetti delle coazioni ai fini del dimensionamento della soletta di impalcato.

5.3.2. Analisi dei carichi

Nel seguito si riassumono i carichi applicati al modello.

Carichi permanenti

Peso proprio soletta: applicato automaticamente dal programma di calcolo ($\gamma = 25.0$ kN/mc);

Guardrail (GR): 1.00 kN/m;

Cordoli (C) (tratto svettante rispetto alla soletta): 1.00 kN/mq

Pavimentazione stradale (pv): 3.00 kN/mq

Carichi mobili

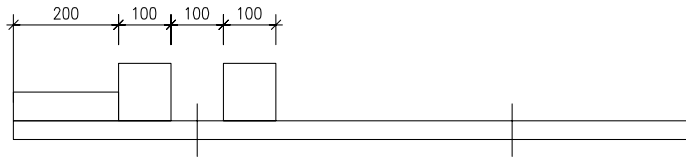
Si considera lo schema di carico 1 in quanto lo schema 2 non risulta vincolante ai fini del dimensionamento.

Al fine di adattare il più possibile le superfici di impronta dei carichi mobili agli elementi della soletta, si è operato in modo semplificato considerando pari ad 1.0×1.0 mq la superficie di impronta della singola ruota diffusa a 45° a partire dalla quota della pavimentazione stradale (spessore assunto ai fini dei calcoli pari a 10 cm) fino al piano medio della soletta. Le pressioni equivalenti relative ai due schemi di carico sono di seguito riassunte:

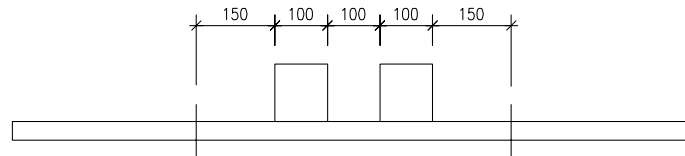
- Schema 1 (corsia 1): $p = 150$ kPa (singola impronta) + 9 kPa diffuso in corsia;
- Schema 1 (corsia 2): $p = 100$ kPa (singola impronta) + 2.5 kPa diffuso in corsia;
- Schema di carico 5 (valore in combinazione con lo Schema 1): $p = 2.50$ KPa.

Le impronte di carico dei veicoli così come sopra descritte sono state applicate al modello secondo 4 distinte configurazioni spaziali in modo da massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti nelle sezioni significative della soletta. La figura che segue illustra le configurazioni di carico adottate.

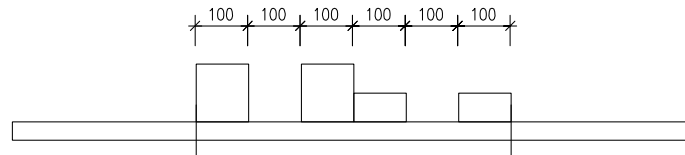
M1 (Max M-; max V)



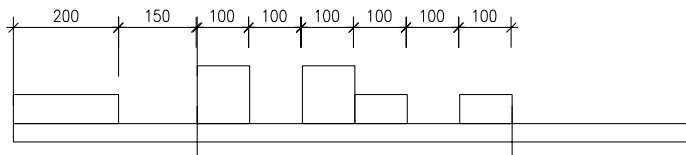
M2 (Max M+)



M3 (max M+; max V)

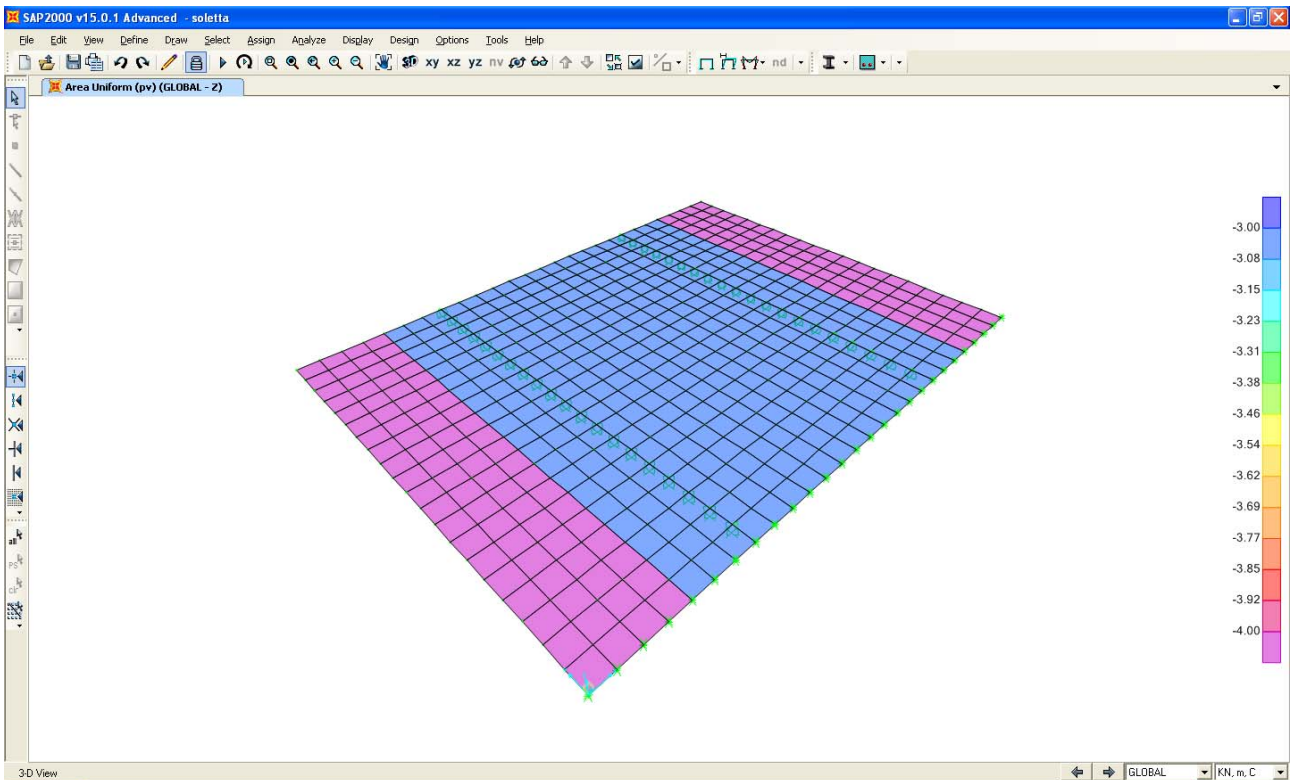
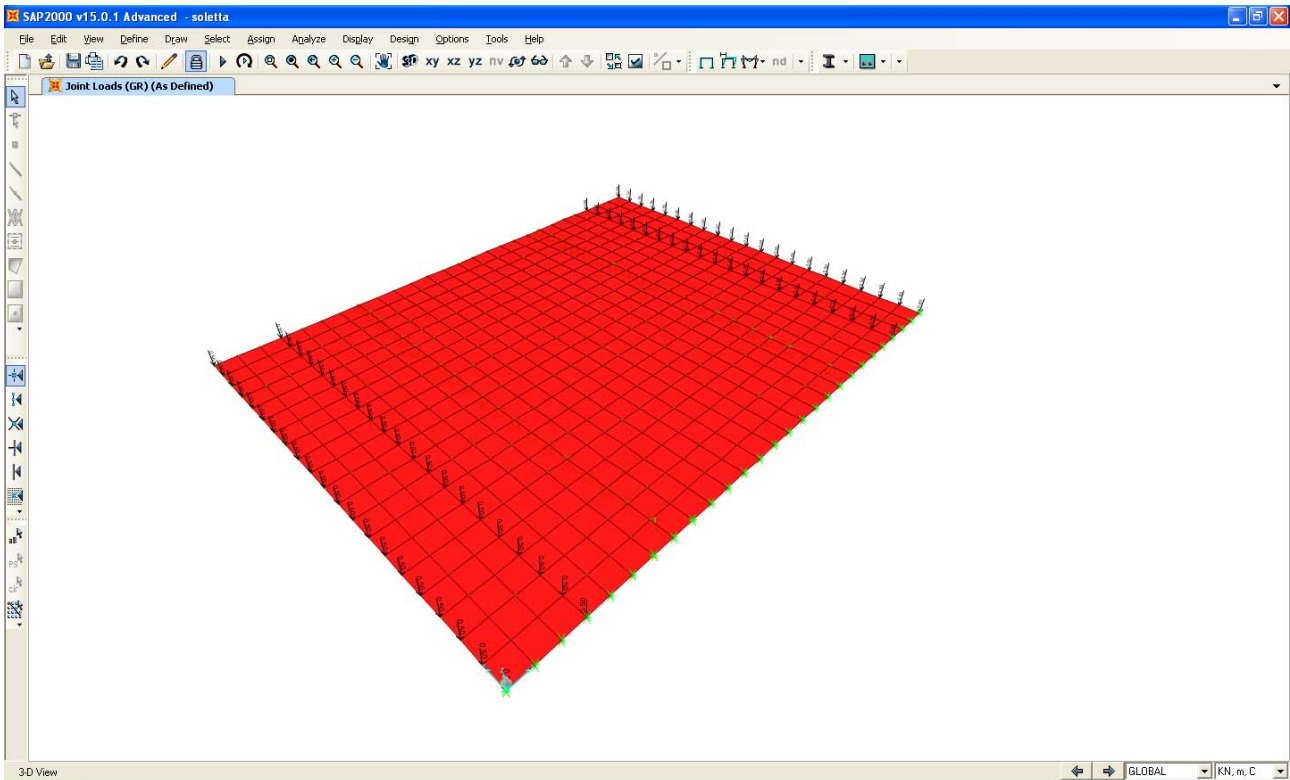


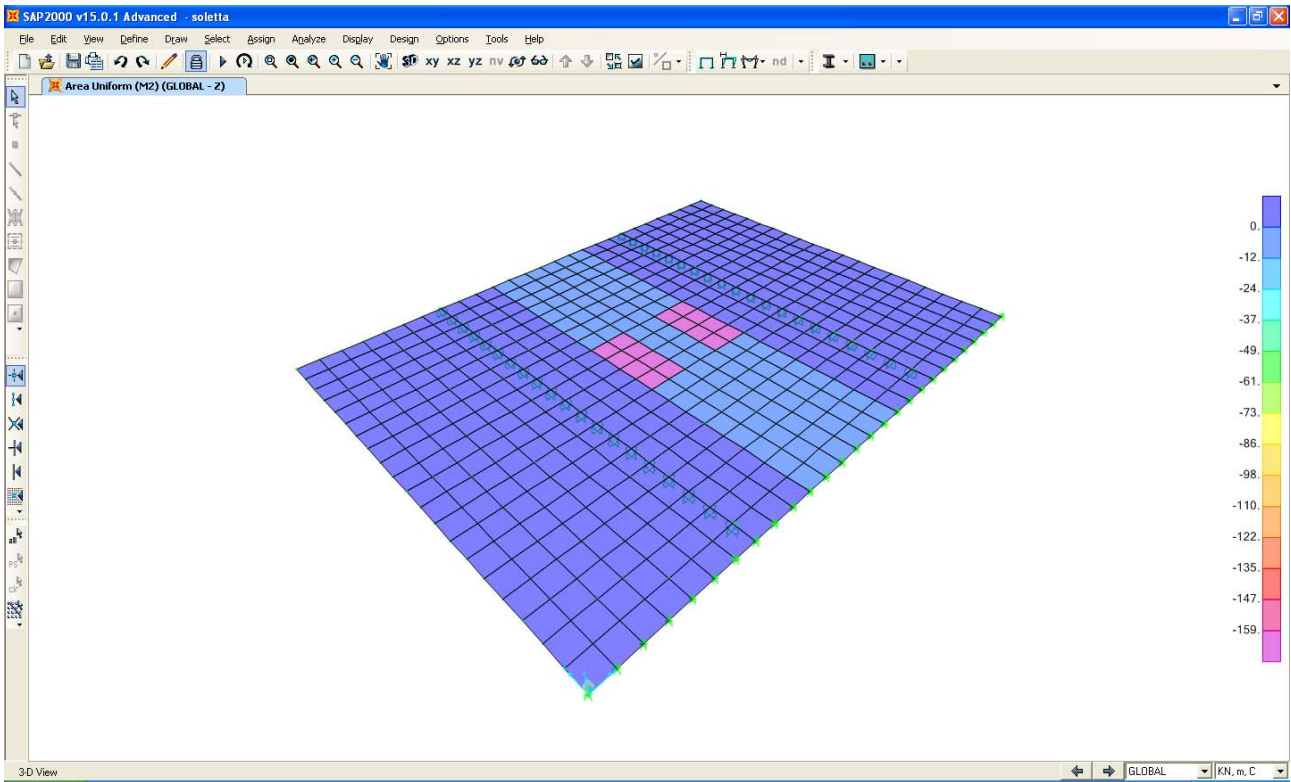
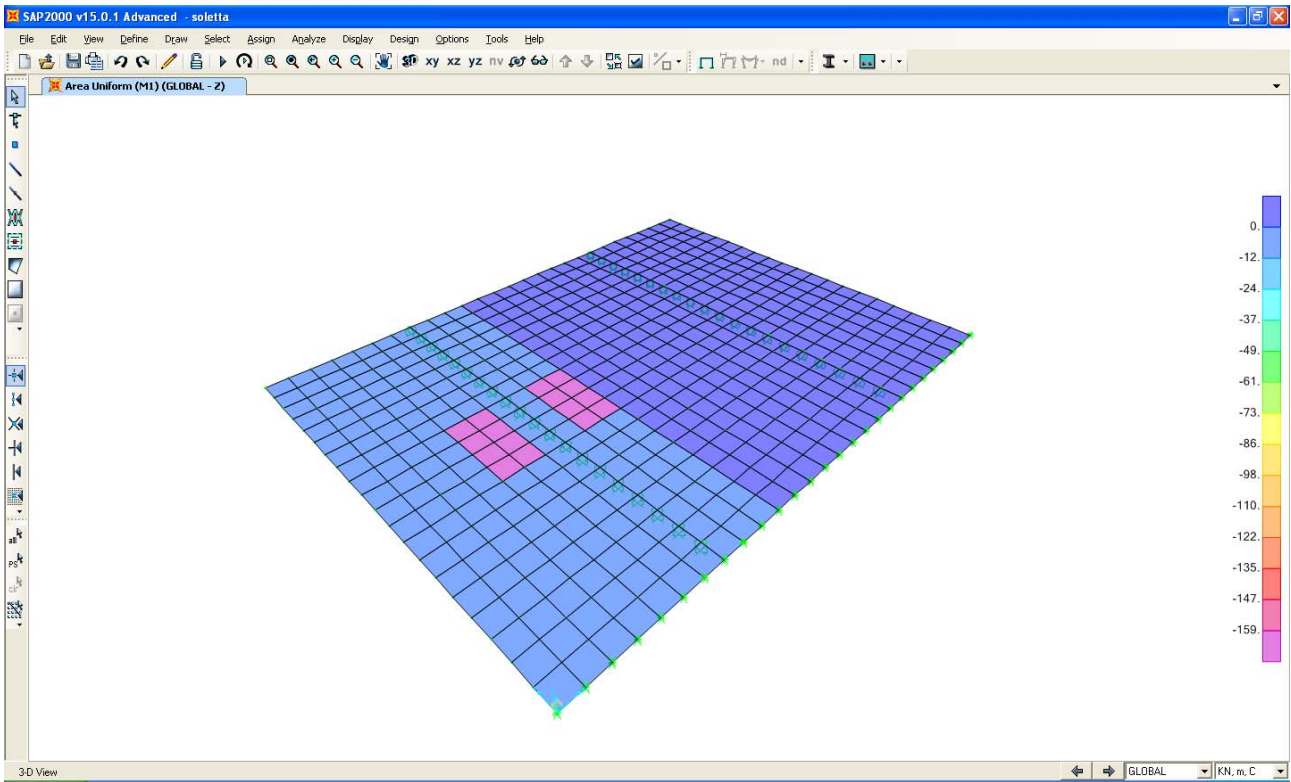
M4 (max V)

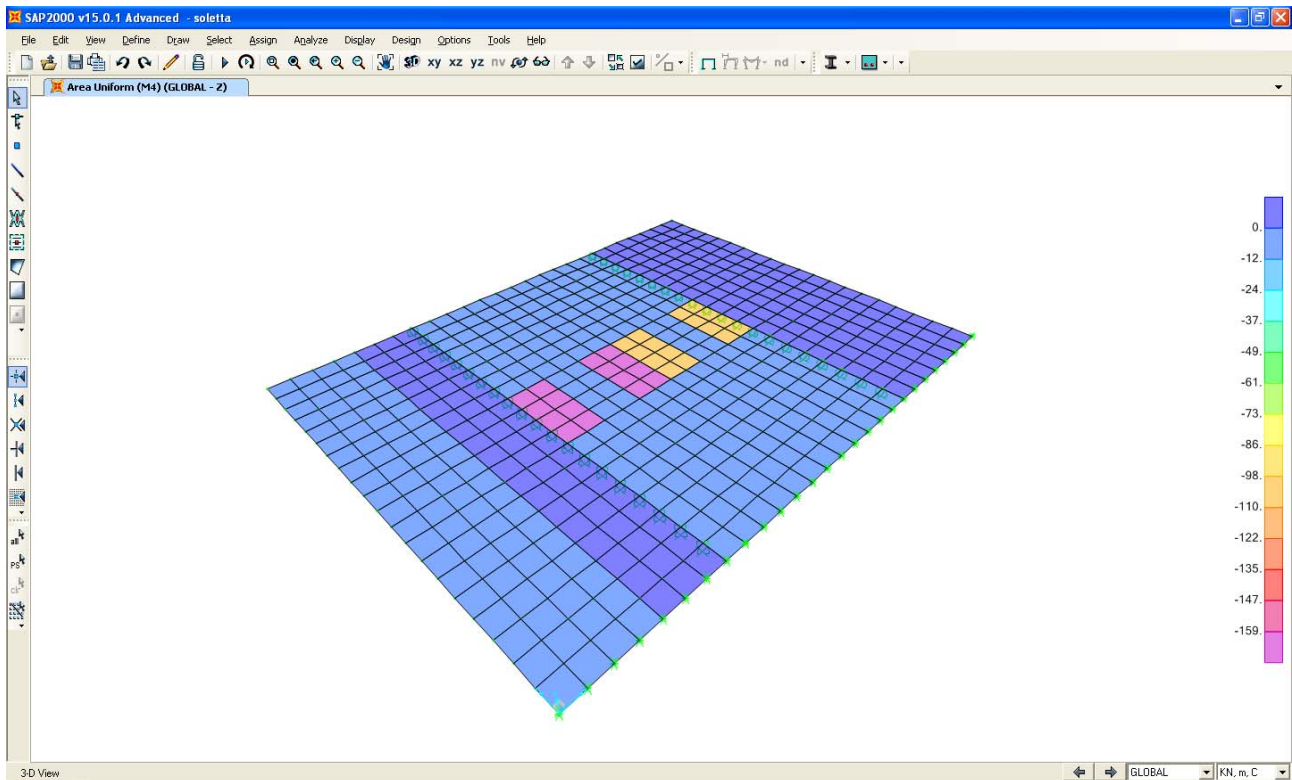
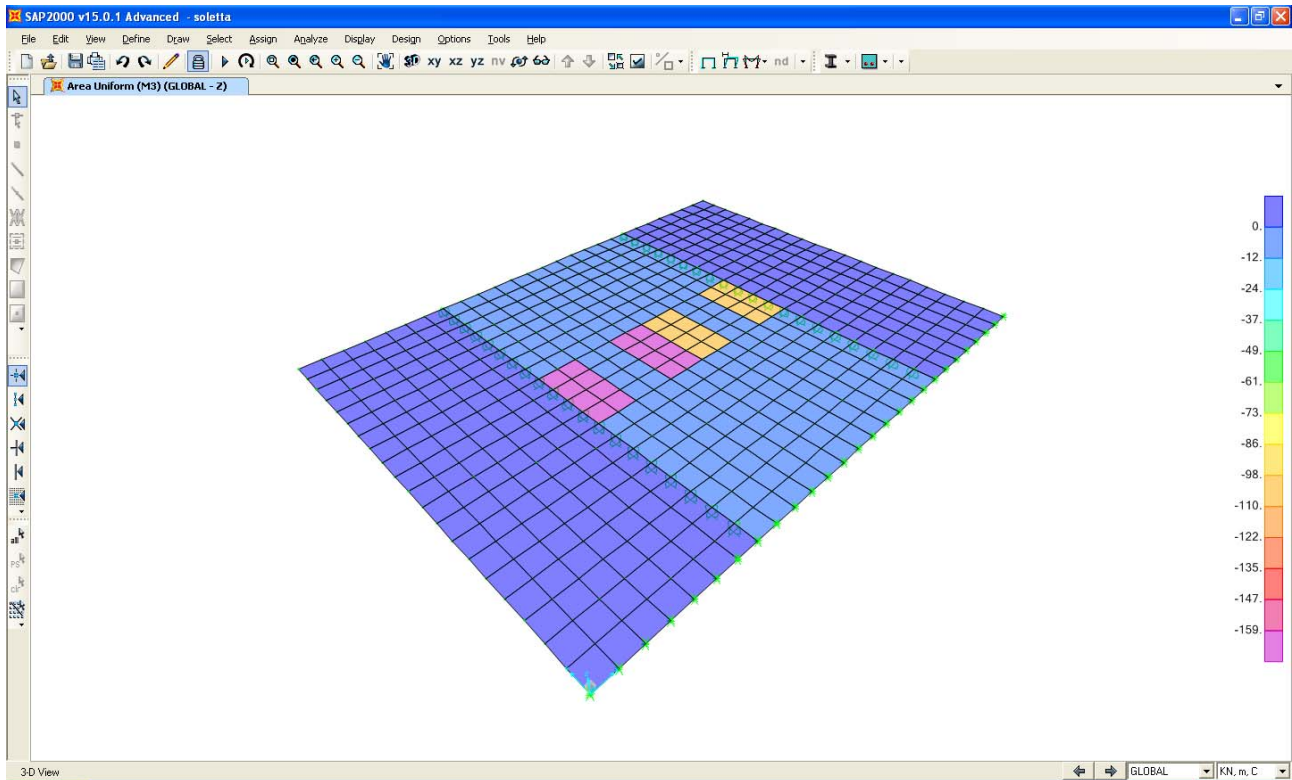


Urto sui sicurvia

L'azione d'urto sui sicurvia è da considerare in contemporanea allo schema di carico 2 secondo le indicazioni riportate in normativa. Ai fini del dimensionamento della soletta nelle sezioni sopra individuate, tale carico risulta non vincolante e pertanto viene trascurato.







5.3.3. Combinazioni di carico

Per semplificare la definizione delle combinazioni di carico di progetto, i singoli carichi elementari sono stati preventivamente raggruppati nelle seguenti combinazioni elementari di carico:

Permanenti: Peso proprio + GR + pv;

ENV M: involucro degli effetti indotti all'insieme di tutte le configurazioni di carico mobile analizzate;

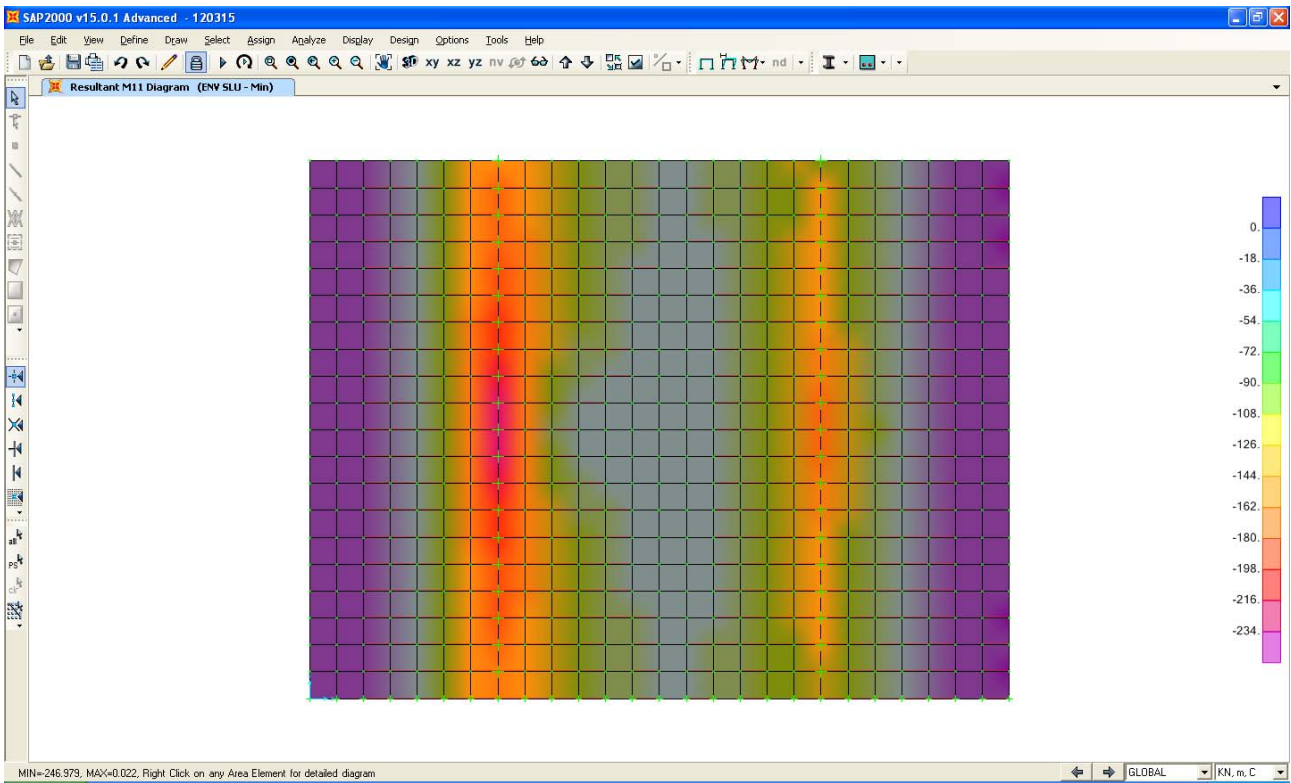
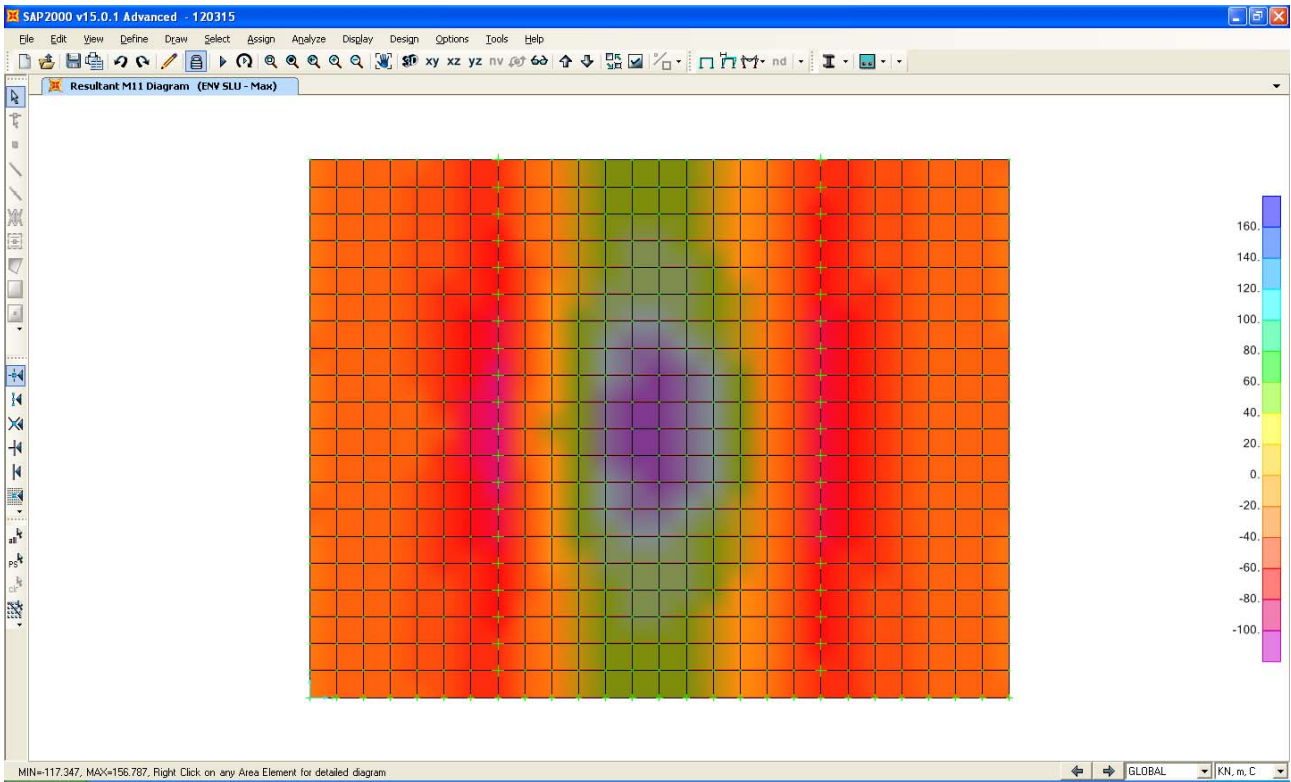
La tabella che segue riassume le combinazioni di carico di progetto.

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
ENV M	Envelope	Linear Static	M1	1
ENV M		Linear Static	M2	1
ENV M		Linear Static	M3	1
ENV M		Linear Static	M4	1
Permanenti	Linear Add	Linear Static	PESO PROPRIO	1
Permanenti		Linear Static	pv	1
Permanenti		Linear Static	GR	1
SLU1	Linear Add	Response Combo	Permanenti	1.35
SLU1		Response Combo	ENV M	1.35
SLU2	Linear Add	Response Combo	Permanenti	1
SLU2		Response Combo	ENV M	1.35
SLEr	Linear Add	Response Combo	Permanenti	1
SLEr		Response Combo	ENV M	1
SLEf	Linear Add	Response Combo	Permanenti	1
SLEf		Response Combo	ENV M	0.75
SLEqp	Linear Add	Response Combo	Permanenti	1
ENV SLU	Envelope	Response Combo	SLU1	1
ENV SLU		Response Combo	SLU2	1

5.3.4. Risultati delle analisi e verifiche di resistenza

La figura che segue illustra la mappatura dell'involuppo delle sollecitazioni di flessione trasversale (M11) calcolate per gli SLU. Si riconoscono i seguenti valori significativi di sollecitazione:

- Massimo momento negativo allo sbalzo: $M11 = -220 \text{ kNm/m}$;
- Massimo momento positivo in campata: $M11 = 155 \text{ kNm/m}$.



Per quanto riguarda le armature si considera quanto segue.

- *Sezione allo sbalzo*

$$A_{s,sup} = \phi 20/10 \text{ cm} = 31.42 \text{ cmq}$$

$$A_{s,inf} = \phi 20/20 \text{ cm} = 15.71 \text{ cmq}$$

- *Sezione in campata*

$$A_{s,sup} = \phi 20/20 \text{ cm} = 15.71 \text{ cmq}$$

$$A_{s,inf} = \phi 20/20 \text{ cm} + \phi 16/20 = 25.76 \text{ cmq}$$

Le figure che seguono illustrano l'esito positivo delle verifiche a flessione.

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

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	35

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	30
2	15.71	6
3	10.05	24

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} 75 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN
 yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

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

Tipo flessione

Retta Deviata

Materiali

B450C **C32/40**

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

M_{xRd} kN m

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

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ cm **Col. modello**

Precompresso

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

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

Titolo: _____

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	35

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	30
2	31.42	6
3	0	24

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 -130 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 % ε_{c2} 2 %
 f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 18.13
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.957 % σ_{c,adm} 12.25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

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

Precompresso

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} -316.9 kNm
 σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ε_c 3.5 %
 ε_s 11.93 %
 d 29 cm
 x 6.577 x/d 0.2268
 δ 0.7235

Le verifiche a fessurazione sono eseguite seguendo sia il metodo indiretto tabellare di cui alla C.M. n.617 02/02/2009, sia il metodo diretto riportato nel medesimo documento normativo. Al riguardo si fa riferimento alla condizione ambientale aggressiva (classe di esposizione XC4) e ad armatura poco sensibile ottenendo i seguenti valori limite di apertura delle fessure:

- Combinazione frequente: $w_2 = 0.3 \text{ mm}$
- Combinazione quasi permanente: $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

La figura che segue illustra la mappatura dell'involuppo delle sollecitazioni di flessione trasversale (M11) calcolate per gli SLE. Si riconoscono i seguenti valori significativi.

- Massimo momento negativo allo sbalzo:

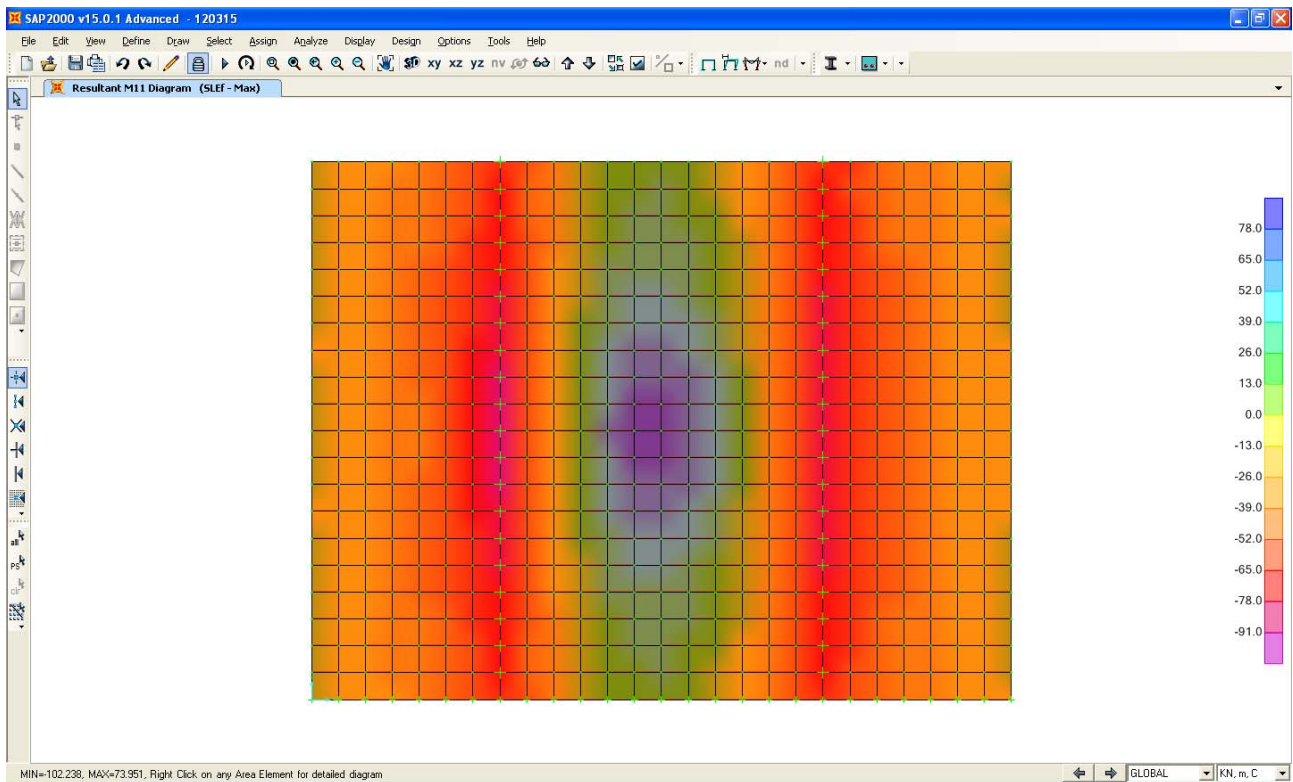
$$M_{11} \text{ (frequente)} = -145 \text{ kNm/m}$$

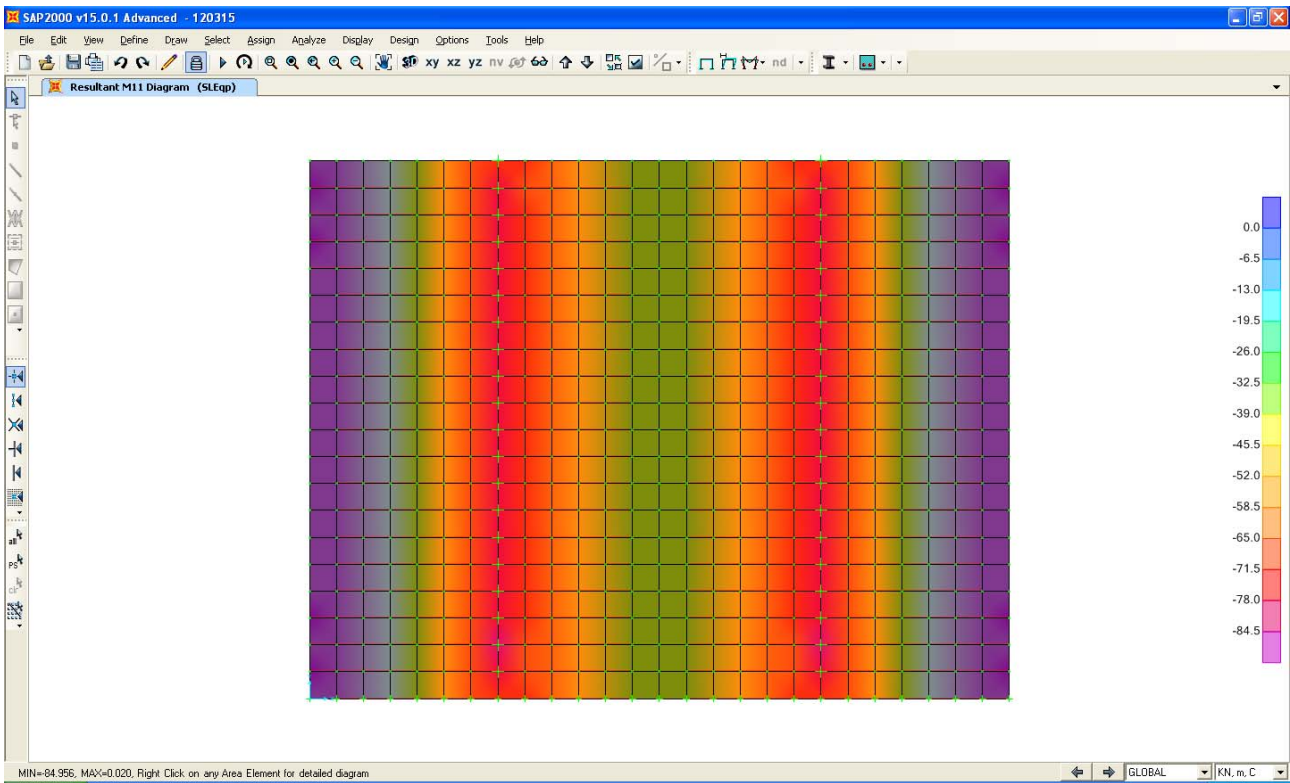
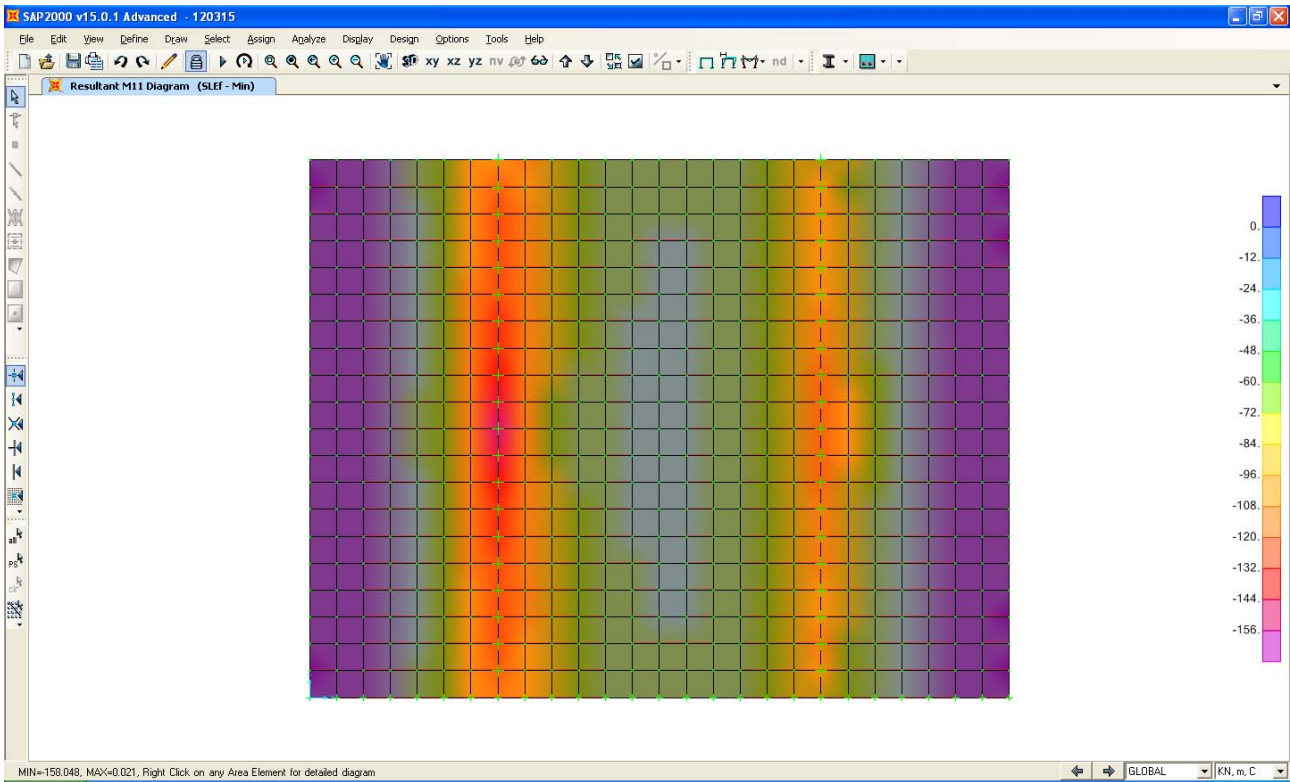
M11 (quasi permanente) = -78 kNm/m

- Massimo momento positivo in campata:

M11 (frequente) = 75 kNm/m

M11 (quasi permanente) = -30 kNm/m





Il calcolo delle tensioni di trazione nelle barre porta ai valori riportati nelle seguenti Figure.

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

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	15.71	30
			2	15.71	6
			3	10.05	24

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 200 000 N/mm²	f_{cd} 18.13
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

σ_c -4.924 N/mm²
 σ_s 136.5 N/mm²
 ϵ_s 0.6825 ‰
 d 30 cm
 x 10.53 x/d 0.3511
 δ 0.8789

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

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

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

Titolo: _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	15.71	30
			2	31.42	6
			3	0	24

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} -145 kNm
 M_{yEd} 0

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

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

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 200 000 N/mm²	f_{cd} 18.13
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0.7333
	τ_{c1} 2.114

σ_c -8.174 N/mm²
 σ_s 185.1 N/mm²
 ϵ_s 0.9255 ‰
 d 29 cm
 x 11.56 x/d 0.3985
 δ 0.9381

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

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

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

Titolo: _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	35

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	30
2	31.42	6
3	0	24

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8 ?
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

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

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

Le verifiche agli SLE quasi permanenti sono evidentemente ampiamente soddisfatte in quanto la tensione di trazione nelle barre è sempre inferiore a 160 MPa. Per quanto riguarda gli SLE frequenti nella sezione di sbalzo la verifica è altresì soddisfatta in quanto la spaziatura tra le barre è inferiore al limite indicato dalla normativa per il diametro utilizzato.

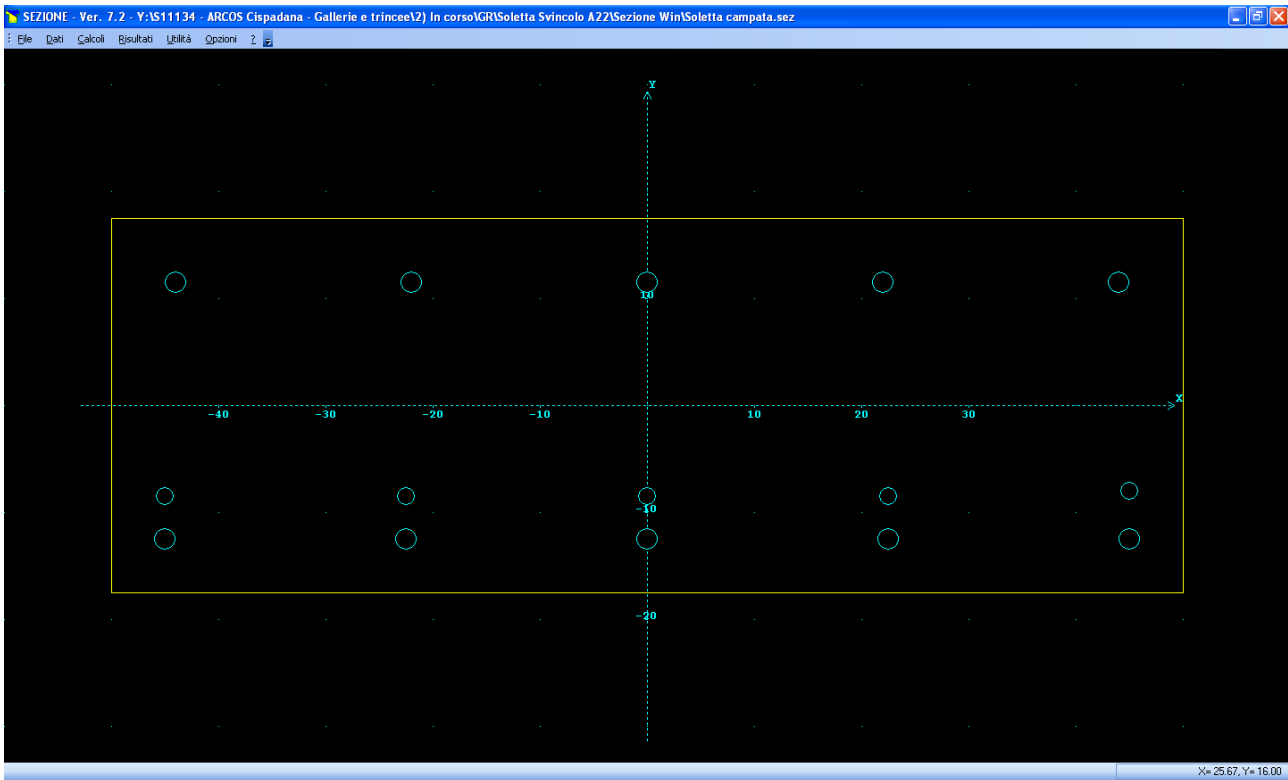
Tabella C4.1.II *Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione*

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	-

Per garantire una maggior affidabilità dei risultati ottenuti, si riportano i risultati ottenuti operando con il metodo diretto e stimando, quindi, l'ampiezza delle fessure per i vari casi indagati tramite il programma Sezione Win della IngegneriaSoft.



VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. cls= -3.01 N/mm²; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58$ N/mm², $f_{ctk} = -2.60$ N/mm²
 $c = 2.80$ cm; $A_{ceff} = 1215.90$ cm²; $A_s = 25.76$ cm²; $\rho = A_s/A_{ceff} = 0.021187$; $s = 4.50$ cm
 $\phi = 1.80$ cm; $k_2 = 0.4000$; $k_3 = 0.1250$; $s_{rm} = 10.7479$ cm; $\zeta = 0.40000$
 $\sigma_t = -3.01$ N/mm²; $\sigma_s = -128.85$ N/mm²; $\beta_1 = 1.00$; $\beta_2 = 0.50$; $\epsilon_{sm} = 0.000250$
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.0457$ mm < $w_2 = 0.3$ mm.... **VERIFICA POSITIVA**

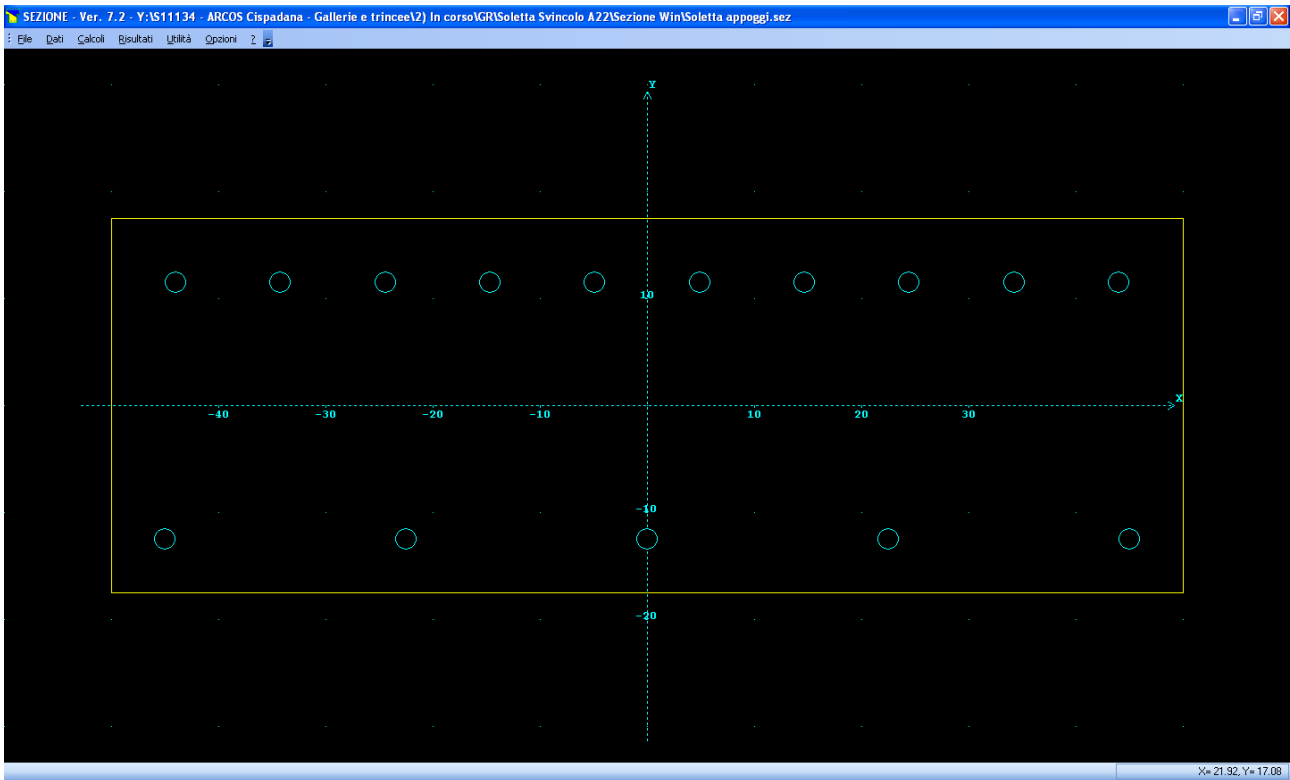
posto (per gli altri simboli vedere la normativa):

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (f_c / \sigma_t)^2$$

σ_t : tensione max di trazione nel conglomerato con sezione interamente reagente e resistente a trazione

c: valore del copriferro inserito dall'utente

Verifica a fessurazione in appoggio – comb. frequente e quasi permanente



VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. $\sigma_s = -5.49 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58 \text{ N/mm}^2$, $f_{ctk} = -2.60 \text{ N/mm}^2$
 $c = 2.80 \text{ cm}$; $A_{ceff} = 1172.24 \text{ cm}^2$; $A_s = 31.42 \text{ cm}^2$; $\rho = A_s/A_{ceff} = 0.026800$; $s = 9.78 \text{ cm}$
 $\phi = 2.00 \text{ cm}$; $k_2 = 0.4000$; $k_3 = 0.1250$; $s_{rm} = 11.2869 \text{ cm}$; $\zeta = 0.77078$
 $\sigma_t = -5.49 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_s = -185.12 \text{ N/mm}^2$; $\beta_1 = 1.00$; $\beta_2 = 0.50$; $\epsilon_{sm} = 0.000693$
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.1329 \text{ mm} < w_2 = 0.3 \text{ mm} \dots$ **VERIFICA POSITIVA**

Comb. q. per. n.ro 1: Tens. min. $\sigma_s = -2.96 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58 \text{ N/mm}^2$, $f_{ctk} = -2.60 \text{ N/mm}^2$
 $c = 2.80 \text{ cm}$; $A_{ceff} = 1172.24 \text{ cm}^2$; $A_s = 31.42 \text{ cm}^2$; $\rho = A_s/A_{ceff} = 0.026800$; $s = 9.78 \text{ cm}$
 $\phi = 2.00 \text{ cm}$; $k_2 = 0.4000$; $k_3 = 0.1250$; $s_{rm} = 11.2869 \text{ cm}$; $\zeta = 0.40000$
 $\sigma_t = -2.96 \text{ N/mm}^2$; $\sigma_s = -99.58 \text{ N/mm}^2$; $\beta_1 = 1.00$; $\beta_2 = 0.50$; $\epsilon_{sm} = 0.000193$
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.0371 \text{ mm} < w_1 = 0.2 \text{ mm} \dots$ **VERIFICA POSITIVA**

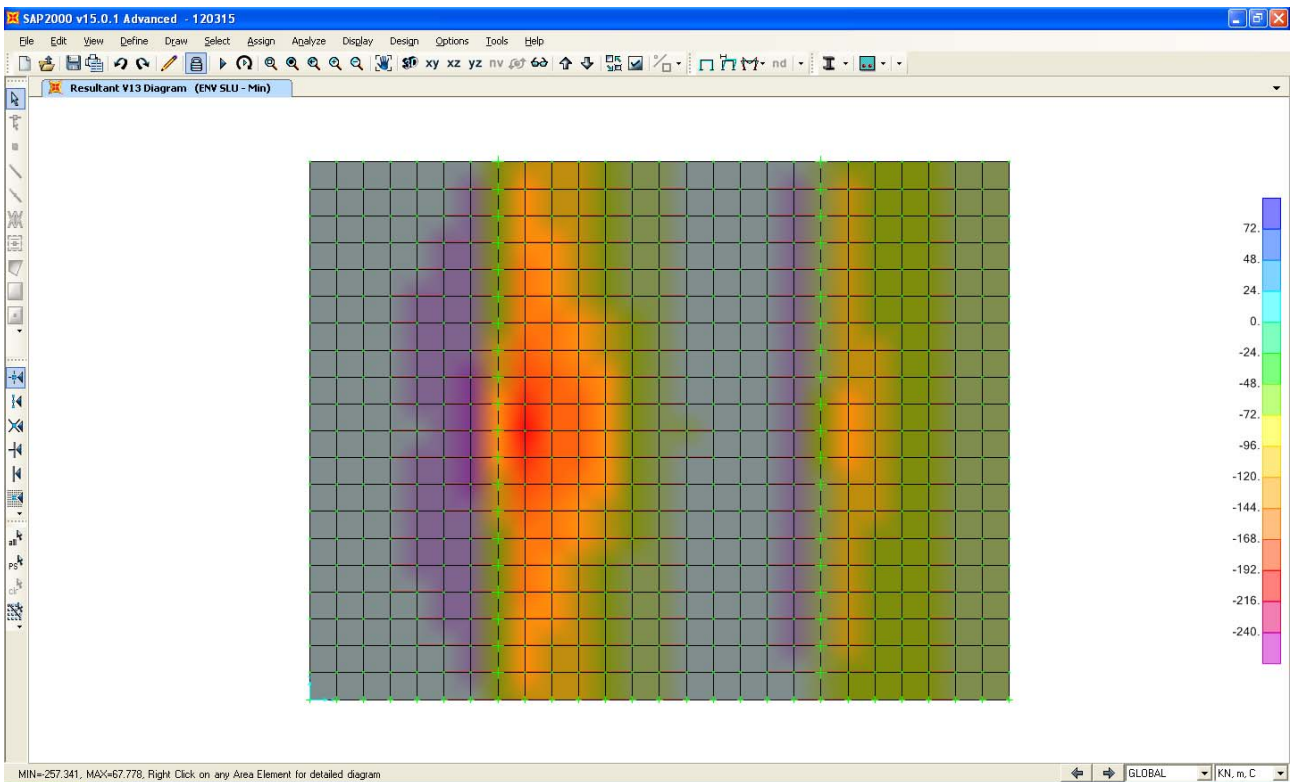
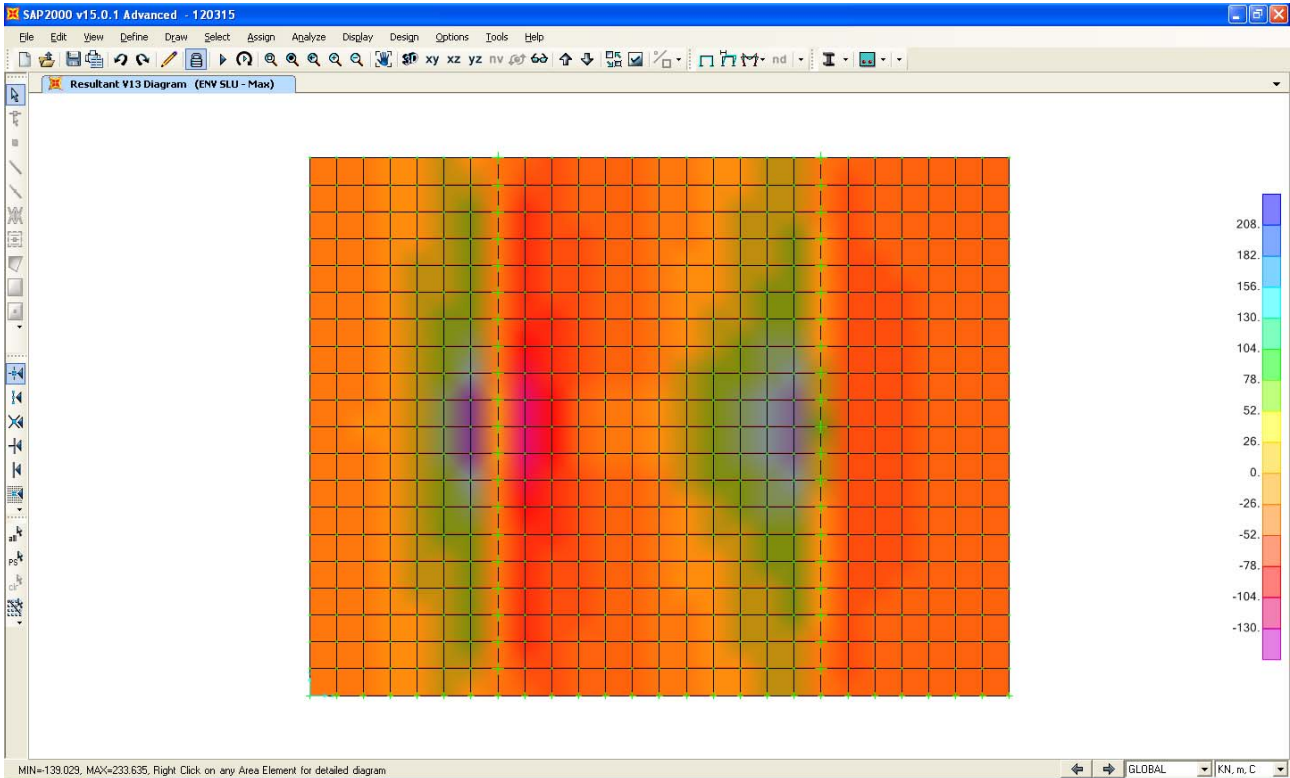
posto (per gli altri simboli vedere la normativa):

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (f_c / \sigma_t)^2$$

σ_t : tensione max di trazione nel conglomerato con sezione interamente reagente e resistente a trazione

c: valore del copriferro inserito dall'utente

Per quanto riguarda le verifiche a taglio si riportano le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo.



- Sezione allo sbalzo: $V13 = 200 \text{ kN/m}$

Il calcolo della resistenza a taglio in assenza di apposita armatura porta ai seguenti valori.

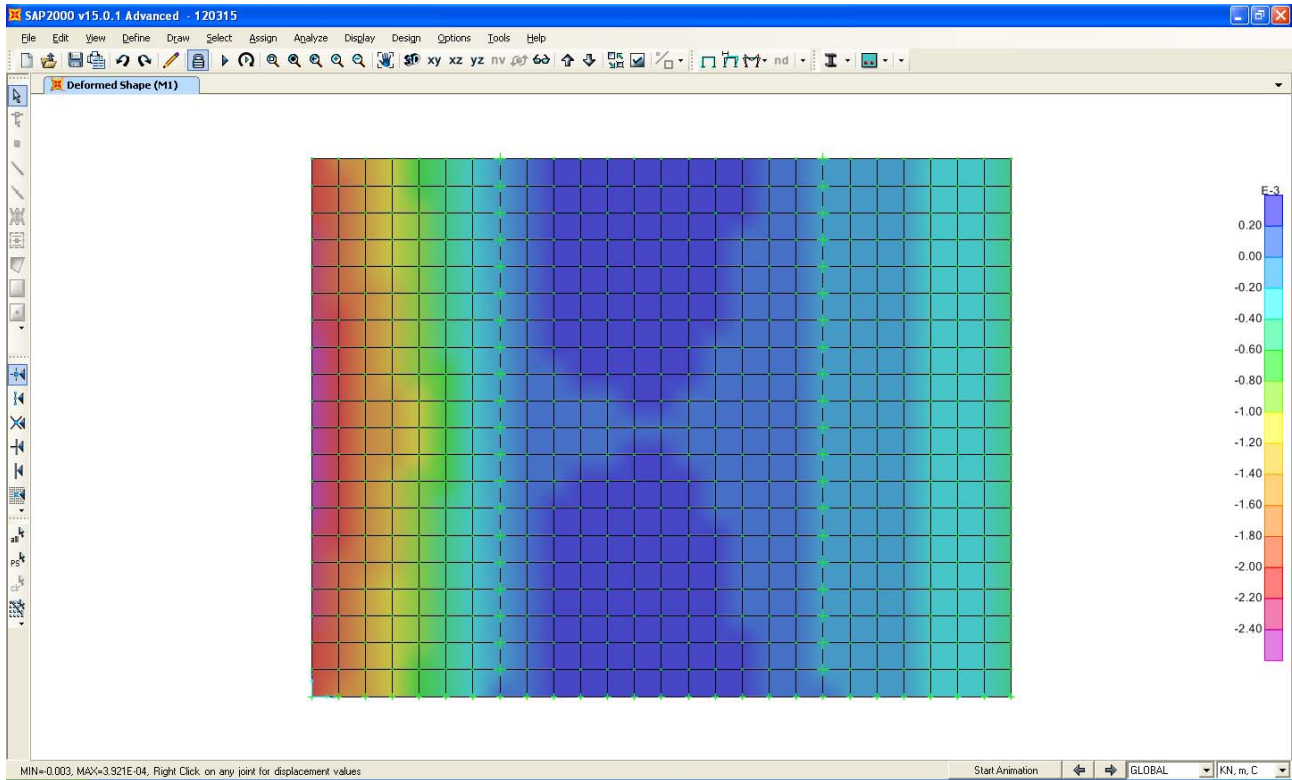
Dati		
b (mm)	1000.0	larghezza dell'anima resistente a taglio
h (mm)	350.0	altezza della sezione
d (mm)	290.0	altezza utile
f_{ck} (MPa)	32.0	resistenza caratt. a compressione del calcestruzzo
f_{yd} (MPa)	391.0	resistenza di progetto dell'acciaio
f_{cd} (MPa)	18.13	resistenza di progetto del calcestruzzo
f'_{cd} (MPa)	9.07	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
A_{sl} (mmq)	3142.0	armatura longitudinale
k	1.83	fattore di ingranamento
v_{min}	0.49	tensione resistente minima
ρ_l	0.0108	rapporto geom. di armatura longit.
N_{Ed} (N)	0.0	sforzo di compressione di progetto nella sezione
σ_{cp} (MPa)	0.00	tensione media di compressione nella sezione
α_c	1.00	coefficiente maggiorativo

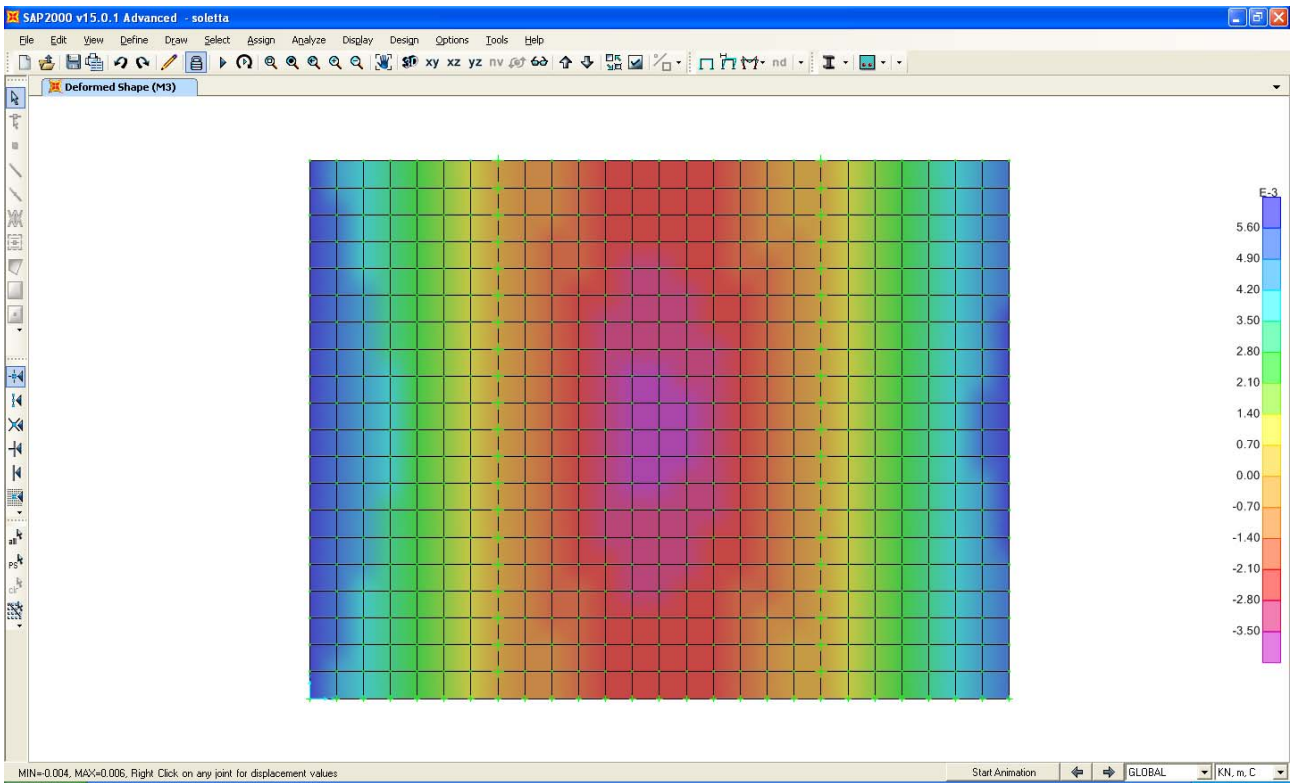
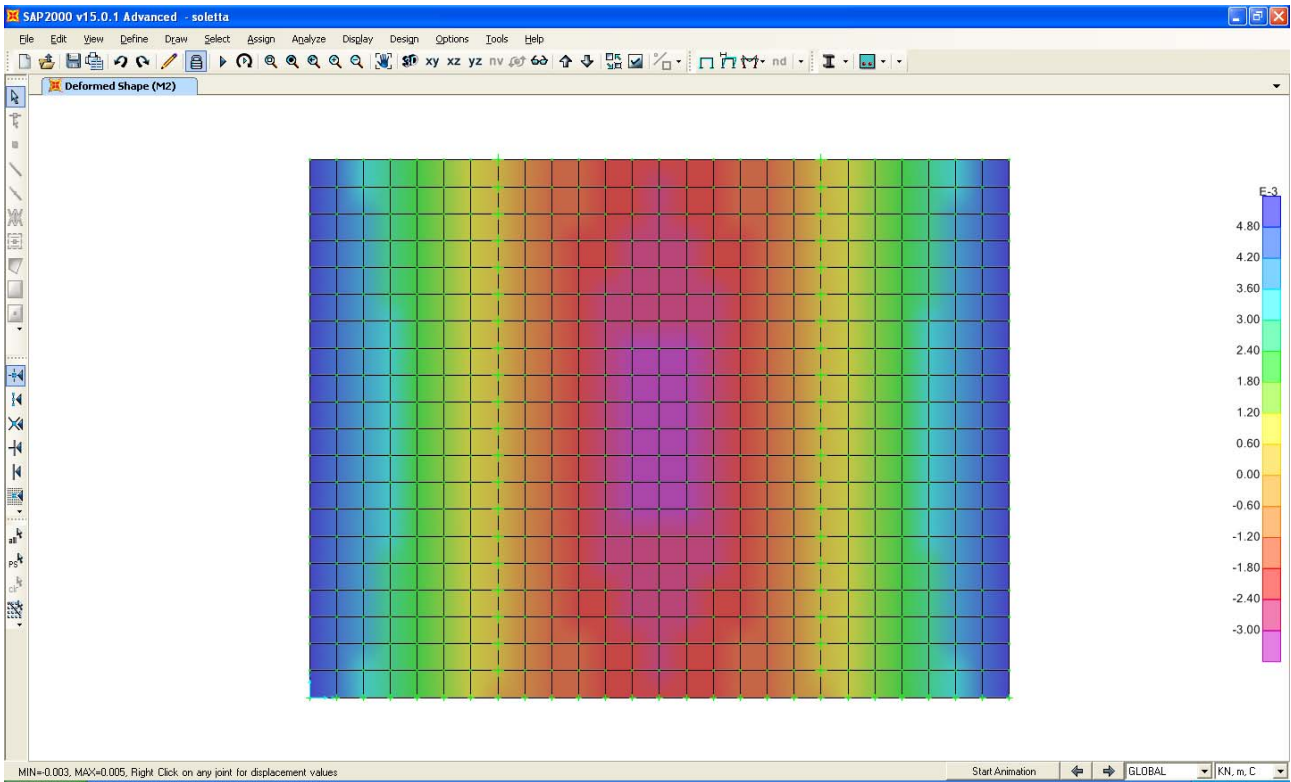
V_{Rd} (KN)	207.7	resist. a taglio della trave in assenza di apposita armatura
---------------	--------------	--

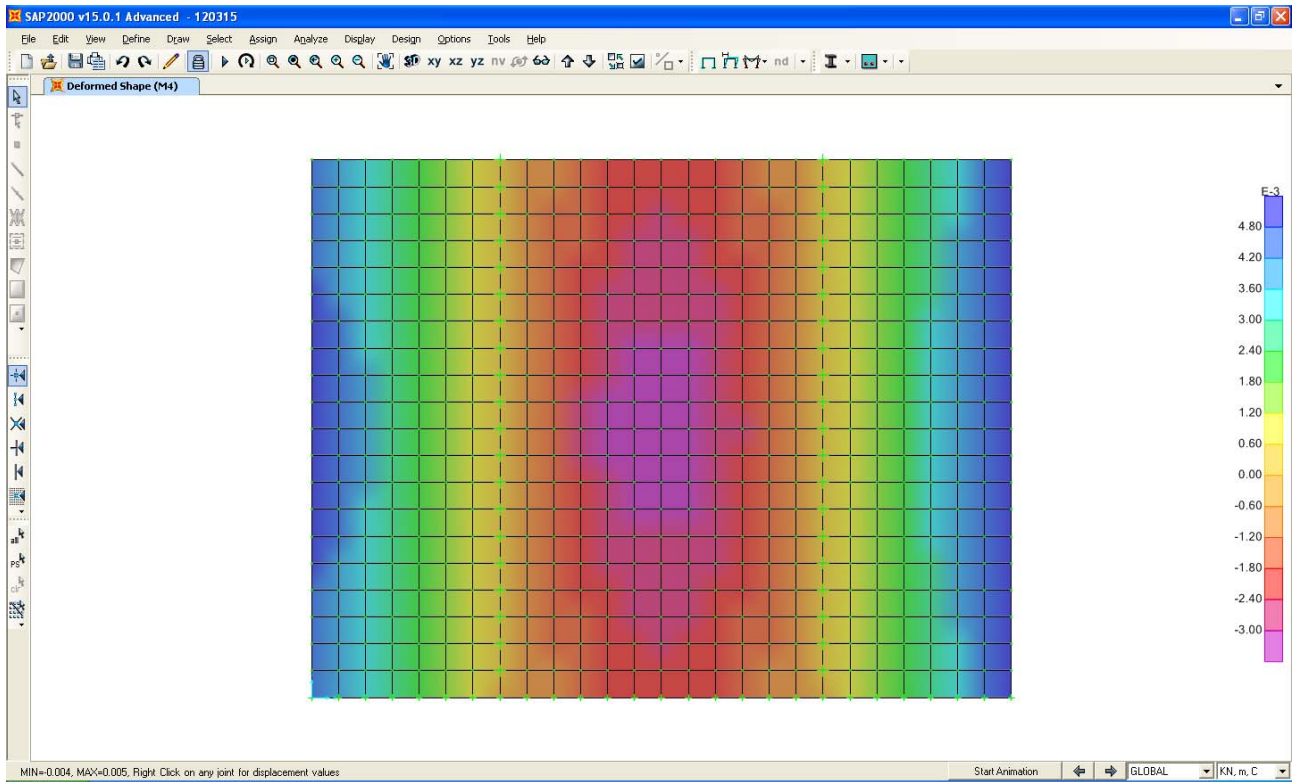
Da quanto sopra riportato la verifica di resistenza all'azione tagliante risulta soddisfatta: pertanto non è richiesta apposita armatura a taglio.

5.3.5. Verifiche di deformabilità

Si riportano le deformazioni verticali dovute all'applicazione dei carichi mobili.







I massimi spostamento verticali valgono quindi:

- Zona di sbalzo: $v_{\max} = 2.5 \text{ mm} \cong 2 \cdot L/2800$
- Zona in campata: $v_{\max} = 3.8 \text{ mm} \cong L/1580$

La verifica può considerarsi soddisfatta.