



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

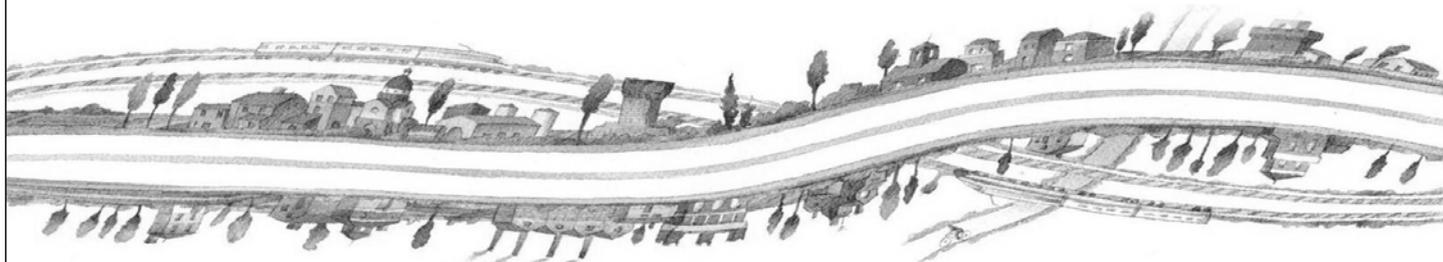
PROGETTO DEFINITIVO

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

TIPOLOGICI PONTI E VIADOTTI

PONTI E VIADOTTI IN ACCIAIO SULL'ASSE PRINCIPALE:

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



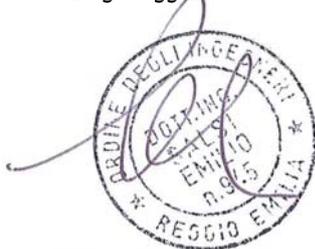
IL PROGETTISTA

Ing. Antonello Mezzaluna
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										DATA: MAGGIO 2012
NUM. Progr.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
2326	PD	0	A00	A0000	0	OM	RT	01	A	

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	22
5.1.3. Verifiche di stabilità.....	27
5.2. DIMENSIONAMENTO DELLE LASTRE PREDALLE	29
5.2.1. Premessa, analisi dei carichi e combinazioni di carico.....	29
5.2.2. Modelli di calcolo	30
5.2.3. Risultati di calcolo.....	35
5.2.4. Verifiche	38
5.3. DIMENSIONAMENTO SOLETTA D'IMPALCATO	41
5.3.1. Valutazioni preliminari in merito agli effetti delle coazioni.....	42
5.3.2. Analisi dei carichi.....	45
5.3.3. Combinazioni di carico	54
5.3.4. Risultati delle analisi e verifiche di resistenza.....	54
5.3.5. Verifiche di deformabilità	66
5.4. DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE ROMPIRATTO	69

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 ≤ 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 150x15 accoppiati;
- Asta di parete orizzontale (traverso intermedio) costituito da 4 profili a L 120x10 accoppiati a formare una sezione simile ad una doppia C;
- Nervature d'anima inclinate costituite da un piatto a sezione variabile (500x20) ÷ (800x20) e dalle relative porzioni d'anima del cassone considerabili come collaboranti con la nervatura (larghezza d'anima collaborante su ciascun lato della nervatura: $15 \cdot \epsilon \cdot t_a = 15 \cdot 0.81 \cdot 16$ mm = 194 mm, approssimata a 190mm);
- 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: $15 \cdot \epsilon \cdot t_a = 15 \cdot 0.81 \cdot 35$ mm = 425mm).

Si fa presente che per semplicità di modellazione, la sezione del traverso intermedio è stata modellata mediante una sezione a doppio C caratterizzata da proprietà inerziali del tutto paragonabili a quelle della sezione reale.

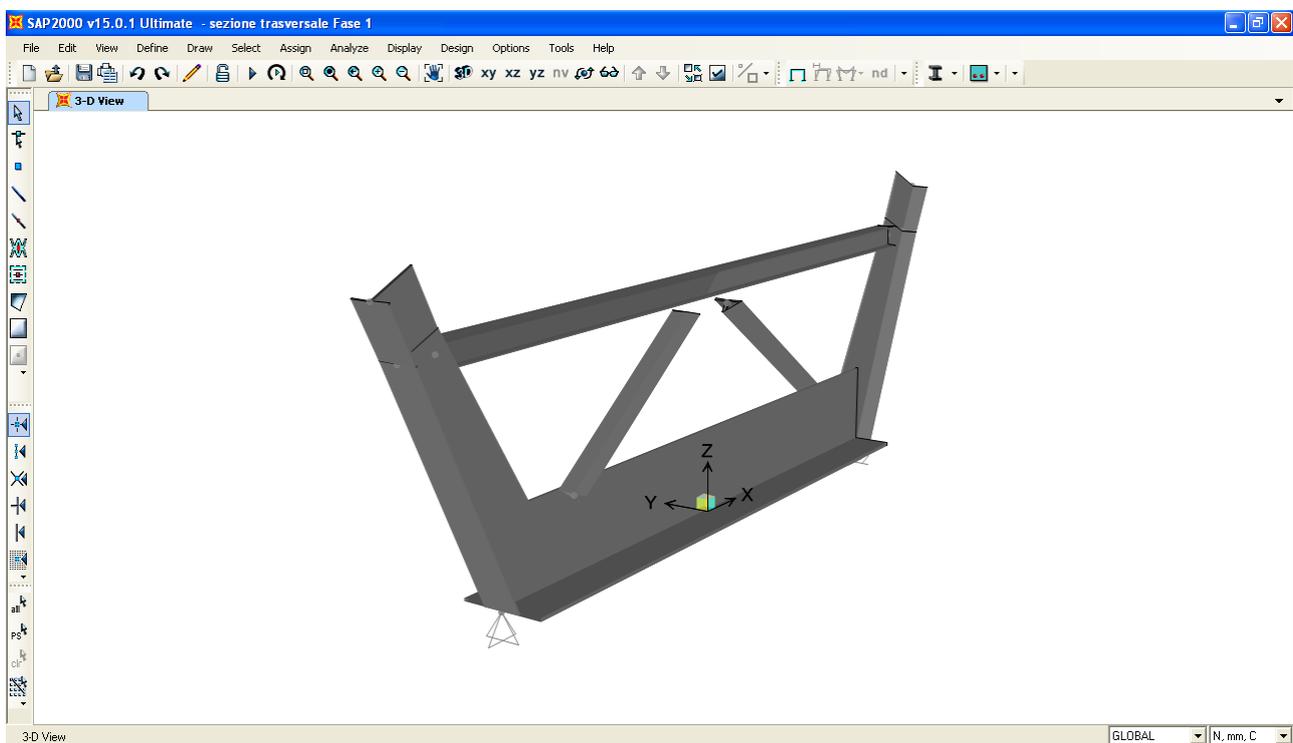
Per tenere correttamente in conto degli ingombri degli elementi strutturali si sono impiegati opportuni vincoli rigidi ("weld constraints") in grado di consentire il corretto distanziamento tra gli elementi ripristinando al contempo la continuità tra nodi non coincidenti.

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).

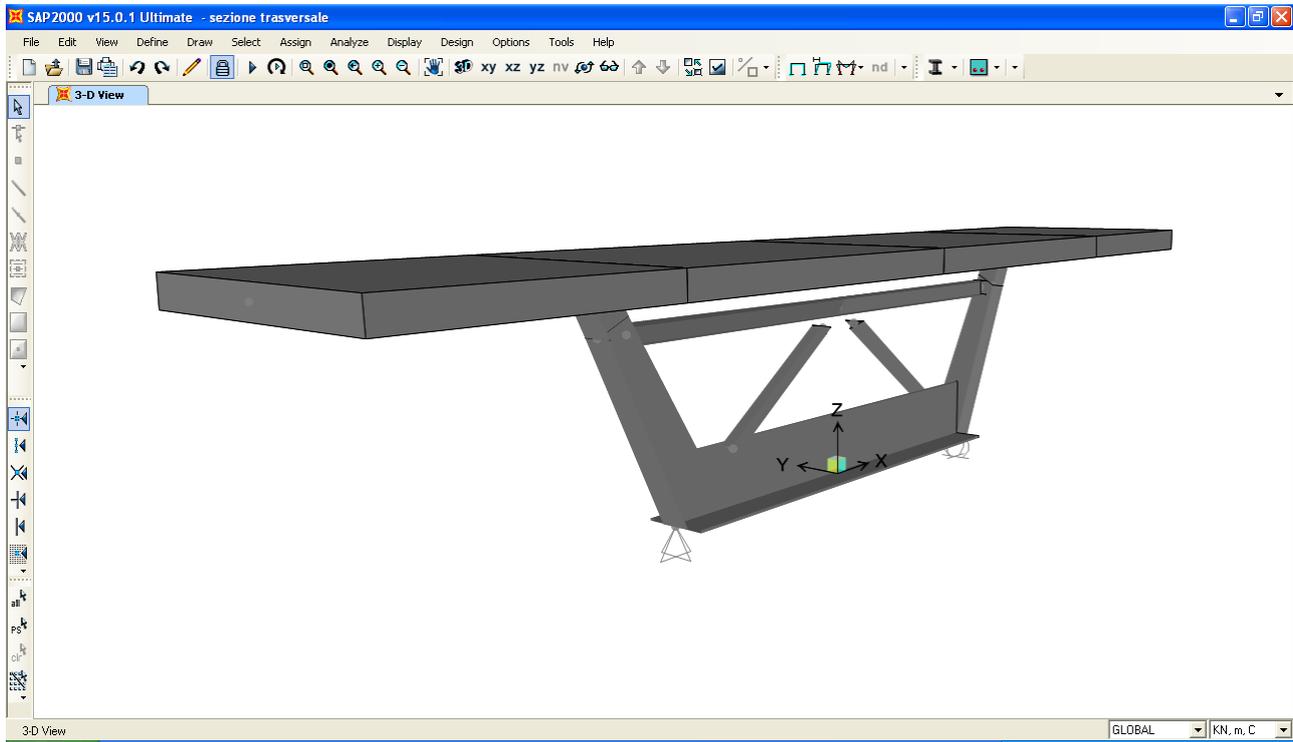
Al fine di tenere correttamente in conto delle diverse fasi costruttive di seguito descritte si sono implementati due modelli:

- 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).

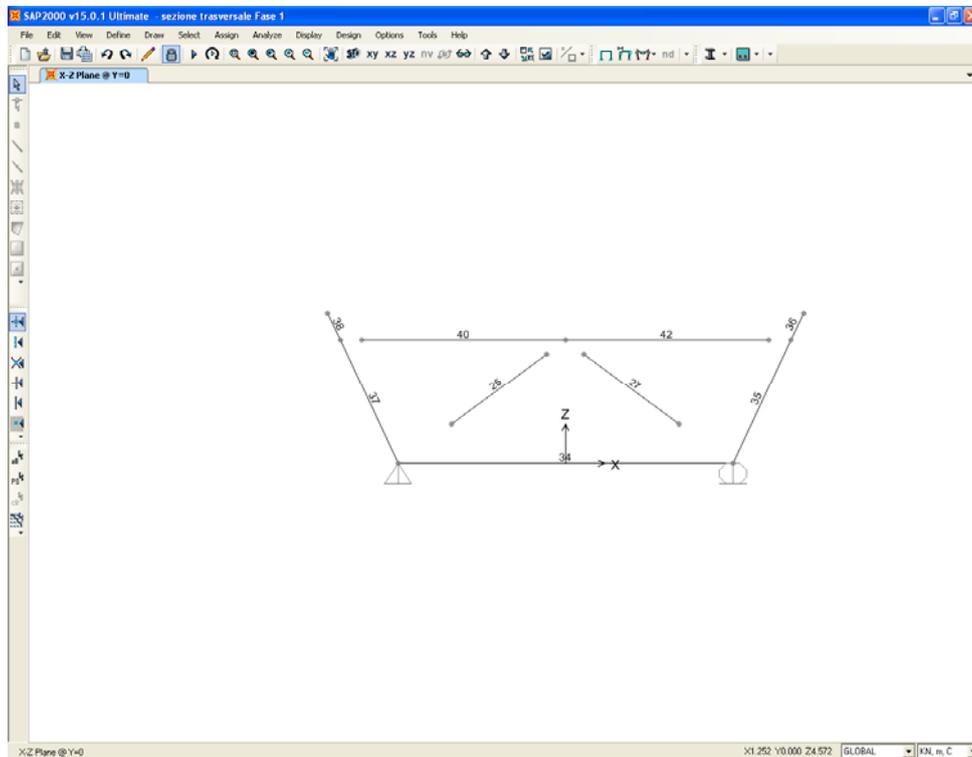
Le figure che seguono riportano la vista solida dei modelli di calcolo e le geometrie delle sezioni delle aste.



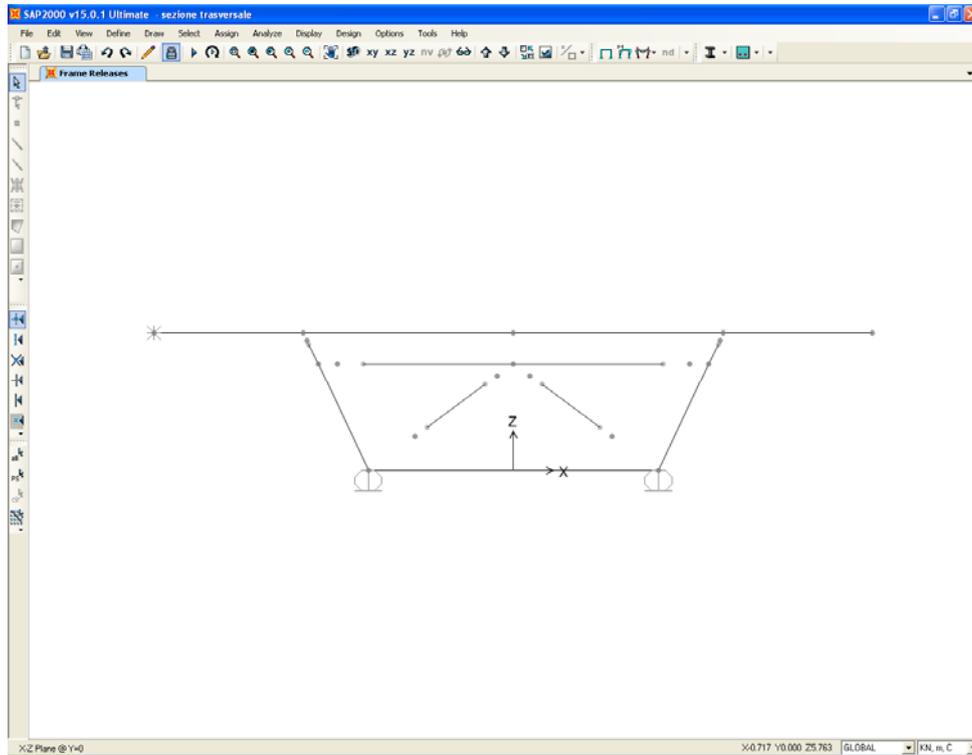
Modello di fase 1



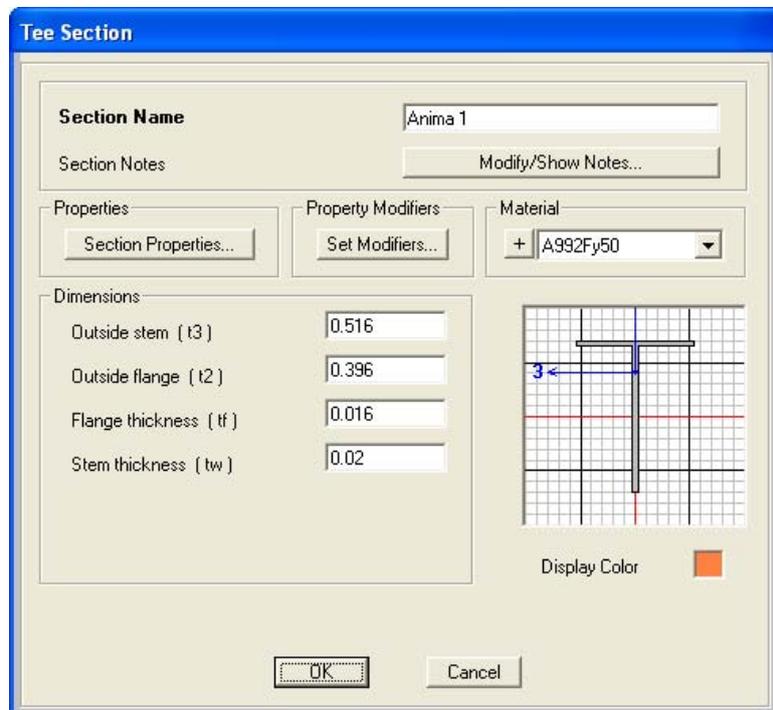
Modello di fase 2



Modello di fase 1



Modello di fase 2



Tee Section

Section Name Anima 2

Section Notes

Properties Property Modifiers Material + A992Fy50

Dimensions

Outside stem (t3)	0.816
Outside flange (t2)	0.396
Flange thickness (tf)	0.016
Stem thickness (tw)	0.02

Display Color

Tee Section

Section Name Flangia

Section Notes

Properties Property Modifiers Material + A992Fy50

Dimensions

Outside stem (t3)	0.916
Outside flange (t2)	0.87
Flange thickness (tf)	0.035
Stem thickness (tw)	0.02

Display Color

Double Angle Section

Section Name: 2L150x15/20/

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): 0.15

Outside width (t2): 0.32

Horizontal leg thickness (tf): 0.015

Vertical leg thickness (tw): 0.015

Back to back distance (dis): 0.02

Display Color:

OK Cancel

Double Channel Section

Section Name: Traverso

Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...

Property Modifiers: Set Modifiers...

Material: + A992Fy50

Dimensions:

Outside depth (t3): 0.24

Outside width (t2): 0.24

Flange thickness (tf): 0.01

Web thickness (tw): 0.01

Back to back distance (dis): 0.02

Display Color:

OK Cancel

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 26 kN/mc che per semplicità e cautelativamente si applica anche alla lastra predalle per un carico complessivo di 9.1 kPa);

Fase 2

- Sovraccarichi permanenti costituiti dal peso di barriera fonoassorbente (5 kN/m), guardrail (1.0 kN/m), dotazioni impiantistiche e velette (1.5 kN/m), cordoli (3 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 una modellazione dedicata), 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:

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

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.

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	7.38		9	0.
Fixed Length	7.38		9	0.

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle Remains Fully In Path

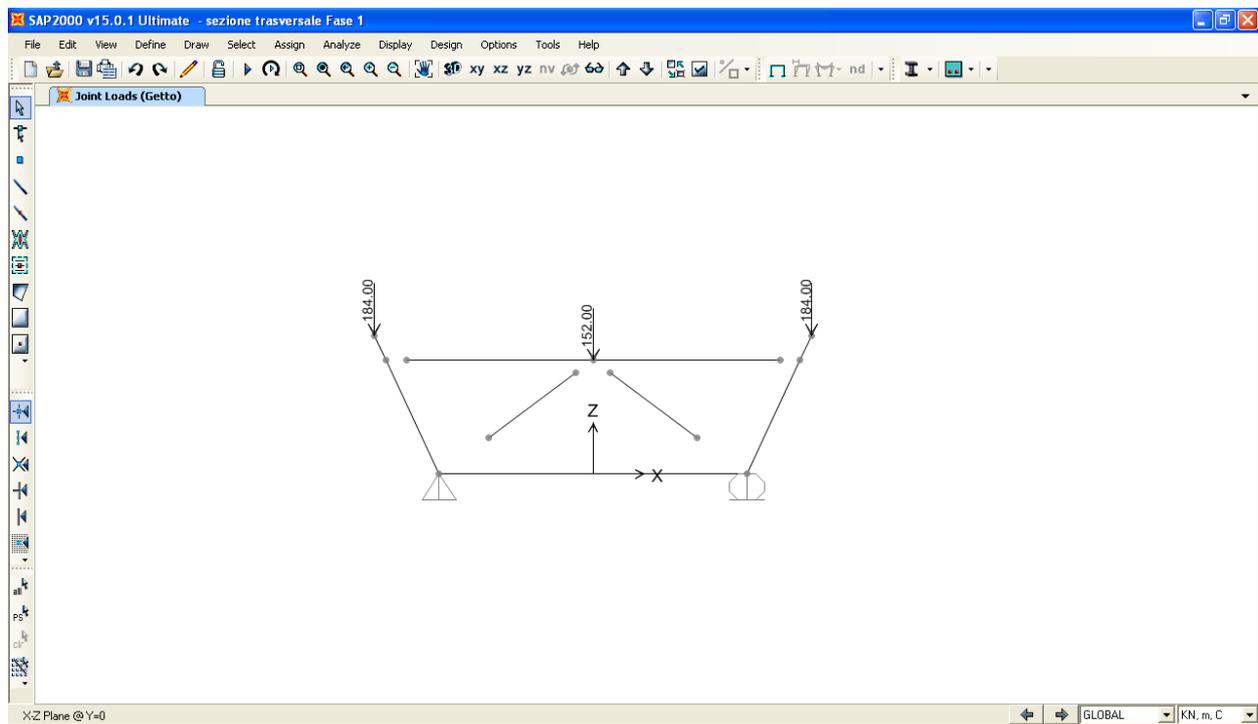
Buttons: OK, Cancel

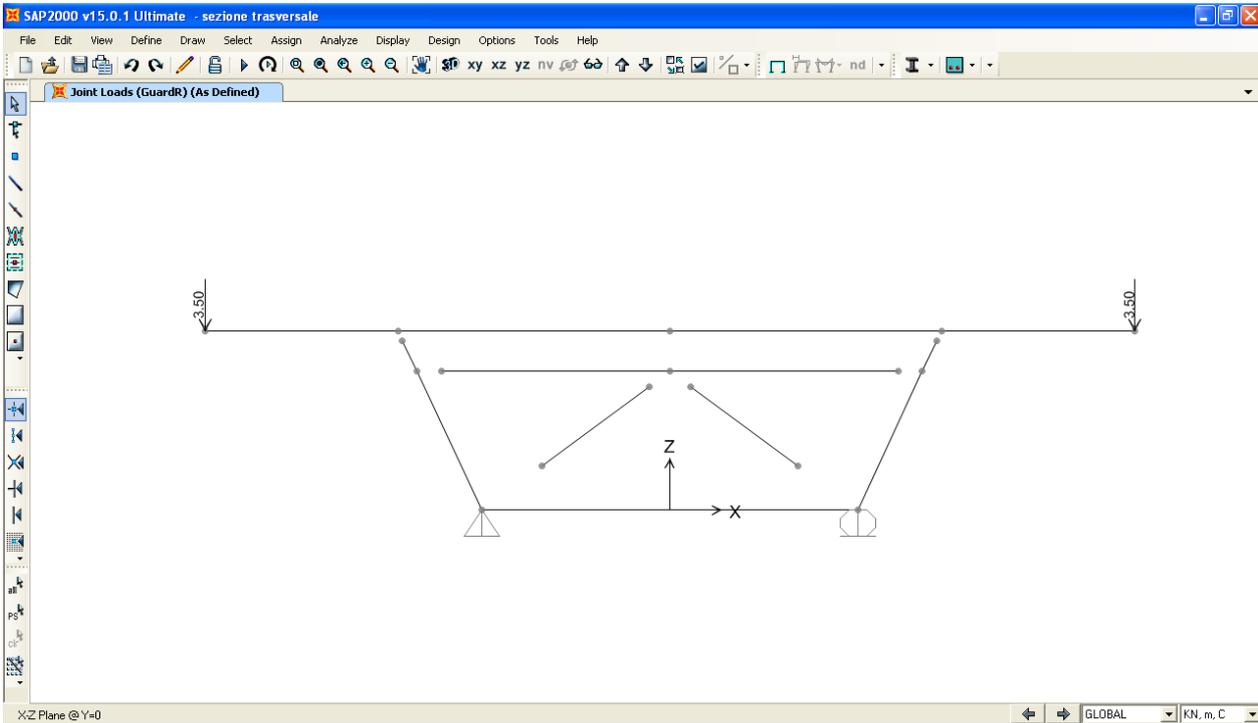
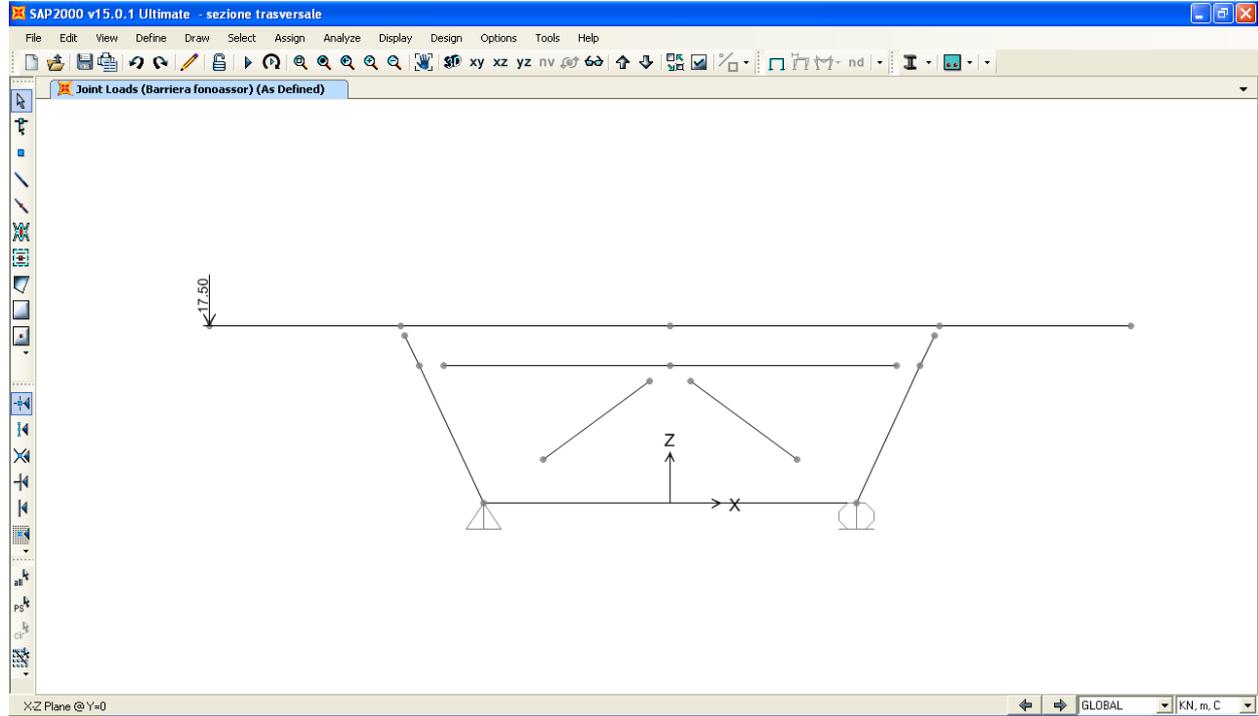
La variazione termica estiva da assegnare al cassone prevede una distribuzione di temperatura cautelativamente variabile in altezza dai +30°C della piattabanda inferiore fino ai +72°C in asse soletta; per semplicità si è operato assegnando agli elementi intermedi del cassone (anime ed aste di parete)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

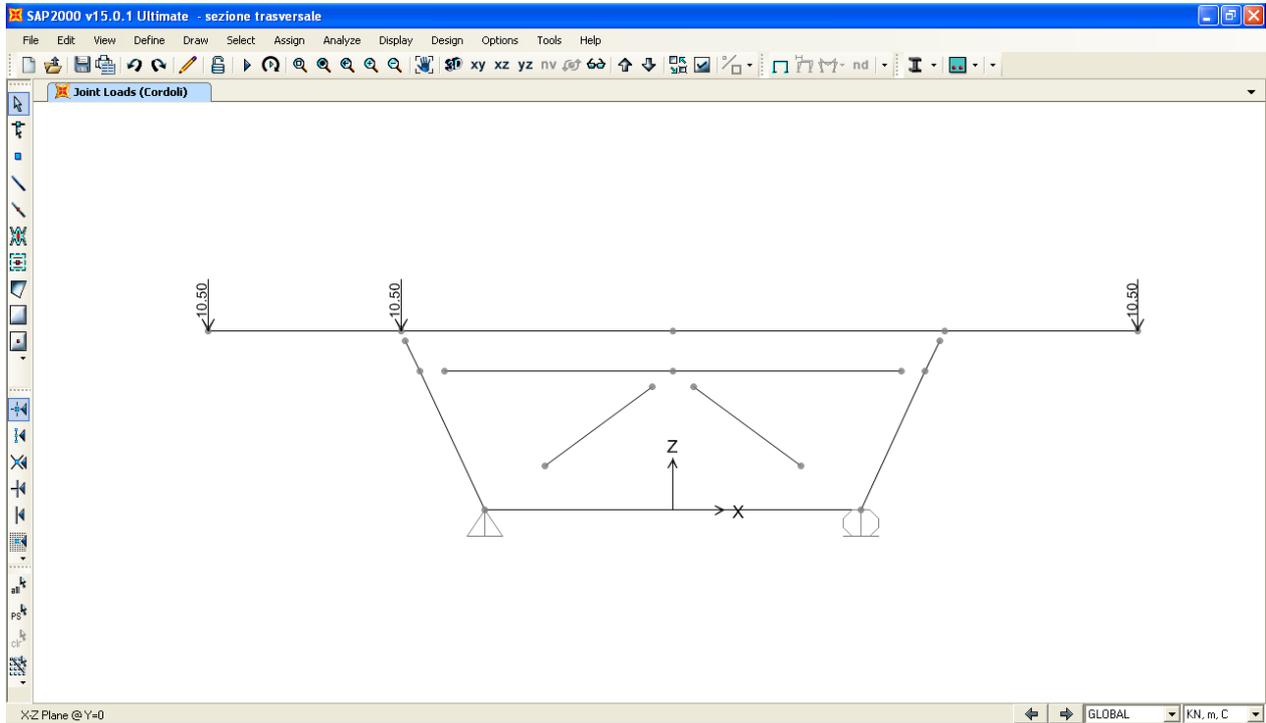
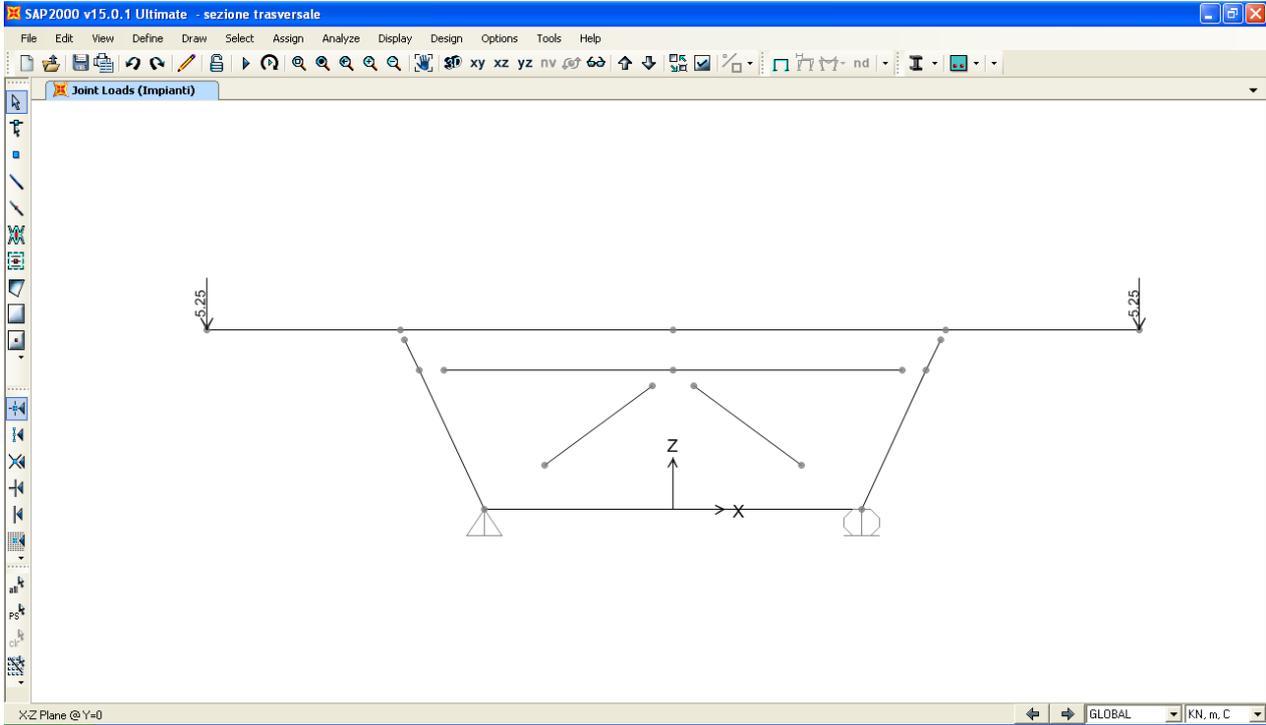
La variazione termica invernale è costituita da una variazione termica uniforme di -30°C.

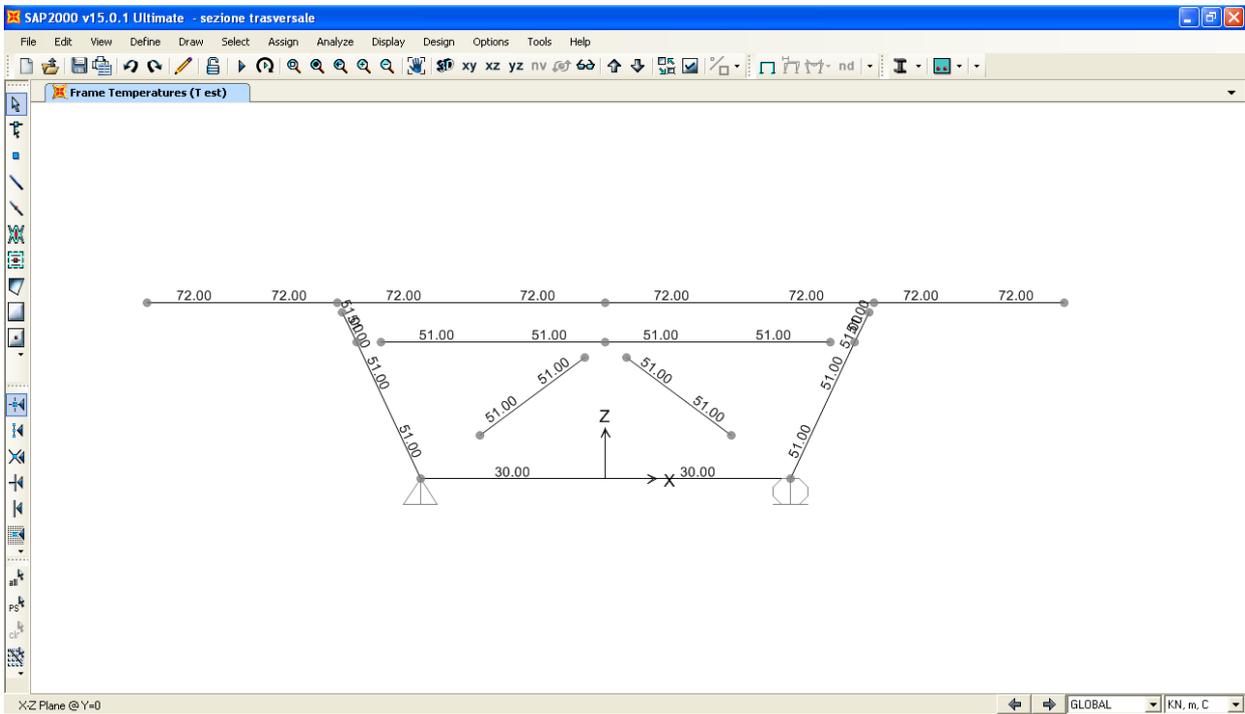
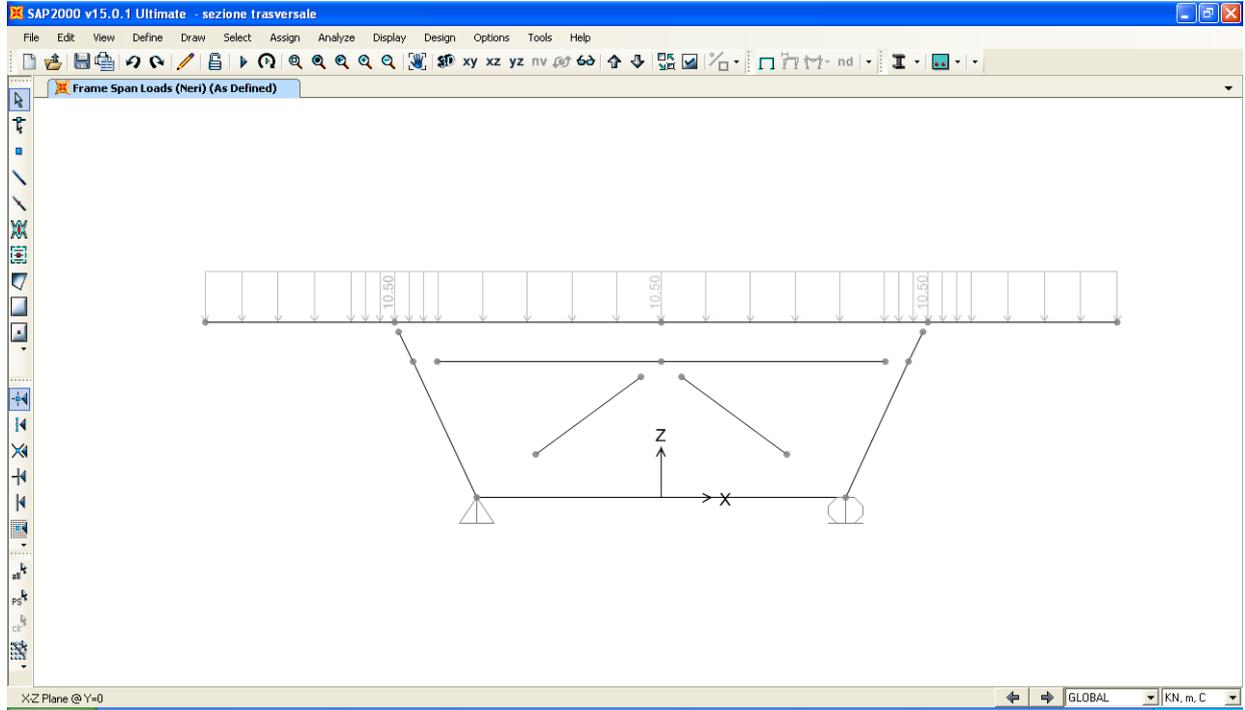
Il ritiro è applicato alla soletta sotto forma di variazione termica negativa equivalente di intensità pari a -6 °C.

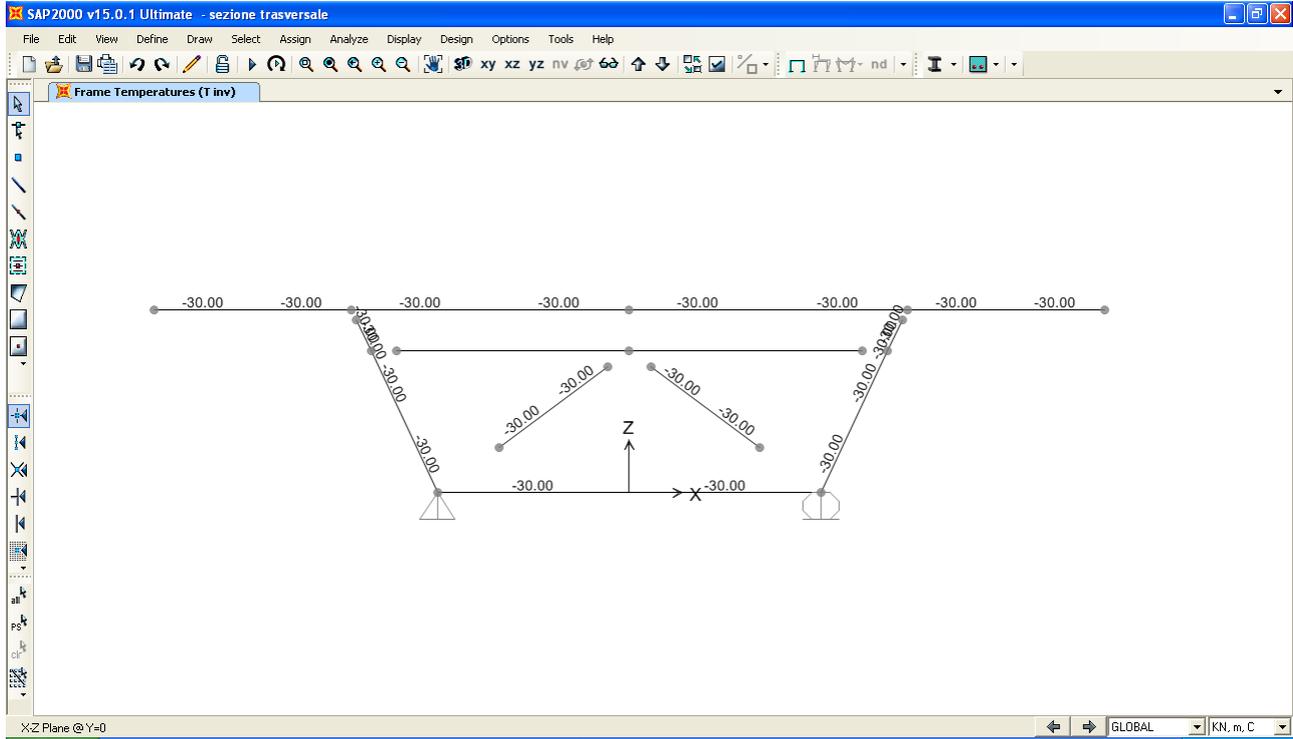
La figura che segue illustra l'applicazione delle condizioni elementari di carico ai modelli e le combinazioni di carico di progetto adottate.













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

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 involuppi 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 inclinate d'anima (sez .altezza min): $W = 0.00133 \text{ mc}$; $A = 0.0163 \text{ mq}$
- Nervature inclinate d'anima (sez .altezza max): $W = 0.00312 \text{ mc}$ (= $2.35 \cdot W_{\text{min}}$) ; $A = 0.0223 \text{ mq}$ (= $1.37 \cdot A_{\text{min}}$)
- Nervatura inferiore: $W = 0.00477 \text{ mc}$; $A = 0.0481 \text{ mq}$
- Aste diagonali: $W = 0.000167 \text{ mc}$; $A = 0.008605 \text{ mq}$
- Traverso superiore: $W = 0.000633 \text{ mc}$; $A = 0.0088 \text{ mq}$.

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

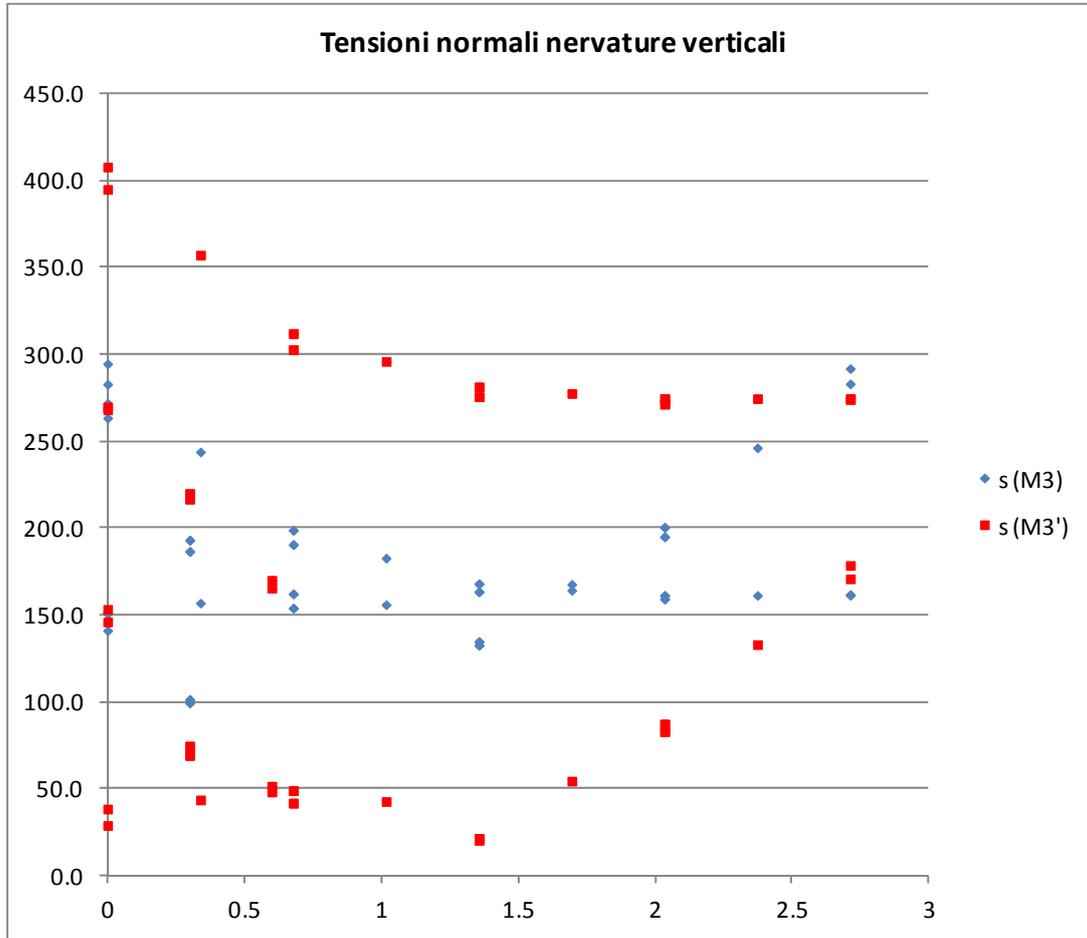
La tabella che segue riassume i valori massimi di tensione normale valutati per i singoli elementi strutturali. Le tensioni di calcolo sono inferiori alla resistenza di progetto $f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$.

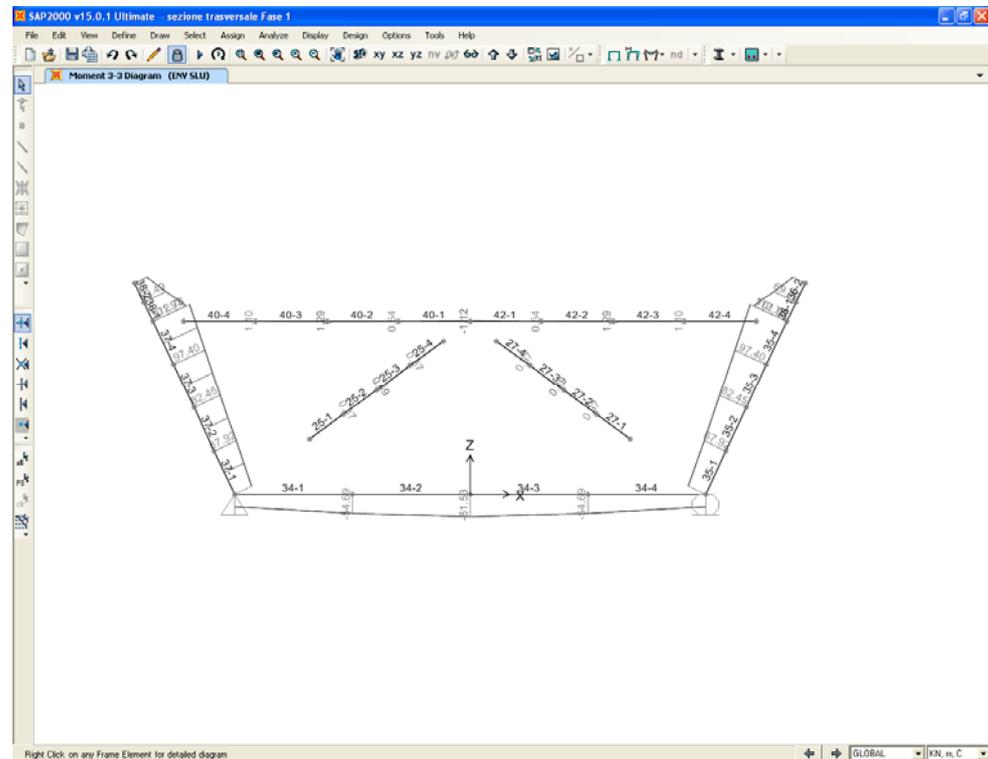
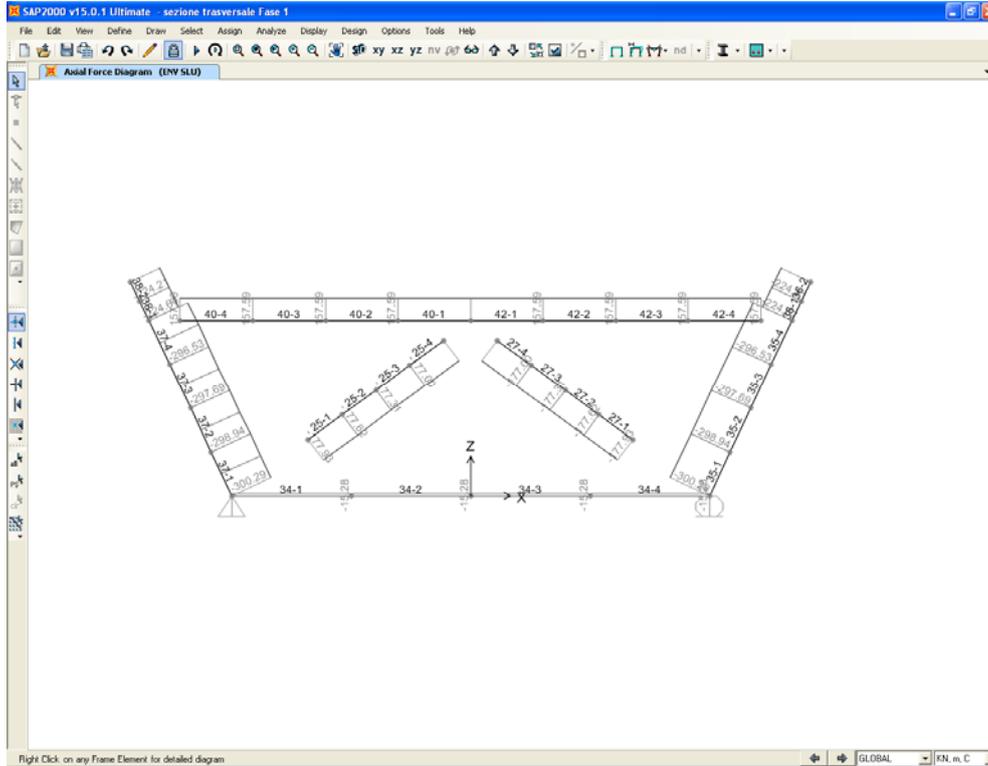
	smax	smin
Nervatura inferiore	32	-57
Aste diagonali	91	-105
Traverso superiore	60	-89
	MPa	MPa

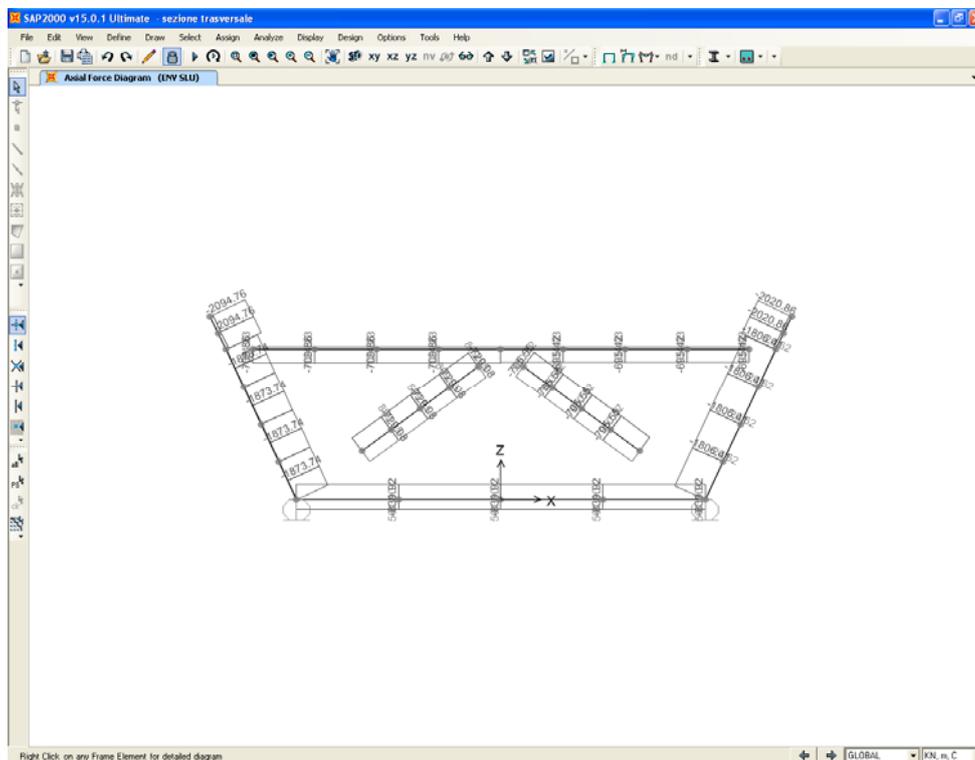
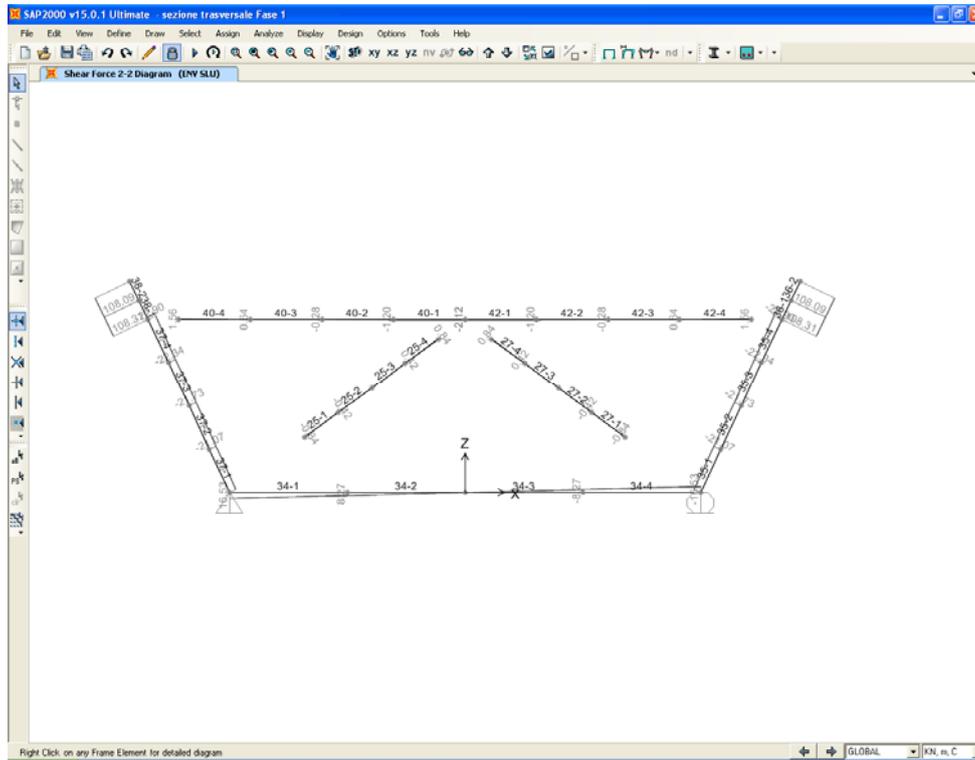
Per quanto riguarda le nervature d'anima, il grafico che segue illustra la distribuzione delle tensioni lungo lo sviluppo delle nervature. Si fa presente che dette tensioni sono calcolate con riferimento alle proprietà inerziali della porzione di nervatura di altezza minima. Il grafico evidenzia alcuni punti al di sopra del valore limite f_{yd} (con un massimo di 409 MPa). Tuttavia, tali valori di tensione corrispondono a zone di nervatura in cui si ha la sezione di altezza massima (rapporto pari a 1.37).

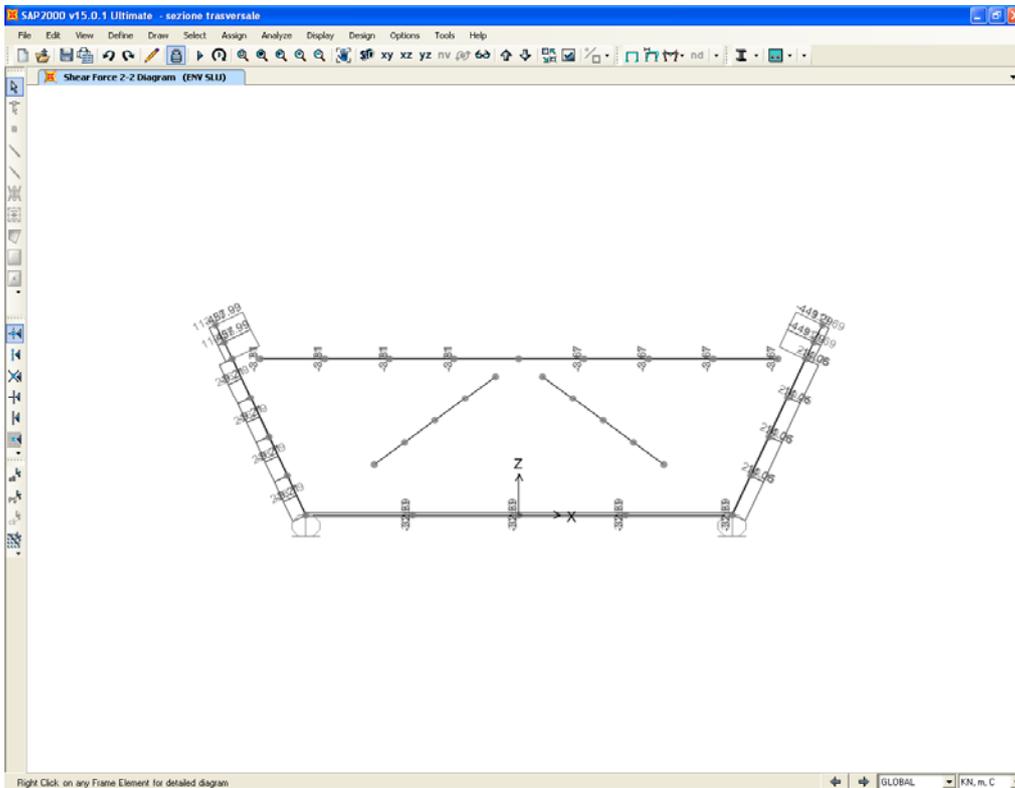
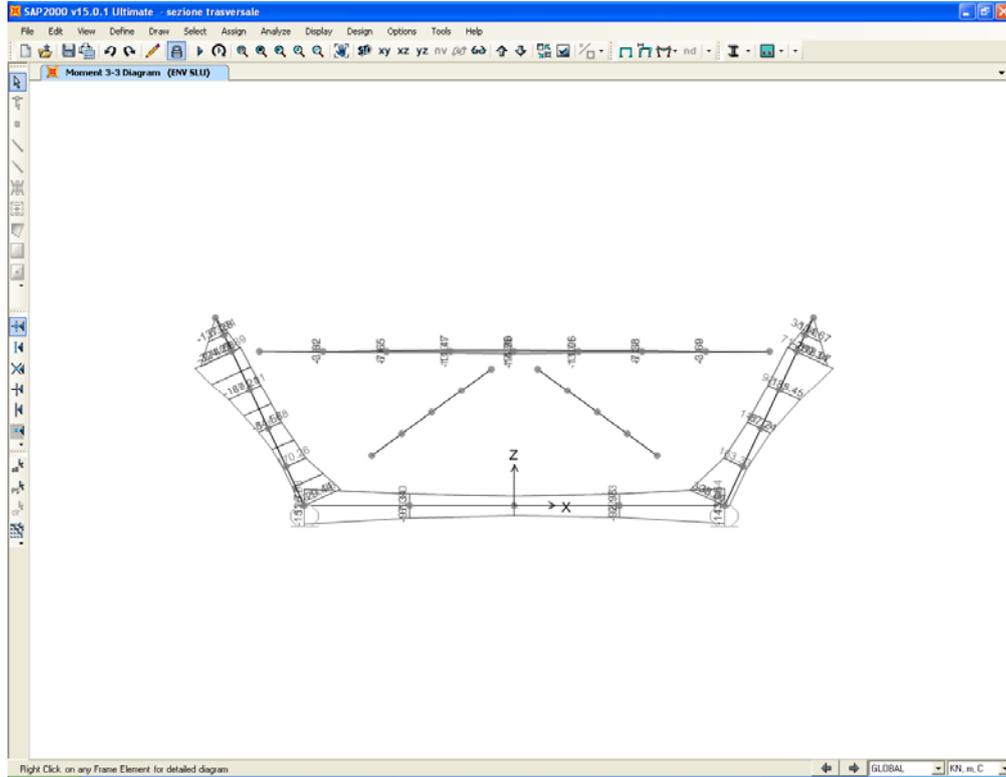
Pertanto, anche considerando cautelativamente il rapporto minimo tra proprietà inerziali delle sezioni (1.37), la tensione massima reale di calcolo nella sezione di altezza massima risulta $409 \text{ MPa} / 1.37 = 299 \text{ MPa}$.

Le verifiche per tensioni normali possono pertanto considerarsi soddisfatte.









Per la porzione di nervatura d'anima compresa tra il traverso intermedio e la soprastante soletta in cls si esegue anche la verifica delle tensioni ideali. La tensione normale massima per tali zone di nervatura risulta pari a 272 N/mm². Per tale elemento si valuta anche la tensione tangenziale indotta dal taglio. Il taglio di progetto risulta pari a:

- Prima fase: $V_1 = 108$ kN
- Seconda fase: $V_2 = 458$ kN
- Taglio totale (fase 1 + fase 2): $V_t = 566$ kN.

La tensione tangenziale è calcolata considerando resistente la sola anima della nervatura (500x20 mmq):

$$\tau = V/A = 57 \text{ N/mm}^2.$$

La tensione ideale è calcolata con il criterio di resistenza di Von Mises: $s_{id} = (s_1^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 289$ N/mm²

La verifica è soddisfatta risultando:

$$s_{id} = 289 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2.$$

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 due tipologie d'aste presenti sono:

- Aste diagonali: $P = 907$ kN
- Traverso: $P = 537$ kN

La verifica di stabilità è eseguita secondo le indicazioni di norma.

Asta diagonale (2 L 150x15//20)

$$L_0 = 2350 \text{ mm}$$

$$A = 8604 \text{ mm}^2$$

$$i_{min} = 45.7 \text{ mm} \quad (L_0/i_{min} = 51)$$

$$N_{cr} = 6740 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.49$$

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

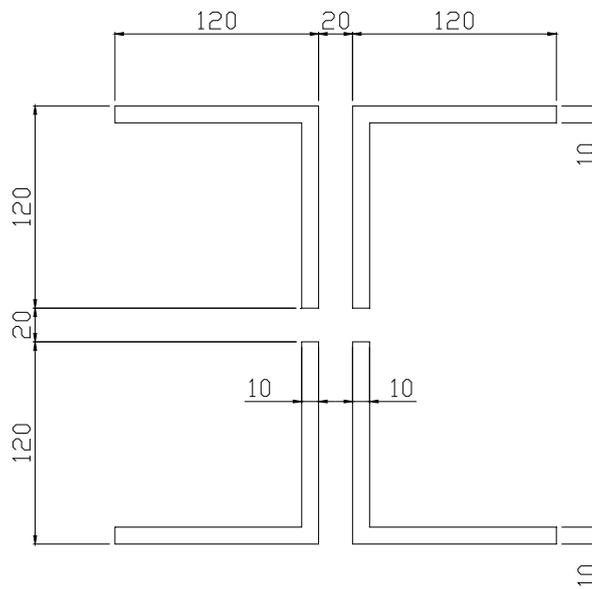
$$\gamma_{m1} = 1.1$$

$$N_{b,Rd} = 2058 \text{ kN} > 907 \text{ kN}$$

L'asta è verificata a compressione.

Asta traverso (4 L 120x10/20)

La geometria della sezione di calcolo è riportata nella figura che segue.



$$L_0 = 4000 \text{ mm}$$

$$A = 9200 \text{ mm}^2$$

$$i_{\min} = 57.4 \text{ mm} \quad (L_0/i_{\min} = 70)$$

$$N_{cr} = 3891 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.49$$

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

$$\gamma_{m1} = 1.1$$

$$N_{b,Rd} = 1751 \text{ kN} > 537 \text{ kN}$$

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 2 campate centrali ($L = 4.775$ m) e due sbalzi terminali ($L = 3.40$ m) per una larghezza complessiva di 16.35 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 delle due campate centrali e della sola porzione di sbalzo adiacente alle piattabande del cassone per una larghezza di 1.90 m;
- Fase 2 – A getto di prima fase indurito, montaggio della veletta di bordo e getto della rimanente porzione di sbalzo (larghezza 1.50m).

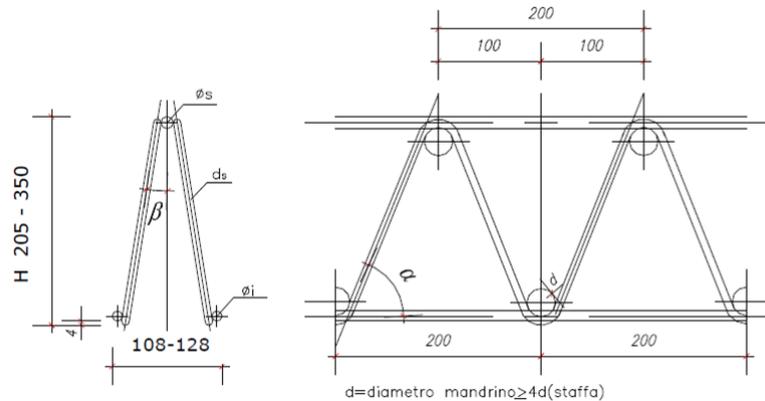
Per le lastre predalle si prevedono moduli da 240 cm di spessore 9 cm, armati con 6 tralicci, ognuno di essi costituito da due ferri longitudinali inferiori $\phi_i = 20$ mm ed uno superiore $\phi_s = 20$ mm e da una doppia staffatura continua $d_s = 10$ mm/200 (vedi schema di seguito riportato). Per 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 $\phi_s - \phi_i = 200$ 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_g = peso getto ($\gamma=26\text{kN/mc}$) = 16.22 kN/m;
- p_v = sovraccarico di costruzione (1.50kN/mq) = 3.60 kN/m;
- F = Peso pannello chiusura di bordo e parte di cordolino terminale sovrastante la soletta = 7.83 kN.

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

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

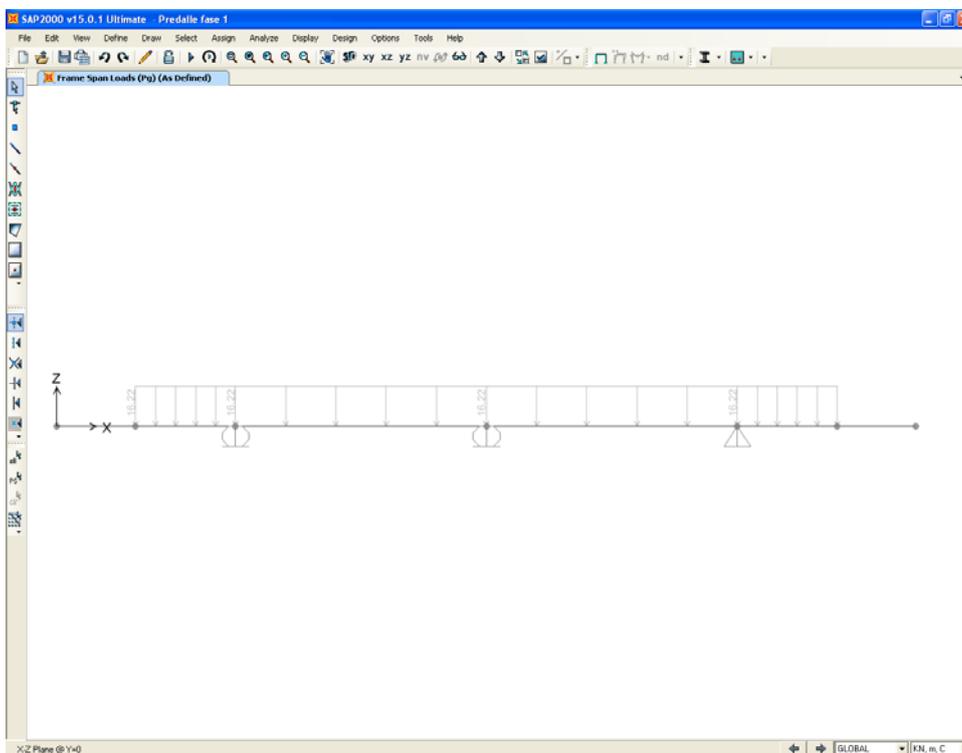
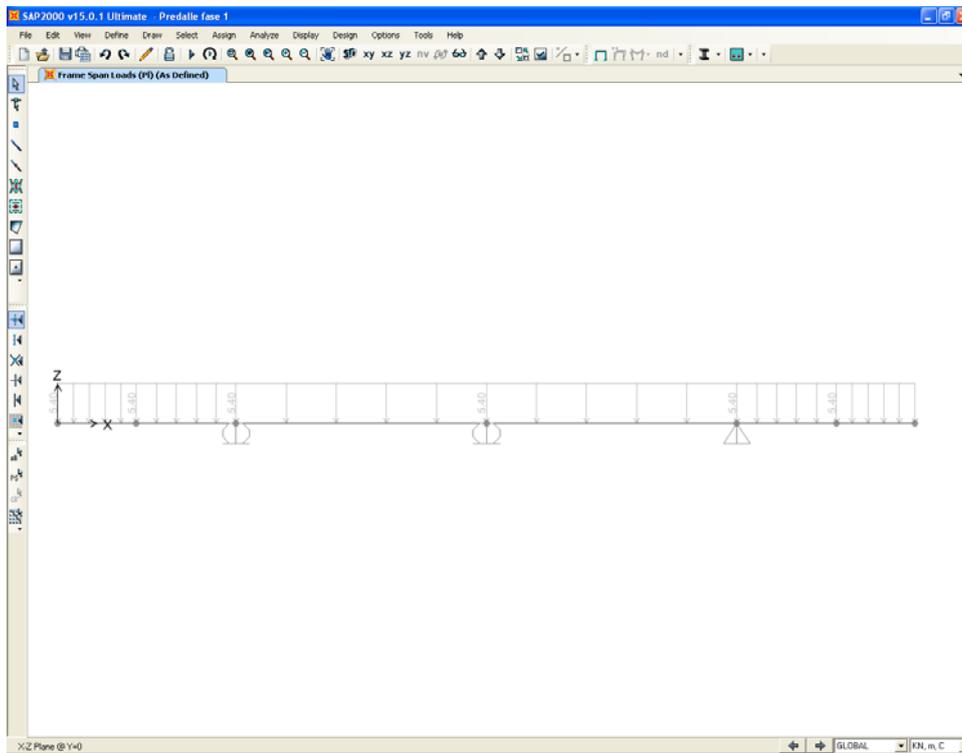
La freccia residua all'estremità dello sbalzo è calcolata con riferimento ai seguenti carichi:

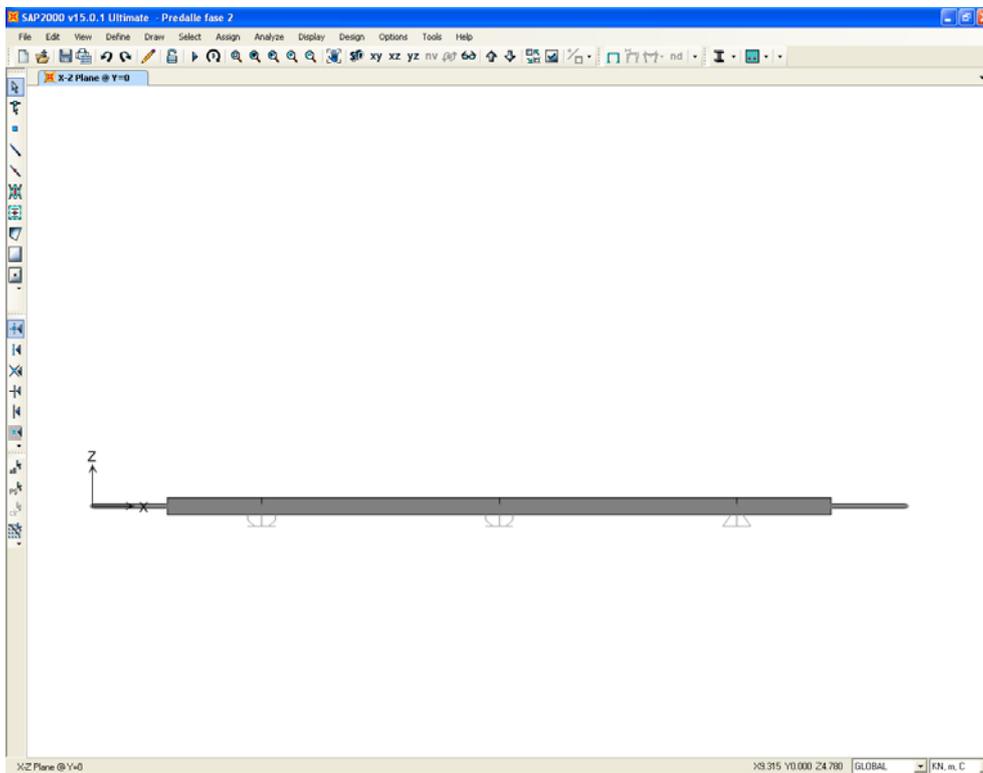
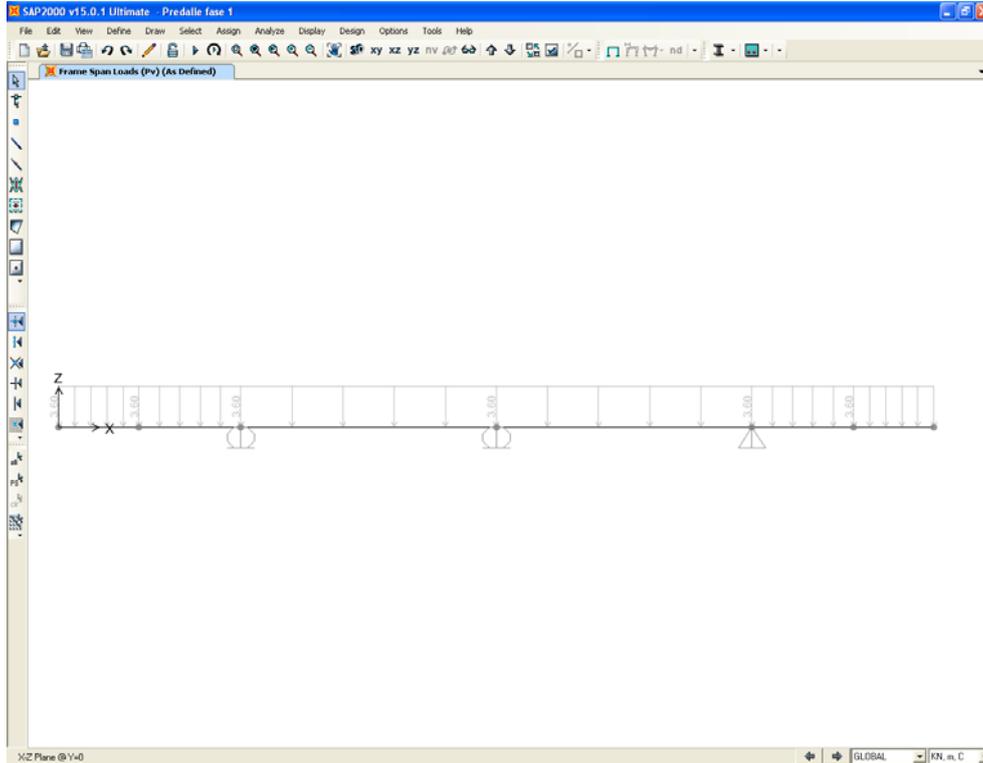
- $p_l + p_g$ [fase 1] (+) $p_g + F$ [fase 2].

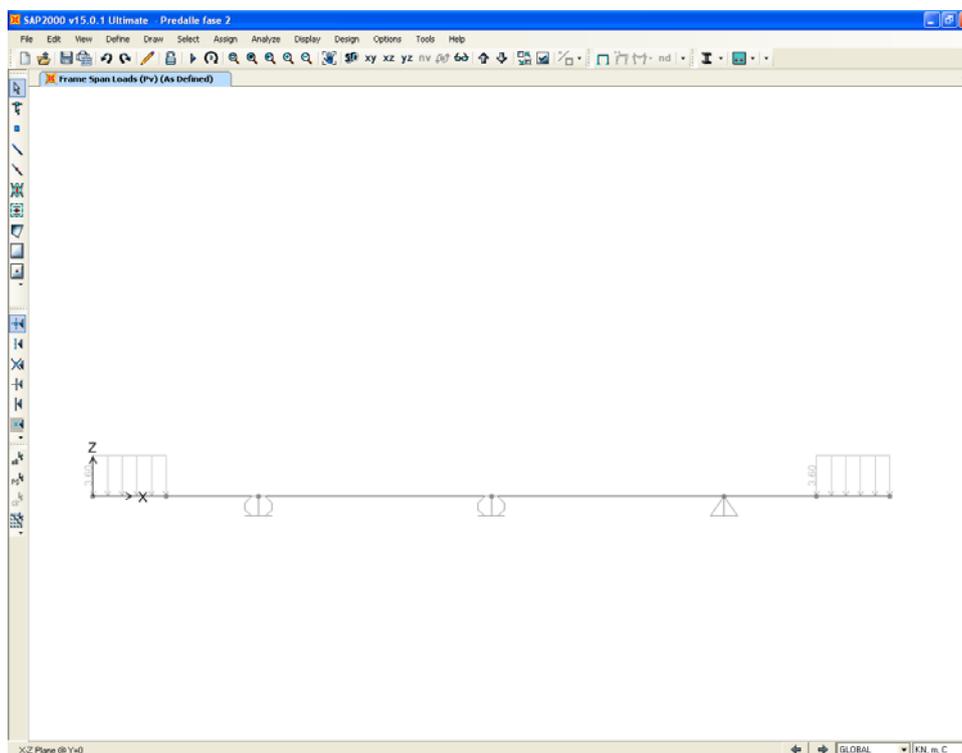
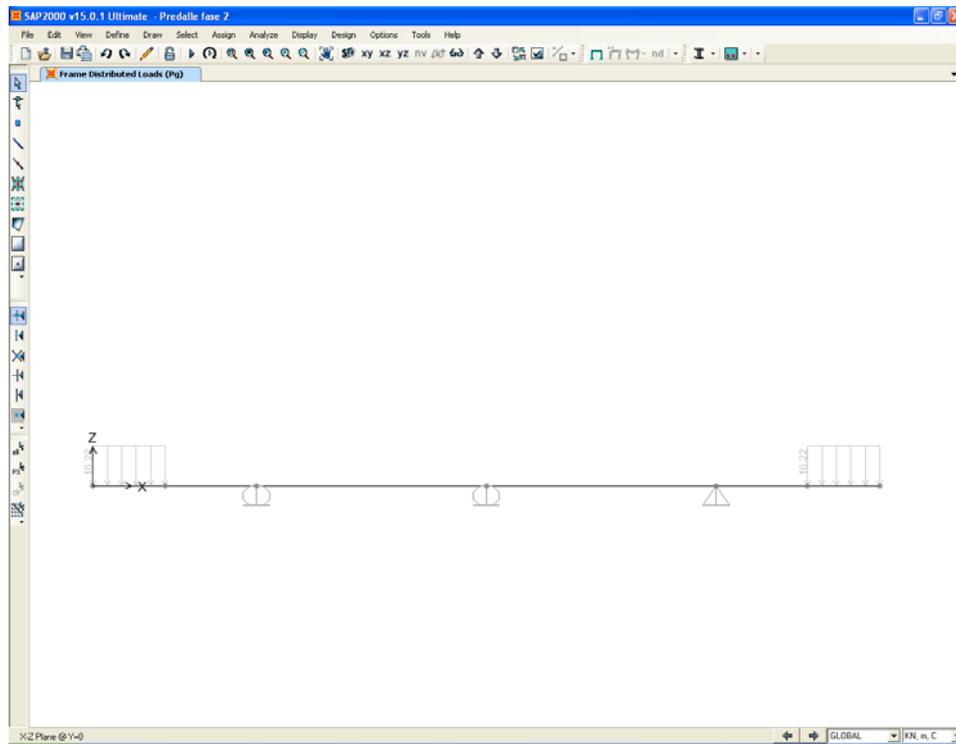
5.2.2. Modelli di calcolo

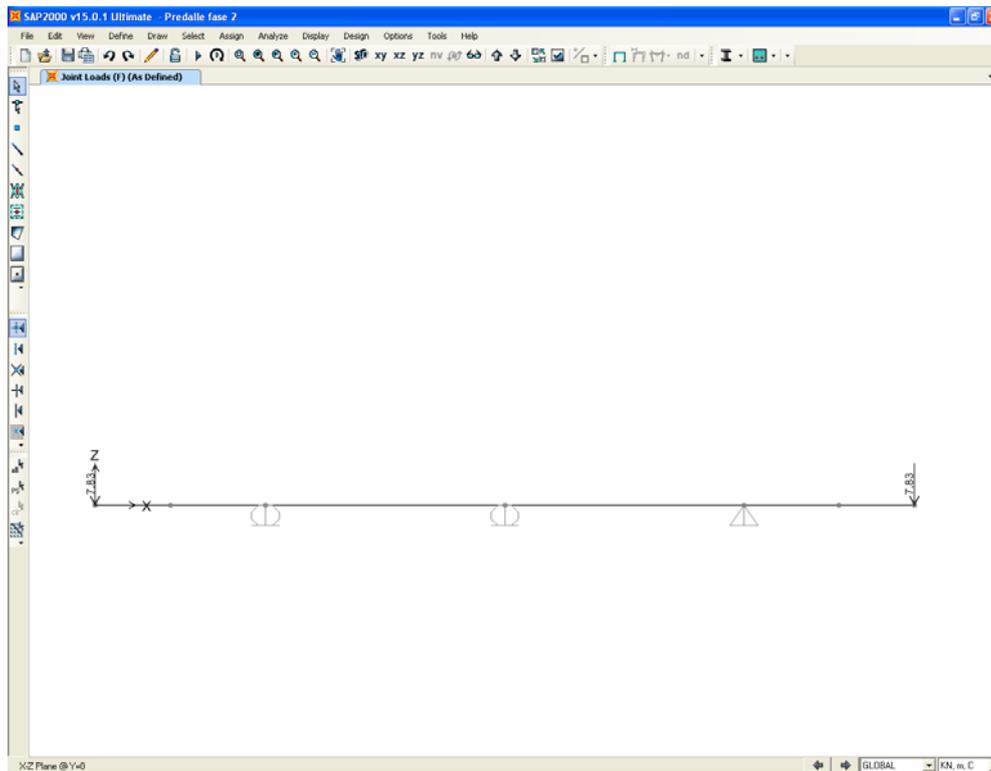
Sono da prevedersi due schemi di calcolo, uno per la fase 1 ed uno per la fase 2. La lastra predalle è modellata assegnando ai corrispondenti elementi frames un momento d'inerzia che tiene conto del contributo offerto dall'armatura metallica ($J_{id} = 57773 \text{ cm}^4$, vedi figura seguente).

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 ($h=35 \text{ cm}$).



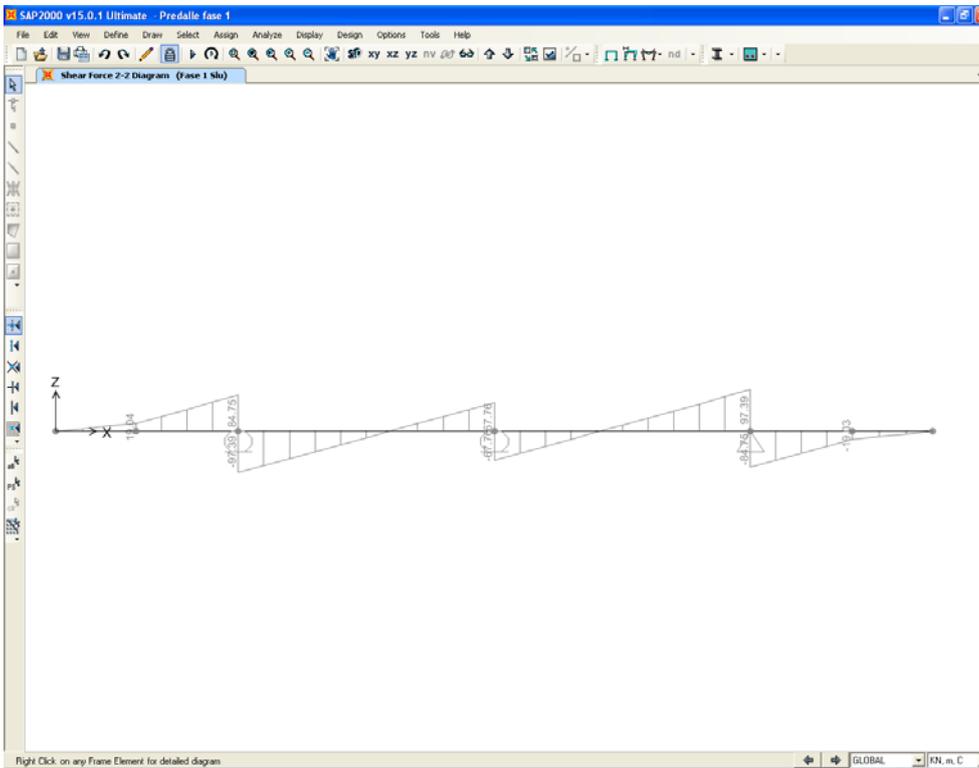
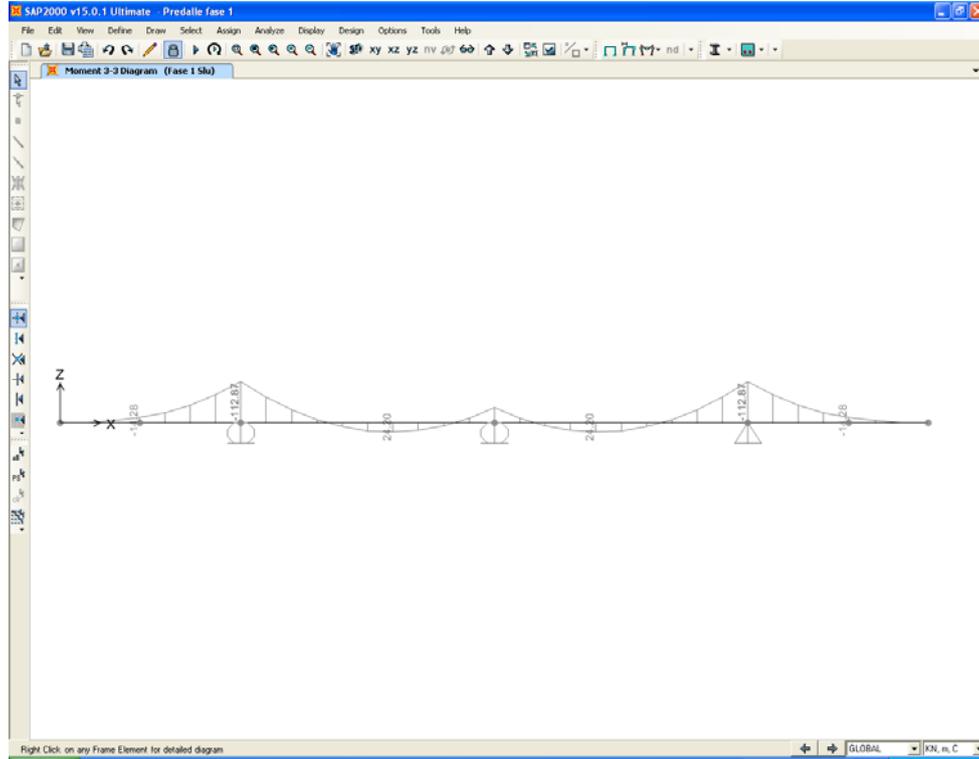


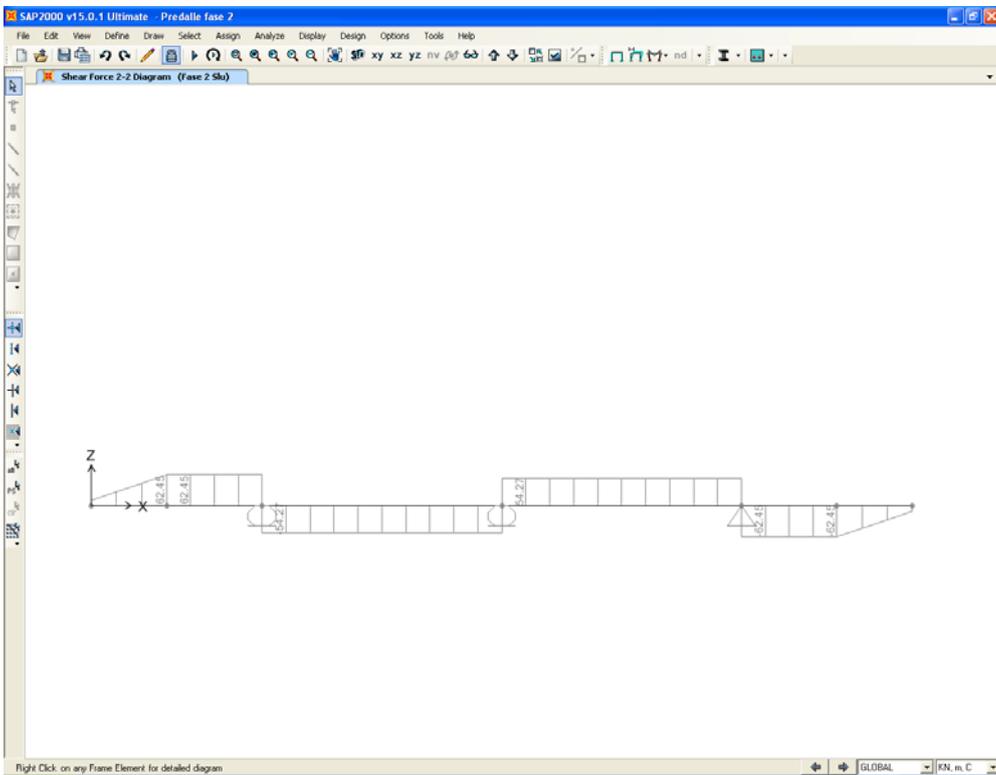
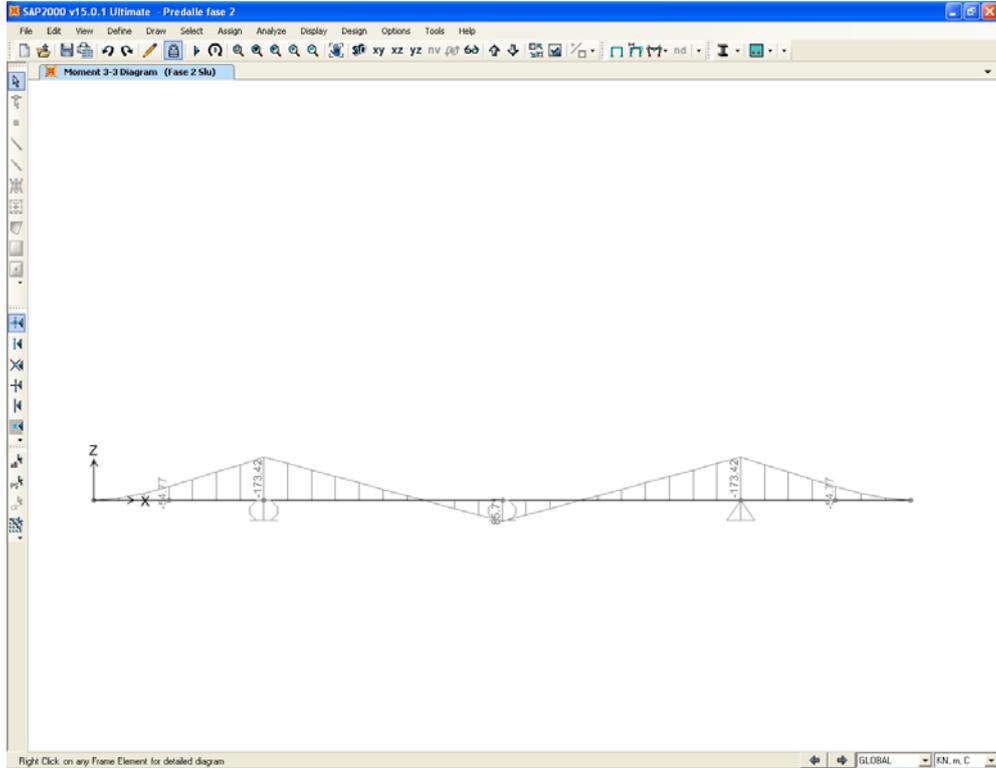




5.2.3. Risultati di calcolo

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:

$$f = 12.1 \text{ mm (fase 1)} + 4.3 \text{ mm (fase 2)} = 16.4 \text{ mm (} 2L/f = 415 \text{)}$$

2. 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	112.89	kNm
h	200	mm
nf	6	
F	94.1	kN
ϕ	20	mm
γ_s	1.15	
Nrd	122.9	kN

Verifica a trazione delle barre superiori

Md	112.89	kNm
h	200	mm
nf	12	
F	47.0	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

3. 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	24.2	kNm
h	200	mm
nf	12	
F	10.1	kN
ϕ	20	mm
γ_s	1.15	
Nrd	122.9	kN

Verifica a trazione delle barre inferiori

Md	24.2	kNm
h	200	mm
nf	6	
F	20.2	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

4. 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	54.77	kNm
h	200	mm
nf	6	
F	45.6	kN
ϕ	20	mm
γ_s	1.15	
Nrd	122.9	kN

Verifica a trazione delle barre superiori

5. 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 ($V=97.39\text{kN}$). Si riporta la verifica di stabilità a compressione del braccio compresso.

Lo sforzo di compressione nel singolo braccio è calcolato come: $F_d = [V/(2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\beta)]/6 = 9.16\text{kN}$

F	9.2	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

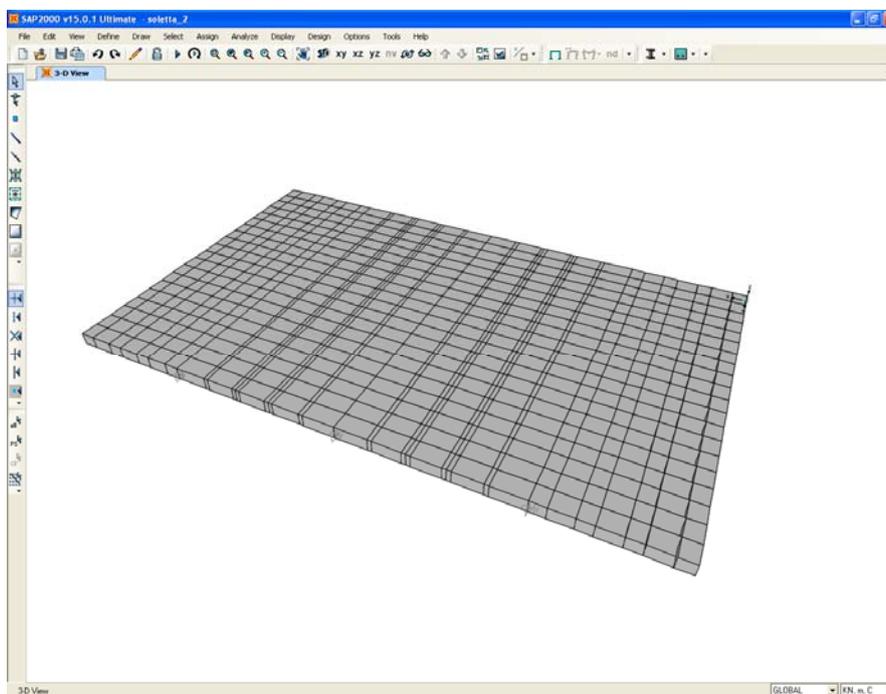
Il dimensionamento della soletta di impalcato è eseguito mediante un apposito modello agli elementi finiti realizzato con SAP2000 Advanced v.15.0.1, in grado di analizzare lo stato tensio-deformativo della soletta modellata con elementi bidimensionali tipo shell.

A tal fine si è presa in considerazione una porzione di impalcato di lunghezza opportuna (10 m), adottando per la meshatura della soletta un reticolo caratterizzato da un interasse dei nodi in direzione longitudinale pari a 0.50m ed un interasse variabile dei nodi in direzione trasversale in modo da poter applicare alla soletta nel modo più preciso possibile i carichi trasmessi dalle impronte dei veicoli di norma (vedi oltre).

Per quanto riguarda il vincolamento della soletta, si è operato schematizzando il vincolo offerto dalle anime del cassone e dalla trave rompi tratto come vincolo fisso in direzione verticale. In direzione trasversale,

invece, sono state eseguite opportune valutazioni sulla la rigidezza del cassone metallico in modo da poter stimare in modo attendibile gli effetti delle coazioni sulla soletta (vedi 5.3.1).

La figura che segue illustra il modello di calcolo adottato.



5.3.1. Valutazioni preliminari in merito agli effetti delle coazioni

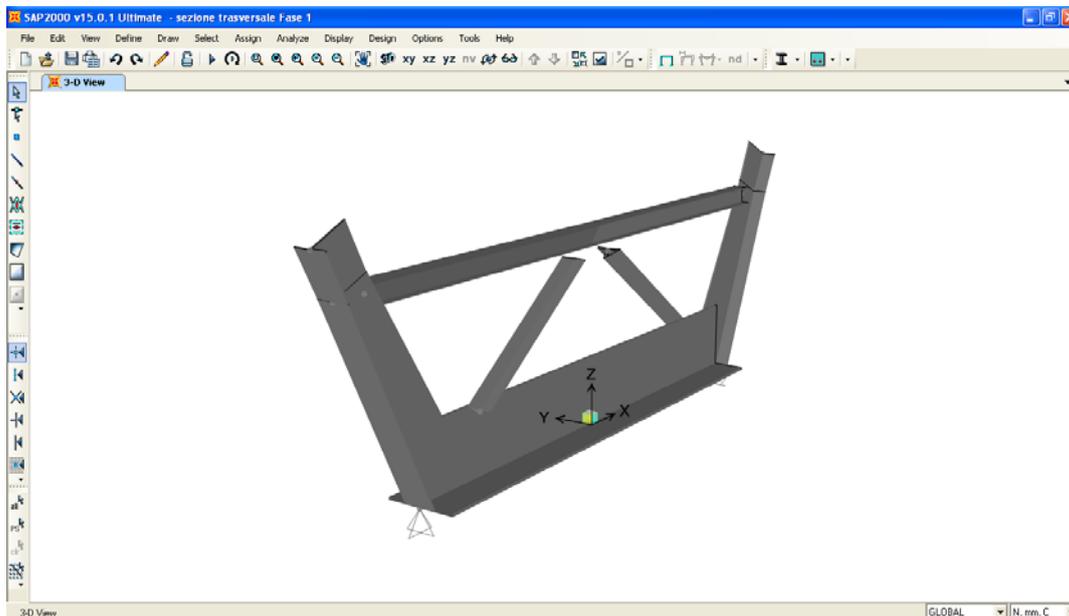
Le coazioni in grado di generare uno stato di sollecitazione significativo sulla soletta sono rappresentate dal ritiro e dalla variazione termica estiva.

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°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 una variazione termica positiva della soletta cautelativamente pari a $+21^{\circ}\text{C}$.

Gli effetti delle coazioni sul regime di sollecitazione della soletta dipendono dalla rigidezza del vincolamento offerto dal sottostante cassone metallico. In particolare, i controventi trasversali sono in grado di offrire un significativo contributo di rigidezza nei confronti dei movimenti trasversali della soletta. Occorre pertanto eseguire una stima di tale rigidezza.

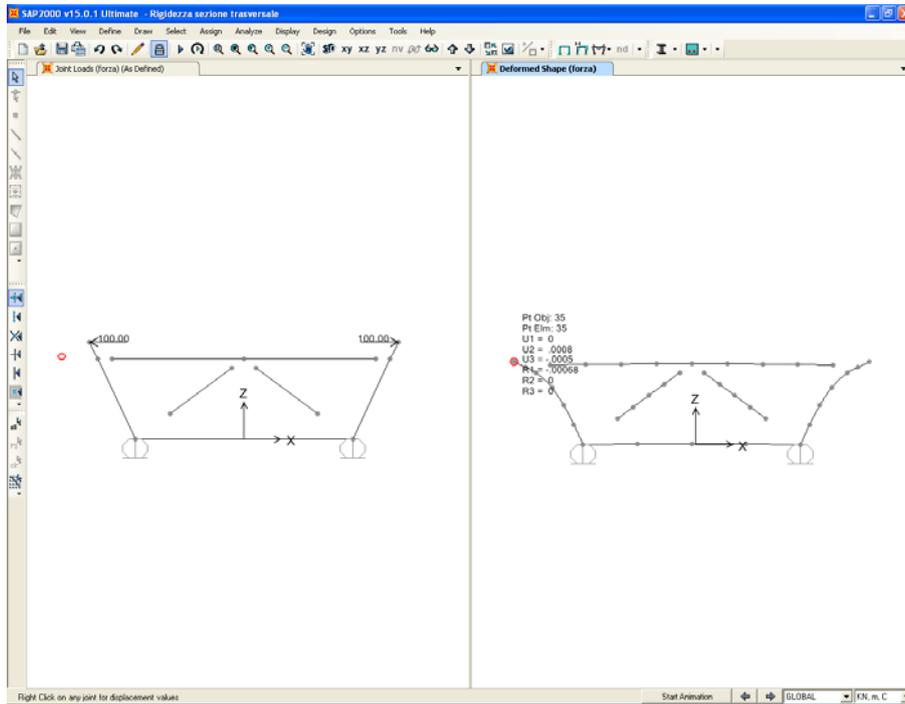
Al riguardo, sfruttando la modellazione già eseguita in 5.1, si prende in considerazione la sezione trasversale metallica del singolo controvento di cassone (vedi figura seguente).



Applicando una forza orizzontale di intensità nota ($F=100$ kN) alle due estremità delle costole d'anima del cassone è possibile stimare la rigidità offerta dal controvento nei confronti dei movimenti trasversali della soletta (vedi figura seguente).

Lo spostamento conseguente alla forza F ammonta a $u = 0.0008$ m, pertanto la corrispondente rigidità incognita del problema risulta $F/u = 125000$ kN/m. Considerando che l'interasse tra i controventi trasversali del cassone è pari a 3.50 m, la rigidità per unità di lunghezza di impalcato è pari a circa 35000 kN/m/m.

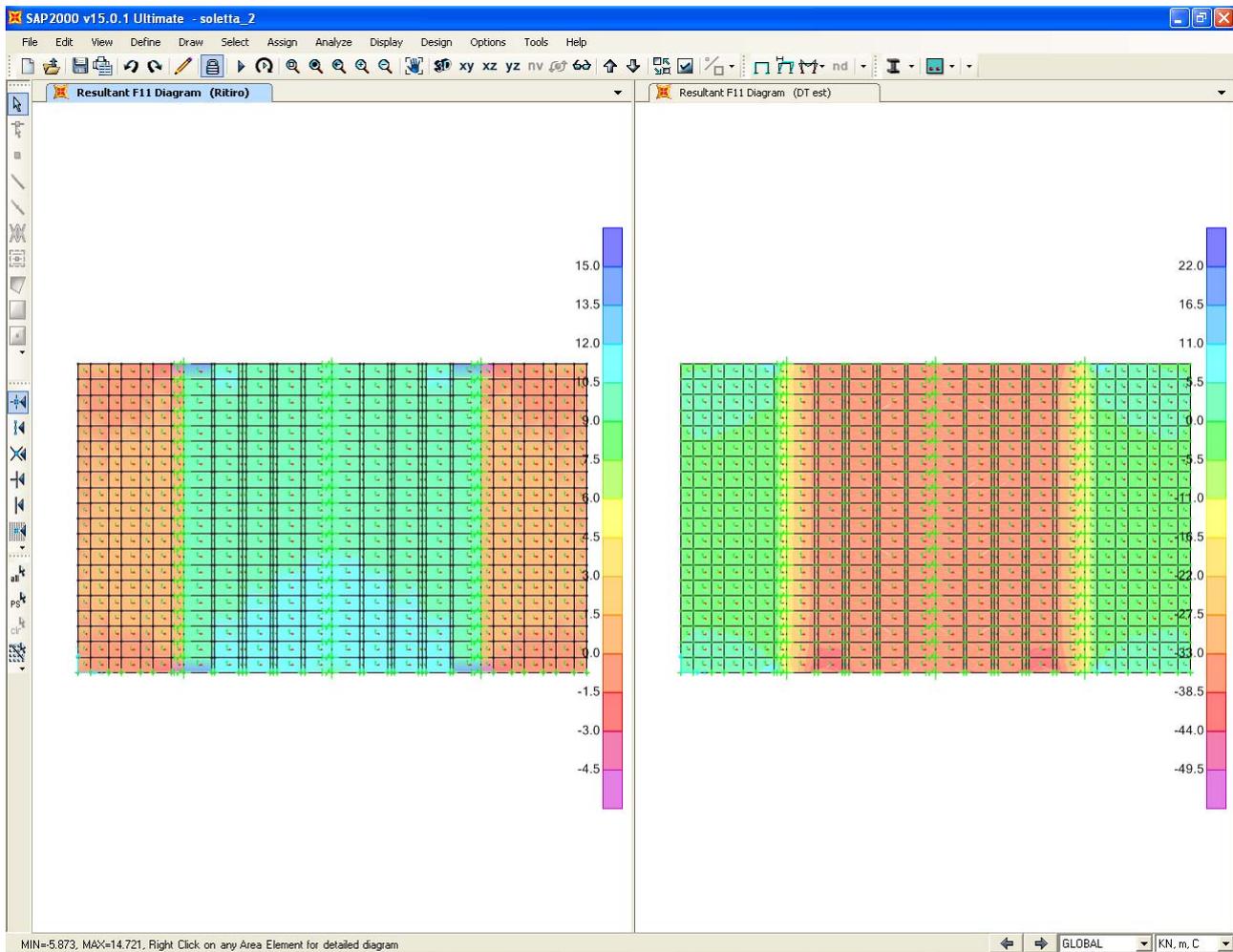
Si può quindi tenere conto della rigidità del cassone metallico nel modello della soletta applicando molle orizzontali in corrispondenza dei vincoli verticali (rigidità delle molle 17500 kN/m, essendo il passo della meshatura longitudinale pari a 0.50 m).



Le figure che seguono illustrano il regime delle sollecitazioni di membrana indotte dalle coazioni nella soletta. Riferendosi allo sforzo di membrana F11 (sforzo normale in direzione trasversale) si ottengono i seguenti valori:

- Ritiro: $F11 = 10 \text{ kN/m}$ (trazione)
- Variazione termica estiva: $F11 = -36 \text{ kN/m}$ (compressione)

Il modesto valore delle sollecitazioni indotte dalle coazioni rende lecito trascurare gli effetti delle coazioni stesse nelle analisi strutturali della soletta.



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 ($\gamma=25\text{kN/mc}$)

Barriera fonoassorbente (BF): 5.00 kN/m

Guardrail (GR): 1.00 kN/m

Dotazioni impiantistiche/velette (IV): 1.50 kN/m

Cordoli (C) (tratto sveltante rispetto alla soletta): 3.00 kN/m

Pavimentazione stradale (pv): 3.00 kN/mq

Carichi mobili

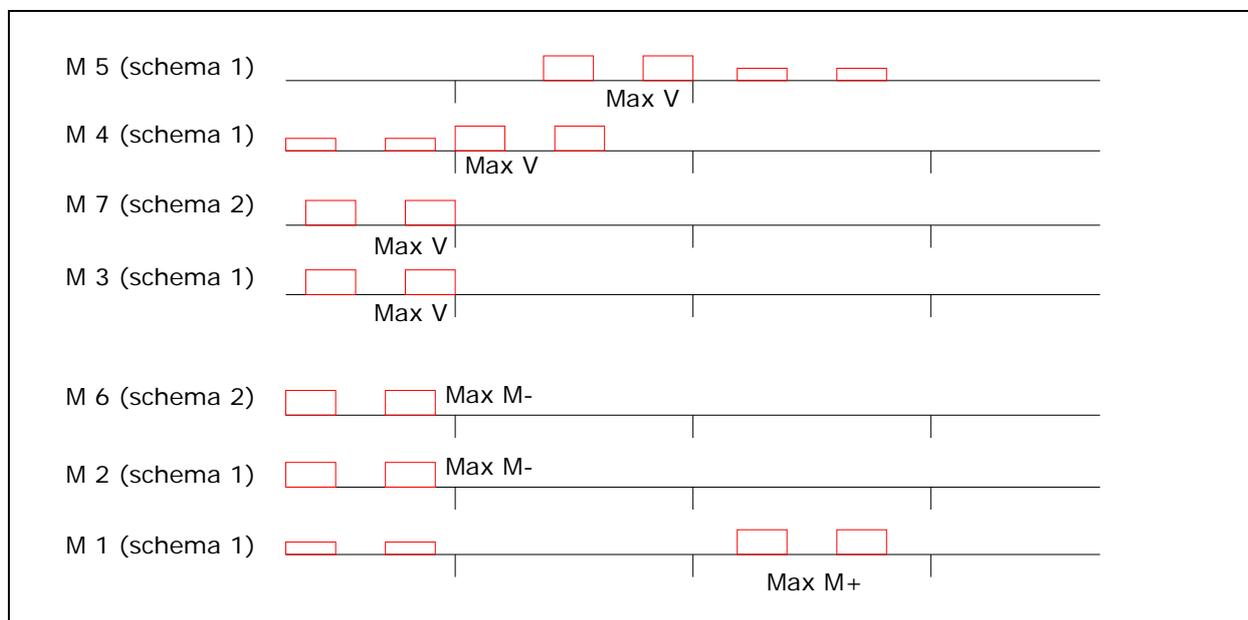
Si considerano gli schemi di carico 1 e 2. Lo schema di carico 2 è considerato, alternativo dello schema 1, solamente per la valutazione delle sollecitazioni sugli sbalzi.

Al fine di adattare il più possibile le superfici di impronta dei carichi mobili al reticolo di meshatura della soletta si è operato in modo semplificato considerando (indipendentemente dallo schema di carico) pari ad 1x1 mq la superficie di impronta della singola ruota diffusa a 45° a partire dalla quota della pavimentazione stradale (spessore 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): $p = 150 \text{ kPa}$ (singola impronta) + 9 kPa diffuso in corsia
- Schema 1 (corsia 2): $p = 100 \text{ kPa}$ (singola impronta) + 2.5 kPa diffuso in corsia
- Schema 1 (corsia 3): $p = 50 \text{ kPa}$ (singola impronta) + 2.5 kPa diffuso in corsia
- Schema 2: $p = 200 \text{ kPa}$ (singola impronta)

Le impronte di carico dei veicoli così come sopra descritte sono state applicate al modello secondo 7 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.



Urto sui sicurvia

Le azioni d'urto agiscono sullo sbalzo della soletta. L'urto sul sicurvia è modellato come la simultanea presenza di una forza normale di membrana f (kN/m) agente in direzione trasversale ed un momento di

piastra m (kNm/m) che inflette lo sbalzo tendendo le fibre superiori. Entrambe le azioni sono state considerate applicate al bordo estremo dello sbalzo.

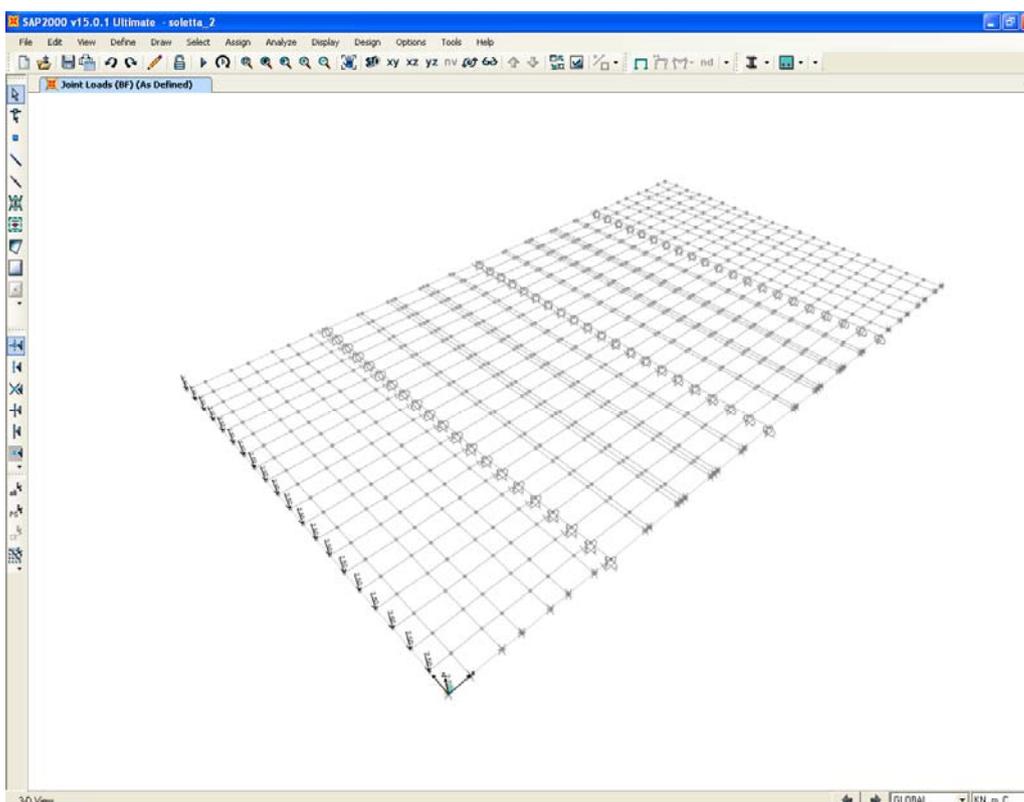
Per valutare f , ed m si ipotizza che il sicurvia sia costituito da montanti posti ad interasse $i = 2.00$ m e che il singolo montante sia caratterizzato da un momento di plasticizzazione pari a 17.88 kNm. Considerando un'altezza di 0.60 m dal punto di impatto alla base del montante, ne deriva che l'azione d'urto equivalente corrisponde ad una forza trasversale $U = 29.80$ kN.

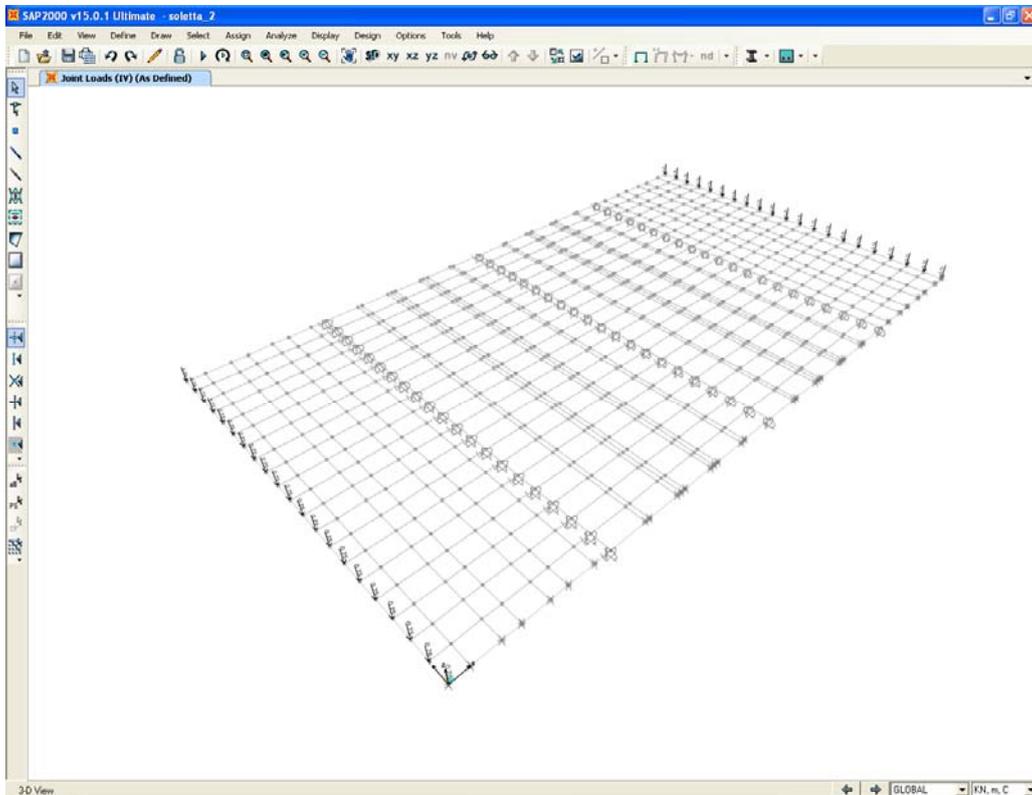
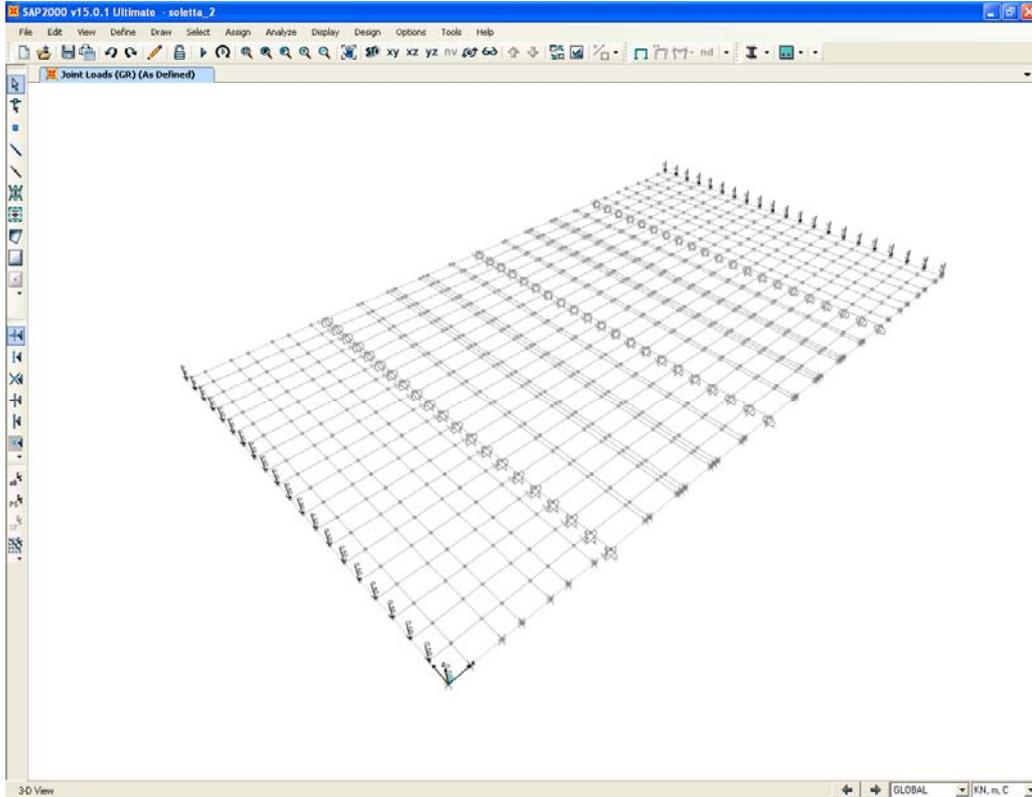
Si possono ora calcolare le azioni f ed m che agiscono alla quota del piano medio della soletta:

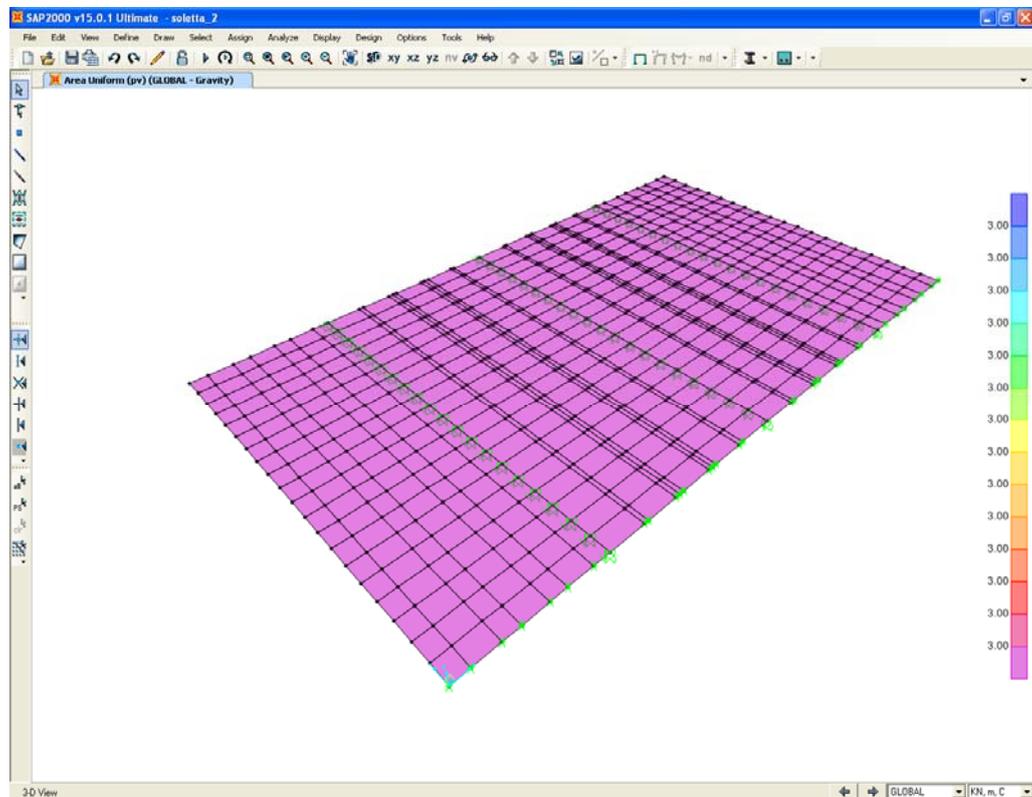
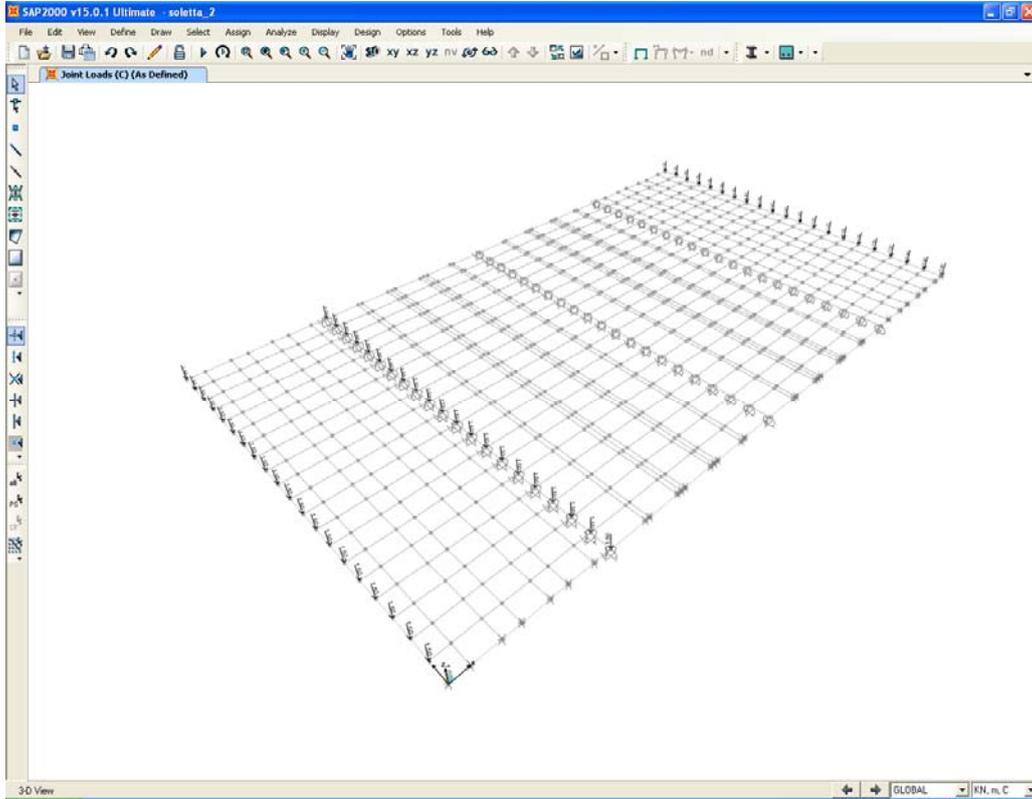
$$f = U/i = 14.90 \text{ kN/m}$$

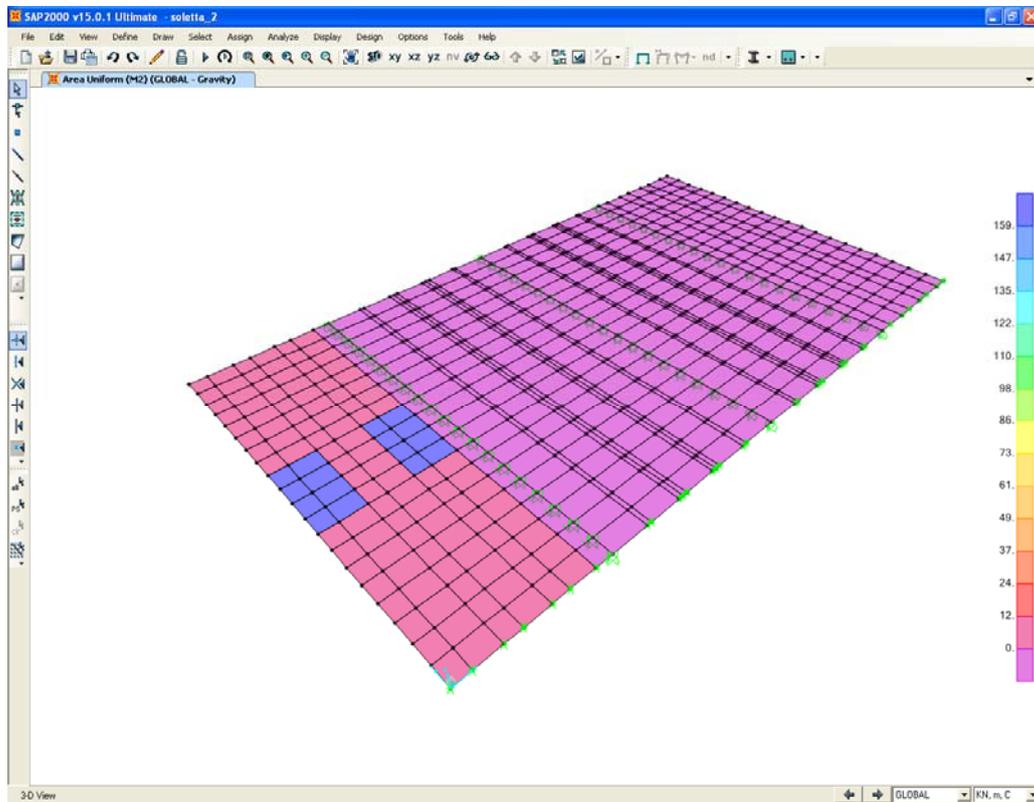
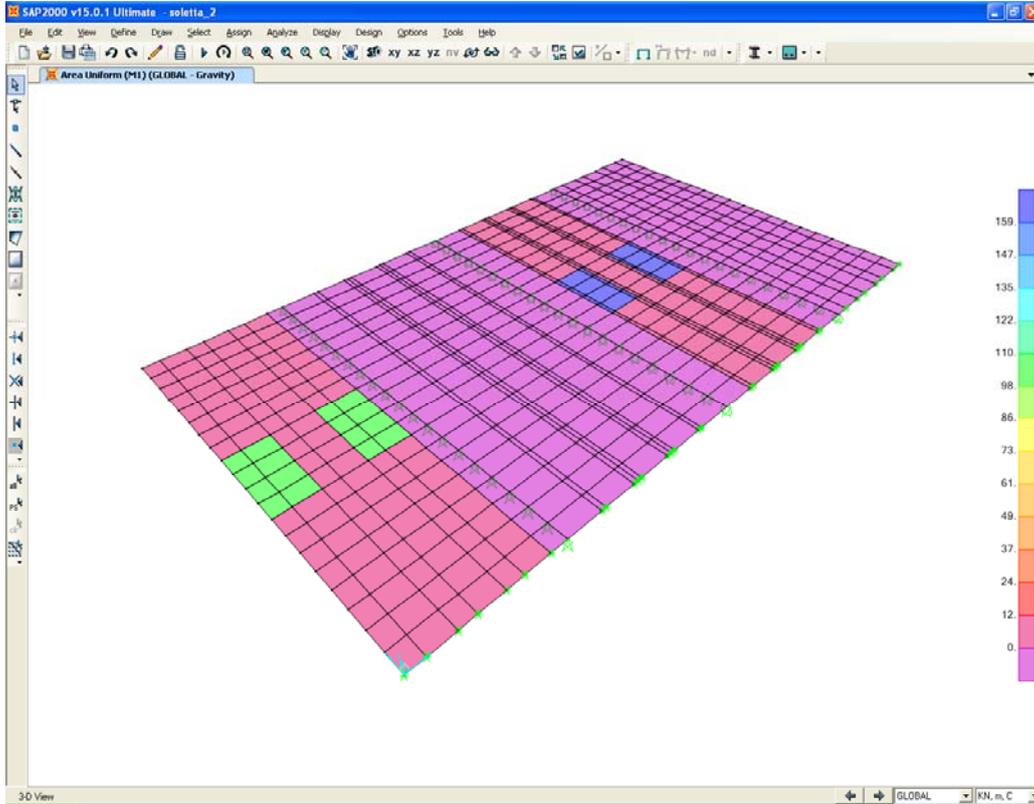
$$m = f \cdot (0.60 \text{ m} + 0.15 \text{ m} + 0.175 \text{ m}) = 13.78 \text{ kNm/m} \text{ (0.15 m porzione sveltante di cordolo rispetto ad estradosso soletta)}$$

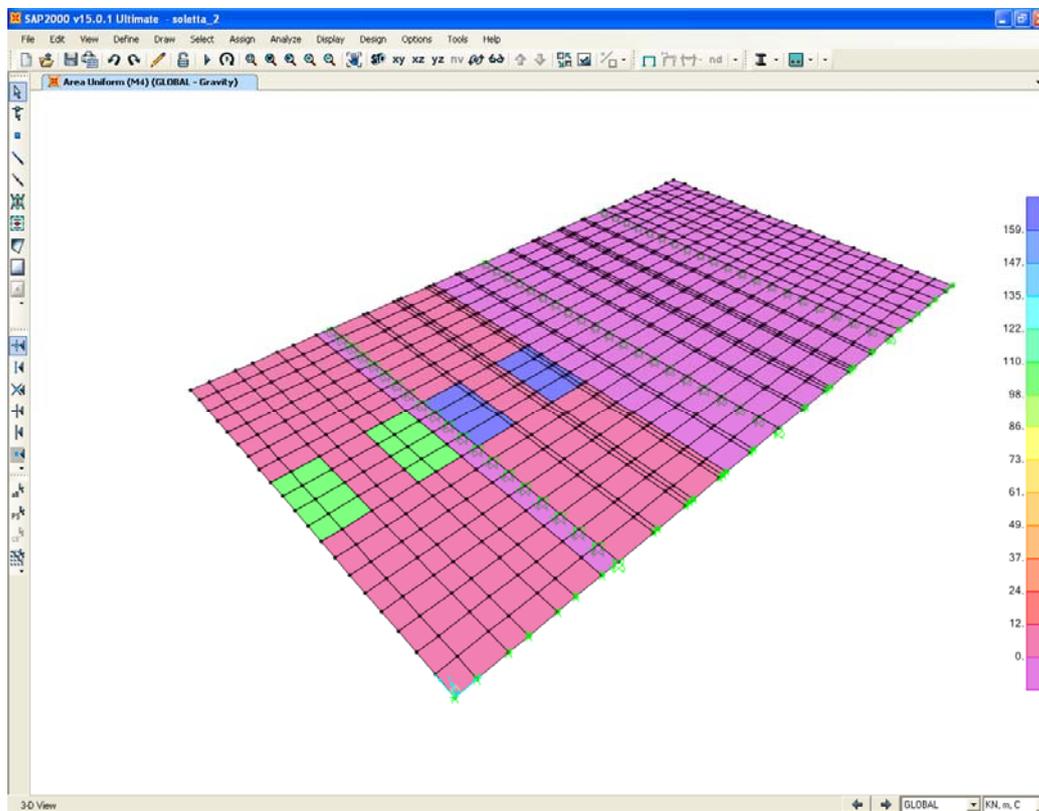
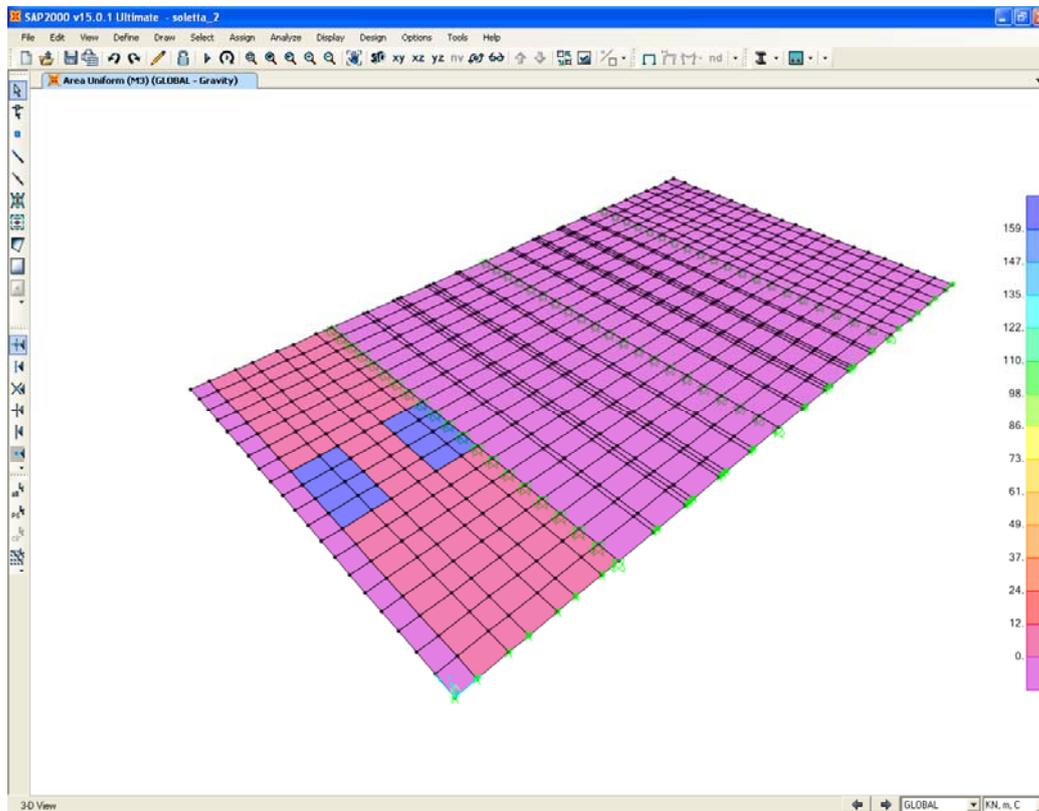
Le figure che seguono illustrano l'applicazione dei carichi al modello di calcolo.

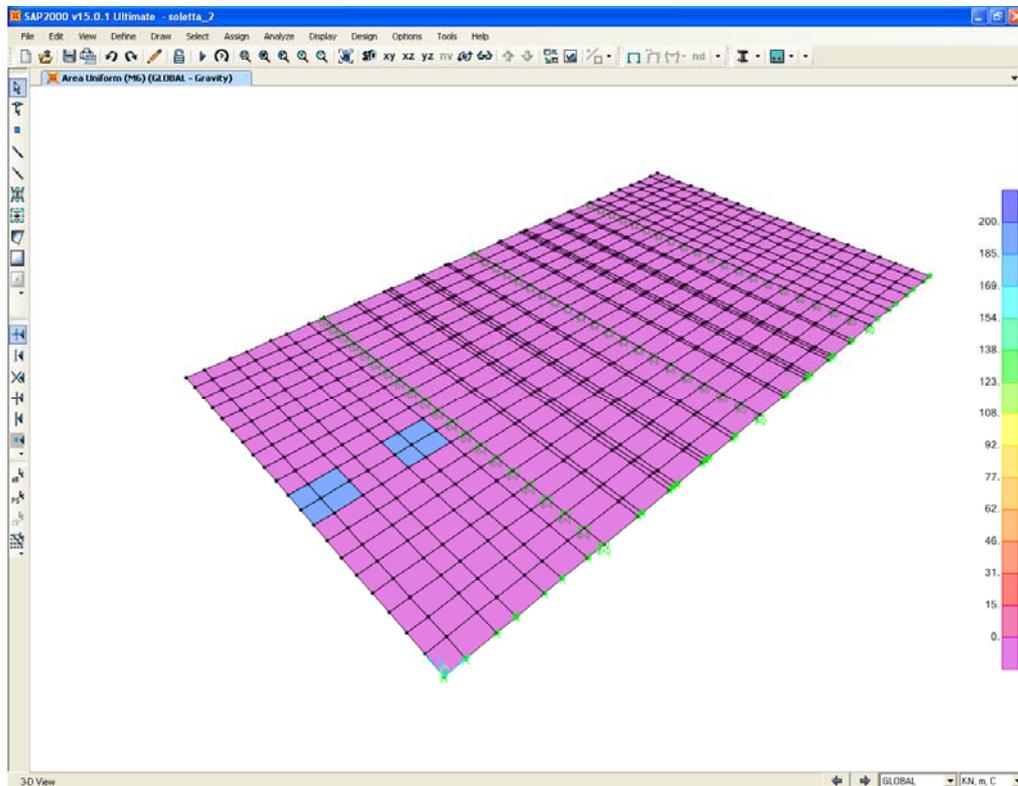
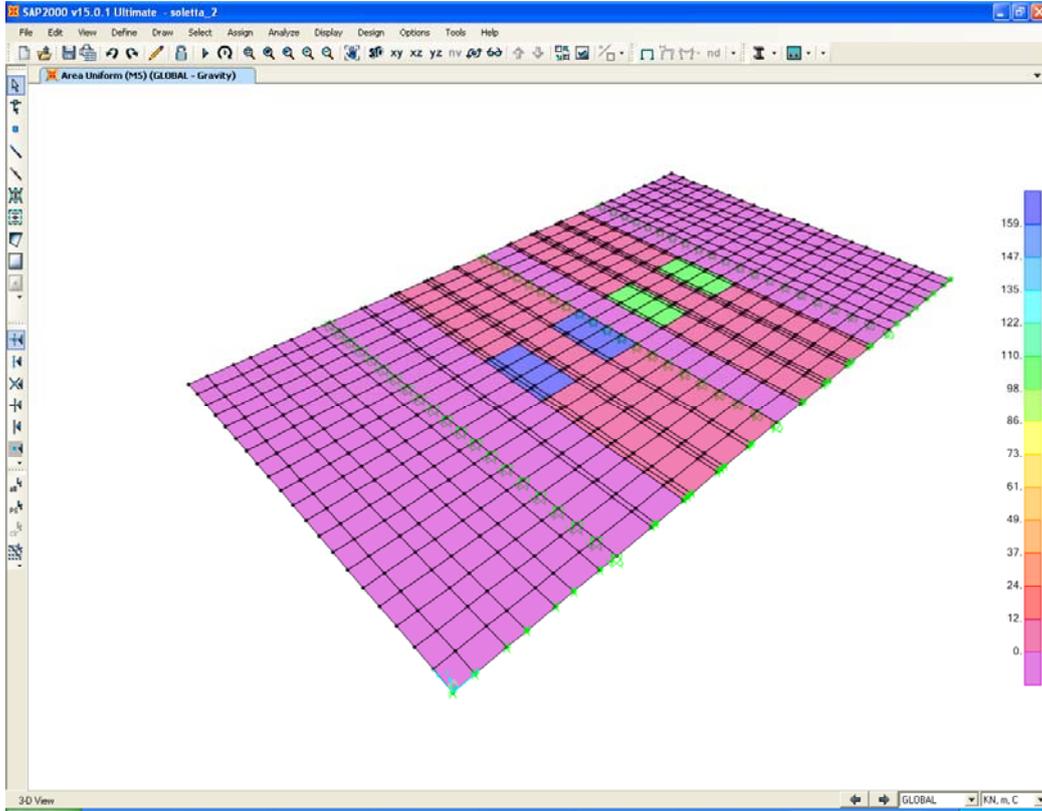


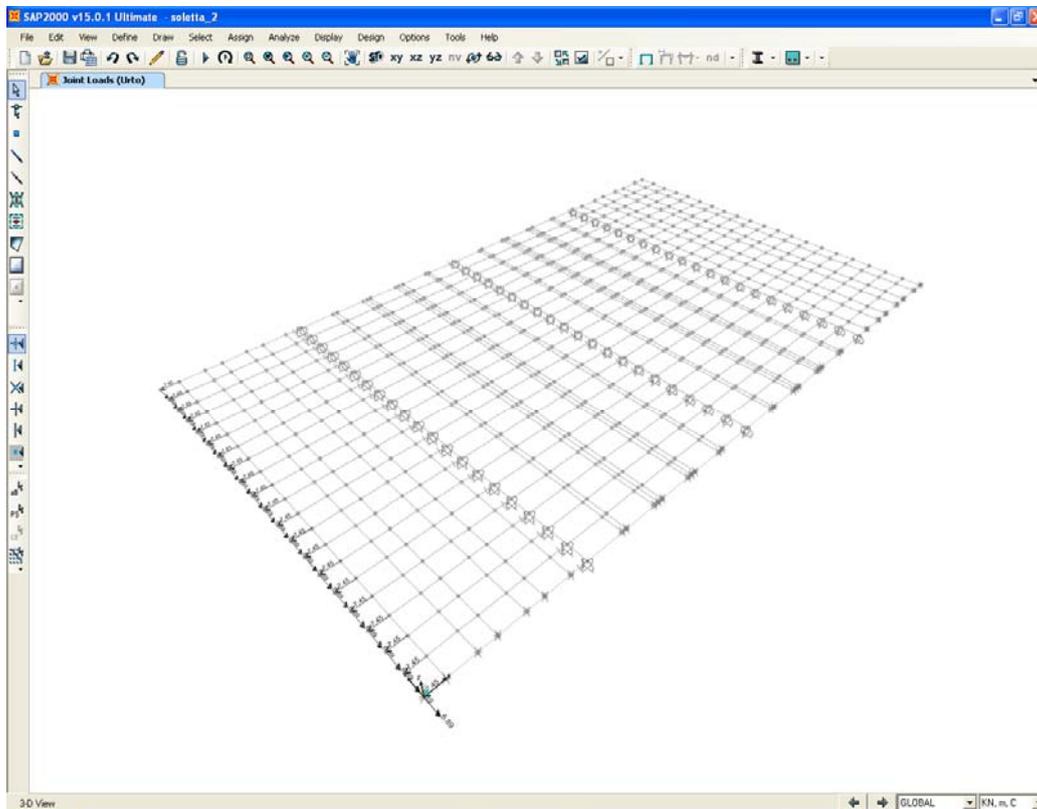
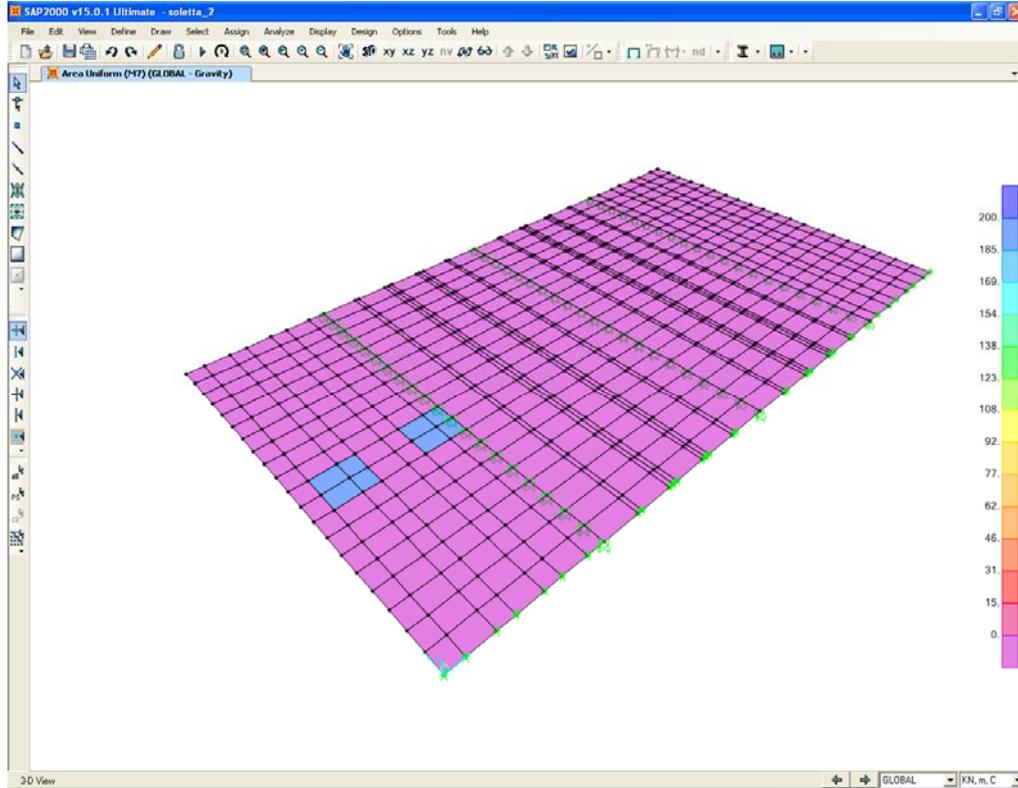












5.3.3. Combinazioni di carico

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 + BF + GR + IV + C + pv

ENV M: involuppo degli effetti indotti all'insieme di tutte le configurazioni di carico mobile analizzate (schema 1 e schema 2)

ENV M (S2): involuppo degli effetti indotti dalle configurazioni di carico mobile analizzate relativamente al solo schema 2.

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

	SLU 1	SLU 2	SLU 3	SLEr	SLEf	SLEqp
Permanenti	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ENV M	1.35	1.35	0.00	1.00	0.75	0.00
ENV M (S2)	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Urto	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

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 = -442 kNm/m
- Massimo momento negativo sulla trave rompi tratto: M11 = -102 kNm/m
- Massimo momento positivo in campata: M11 = 127 kNm/m

Per quanto riguarda le armature si considera quanto segue.

- *Sezione allo sbalzo*

$$As \text{ sup} = 2f20/10'' = 62.83 \text{ cmq}$$

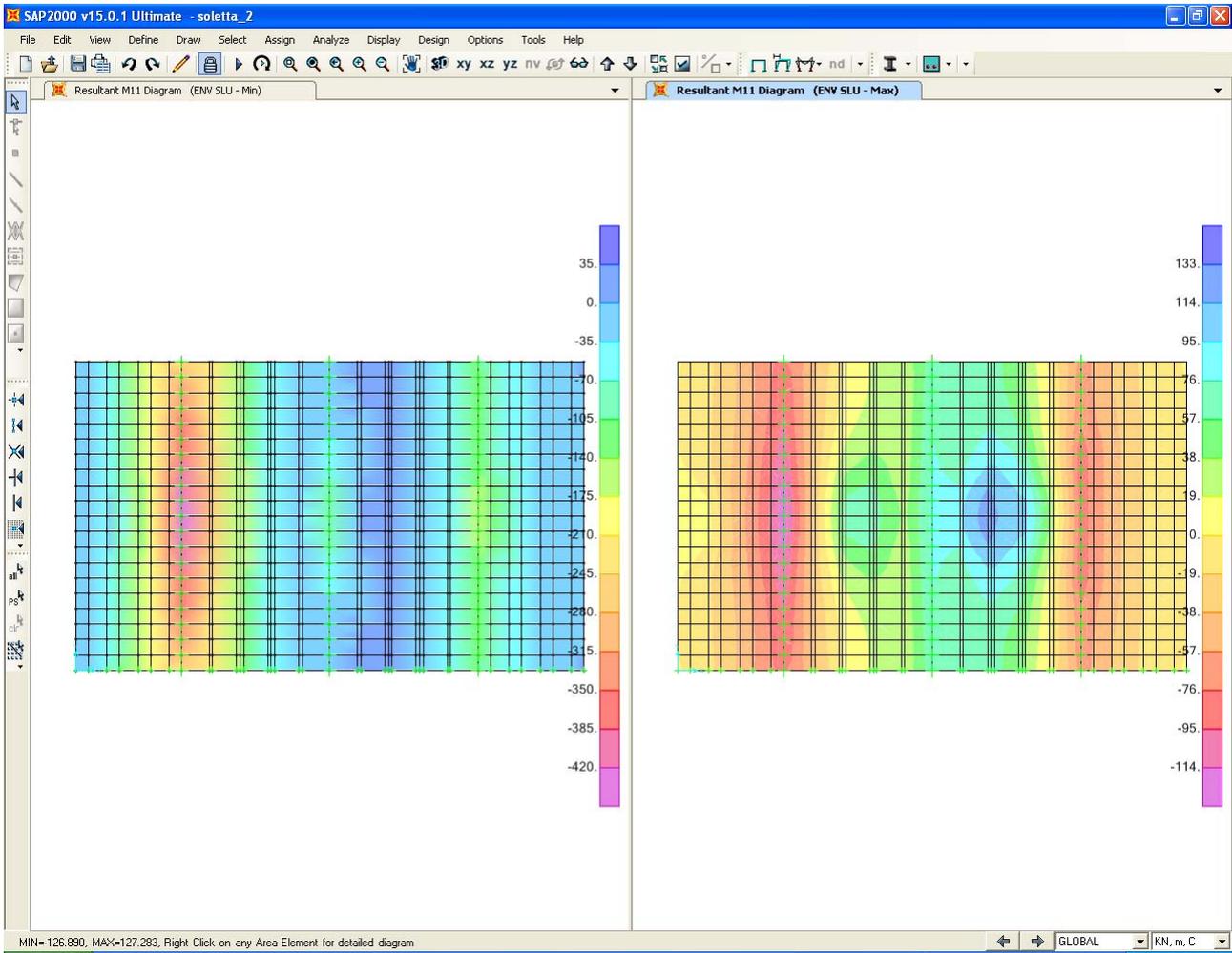
$$As \text{ inf} = 1f20/20'' = 15.71 \text{ cmq}$$

- *Sezione sulla trave rompi tratto e sezione in campata*

$$As \text{ sup} = 1f20/20'' = 15.71 \text{ cmq}$$

$$As \text{ inf} = 1f20/20'' = 15.71 \text{ cmq}$$

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



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

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

Titolo: **Soletta impalcati**

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	15.71	10
			2	15.71	29

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

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

Tipologia flessione
 Retta Deviata

Tipologia rottura
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} 67.5 % ϵ_{c2} 2 %
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 %
 E_s 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_{cl} 2.114

P.to applicazione N
 M_{xRd} -146.2 kN m
 σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 %
 ϵ_s 13.16 %
 d 25 cm
 x 5.252 x/d 0.2101
 δ 0.7026

Calcoli
 N_{rett} 100
 L_0 0 cm
 Precompresso

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

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

Titolo: **Soletta impalcati**

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	15.71	10
			2	15.71	29

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

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

Tipologia flessione
 Retta Deviata

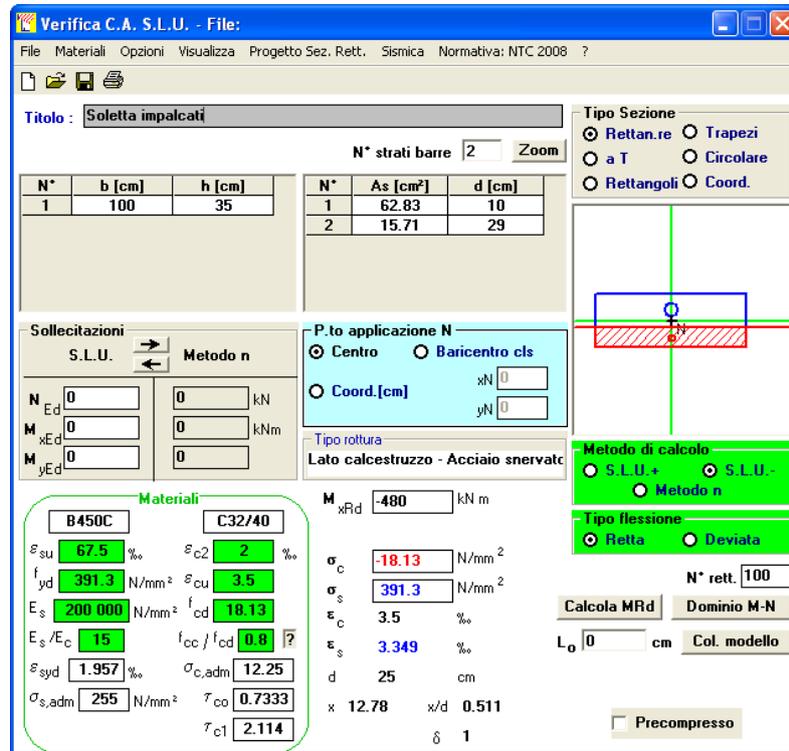
Tipologia rottura
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} 67.5 % ϵ_{c2} 2 %
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 %
 E_s 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_{cl} 2.114

P.to applicazione N
 M_{xRd} 190.6 kN m
 σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 %
 ϵ_s 10.68 %
 d 29 cm
 x 7.159 x/d 0.2469
 δ 0.7486

Calcoli
 N_{rett} 100
 L_0 0 cm
 Precompresso



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

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

Titolo: **Soletta impalcati**

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	62.83	10
			2	15.71	29

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd}: -480 kN m

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 N/mm²
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0.7333
τ_{c1}: 2.114

σ_c: -18.13 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_c: 3.5 ‰
ε_s: 3.349 ‰
d: 25 cm
x: 12.78 x/d: 0.511
δ: 1

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

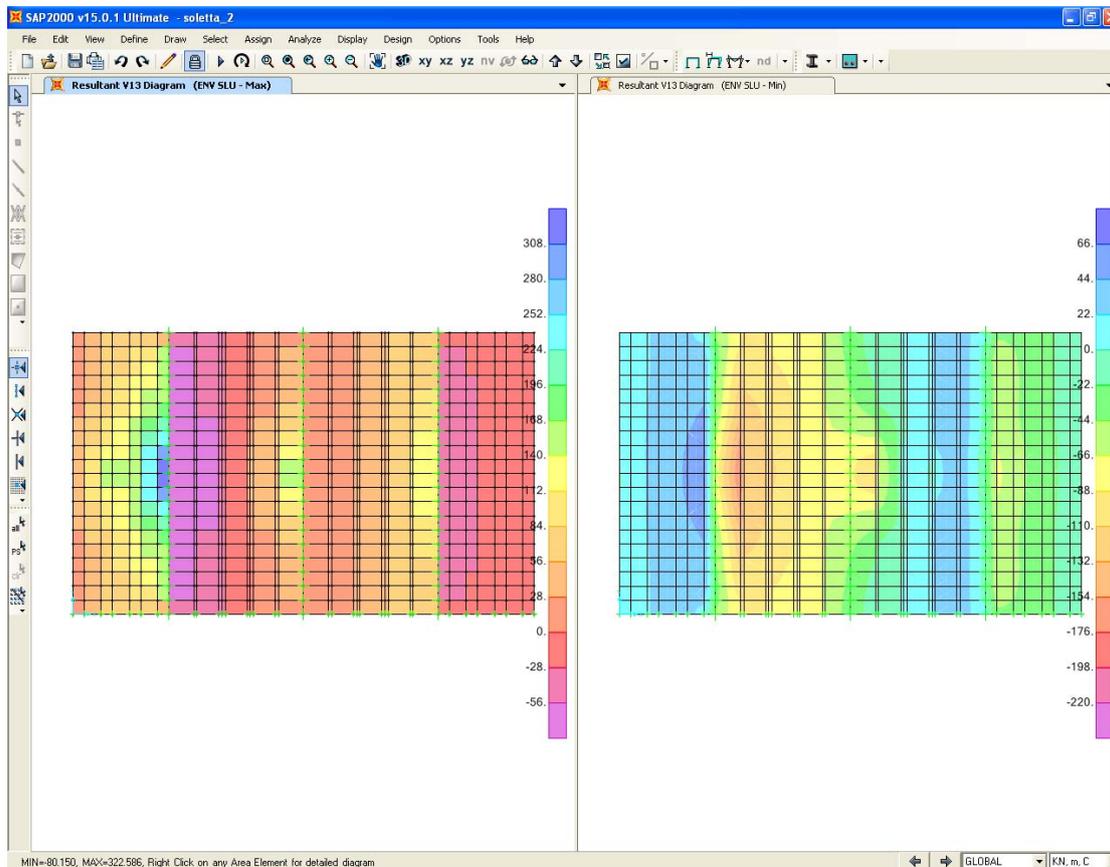
Per quanto riguarda le verifiche a taglio si riconoscono i seguenti valori significativi di sollecitazione (vedi figura seguente). Si fa presente che per tenere conto dell'effetto arco in prossimità degli appoggi, la verifica è condotta nei confronti del valore di taglio di progetto calcolato nelle sezioni poste a distanza $Z = 0.9d = 0.20$ m dall'appoggio.

- Sezione allo sbalzo: $V13 = 320$ kN/m
- Sezione sulla trave rompi tratto: $V13 = 144$ kN/m

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

- Sezione allo sbalzo: $V13 = 227$ kN/m < $V13$
- Sezione sulla trave rompi tratto: $V13 = 155$ kN/m > $V13$

Per quanto sopra, non essendo soddisfatta la verifica nella sezione di sbalzo, si procederà inserendo un'adeguata armatura a taglio. Si considerano presenti 3 bracci verticali f12 per metro longitudinale di soletta posti a passo trasversale di 15 cm. In tal caso la resistenza a taglio della soletta risulta pari a 497 kN > $V13$.



Verifica di sezione rettangolare c.c.a.n. staffata soggetta a taglio semplice			
Dati			
b	1000	mm	larghezza dell'anima resistente a taglio
h	350	mm	altezza
d	250	mm	altezza utile
fck	32	N/mm ²	resistenza caratt. a compressione del calcestruzzo
f _{yd}	391.3	N/mm ²	resistenza di progetto dell'acciaio
f _{cd}	18.13	N/mm ²	resistenza di progetto del calcestruzzo
f' _{cd}	9.07	N/mm ²	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
Asl	6280	mm ²	armatura longitudinale
k	1.89		fattore di ingranamento
σ _{min}	0.52	N/mm ²	tensione resistente minima
ρ	0.0200		rapporto geom. di armatura longit.
N _{ed}	0	N	sforzo di compressione di progetto nella sezione
σ _{cp}	0.00	N/mm ²	tensione media di compressione nella sezione
α _c	1.00		coefficiente maggiorativo
Resist. a taglio della trave non armata e armatura minima			
V _{rd}	227	kN	resist. a taglio della trave in assenza di apposita armatura

Verifica di sezione rettangolare c.c.a.n. staffata soggetta a taglio semplice			
Dati			
b	1000	mm	larghezza dell'anima resistente a taglio
h	350	mm	altezza
d	250	mm	altezza utile
f _{ck}	32	N/mm ²	resistenza caratt. a compressione del calcestruzzo
f _{yd}	391.3	N/mm ²	resistenza di progetto dell'acciaio
f _{cd}	18.13	N/mm ²	resistenza di progetto del calcestruzzo
f' _{cd}	9.07	N/mm ²	resistenza a compressione ridotta del cls d'anima
As _l	1570	mm ²	armatura longitudinale
k	1.89		fattore di ingranamento
v _{min}	0.52	N/mm ²	tensione resistente minima
ρ _l	0.0063		rapporto geom. di armatura longit.
N _{ed}	0	N	sforzo di compressione di progetto nella sezione
σ _{cp}	0.00	N/mm ²	tensione media di compressione nella sezione
α _c	1.00		coefficiente maggiorativo
Resist. a taglio della trave non armata e armatura minima			
V _{rd}	155	kN	resist. a taglio della trave in assenza di apposita armatura

Resist. a taglio della trave armata e passo massimo							
Ast (mm ²)	s (mm)	ctg _{calc}	ctg _θ	rottura	V _{rd3} (kN)	V _{rd2} (kN)	V_{rd} (kN)
339	150	3.042	2.500	duttile lato acc	497.44	703.45	497.44

Le verifiche a fessurazione sono eseguite seguendo il metodo indiretto tabellare di cui alla CM 2-2-2009.

Al riguardo si fa riferimento alla condizione ambientale aggressiva e ad armatura poco sensibile ottenendo i seguenti valori limite di apertura delle fessure:

- Combinazione frequente: w₂ = 0.3 mm
- Combinazione quasi permanente: w₁ = 0.2 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_{11f} = -271 kNm/m – M_{11qp} = -106 kNm/m
- Massimo momento negativo sulla trave rompi tratto: M_{11f} = -50 kNm/m – M_{11qp} = trascurabile
- Massimo momento positivo in campata: M_{11f} = 73 kNm/m – M_{11qp} = trascurabile

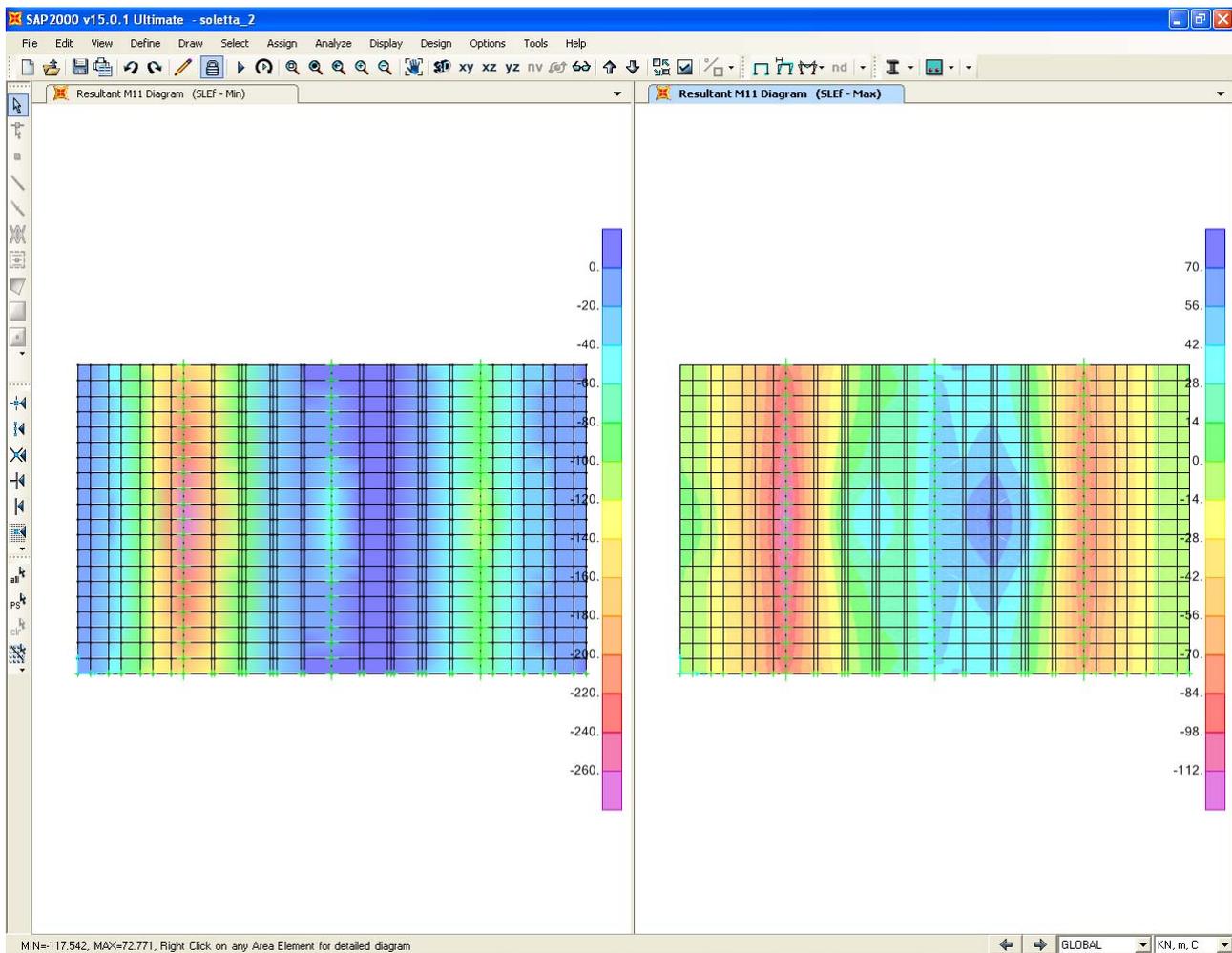
Il calcolo delle tensioni di trazione nelle barre porta ai seguenti valori (vedi figure seguenti):

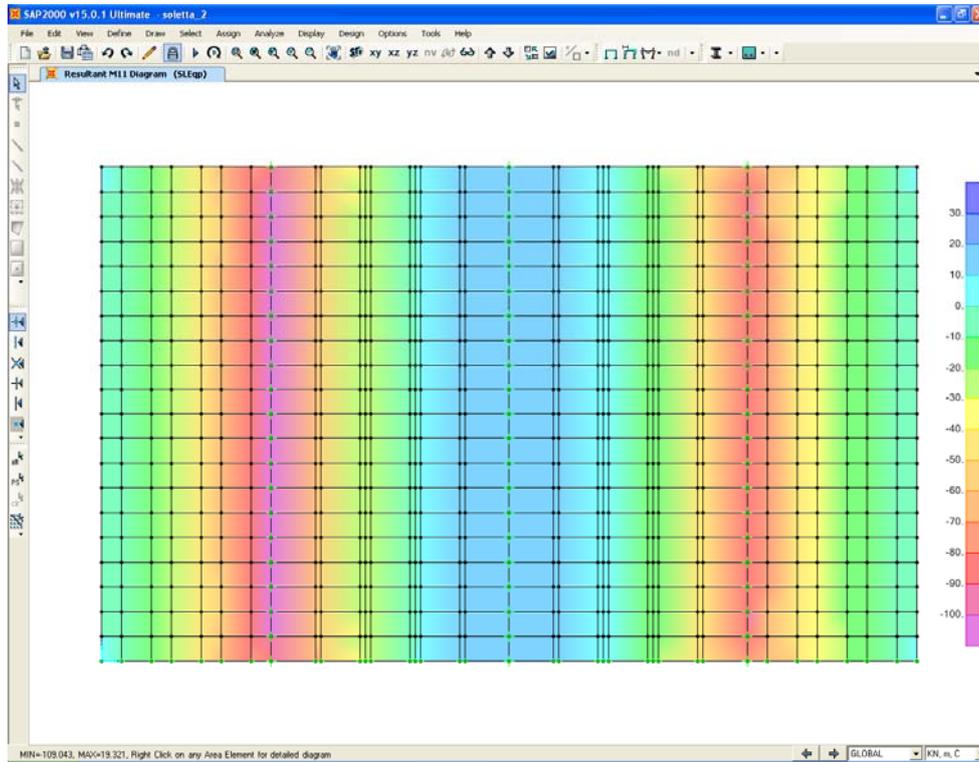
- Sezione allo sbalzo: σ_f = 213 MPa – σ_{qp} = 83 MPa
- Sezione sulla trave rompi tratto: σ_f = 146 MPa – σ_{qp} = trascurabile
- Sezione in campata σ_f = 138 MPa – σ_{qp} = trascurabile

Le verifiche agli SLE quasi permanenti sono evidentemente ampiamente soddisfatte in quanto la tensione di trazione nelle barre è sempre inferiore a 160 MPa; stessa cosa di casi per gli SLE frequenti relativi alla sezione in corrispondenza del rompi tratto.

Per quanto riguarda gli SLE frequenti nella sezione di sbalzo la verifica è altresì soddisfatta in quanto la spaziatura tra le barre è inferiore a 235 mm ed il diametro delle barre è inferiore a 22.3 mm.

Per quanto riguarda gli SLE frequenti nella sezione in campata risulta rispettata la limitazione sul diametro massimo delle barre che deve essere inferiore a 25 mm, tuttavia la sola presenza dei ferri inferiori dei tralicci metallici non soddisfa la limitazione sulla spaziatura massima tra le barre che in tal caso risulterebbe di 30 cm contro i 25 cm richiesti. Pertanto, si prevede di predisporre nelle porzioni di campata della lastra predalle un ulteriore f16 corrente collocato a metà distanza tra due tralicci affiancati (per un totale di 5f16 inferiori per ogni singolo pannello da 240 cm). In tal modo la spaziatura massima tra le barre longitudinali tese in campata risulta pari a 15 cm rispettando così la prescrizione di norma.





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

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

Titolo: Soletta impalcati

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	62.83	10
			2	15.71	29

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: 0, yN: 0

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

Materiali:

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	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_{cl}	2.114

σ_c : -16.62 N/mm²
 σ_s : 212.9 N/mm²

Verifica:
 N° iterazioni: 3
 Precompresso

ϵ_s : 1.064 ‰
 d: 25 cm
 x: 13.48, w/d: 0.5393
 δ : 1

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

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

Titolo: **Soletta impalcati**

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	62.83	10
			2	15.71	29

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

Diagramma della sezione:

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

Verifica: N° iterazioni: 3

Precompresso

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 0 -106 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 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -6.499 N/mm²
 σ_s 83.27 N/mm²
 ϵ_s 0.4163 ‰
d 25 cm
x 13.48 x/d 0.5393
 δ 1

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

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

Titolo: **Soletta impalcati**

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	15.71	10
			2	15.71	29

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

Diagramma della sezione:

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

Verifica: N° iterazioni: 4

Precompresso

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 0 -50 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 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -4.801 N/mm²
 σ_s 145.9 N/mm²
 ϵ_s 0.7297 ‰
d 25 cm
x 8.261 x/d 0.3304
 δ 0.853

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

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

Titolo: **Soletta impalcata**

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	35

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	10
2	15.71	29

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

Diagramma della sezione trasversale della soletta impalcata.

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}	<input type="text" value="67.5"/> ‰	ϵ_{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰
f _{yd}	<input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ϵ_{cu}	<input type="text" value="3.5"/> ‰
E _s	<input type="text" value="200 000"/> N/mm²	f _{cd}	<input type="text" value="18.13"/> ‰
E _s /E _c	<input type="text" value="15"/>	f _{cc} /f _{cd}	<input type="text" value="0.8"/> ?
ϵ_{syd}	<input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm²	τ_{co}	<input type="text" value="0.7333"/>
		τ_{c1}	<input type="text" value="2.114"/>

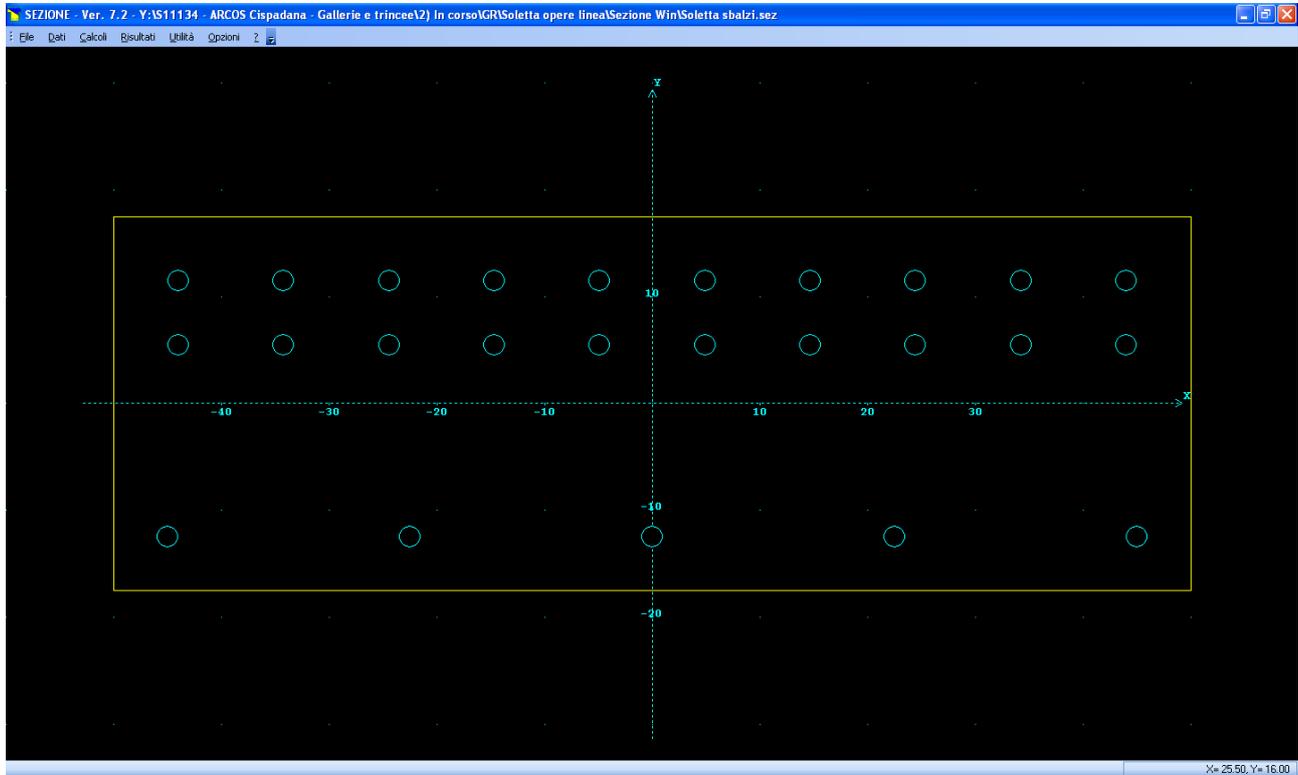
σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

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.

Verifica a fessurazione sezioni allo sbalzo – comb. frequente e quasi permanente



VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. cls= -9.75 N/mm²; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58$ N/mm², $f_{ck} = -2.60$ N/mm²
 $c = 5.00$ cm; $A_{ceff} = 1061.90$ cm²; $A_s = 31.42$ cm²; $\rho = A_s/A_{ceff} = 0.029585$; $s = 6.00$ cm
 $\phi = 2.00$ cm; $k_2 = 0.4000$; $k_3 = 0.1250$; $s_{rm} = 14.5801$ cm; $\zeta = 0.92720$
 $\sigma_t = -9.75$ N/mm²; $\sigma_s = -243.29$ N/mm²; $\beta_1 = 1.00$; $\beta_2 = 0.50$; $\epsilon_{sm} = 0.001095$
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.2714$ mm < $w_2 = 0.3$ mm.... **VERIFICA POSITIVA**

Comb. q. per. n.ro 1: Tens. min. cls= -3.81 N/mm²; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58$ N/mm², $f_{ck} = -2.60$ N/mm²
 $c = 5.00$ cm; $A_{ceff} = 1061.90$ cm²; $A_s = 31.42$ cm²; $\rho = A_s/A_{ceff} = 0.029585$; $s = 6.00$ cm
 $\phi = 2.00$ cm; $k_2 = 0.4000$; $k_3 = 0.1250$; $s_{rm} = 14.5801$ cm; $\zeta = 0.52416$
 $\sigma_t = -3.81$ N/mm²; $\sigma_s = -95.16$ N/mm²; $\beta_1 = 1.00$; $\beta_2 = 0.50$; $\epsilon_{sm} = 0.000242$
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.0600$ mm < $w_1 = 0.2$ mm.... **VERIFICA POSITIVA**

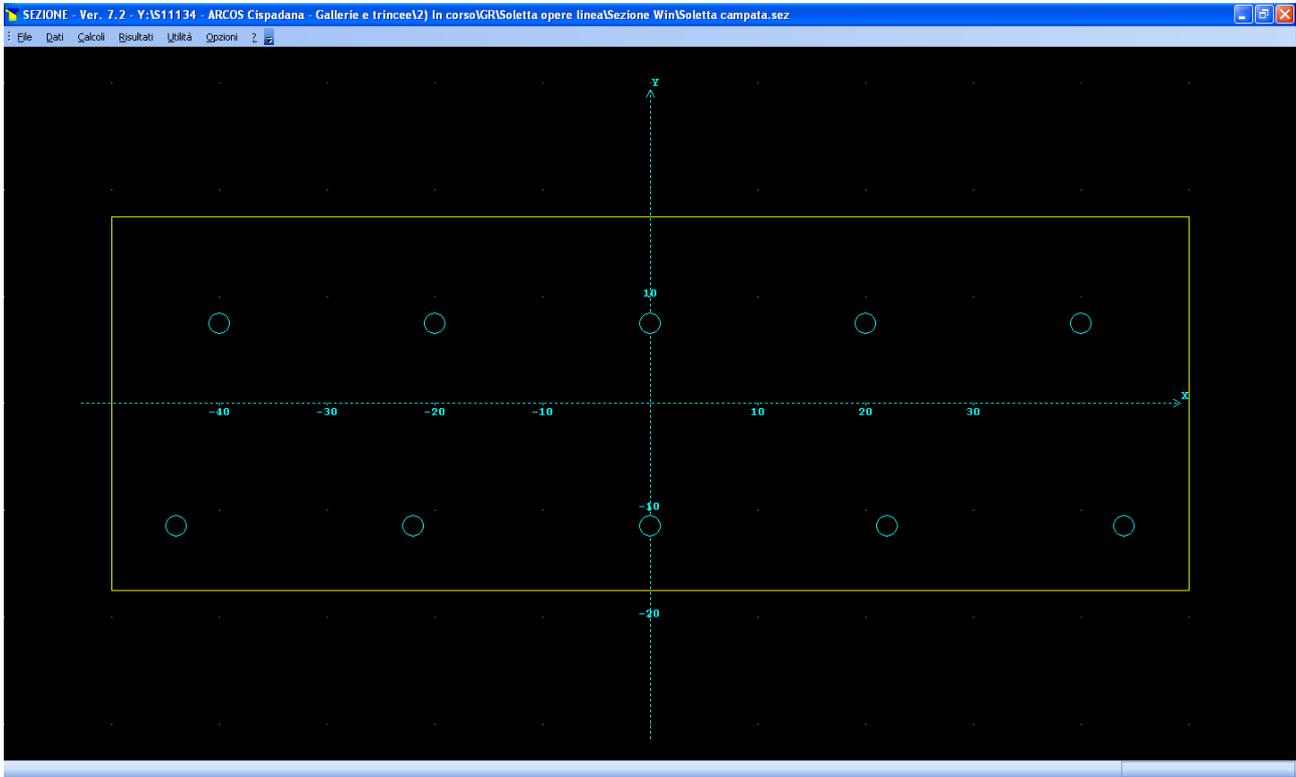
posto (per gli altri simboli vedere la normativa):

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

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

c: valore del copriferro inserito dall'utente

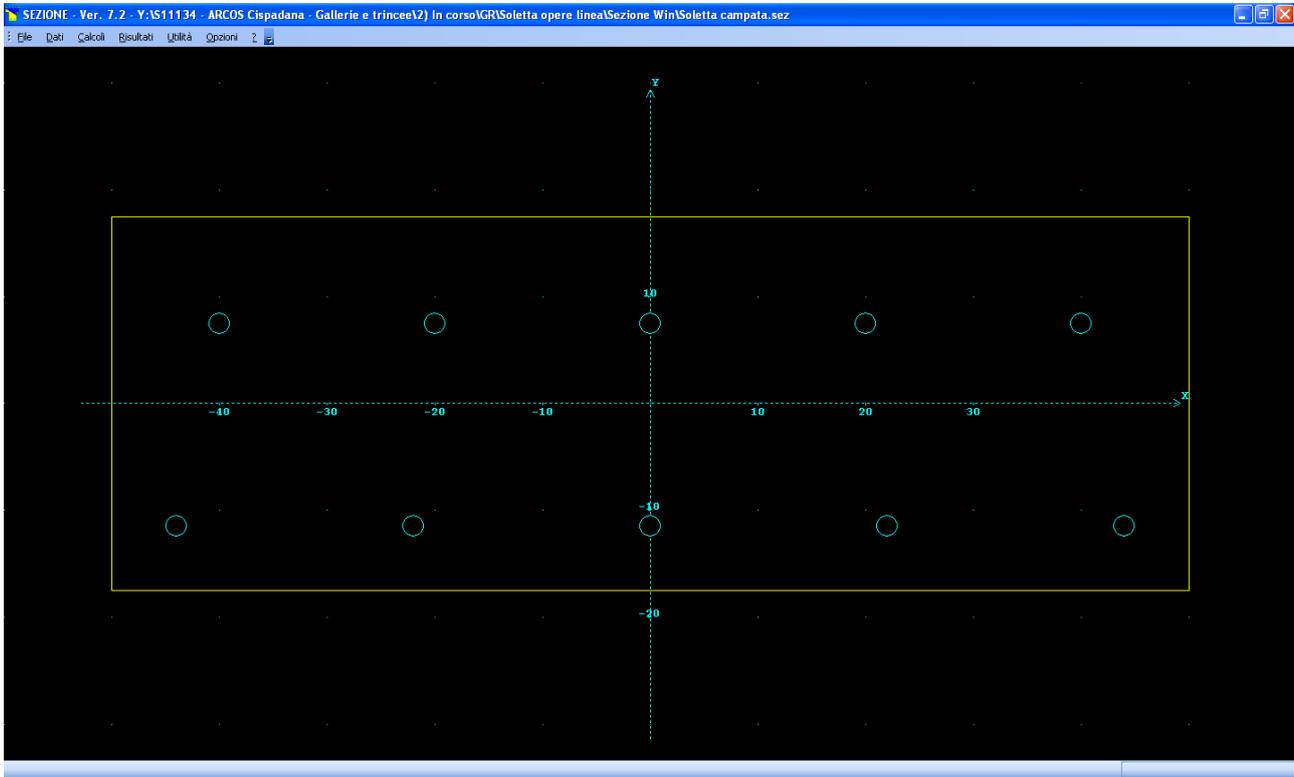
Verifica a fessurazione sezione trave rompitratta – comb. frequente



VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. cls= -2.25 N/mm²; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58$ N/mm², $f_{ctk} = -2.60$ N/mm²
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.0000$ mm < $w_2 = 0.3$ mm.... **VERIFICA POSITIVA**

Verifica a fessurazione sezione in campata – comb. frequente



VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. cls= -3.20 N/mm²; $\sigma_t = f_{ctm}/1.2 = -2.58$ N/mm², $f_{ck} = -2.60$ N/mm²
 $c = 5.00$ cm; $A_{ceff} = 1268.00$ cm²; $A_s = 15.71$ cm²; $\rho = A_s/A_{ceff} = 0.012388$; $s = 19.42$ cm
 $\phi = 2.00$ cm; $k_2 = 0.4000$; $k_3 = 0.1250$; $s_{rm} = 21.9557$ cm; $\zeta = 0.40000$
 $\sigma_t = -3.20$ N/mm²; $\sigma_s = -179.34$ N/mm²; $\beta_1 = 1.00$; $\beta_2 = 0.50$; $\epsilon_{sm} = 0.000348$
 $w_k = 1.7 \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm} = 0.1300$ 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

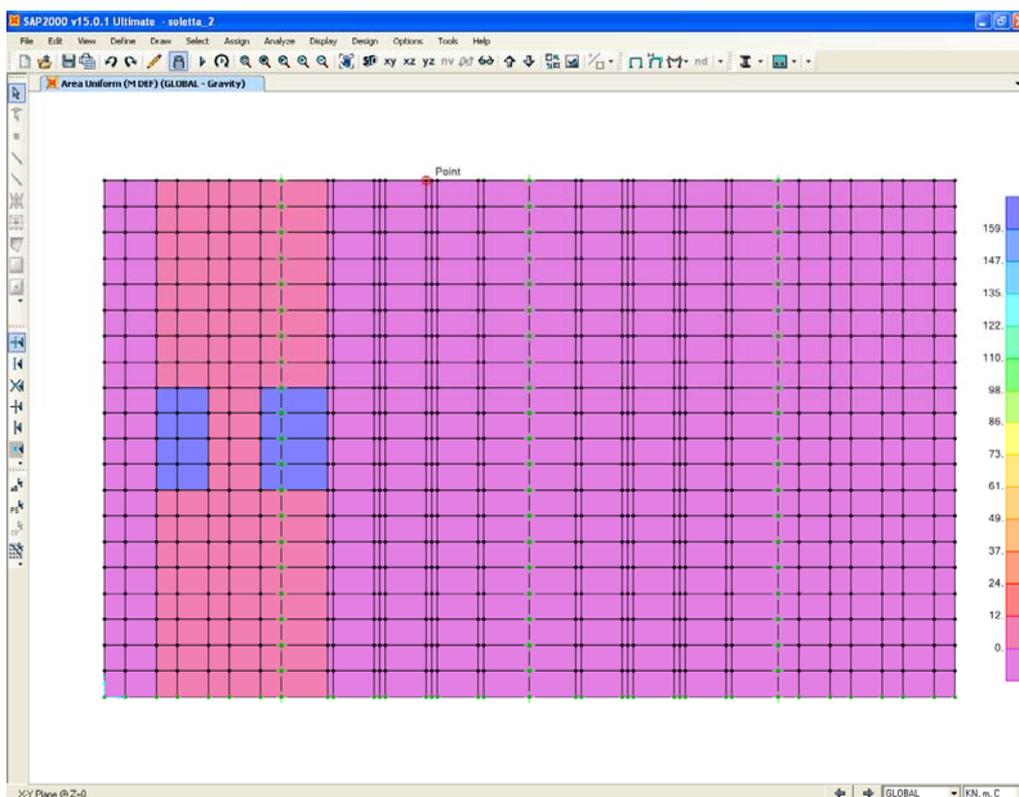
5.3.5. Verifiche di deformabilità

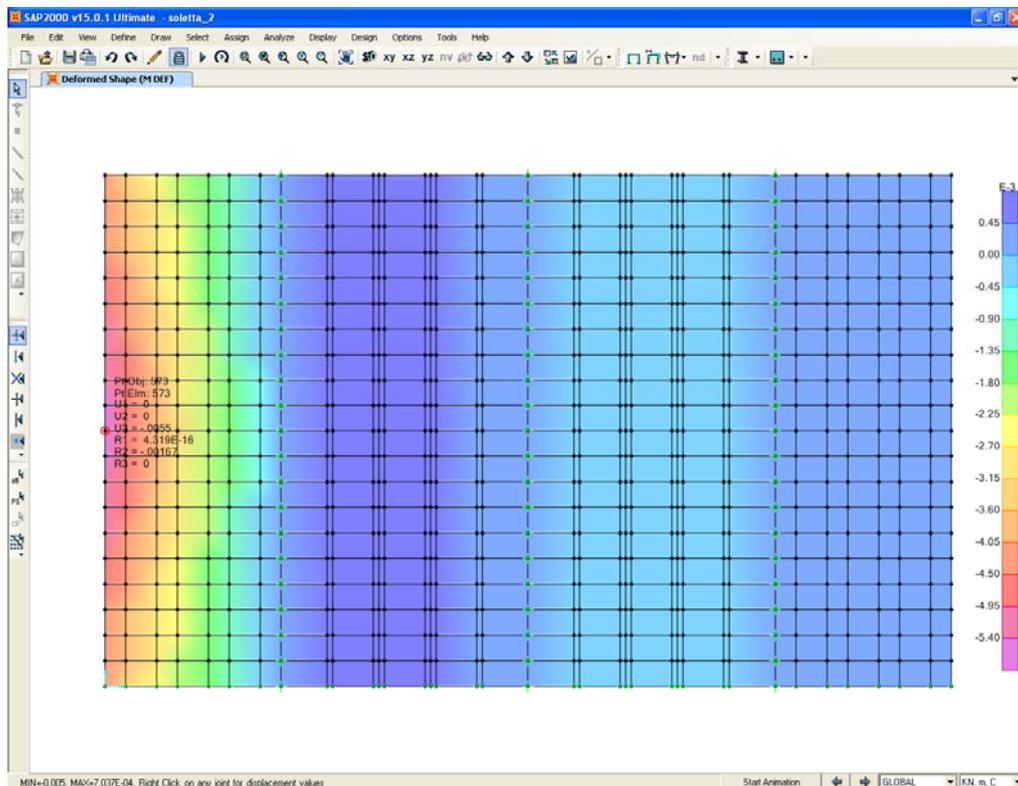
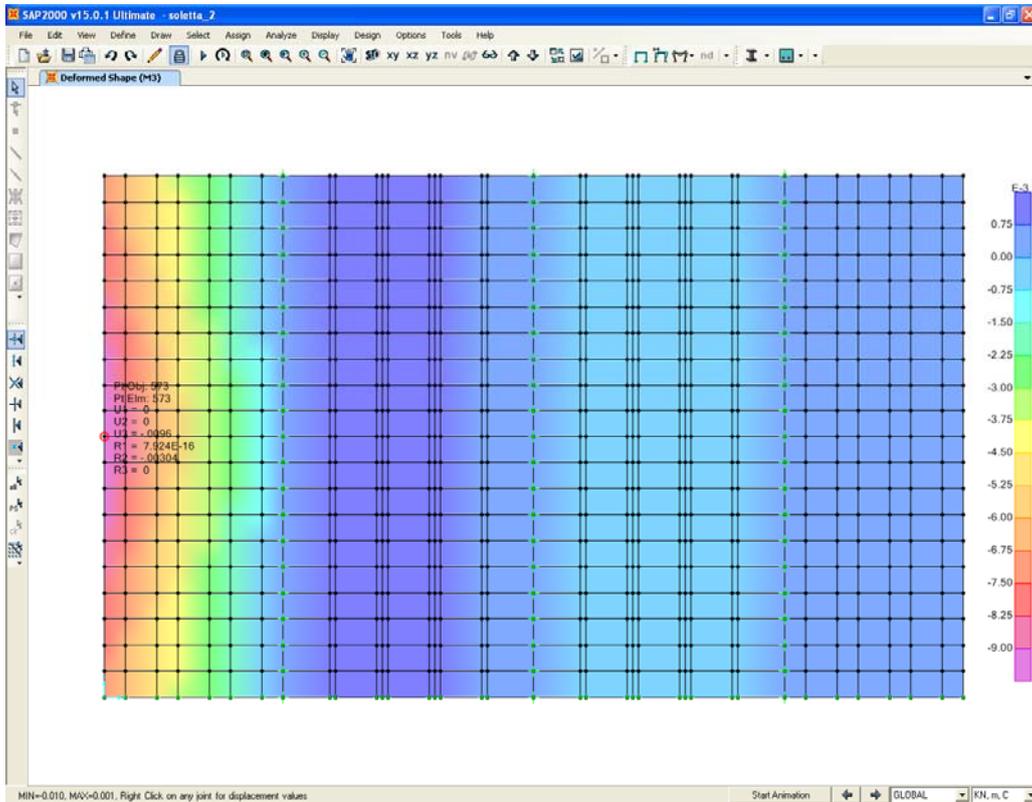
Le configurazioni di carico mobile analizzate sono senza dubbio cautelative per l'esecuzione delle verifiche di resistenza della soletta in quanto ipotizzano la possibilità che l'impronta di carico del mezzo possa arrivare sino all'estremità dello sbalzo. Tuttavia tale ipotesi risulta eccessivamente gravosa per valutazioni mirate a stimare la deformabilità dello sbalzo. In effetti, più realisticamente, il bordo dell'impronta di carico dei veicoli di norma può arrivare al massimo ad una distanza di circa 1.00 m rispetto al bordo dello sbalzo;

considerando che si è messa in conto una diffusione di circa 30 cm del carico rispetto ai bordi dell'impronta (intesa come proiezione in pianta), ne consegue che l'impronta di carico diffusa può arrivare fino a circa 70 cm dal bordo dello sbalzo.

Poiché la meshatura del modello consente di applicare impronte di carico con bordo posto a 0.40 m dal bordo (configurazione M3) ed a 1.00 m dal bordo (configurazione di carico M DEF realizzata ad hoc per la presente verifica, vedi figura seguente) si opererà mediando tra i valori di spostamento verticale (u_3) ricavati dalla configurazione di carico M3 e M DEF.

- u_3 (M3) = 9.6 mm
- u_3 (M DEF) = 5.5 mm
- $f = 7.6$ mm ($2L/f = 895$, essendo $L = 3400$ mm)
-





5.4. DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE ROMPI TRATTO

La trave rompi tratto è soggetta al carico trasmesso dalla soprastante soletta. La trave può essere configurata come trave vincolata ad un'estremità da un incastro ed all'altra da un appoggio. La luce della trave è pari a 3.50 m (interasse longitudinale fra i controventi trasversali di impalcato).

La determinazione del carico distribuito uniforme al quale risulta soggetta la trave rompi tratto si ottiene dai modelli di calcolo implementati per il dimensionamento dei controventamenti trasversali (5.1).

- Peso della predalle e del getto soletta (modello fase 1): $152 \text{ kN} / 3.5 \text{ m} = 43.4 \text{ kN/m}$
- Sovraccarico permanente (modello fase 2): $4.8 \text{ kN} / 3.5 \text{ m} = 1.4 \text{ kN/m}$
- Carico mobile (modello fase 2): $567 \text{ kN} / 3.5 \text{ m} = 162 \text{ kN/m}$

Le verifiche sono condotte per un'unica combinazione di carico SLU:

$$q_d = 1.35 \times \text{carichi permanenti} + 1.35 \times \text{carico mobile} = 279.2 \text{ kN/m}$$

Le caratteristiche inerziali della sezione della trave sono le seguenti:

$$\text{Momento di inerzia: } I = 931.654.149 \text{ mm}^4$$

$$\text{Modulo di resistenza minimo: } W = 3.597.120 \text{ mm}^3$$

$$\text{Area dell'anima: } A = 7488 \text{ mm}^2$$

Nel seguito si riassumono le sollecitazioni di calcolo ottenute per la trave:

$$M = 427.5 \text{ kNm}$$

$$V = 610.8 \text{ kN}$$

Le tensioni di calcolo sono le seguenti:

$$\sigma = 119 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 82 \text{ N/mm}^2$$

La tensione ideale si ottiene cautelativamente combinando le due componenti di tensione sopra indicate:

$$\sigma_{id} = 185 \text{ N/mm}^2 < 338 \text{ N/mm}^2$$

La freccia in esercizio per il solo carico mobile ammonta a circa 1 mm.