

## AREA EDILIZIA E SOSTENIBILITÀ

### RISTRUTTURAZIONE SPAZI VIA IRNERIO 48 BOLOGNA

PROPRIETÀ  
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CODICE EDIFICIO N. 909	CODICE PROGETTO N. J36B19001390005	TICKET N. 36988
---------------------------	---------------------------------------	--------------------

DIRIGENTE AREA EDILIZIA E SOSTENIBILITÀ  
ing. ANDREA BRASCHI

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. MARA DI NARDO

DIRETTORE DEI LAVORI  
Arch. MARCO MIGLIOLI

SUPPORTO AL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Sara Frabetti

PROGETTO ARCHITETTONICO

Arch. MARCO MIGLIOLI

COLLABORATORE PROGETTO ARCHITETTONICO

Geom. ANDREA MAGRI

PROGETTO IMPIANTI MECCANICI

Per. ind. LORENZO VECCHI

PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI

Ing. CESARE CRISTIANI

PROGETTO OPERE STRUTTURALI

-

COORDINATORE PER LA SICUREZZA  
IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. ANDREA POZZI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA  
IN FASE DI ESECUZIONE

ING. STEFANO COLUCCI

LIVELLO DELLA PROGETTAZIONE:

FATTIBILITÀ  
TECNICA  
ECONOMICA

☐

DEFINITIVO

☐

ESECUTIVO

☒

AS-BUILT

☐

OGGETTO TAVOLA

Relazione specialistica.

SCALA  
1:100

N° PROGRESSIVO ELENCO ELABORATI  
7 di 16

DATA  
03/05/2021

TAVOLA N°

REV.  
1°

DATA  
10/06/2021

R03

# INDICE

INDICE.....	1
PREMESSA:.....	2
ILLUSTRAZIONE SINTETICA (DGR 1373/2011).....	3
A-B-IDENTIFICAZIONE, DESCRIZIONE e TIPOLOGIA DELL'EDIFICIO.....	3
C – NORMATIVA TECNICA.....	3
D- PARAMETRI DI PROGETTO.....	4
E- MATERIALI.....	5
M-CATEGORIA DI INTERVENTO.....	6
P- VALUTAZIONE PRE e POST OPERAM.....	6
IJ - CALCOLO DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....	7
K- Caratteristiche ed affidabilità codice di calcolo.....	47

## **PREMESSA:**

Nella stesura del progetto sismico si è fatto riferimento al D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"

L'intervento in oggetto viene classificato come di **“riparazione o intervento locale”**

In generale, Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura.

Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

Nelle pagine successive verranno illustrati gli interventi di progetto e come essi creino un miglioramento alla risposta sismica ma non alterino in alcun modo la struttura.

## **ILLUSTRAZIONE SINTETICA (DGR 1373/2011)**

### **A-B-IDENTIFICAZIONE, DESCRIZIONE e TIPOLOGIA DELL'EDIFICIO**

L'intervento edilizio da realizzarsi è al piano terra dell' edificio che sorge nel comune di Bologna, in via Irnerio 48 sede del Dipartimento di Anatomia dell' Università di Bologna

### **C – NORMATIVA TECNICA**

I calcoli della presente relazione fanno riferimento alla normativa vigente ed in particolare:

#### **Normativa nazionale**

- *Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018*  
“Norme Tecniche per le Costruzioni 2018”
- *CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.*  
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (19A00855) (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5)

#### **Eurocodici**

- *UNI EN 1992-1-1: 2005*  
“Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.
- *UNI EN 1992-1-2: 2005*  
“Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”.

## D- PARAMETRI DI PROGETTO

Nella seguenti tabelle si riassumono le caratteristiche del codice di calcolo utilizzato e dell'analisi svolta per il presente progetto:

### PARAMETRI AI FINI DEL CALCOLO

<b>Comune:</b>	Bologna
<b>Provincia:</b>	BO
<b>Longitudine:</b>	44,30'
<b>Latitudine:</b>	11,21'
<b>Zona Sismica:</b>	3
<b>Classe d'uso:</b>	II
<b>Vita Nominale:</b>	50 anni

### Metodo di verifica

Le verifiche condotte si basano sul metodo degli Stati Limite sia per le condizioni ultime che di esercizio della struttura, così come definito al capitolo 4 e 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

### Origine e Caratteristiche del Codice di Calcolo

Software	<b>TRAVILOG TITANIUM 6</b>
Autore, produttore e distributore	<b>Logical Soft s.r.l</b> – via Garibaldi 253, 20832 Desio (MB)
Metodo numerico adottato	Metodo di calcolo agli elementi finiti
Solutore ad elementi finiti adottato	Xfinest di Harpaceas

La licenza di utilizzo del codice di calcolo è concessa da Logical Soft s.r.l a:

STEFANO COLUCCI, Codice Cliente: 87684

VIA SOLDATI 3, 40016, SAN GIORGIO DI PIANO - BO

Numero di serie: 7529 Chiave HARDWARE

Codice di abilitazione: 5YF8 65VE RCGB RZV2 GFZG FVR6 GX7G 42L4

### Caratteristiche dell'Elaboratore

Sistema Operativo	Sistema Operativo Nome: Microsoft Windows 10 Home Versione: 6.2.9200.0 RAM: 8075 MByte
Processore	Processore computer Tipo CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4710HQ CPU @ 2.50GHz Intel64 Family 6 Model 60 Stepping 3

	Velocità CPU: 1000 MHz
Scheda Video	Scheda grafica Descrizione: Intel(R) HD Graphics 4600 Versione Driver: 20.19.15.4549 Modalità video: 1920 x 1080 x 4294967296 colori Processore video: Intel(R) HD Graphics Family Accelerazione: sconosciuta RAM: 1.024 MByte

## E- MATERIALI

Si è proceduto alle analisi dei materiali esistenti mediante indagini non distruttive.

Per quanto concerne le strutture in muratura si è considerato come parametri di calcolo:

Descrizione	
Nome: <b>S 275</b>	Tipologia del materiale: acciaio per strutture metalliche
Descrizione:	
Caratteristiche dell'acciaio	
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$ : 2.803,26 kg/cm <sup>2</sup>	Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$ : 4.383,28 kg/cm <sup>2</sup>
Modulo elastico $E_s$ : 2.140.672,78 kg/cm <sup>2</sup>	Modulo di elasticità trasversale $G$ : 823.335,69 kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson $\nu$ : 0,30	Densità $\rho$ : 7.850,0 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente di dilatazione termica lineare $\alpha_t$ : 1,2E-05	Tensione ammissibile $\sigma_s$ : 1.900,00 kg/cm <sup>2</sup>

## MURATURA ESISTENTE

La struttura è caratterizzata da Murature di tipo vecchio in blocco di laterizio in malta bastarda.

Pertanto ai fini del calcolo si utilizzano i valori:

<b>G<sub>d</sub> =</b>	375	N/mm <sup>2</sup>
<b>E<sub>d</sub> =</b>	1125	N/mm <sup>2</sup>
<b>T<sub>d</sub> =</b>	5	N/cm <sup>2</sup>

Parametrizzati per un un livello di conoscenza LC1

## **M-CATEGORIA DI INTERVENTO**

L'intervento in oggetto viene classificato come di **“riparazione o intervento locale”**

## **P- VALUTAZIONE PRE e POST OPERAM**

Gli interventi individuati risultano essere sono:

- **Realizzazione di cerchiatura metallica al piano terra** per la realizzazione di apertura in muratura portante.
- **Realizzazione di passerella di supporto per macchina espulsione aria**
- **Realizzazione di supporto per lampade scialitiche**
- **Ripristino delle lesioni vano scala ovest**

## IJ - CALCOLO DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

### Ipotesi di carico

L'edificio è soggetto a carichi esterni, dovuti alla presenza di elementi non strutturali e alla distribuzione di carichi permanenti e accidentali.

### Analisi dei carichi

PIANO PRIMO	
<i>Carichi permanenti</i>	
Peso proprio	300 kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>300 kg/m<sup>2</sup></b>
<i>Carichi permanenti non strutturali</i>	
Massetti	100 kg/m <sup>2</sup>
Pavimenti	100 kg/m <sup>2</sup>
Incidenza Tramezzature	120 kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>320 kg/m<sup>2</sup></b>
<i>Carichi accidentali</i>	
Abitazioni	400 kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>400 kg/m<sup>2</sup></b>
COPERTO	
<i>Carichi permanenti</i>	
Peso Proprio	200 kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>200 kg/m<sup>2</sup></b>
<i>Carichi permanenti non strutturali</i>	
Isolamento	50 kg/m <sup>2</sup>
Impermeabilizzazione	10 kg/m <sup>2</sup>
Coppi	80 kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>180 kg/m<sup>2</sup></b>
<i>Carichi accidentali</i>	
Neve	120 kg/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>120 kg/m<sup>2</sup></b>

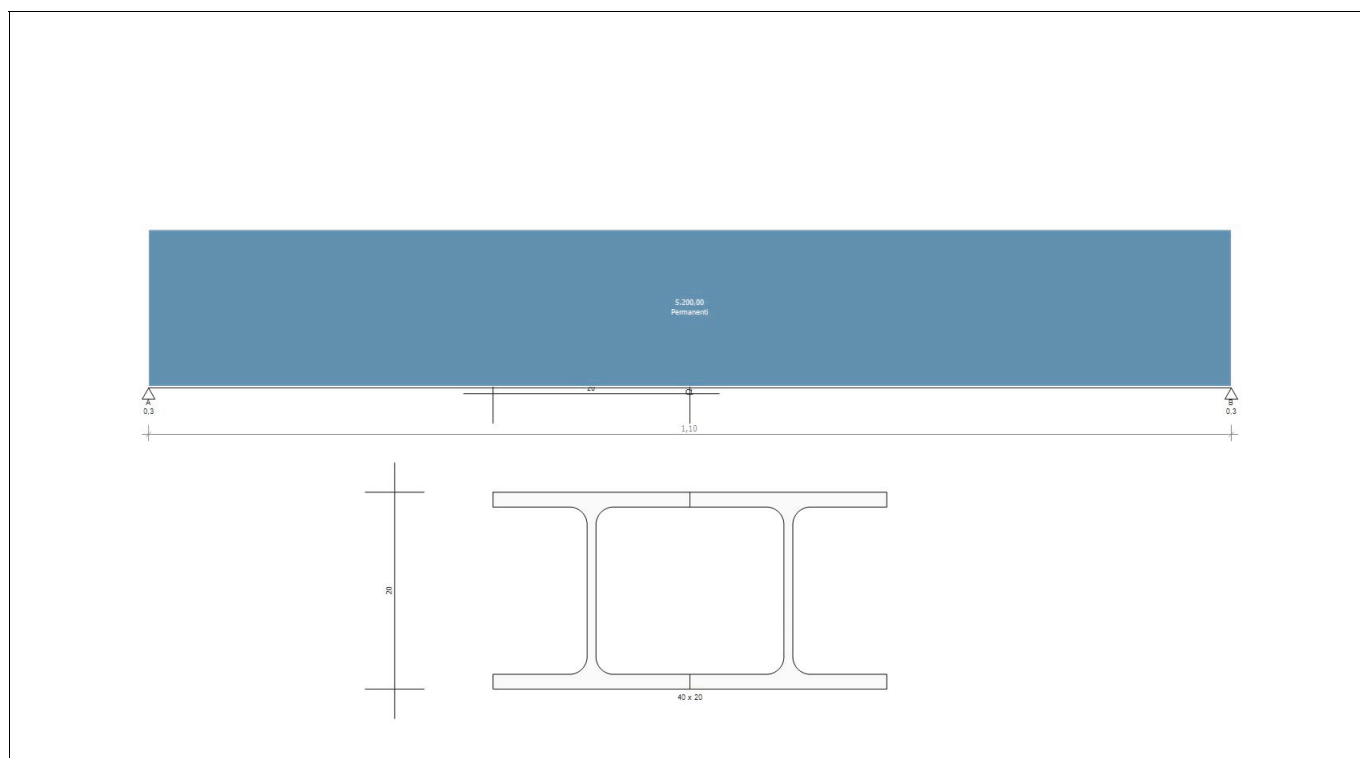
**Realizzazione di cerchiatura metallica al piano terra per la realizzazione di apertura in muratura portante.**

## **VERIFICA ARCHITRAVE**

### **1 cerchiatura Geometria**

Nome Trave: cerchiatura	Lunghezza totale: 1,10 m
Numero di campate: 1	Numero di appoggi: 2
Materiale della sezione: S 275	

#### **Schema statico**



#### **Geometria**

Campata			Caratteristiche della sezione			
Nome	Lunghezza [m]	Sezione	B max [cm]	H max [cm]	Area A [cm <sup>2</sup> ]	Inerzia I [cm <sup>4</sup> ]
C1	1,10	40 x 20	20,0	20,0	78,1	11.393,8

#### **Appoggi e vincoli**

Nome	Larghezza [m]	Tipo di Vincolo	Parametro caratteristico
A	0,30	Appoggio	Ridistribuzione 0,0 %
B	0,30	Appoggio	Ridistribuzione 0,0 %

#### **Carichi statici**

Campata	Tipo di carico	Categoria	Ascissa [m]	Val. iniz. P1	Lung. [m]	Val. fin. P2
C1	Carico distribuito asse Y globale	Peso proprio	0,00	122,61 kg/m	1,10	122,61 kg/m

C1	Carico distribuito asse Y globale	Permanente	0,00	5.200,00 kg/m	1,10	5.200,00 kg/m
----	-----------------------------------	------------	------	---------------	------	---------------

## Carichi mobili

Campata	Tipo di carico	Categoria	Ascissa [m]	Val. iniz. P1	Lung. [m]	Val. fin. P2
Assenti						

## 2 Scheda tecnica del materiale

### Descrizione

Nome: **S 275**

Tipologia del materiale: acciaio per strutture metalliche

Descrizione:

### Caratteristiche dell'acciaio

Tensione caratteristica di snervamento  $f_y$  : 2.803,26 kg/cm<sup>2</sup>

Tensione caratteristica di rottura  $f_t$  : 4.383,28 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico  $E_s$  : 2.140.672,78 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo di elasticità trasversale  $G$  : 823.335,69 kg/cm<sup>2</sup>

Coefficiente di Poisson  $\nu$  : 0,30

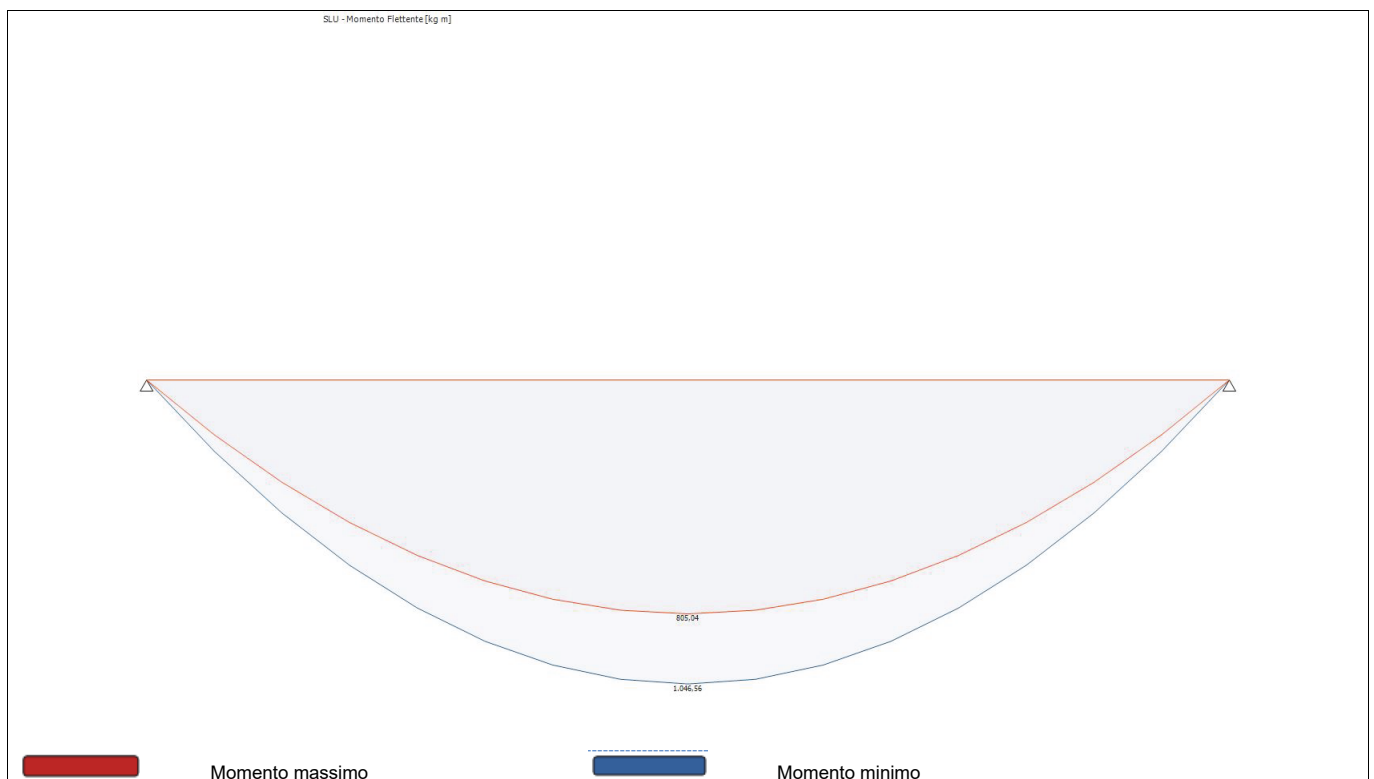
Densità  $\rho$  : 7.850,00 kg/m<sup>3</sup>

Coefficiente di dilatazione termica lineare  $\alpha_t$  : 1,2E-05

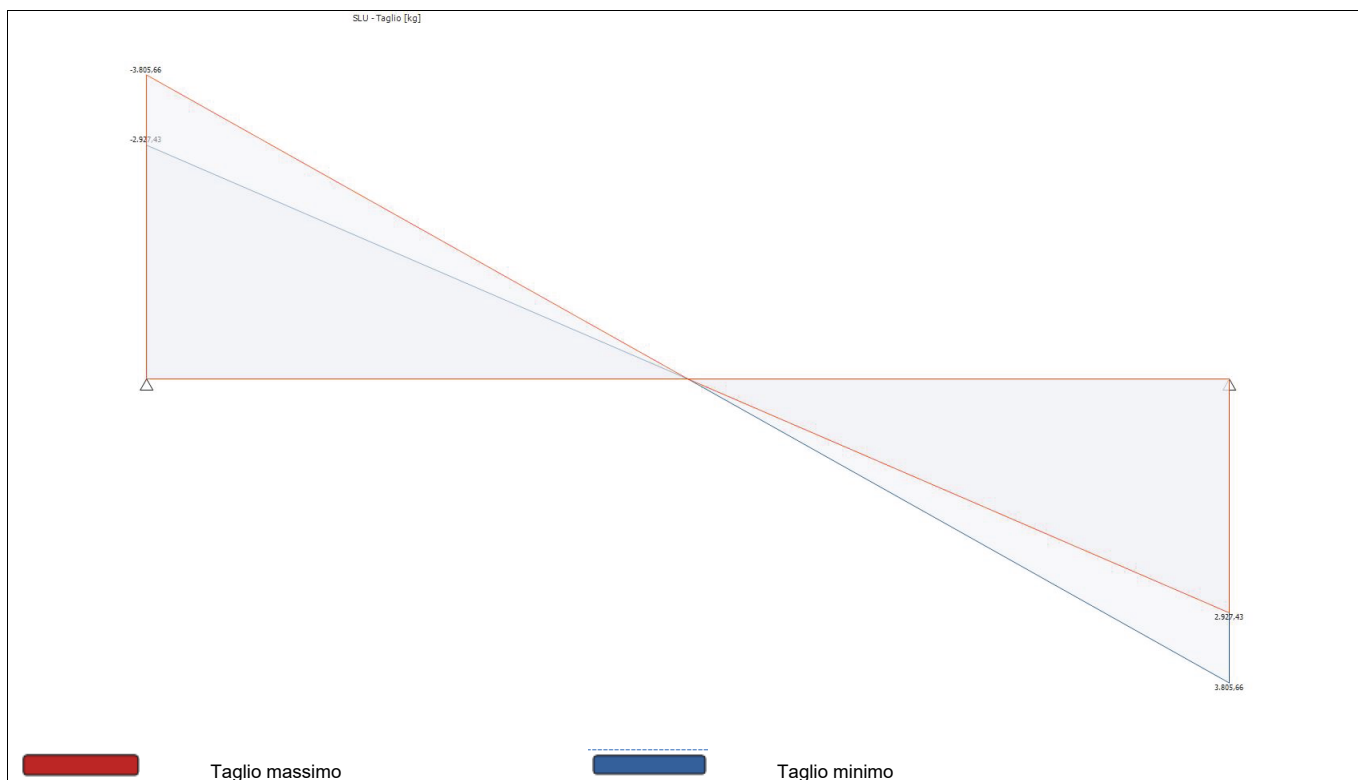
Tensione ammissibile  $\sigma_s$  : 1.900,00 kg/cm<sup>2</sup>

## 3 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLU

### Diagramma del Momento Flettente



### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	3.805,66	2.927,43
B	3.805,66	2.927,43

#### Azioni

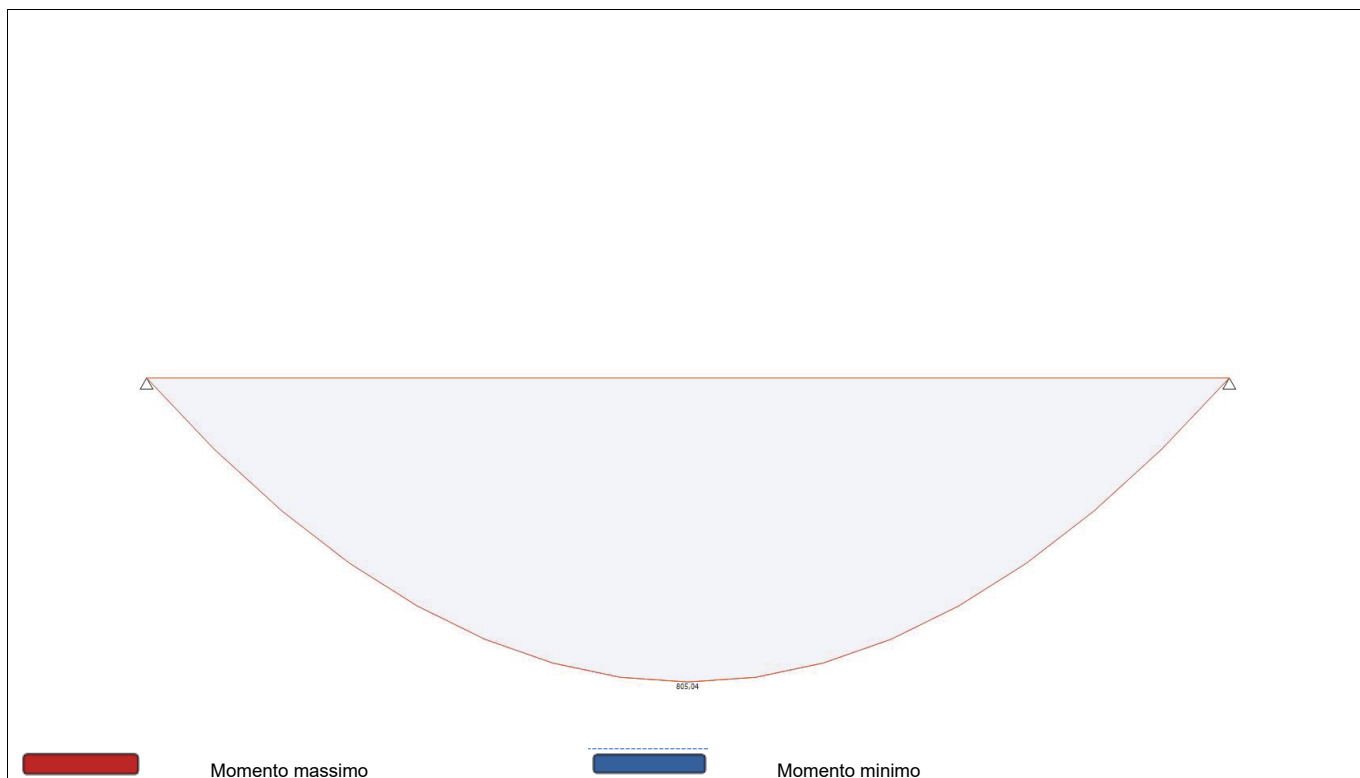
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-2.927,43	-3.805,66
C1	0,55	1.046,56	805,04	0,00	0,00
C1	1,10	0,00	0,00	3.805,66	2.927,43

### 4 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE rara

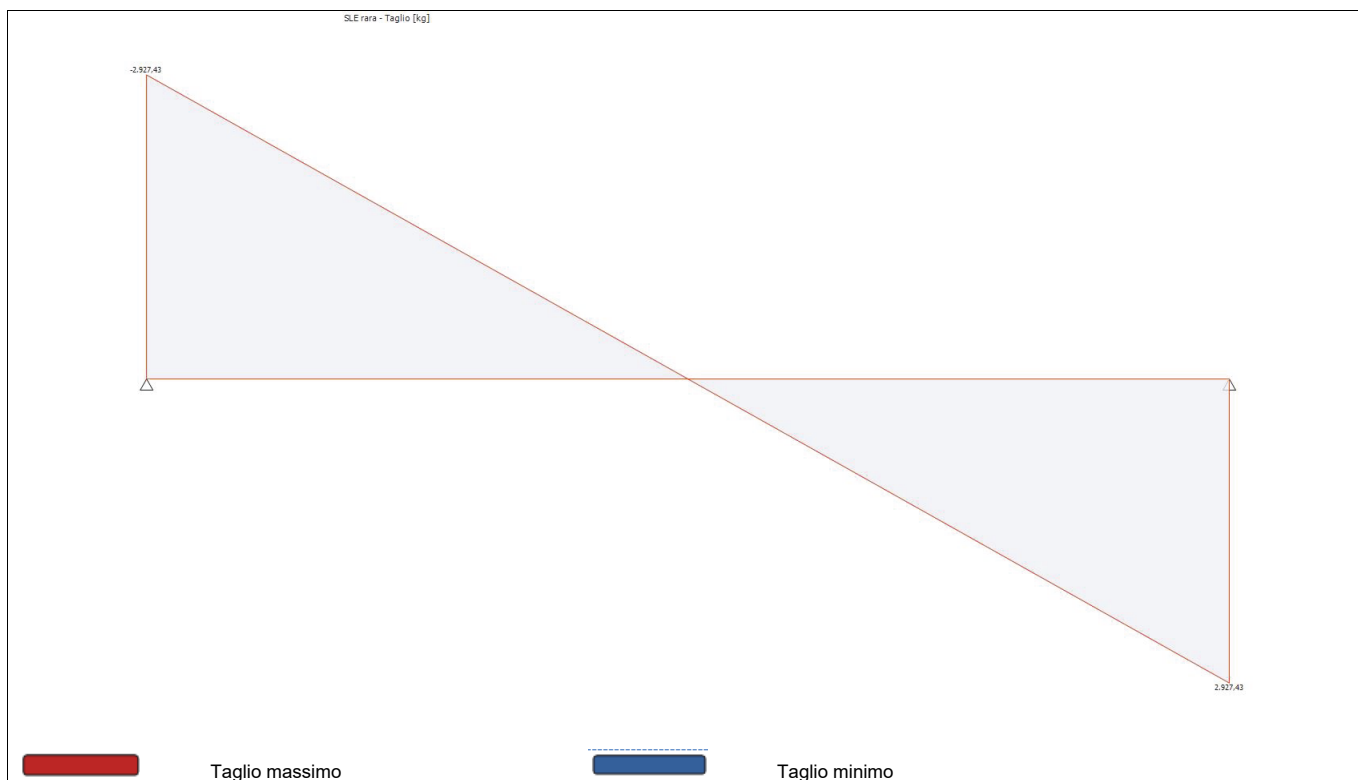
#### Diagramma della Deformata Elastica



#### Diagramma del Momento Flettente



#### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	2.927,43	2.927,43
B	2.927,43	2.927,43

#### Azioni

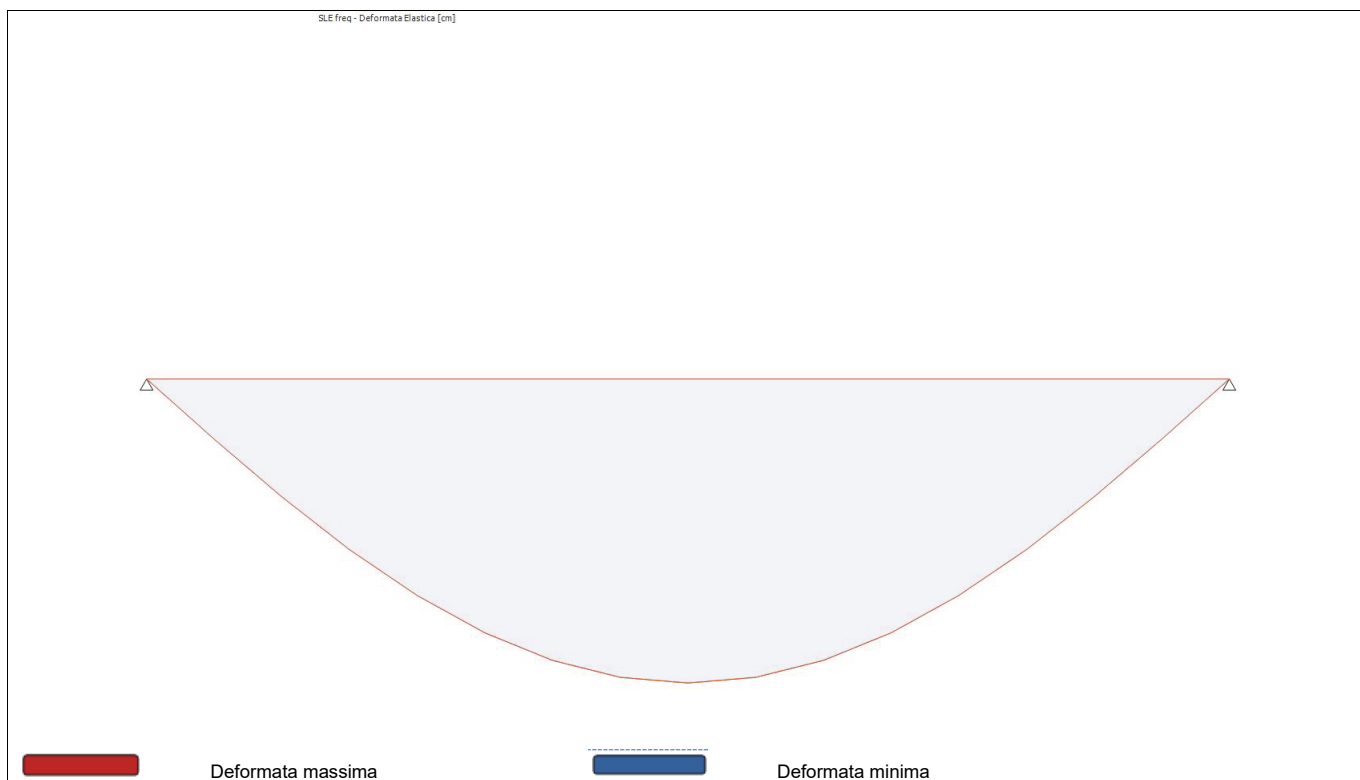
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-2.927,43	-2.927,43
C1	0,55	805,04	805,04	0,00	0,00
C1	1,10	0,00	0,00	2.927,43	2.927,43

#### Deformata

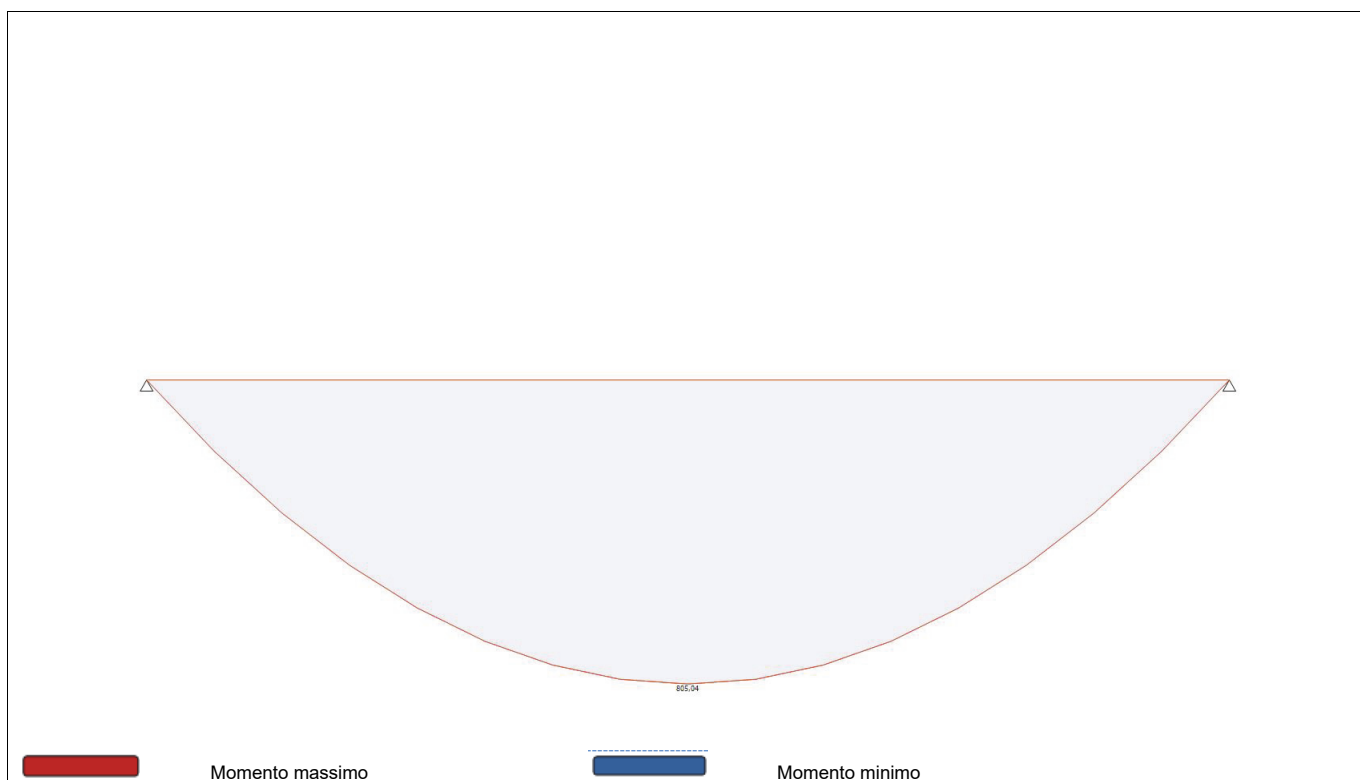
Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	0,55	0,0

## 5 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE frequente

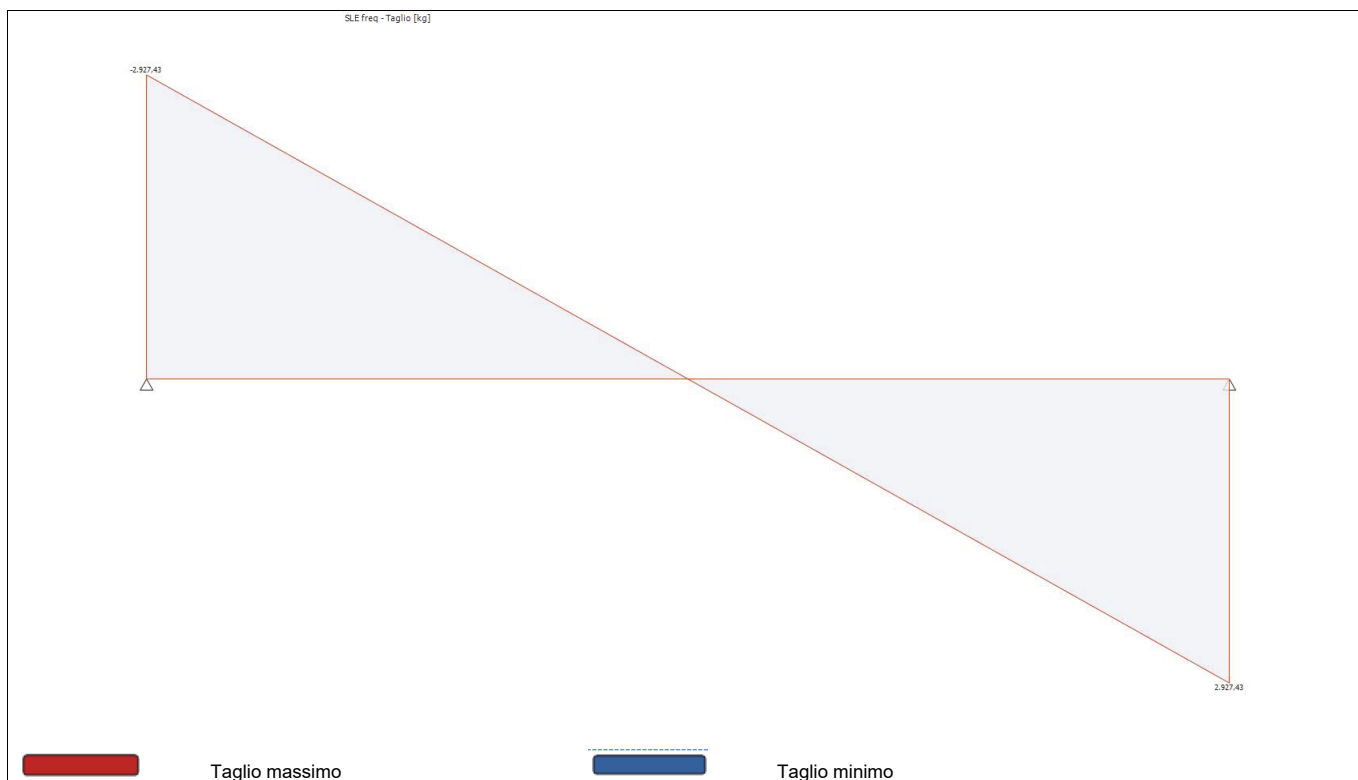
#### Diagramma della Deformata Elastica



#### Diagramma del Momento Flettente



#### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	2.927,43	2.927,43
B	2.927,43	2.927,43

#### Azioni

Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-2.927,43	-2.927,43
C1	0,55	805,04	805,04	0,00	0,00
C1	1,10	0,00	0,00	2.927,43	2.927,43

#### Deformata

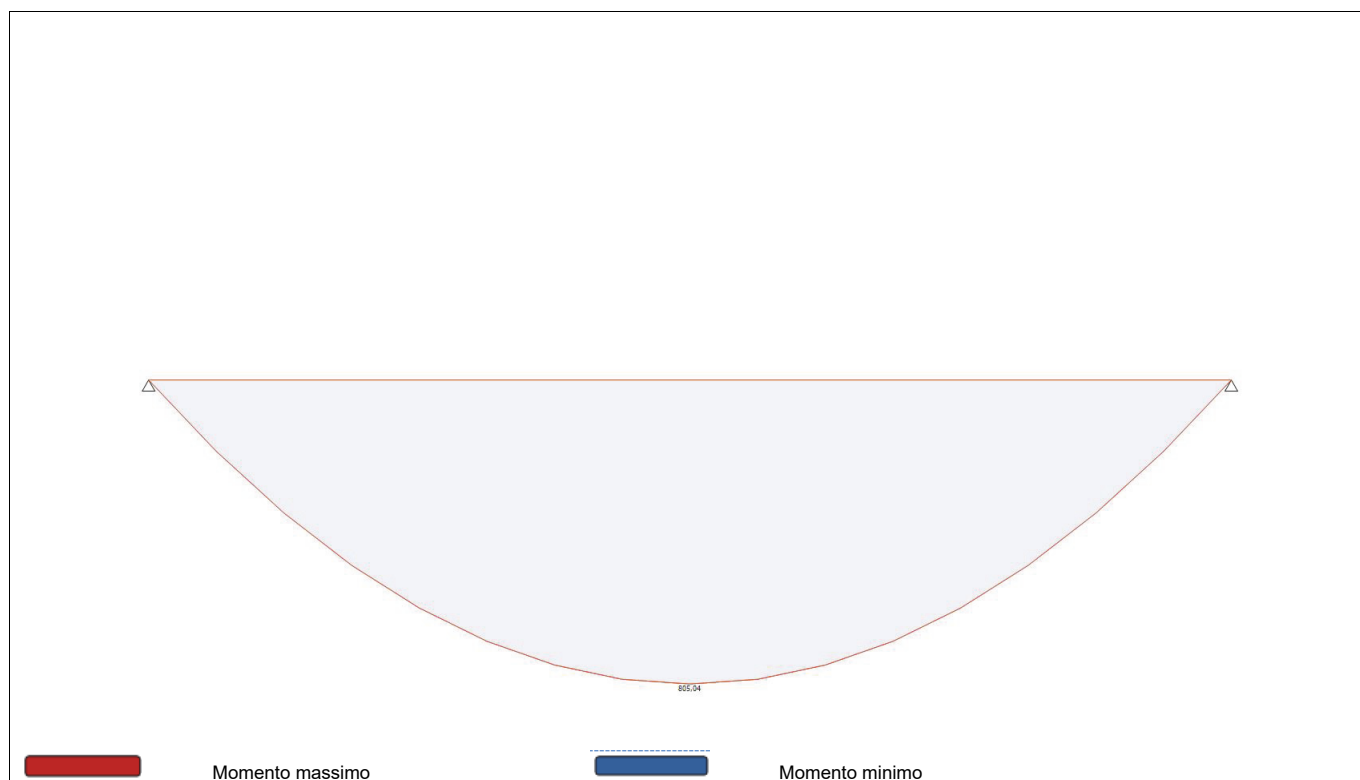
Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	0,55	0,0

## 6 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE quasi permanente

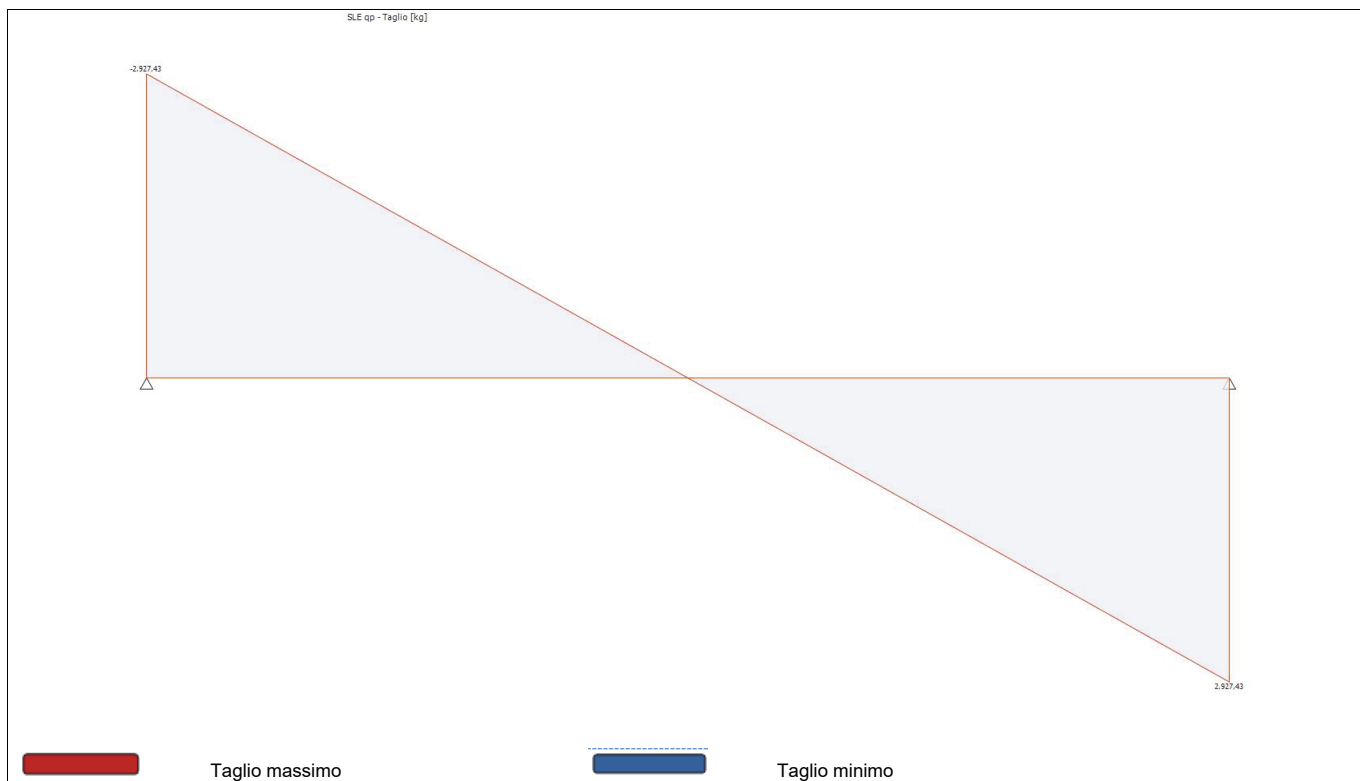
#### Diagramma della Deformata Elastica



### Diagramma del Momento Flettente



## Diagramma del Taglio



## Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	2.927,43	2.927,43
B	2.927,43	2.927,43

## Azioni

Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-2.927,43	-2.927,43
C1	0,55	805,04	805,04	0,00	0,00
C1	1,10	0,00	0,00	2.927,43	2.927,43

## Deformata

Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	0,55	0,0

## Verifiche

### Verifica di Resistenza

Criterio	Sfruttamento	Ascissa [m]	N [kg]	M3 [kg m]	T2 [kg]	Verifica
Verifica a flessione retta y-y	0,03	0,550	--	1.046,56	--	OK

### Verifica di Deformabilità

Criterio	Sfruttamento	Lunghezza [m]	Spostamento [cm]	Spostamento limite [cm]	Verifica
Elemento singolo	0,01	1,100	0,0	0,4	OK

## VERIFICA PIEDRITTI

Nella progettazione dell' un intervento locale si assume come riferimento il modello a rotazioni bloccate dei nodi (telaio shear-type).

Si è proceduto al calcolo delle resistenze e delle rigidezze in tre condizioni:

- **Fase pre-intervento (PANNELLO ORIGINARIO)**
- **Fase intermedia (PANNELLO FORATO)**
- **Fase post intervento (PANNELLO CERCHIATO)**

Pertanto si è calcolata la rigidezza, la resistenza e la capacità di spostamento del pannello originario (punto 1), questi valori rappresentano il livello di sicurezza pre intervento

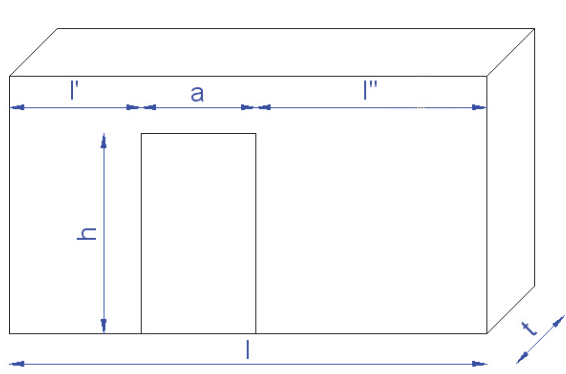
Si è quindi proceduto al calcolo della rigidezza, della resistenza e della capacità di spostamento dei due maschi (di lunghezza  $l'$  e  $l''$ ) che si creano con la realizzazione del foro di ampiezza  $a$ . Si è quindi calcolata la variazione di rigidezza, resistenza e capacità di spostamento nelle due situazioni.

Si è quindi dimensionato un telaio atto a ripristinare tale variazione, si è quindi proceduto al calcolo rigidezza, resistenza e capacità di spostamento del telaio verificando che rigidezza e resistenza siano maggiori, o comunque di poco inferiori di quelle variate. Questi valori rappresentano il livello di sicurezza post intervento

Si è infine proceduto confrontando il lavoro di deformazione del pannello originario e di quello con l'apertura cerchiata, al fine di valutare se possono essere considerate equivalenti e comunque maggiore quello della situazione post intervento.

Si ha pertanto un incremento del livello di sicurezza

Considerando lo schema



**CERCHIATURA APERTURA IN ACCIAIO- NTC2018**

<b>PANNELLO ORIGINARIO</b>	<b>1 PANNELLO ORIGINARIO</b>	<b>t =</b>	0,48	m
	setti di calcolo	<b>I tot=</b>	5	m
		<b>h =</b>	3,43	m
		<b>hc=</b>	2,1	m
		<b>G =</b>	375	N/mm <sup>2</sup>
		<b>E =</b>	1125	N/mm <sup>2</sup>
		<b>T<sub>0</sub> =</b>	5	N/cm <sup>2</sup>
				(N.B. T <sub>0</sub> =T <sub>k</sub> /FC)
		<b>σ<sub>0</sub> =</b>	10,833	N/cm <sup>2</sup>
	<b>SETTO</b>	<b>L (m)</b>		
	1	5		
	2			
	3			
	4			
	5			
	<b>TOTALE</b>	5		
	<b>d<sub>y</sub> =</b>	<b>1,46</b>	<b>mm</b>	
	<b>d<sub>u,tot</sub> =</b>	<b>13,72</b>	<b>mm</b>	

PANNELLO ORIGINARIO	2	PANNELLO IN PROGETTO							
	setti di calcolo								
				$\sigma_0 =$	12,90	N/cm <sup>2</sup>			
	SETTO	L (m)		Km (KN/m)			V <sub>t</sub> (KN)		
	1	0,45		1148,26			26,72		
	2	3,75		133069,69			222,63		
	3								
	4								
	5								
	TOTALE	4,2		134217,95			249,35		
	d <sub>v</sub> =	1,86	mm		d <sub>u,tot</sub> =	13,72	mm		

3	CONFRONTO PANNELLO - PANNELLO FORATO
---	--------------------------------------

Riduzione Rigidezza	$K_m - K_{m,a} =$	59162,09	KN/m
---------------------	-------------------	----------	------

Riduzione Resistenza	$V^* = V_t - V_{t,a} =$	32,08	KN
----------------------	-------------------------	-------	----

4	PROGETTO CERCHIATURA IN RESISTENZA
---	------------------------------------

Modulo Resistenza necessario a ripristinare la Resistenza del pannello originario

Si utilizza ferro S 275 JR  $f_{yk} =$  275 N/mm<sup>2</sup>

$W^* =$	105,03	cm <sup>3</sup>
---------	--------	-----------------

Per ripristinare la resistenza globale del pannello originario si utilizza come piedritti il profilo:

n.profilo x lato	HEB 200	$W =$	2003,00	cm <sup>3</sup>
2		$J =$	5696,00	cm <sup>4</sup>

$K_{telaio} =$	61997,28	KN/m
----------------	----------	------

$V_{telaio} =$	611,77	KN
----------------	--------	----

$d_{y,tel} =$	9,87	mm
---------------	------	----

$V =$	611,77	KN
-------	--------	----

VERIFICA ( $V > V^*$ )	OK
------------------------	----

5	Calcolo del LAVORO di DEFORMAZIONE
---	------------------------------------

Parete Senza Apertura	$L_t =$	3656,37	Nm
-----------------------	---------	---------	----

Parete con Apertura	$L_{t,a} =$	3189,41	Nm
---------------------	-------------	---------	----

Parete + Telaio	$L_{tel+t,a} =$	12761,29	Nm
-----------------	-----------------	----------	----

VERIFICA ( $L_{tel} > L_t$ )	OK
------------------------------	----

4*	VERIFICA DELLA RIGIDEZZA
----	--------------------------

J necessario a ripristinare la Rigidezza del pannello originario

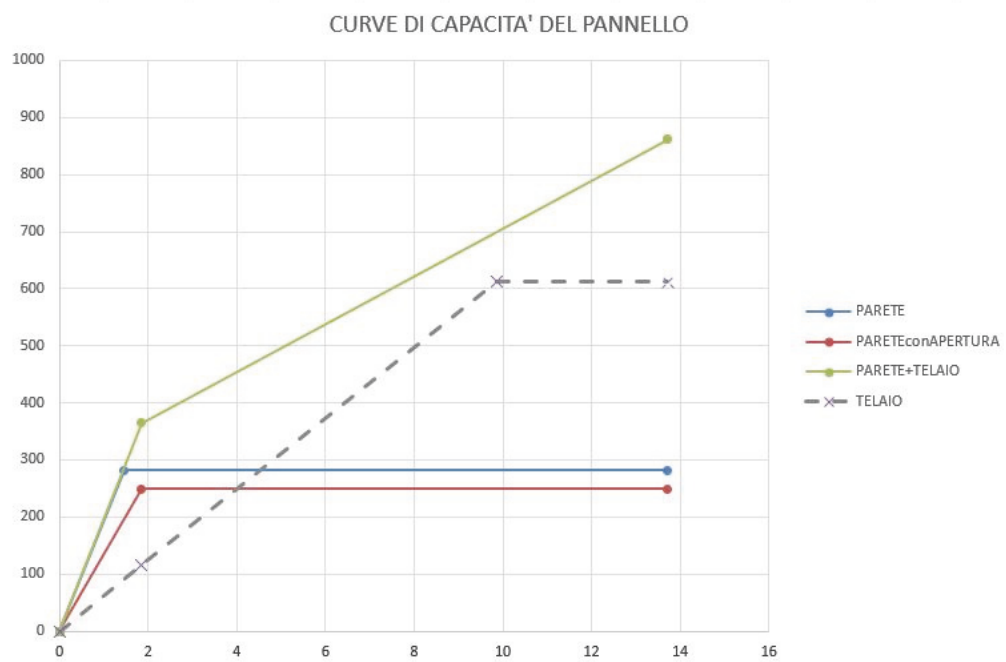
J* =	5435,52	cm <sup>3</sup>
------	---------	-----------------

Con i piedritti scelti si ha:

n.profilati x lato	HEB 200	W =	2003,00	cm <sup>3</sup>
2		J =	5696,00	cm <sup>4</sup>

K <sub>telaio</sub> =	61997,28	KN/m
-----------------------	----------	------

aumento/ riduzione di rigidezza	
4.792241	%



Pertanto si ha

- incremento di resistenza
- incremento di rigidezza
- incremento di lavoro di deformazione

### **Verifica Piastra di base**

La forza di taglio sul telaio è data da:

$$V^* = V_t - V_{t,a} = 32,08 \text{ kN}$$

Si considera per il telaio l'ipotesi shear-type ottenendo:

$$V^*/4 = VEd = 8,86 \text{ kN}$$

$$MEd = (V/2 * h_T)/4 = 9,52 \text{ kNm}$$

Pertanto si realizza un collegamento flangiato costituito da una piastra e bulloni ancorati ad una soletta in calcestruzzo C25/30 sottostante alla cerchiatura.

## VERIFICA COLLEGAMENTO COLONNA-TRAVI

$T_{max} = -8,86 \text{ KN}$

$M_{max} = 9.52 \text{ KNm}$

$N_{max} = -1.2 \text{ KN}$

### Verifica saldatura

#### Saldature a cordoni d'angolo (cordoni doppi)

Spessore di gola saldatura ali	4	mm	Spessore di gola saldatura anima	4	mm
--------------------------------	---	----	----------------------------------	---	----

#### Verifiche

Forza su saldatura ala colonna	54,096	kN	Sfruttamento resistenza saldatura ala colonna	0,319
Resistenza saldatura ala colonna	169,436	kN		
Forza su saldatura anima colonna	0,029	kN	Sfruttamento resistenza saldatura anima colonna	0,001
Resistenza saldatura anima colonna	316,591	kN		

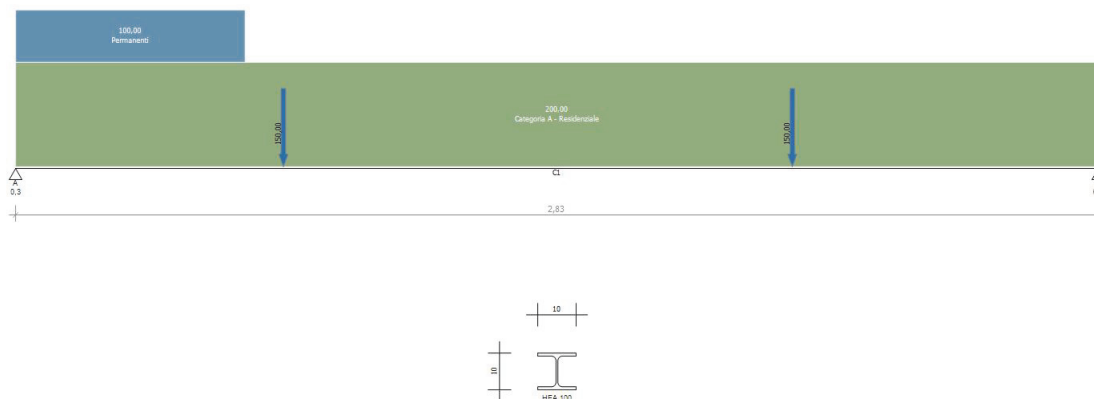
## Realizzazione di passerella di supporto per macchina espulsione aria

L'unità ha un peso cautelativo di 600kg, si ipotizza la presenza di un operatore e di una passerella per consentire l'ispezione

### Geometria

Nome Trave:	Lunghezza totale: 2,83 m
Numero di campate: 1	Numero di appoggi: 2
Materiale della sezione: S 275	

### Schema statico



### Geometria

Campata			Caratteristiche della sezione			
Nome	Lunghezza [m]	Sezione	B max [cm]	H max [cm]	Area A [cm <sup>2</sup> ]	Inerzia I [cm <sup>4</sup> ]
C1	2,83	HEA 100	10,0	9,6	21,2	349,3

### Appoggi e vincoli

Nome	Larghezza [m]	Tipo di Vincolo	Parametro caratteristico
A	0,30	Appoggio	Ridistribuzione 0,0 %
B	0,30	Appoggio	Ridistribuzione 0,0 %

### Carichi statici

Campata	Tipo di carico	Categoria	Ascissa [m]	Val. iniz. P1	Lung. [m]	Val. fin. P2
C1	Carico distribuito asse Y globale	Peso proprio	0,00	16,67 kg/m	2,83	16,67 kg/m
C1	Carico distribuito asse Y globale	Categoria A - Residenziale	0,00	200,00 kg/m	2,83	200,00 kg/m
C1	Carico concentrato lungo asse Y globale	Permanente	0,70	150,00 kg	0,00	150,00 kg

C1	Carico concentrato lungo asse Y globale	Permanente	2,03	150,00 kg	0,00	150,00 kg
C1	Carico distribuito asse Y globale	Permanente	0,00	100,00 kg/m	0,60	100,00 kg/m

### Carichi mobili

Campata	Tipo di carico	Categoria	Ascissa [m]	Val. iniz. P1	Lung. [m]	Val. fin. P2
Assenti						

## Scheda tecnica del materiale

### Descrizione

Nome: **S 275**

Tipologia del materiale: acciaio per strutture metalliche

Descrizione:

### Caratteristiche dell'acciaio

Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk}$  : 2.803,26 kg/cm<sup>2</sup>

Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk}$  : 4.383,28 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico  $E_s$  : 2.140.672,78 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo di elasticità trasversale  $G$  : 823.335,69 kg/cm<sup>2</sup>

Coefficiente di Poisson  $\nu$  : 0,30

Densità  $\rho$  : 7.850,00 kg/m<sup>3</sup>

Coefficiente di dilatazione termica lineare  $\alpha_t$  : 1,2E-05

Tensione ammissibile  $\sigma_s$  : 1.900,00 kg/cm<sup>2</sup>

## Sollecitazioni agenti - Combinazione SLU

### Diagramma del Momento Flettente

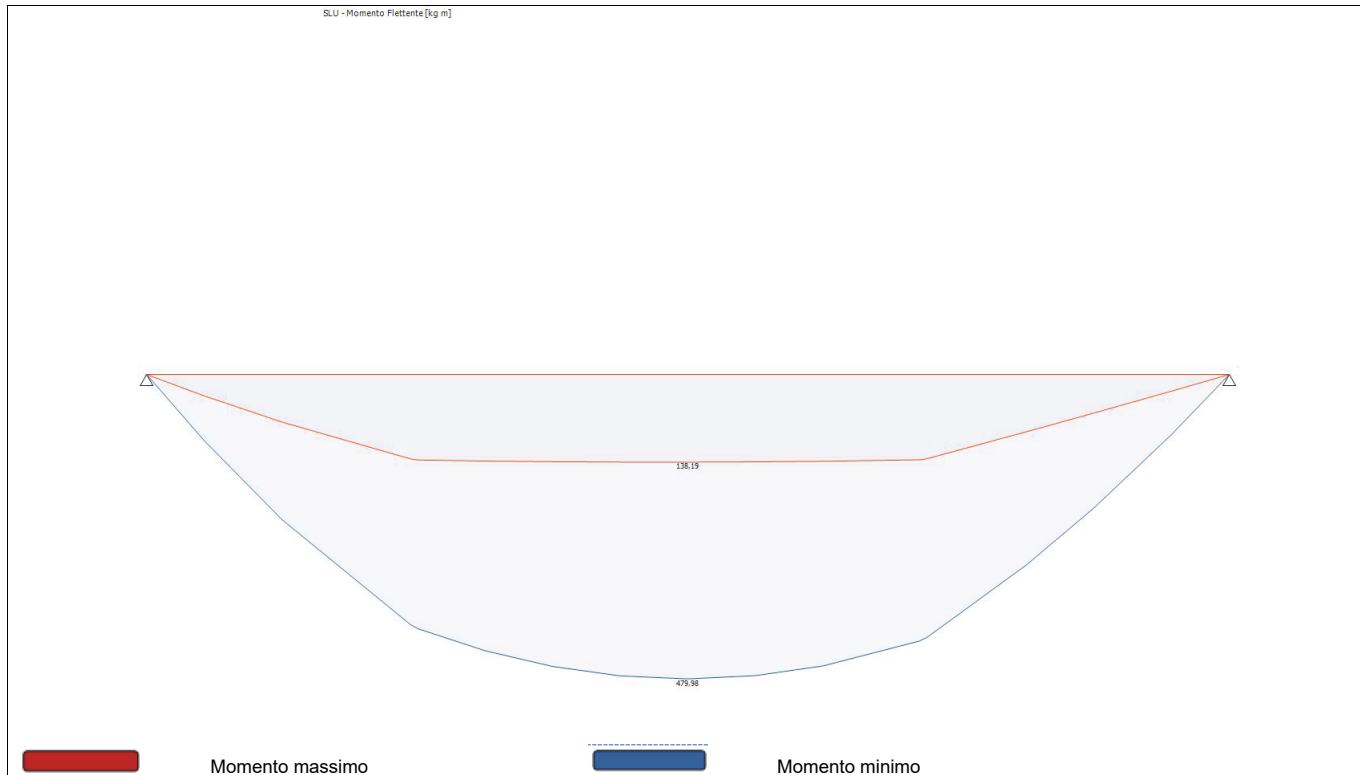
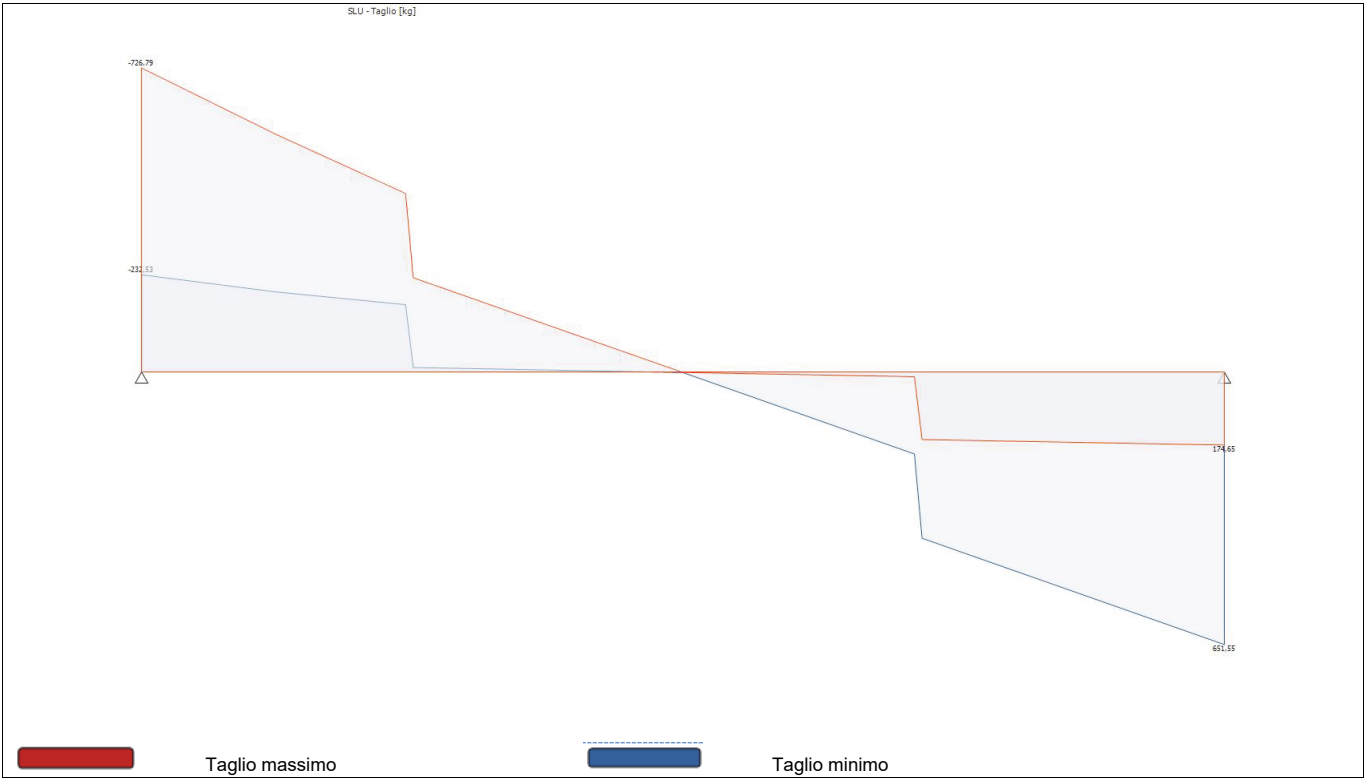


Diagramma del Taglio



Reazioni vincolari

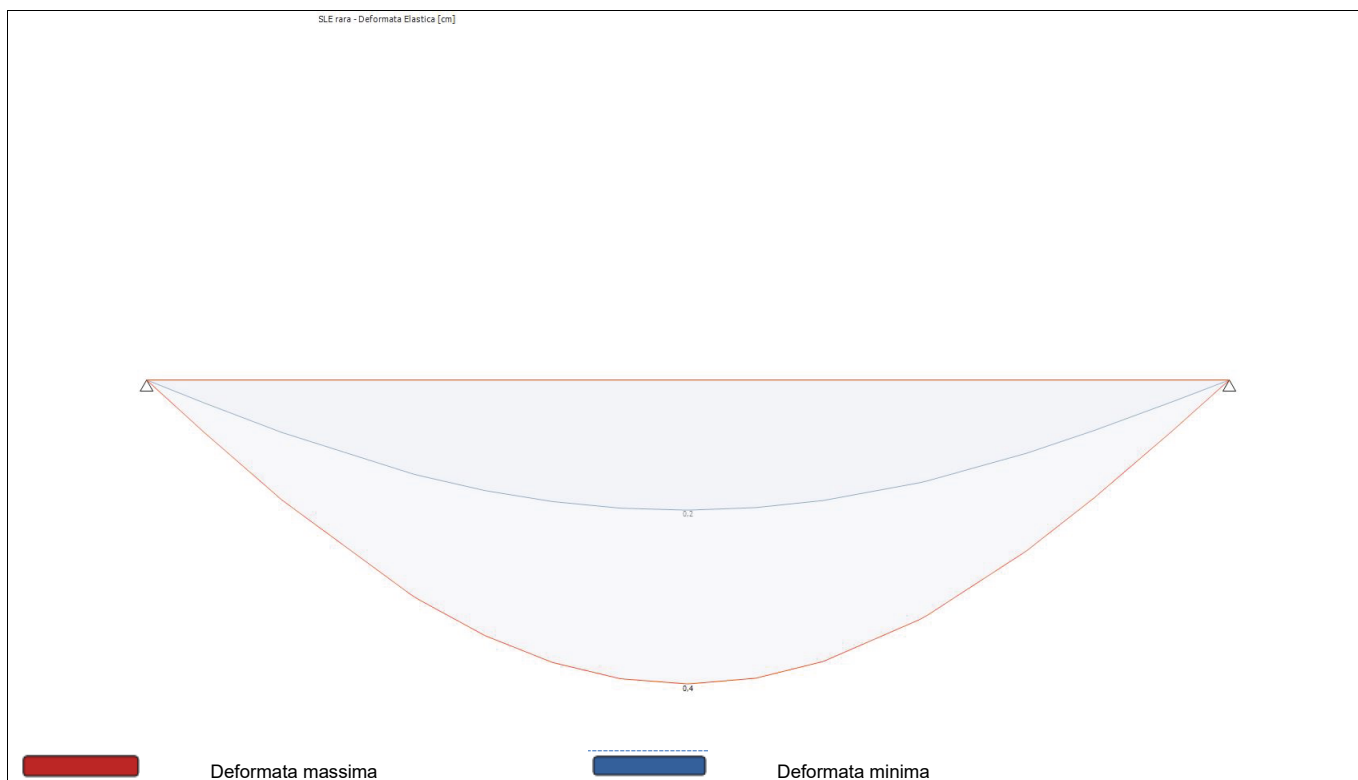
Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	726,79	232,53
B	651,55	174,65

Azioni

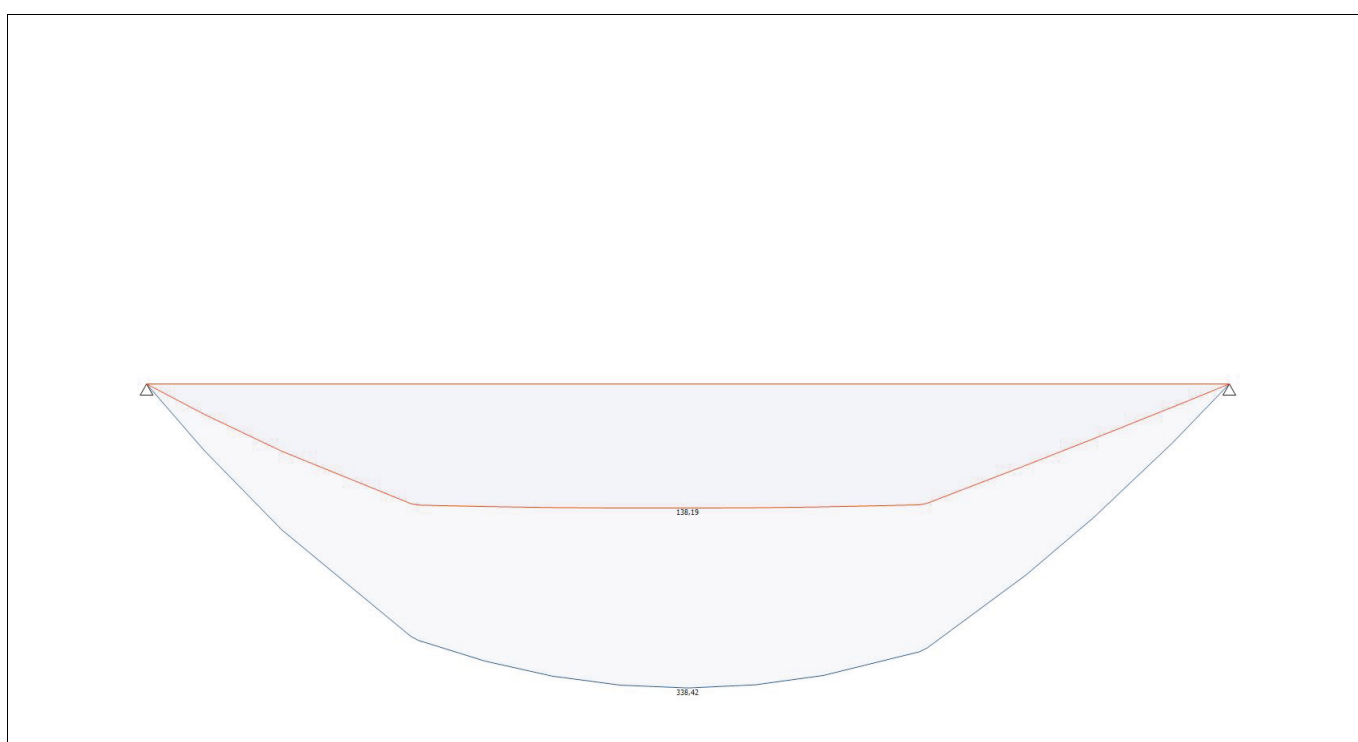
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-232,53	-726,79
C1	1,41	479,98	138,19	0,00	0,00
C1	2,83	0,00	0,00	651,55	174,65

## Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE rara

### Diagramma della Deformata Elastica

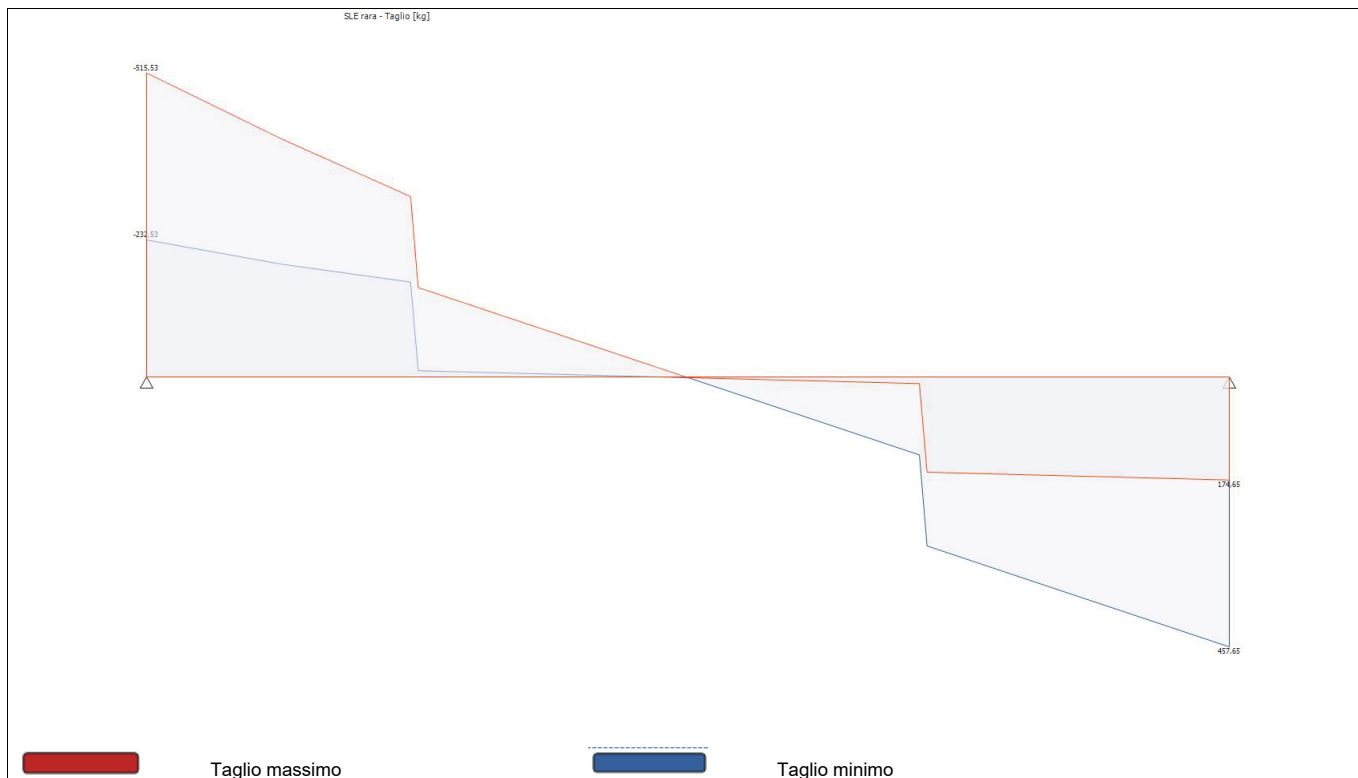


### Diagramma del Momento Flettente



<div></div>	Momento massimo	<div></div>	Momento minimo
-------------	-----------------	-------------	----------------

# Diagramma del Taglio



# Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	515,53	232,53
B	457,65	174,65

# Azioni

Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-232,53	-515,53
C1	1,41	338,42	138,19	0,00	0,00
C1	2,83	0,00	0,00	457,65	174,65

# Deformata

Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	1,41	0,4

Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE frequente

Diagramma della Deformata Elastica

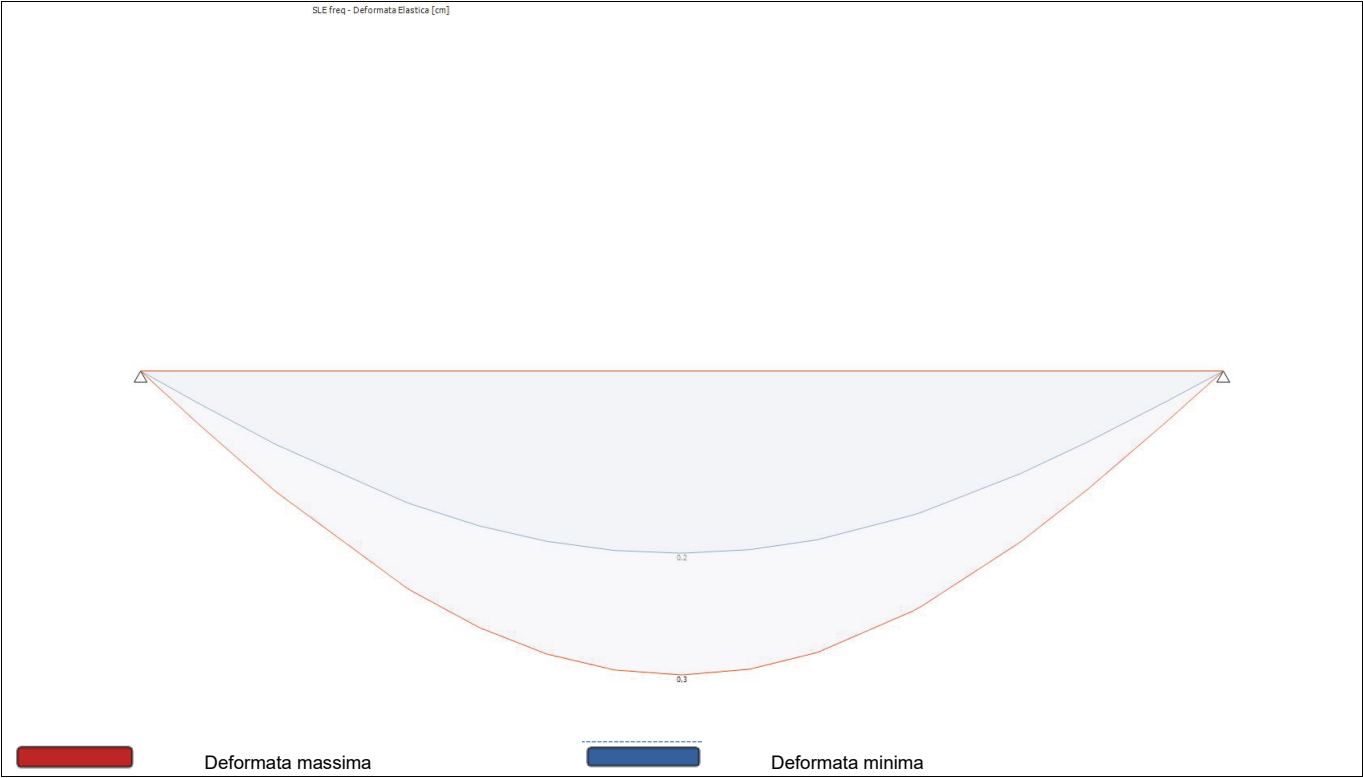
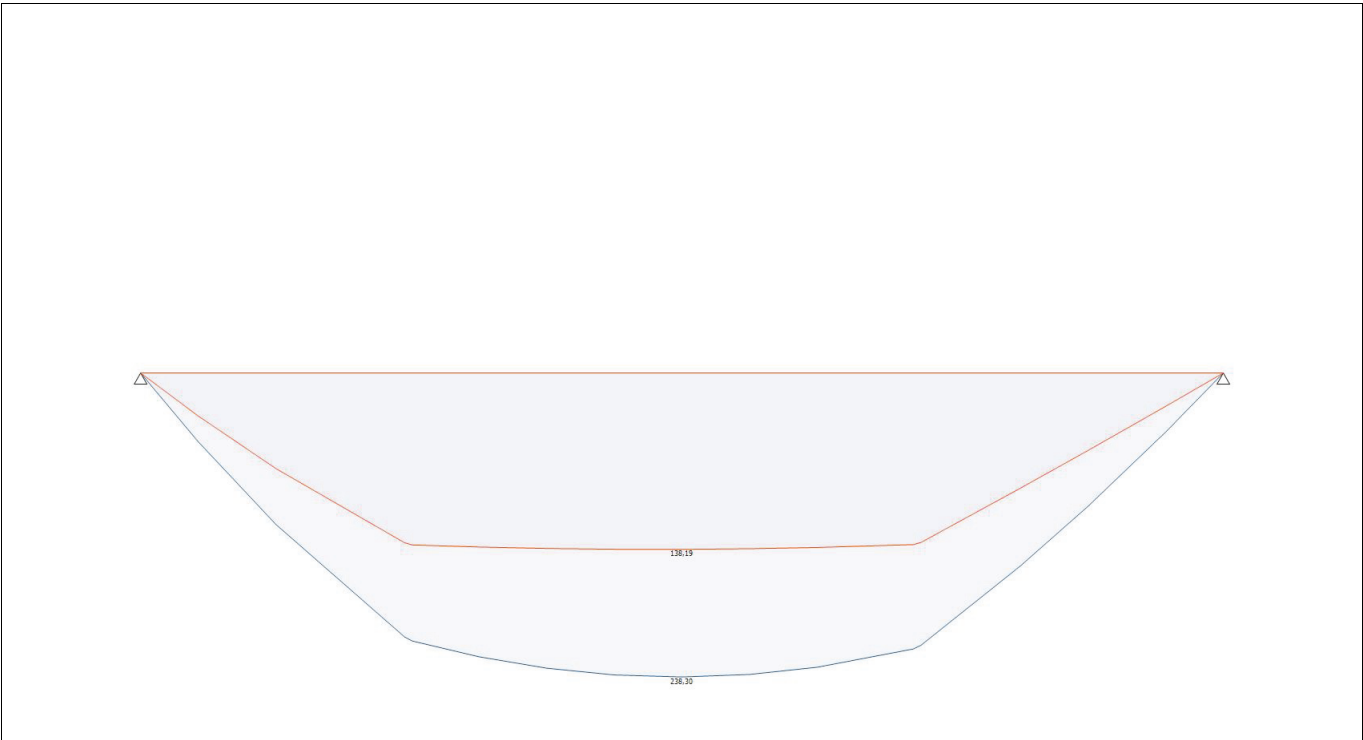
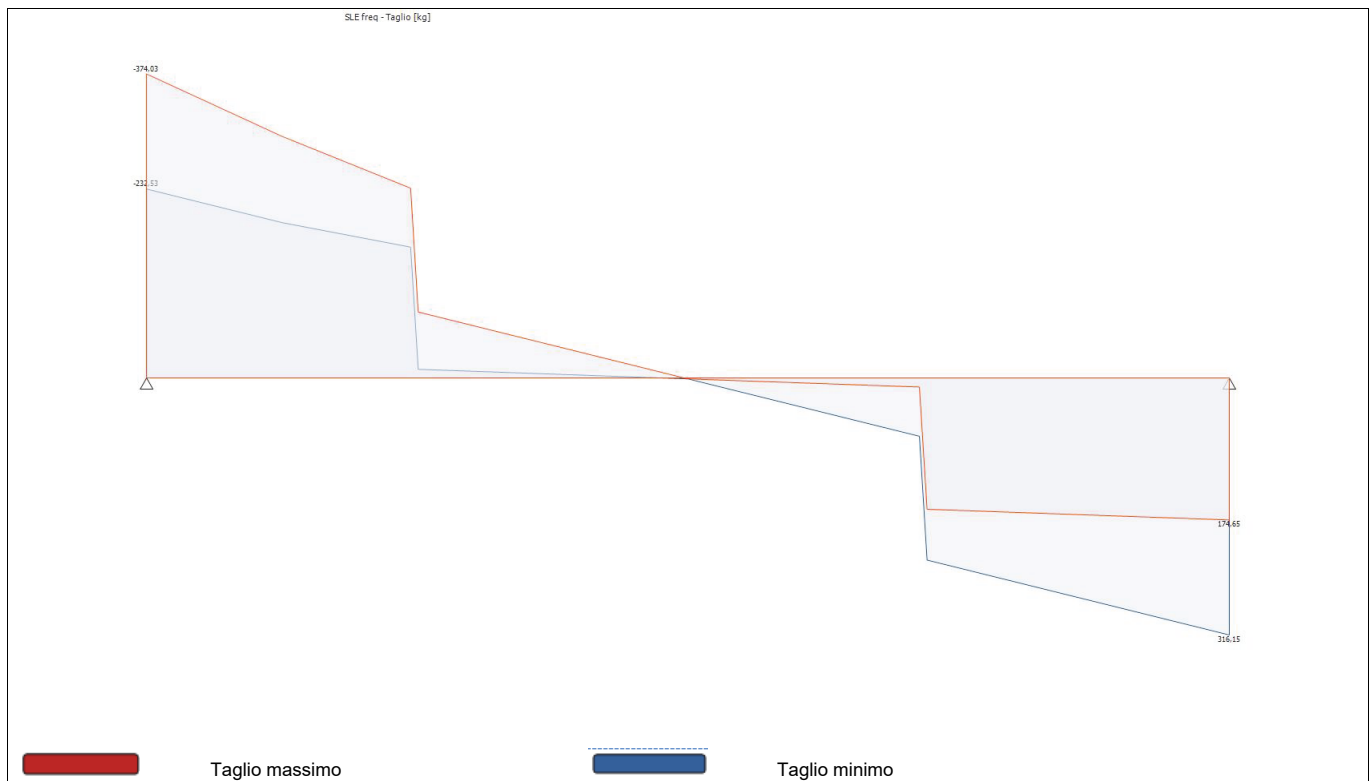


Diagramma del Momento Flettente



<div></div>	Momento massimo	<div></div>	Momento minimo
-------------	-----------------	-------------	----------------

Diagramma del Taglio



Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	374,03	232,53
B	316,15	174,65

Azioni

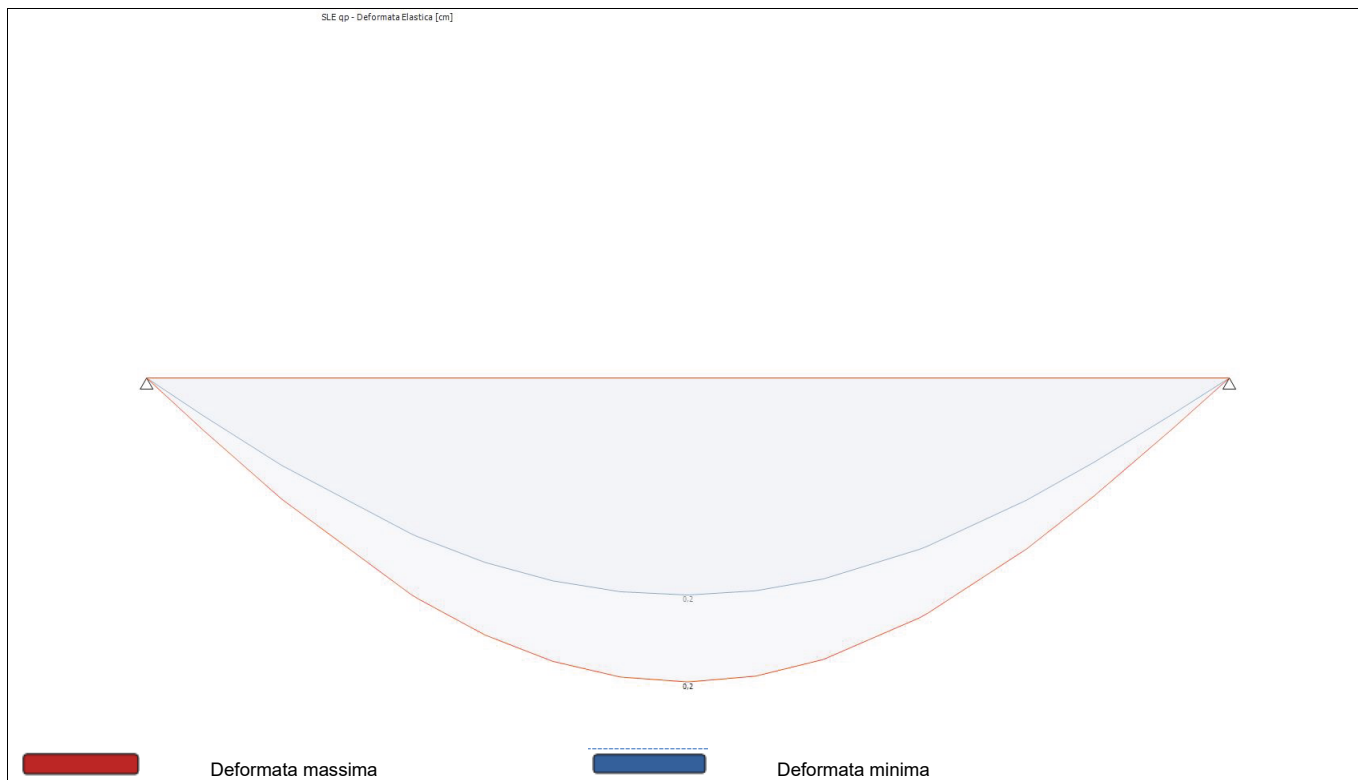
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-232,53	-374,03
C1	1,41	238,30	138,19	0,00	0,00
C1	2,83	0,00	0,00	316,15	174,65

Deformata

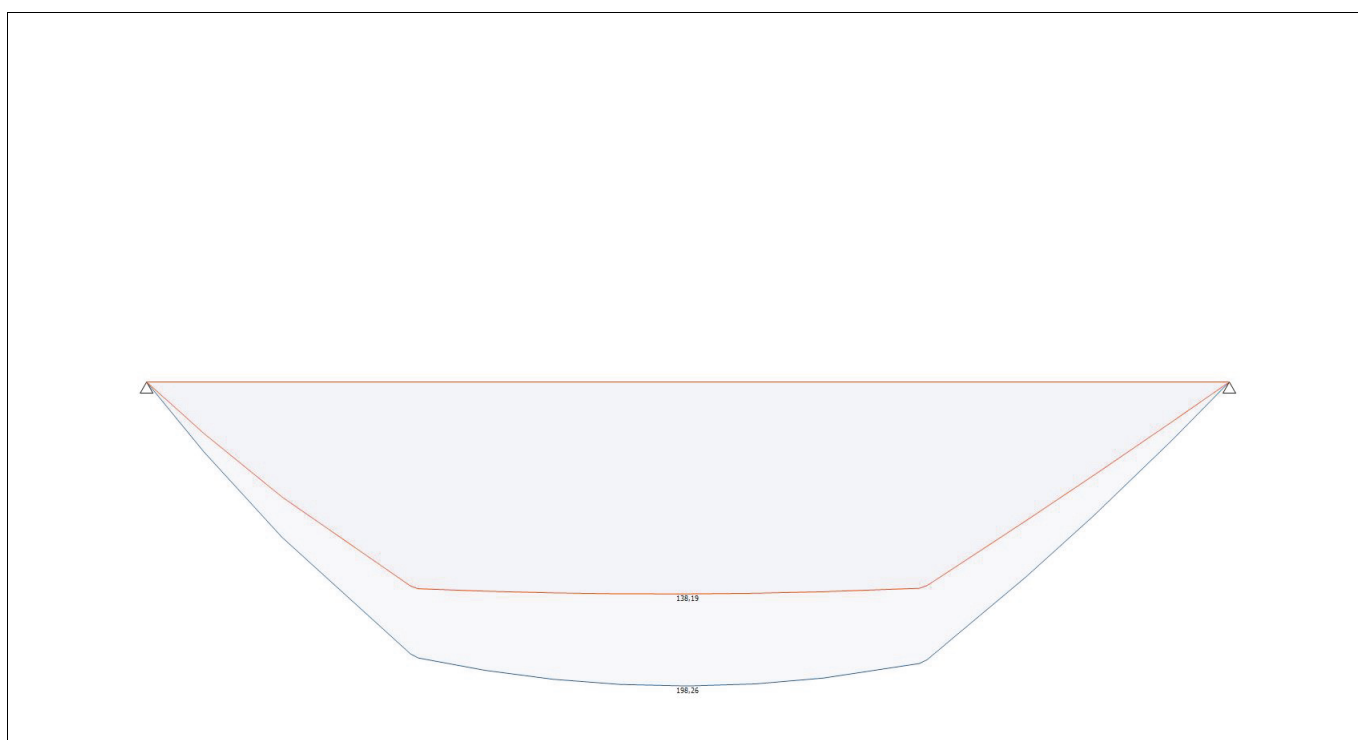
Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	1,41	0,3

## Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE quasi permanente

### Diagramma della Deformata Elastica

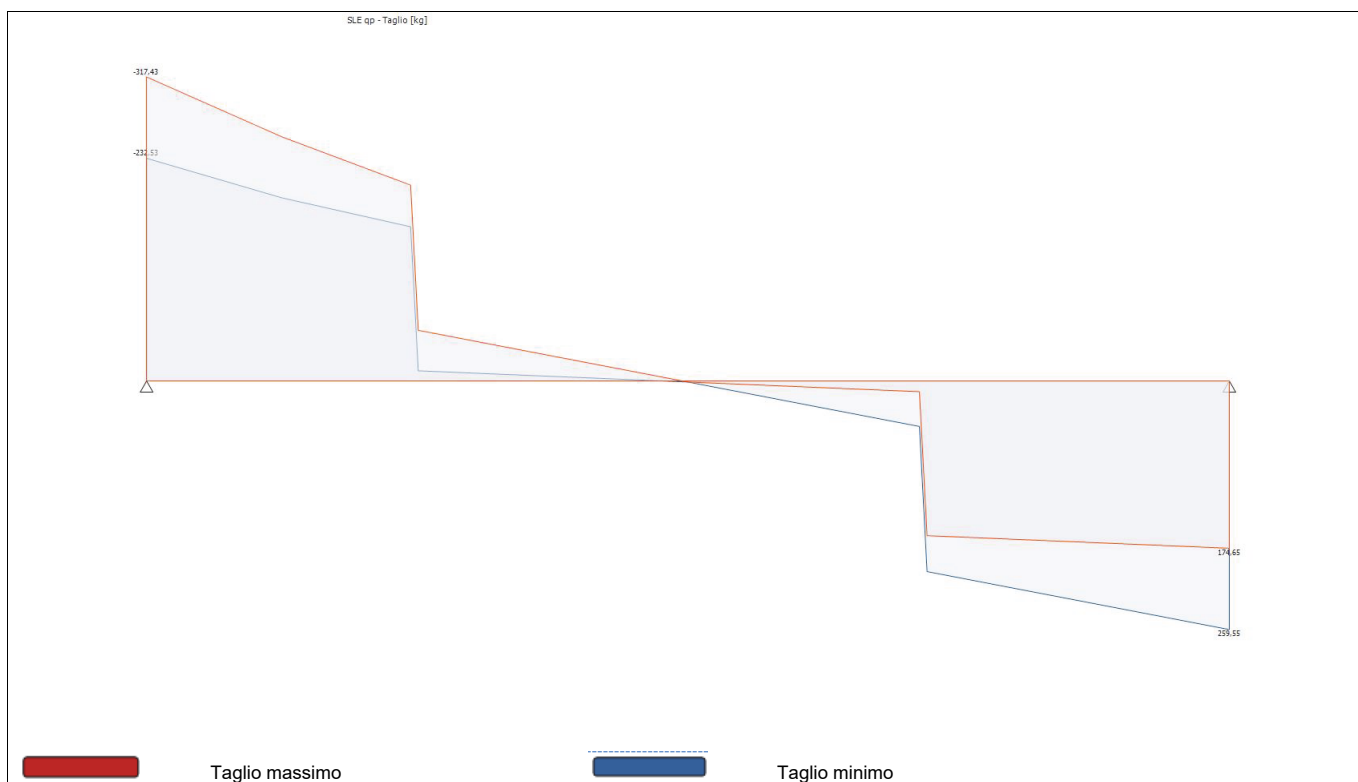


### Diagramma del Momento Flettente



<div></div>	Momento massimo	<div></div>	Momento minimo
-------------	-----------------	-------------	----------------

# Diagramma del Taglio



# Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	317,43	232,53
B	259,55	174,65

# Azioni

Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-232,53	-317,43
C1	1,41	198,26	138,19	0,00	0,00
C1	2,83	0,00	0,00	259,55	174,65

# Deformata

Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	1,41	0,2

## Verifiche

### Verifica di Resistenza

Criterio	Sfruttamento	Ascissa [m]	N [kg]	M3 [kg m]	T2 [kg]	Verifica
Verifica a flessione retta y-y	0,22	1,415	--	479,98	--	OK

### Verifica di Deformabilità

Criterio	Sfruttamento	Lunghezza [m]	Spostamento [cm]	Spostamento limite [cm]	Verifica
Elemento singolo	0,34	2,830	0,4	1,1	OK

### Verifica di Stabilità

Criterio	Sfruttamento	Ascissa [m]	M3 [kg m]	Mcr [kg m]	Kc	Chi LT	Verifica
Verifica stabilità a flessotorsione	0,28	1,415	479,98	4.725,46	0,94	0,90	OK

## Realizzazione di supporto per lampade scialitiche

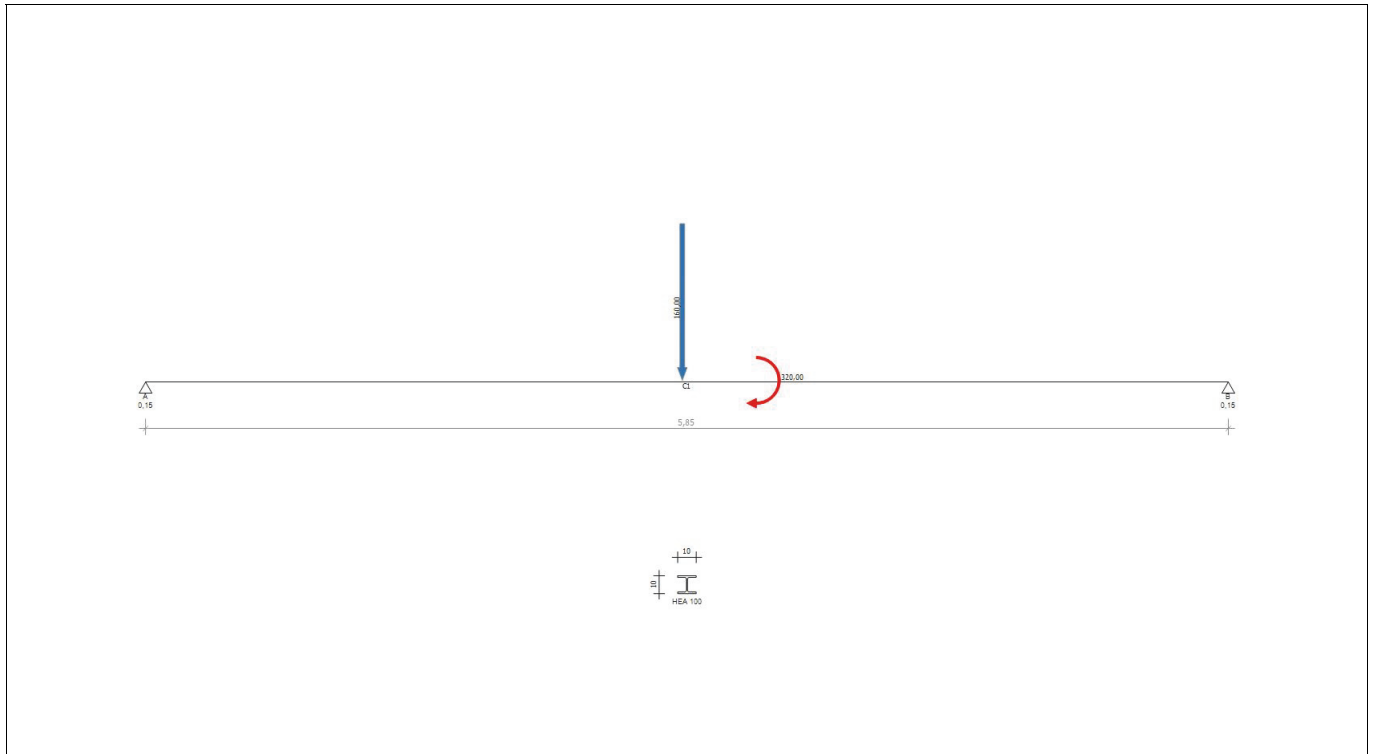
Considerando i carichi forniti dal produttore della lampada, su indicazione del produttore si considera un coefficiente di sicurezza pari a 4

Mechanical Data		marLED® E9i / E9i Ceiling	
Min. room height (power module on ceiling flange 2.25 m)	mm	2,980	
Min. room height (external power module / headroom 2.25 m)	mm	2,840	
Operating forces on light head	N	acc. to norm	acc. to norm
Range of movement	mm	1,760	1,760
Spring arm height adjustment (depending on room height)	mm	1,178	1,178
Top position of light head at a headroom of 2.25 m	mm	2,288	2,288
Dimensions: diameter of ceiling anchor plate	mm	380 (square)	
Bottom position of light head at a headroom of 2.25 m	mm	1,110	1,110
Force required for moving light head up/down	N	14	14
Force required for swiveling the light head	N	6	6
Max. vertical force due to weight	N	approx. 450	approx. 450
Total weight	kg	39	39
Single weight (approx.): standard ceiling tube	kg	8	
Single weight (approx.): tracking arm, central bearing shaft, spring arm	kg	12	12
Single weight (approx.): power module	kg	7	7
Single weight (approx.): light head	kg	12	12
Torque, bending moment	Nm	approx. 290	approx. 290
Permissible ambient temperature range during operation	°C	5° to +40° C	
Storage temperature	°C	-10° to +50° C	
Shock/impact resistance		8 g / 10 ms	
Vibrostability (immunity to vibration)		10 — 150 Hz / 0.15 mm / 2 g	
Canopy dimensions	mm	620 x 208 (110)	
Light head flow contact area	cm²	2,775	2,775
Light head height (w/o sterile handle)	mm	70	70
Light head dimensions	mm	685 x 630	685 x 630

## 1 scialitica Geometria

Nome Trave: scialitica	Lunghezza totale: 5,85 m
Numero di campate: 1	Numero di appoggi: 2
Materiale della sezione: S 275	

### Schema statico



### Geometria

Campata			Caratteristiche della sezione			
Nome	Lunghezza [m]	Sezione	B max [cm]	H max [cm]	Area A [cm <sup>2</sup> ]	Inerzia I [cm <sup>4</sup> ]
C1	5,85	HEA 100	10,0	9,6	21,2	349,3

### Appoggi e vincoli

Nome	Larghezza [m]	Tipo di Vincolo	Parametro caratteristico
A	0,15	Appoggio	Ridistribuzione 0,0 %
B	0,15	Appoggio	Ridistribuzione 0,0 %

### Carichi statici

Campata	Tipo di carico	Categoria	Ascissa [m]	Val. iniz. P1	Lung. [m]	Val. fin. P2
C1	Carico distribuito asse Y globale	Peso proprio	0,00	16,67 kg/m	5,85	16,67 kg/m
C1	Carico concentrato lungo asse Y globale	Permanente	2,90	160,00 kg	0,00	160,00 kg
C1	Coppia concentrata attorno asse Z globale	Permanente	3,30	320,00 kgm	0,00	320,00 kgm

### Carichi mobili

Campata	Tipo di carico	Categoria	Ascissa [m]	Val. iniz. P1	Lung. [m]	Val. fin. P2
Assenti						

## 2 Scheda tecnica del materiale

### Descrizione

Nome: **S 275**

Tipologia del materiale: acciaio per strutture metalliche

Descrizione:

### Caratteristiche dell'acciaio

Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk}$  : 2.803,26 kg/cm<sup>2</sup>

Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk}$  : 4.383,28 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico  $E_s$  : 2.140.672,78 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo di elasticità trasversale  $G$  : 823.335,69 kg/cm<sup>2</sup>

Coefficiente di Poisson  $\nu$  : 0,30

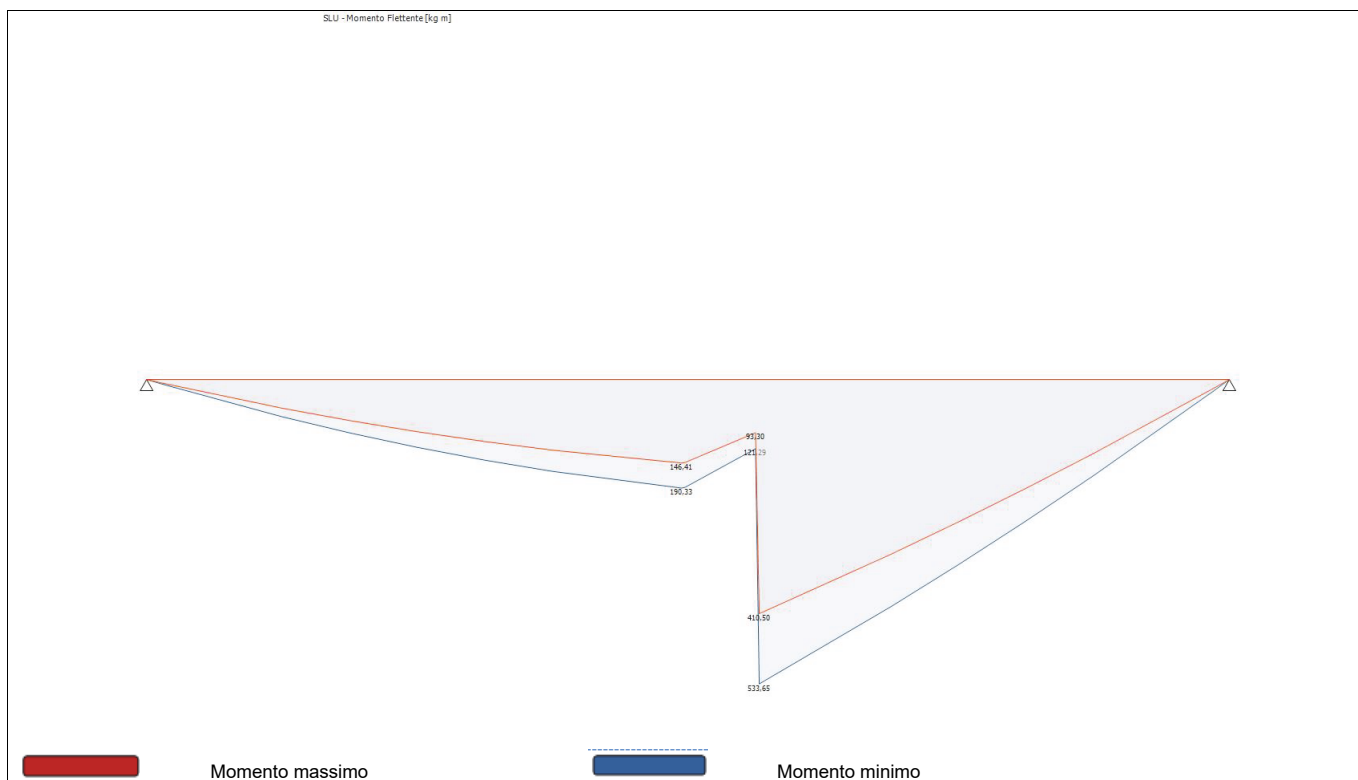
Densità  $\rho$  : 7.850,00 kg/m<sup>3</sup>

Coefficiente di dilatazione termica lineare  $\alpha_t$  : 1,2E-05

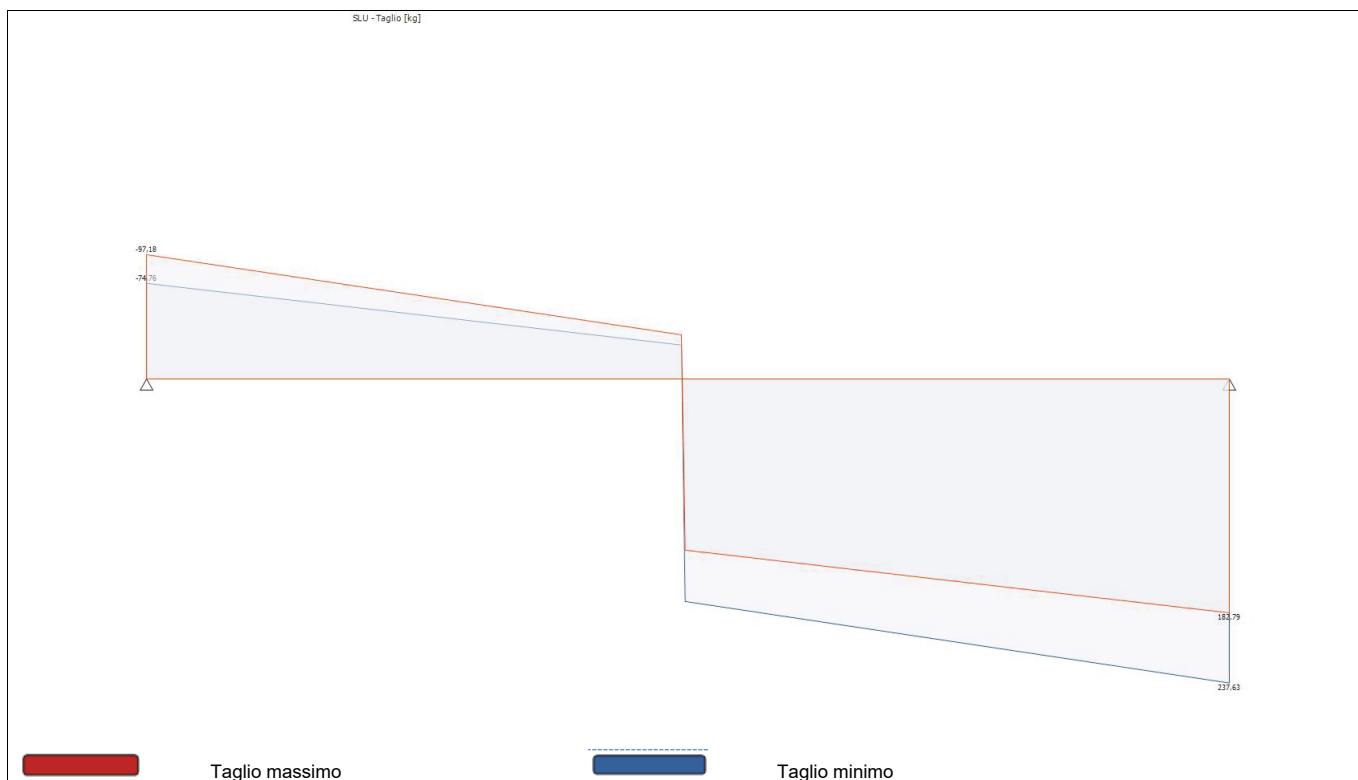
Tensione ammissibile  $\sigma_s$  : 1.900,00 kg/cm<sup>2</sup>

## 3 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLU

### Diagramma del Momento Flettente



### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

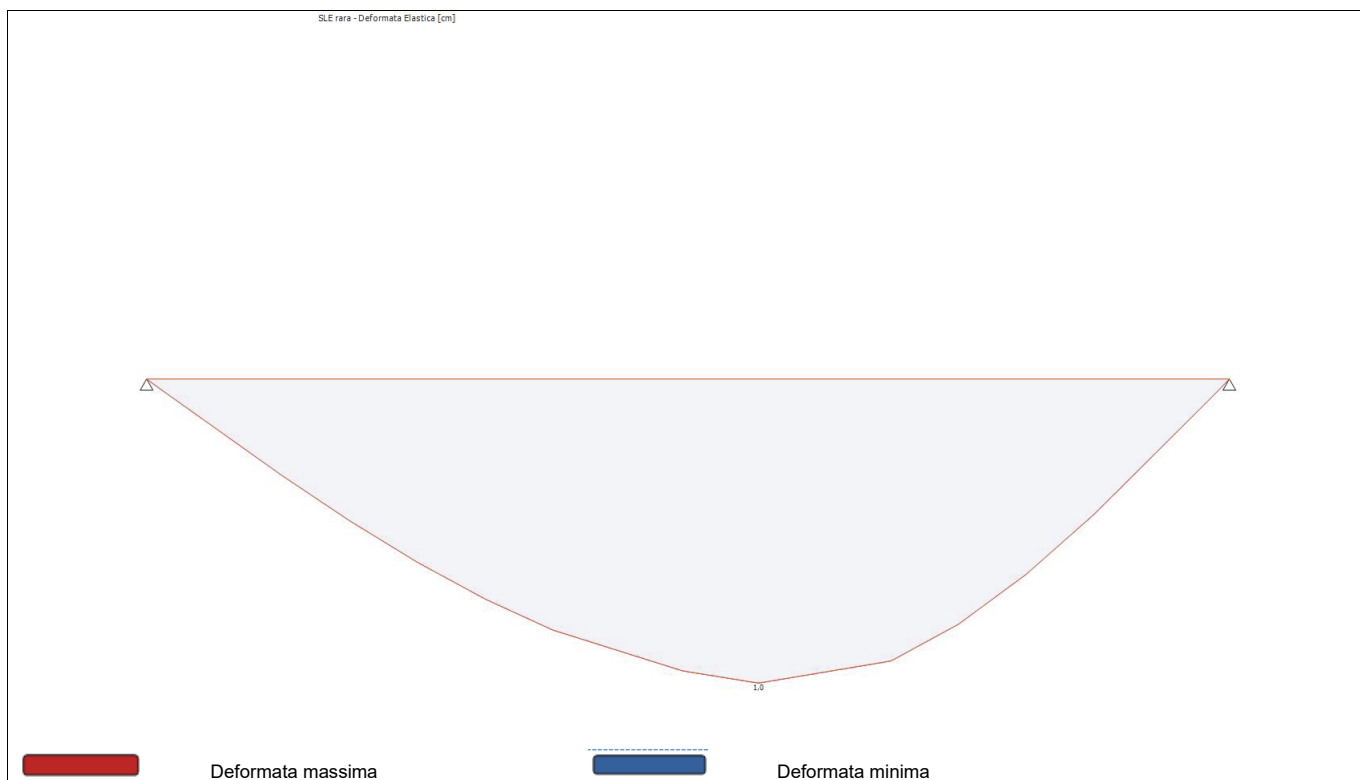
Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	97,18	74,76
B	237,63	182,79

#### Azioni

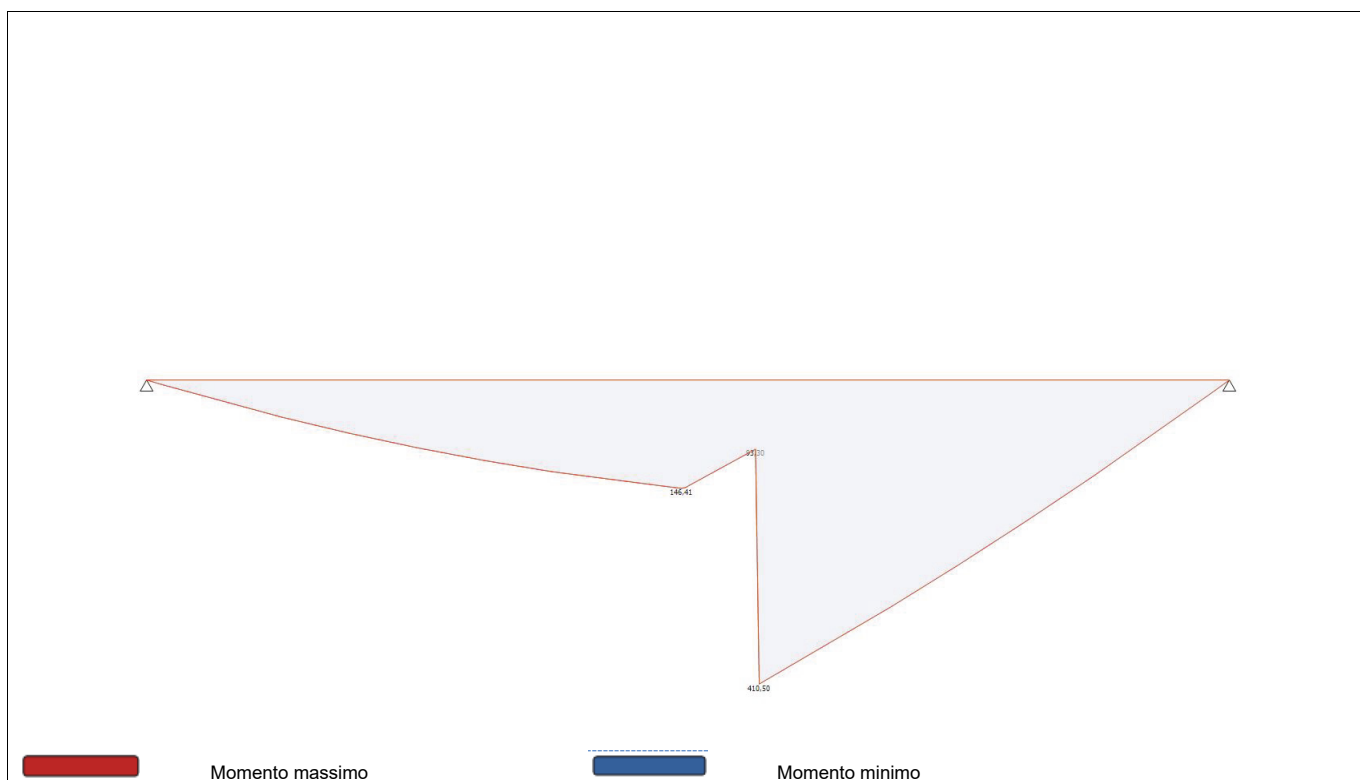
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-74,76	-97,18
C1	3,31	533,65	410,50	0,00	0,00
C1	5,85	0,00	0,00	237,63	182,79

### 4 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE rara

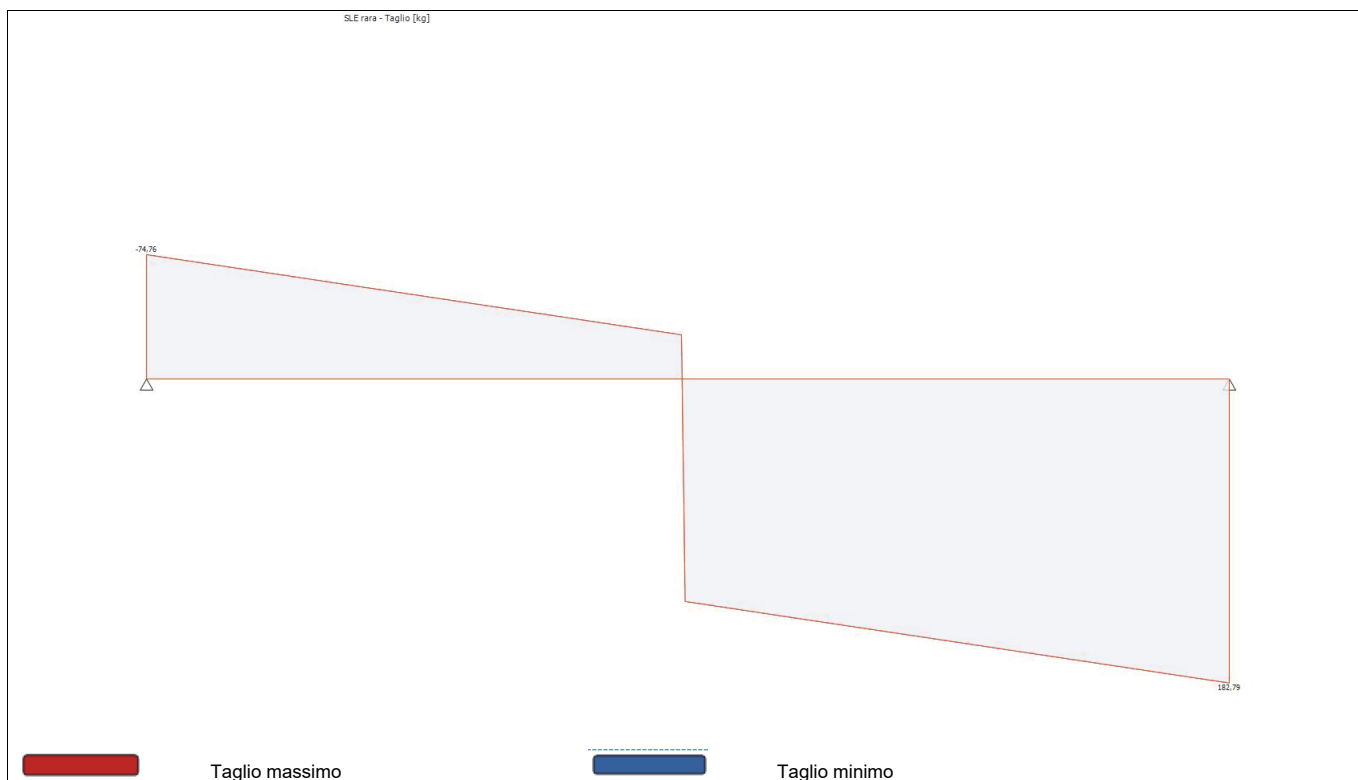
#### Diagramma della Deformata Elastica



#### Diagramma del Momento Flettente



#### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	74,76	74,76
B	182,79	182,79

#### Azioni

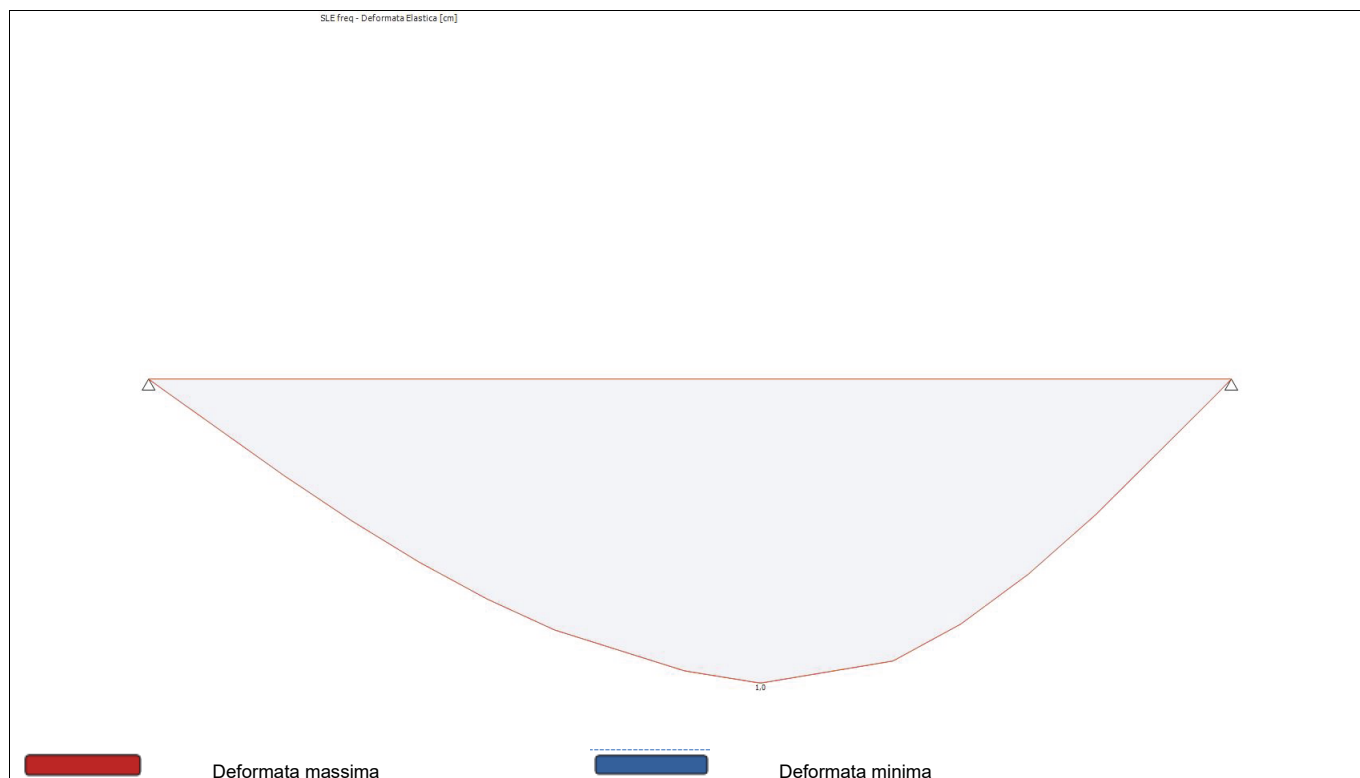
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-74,76	-74,76
C1	3,31	410,50	410,50	0,00	0,00
C1	5,85	0,00	0,00	182,79	182,79

#### Deformata

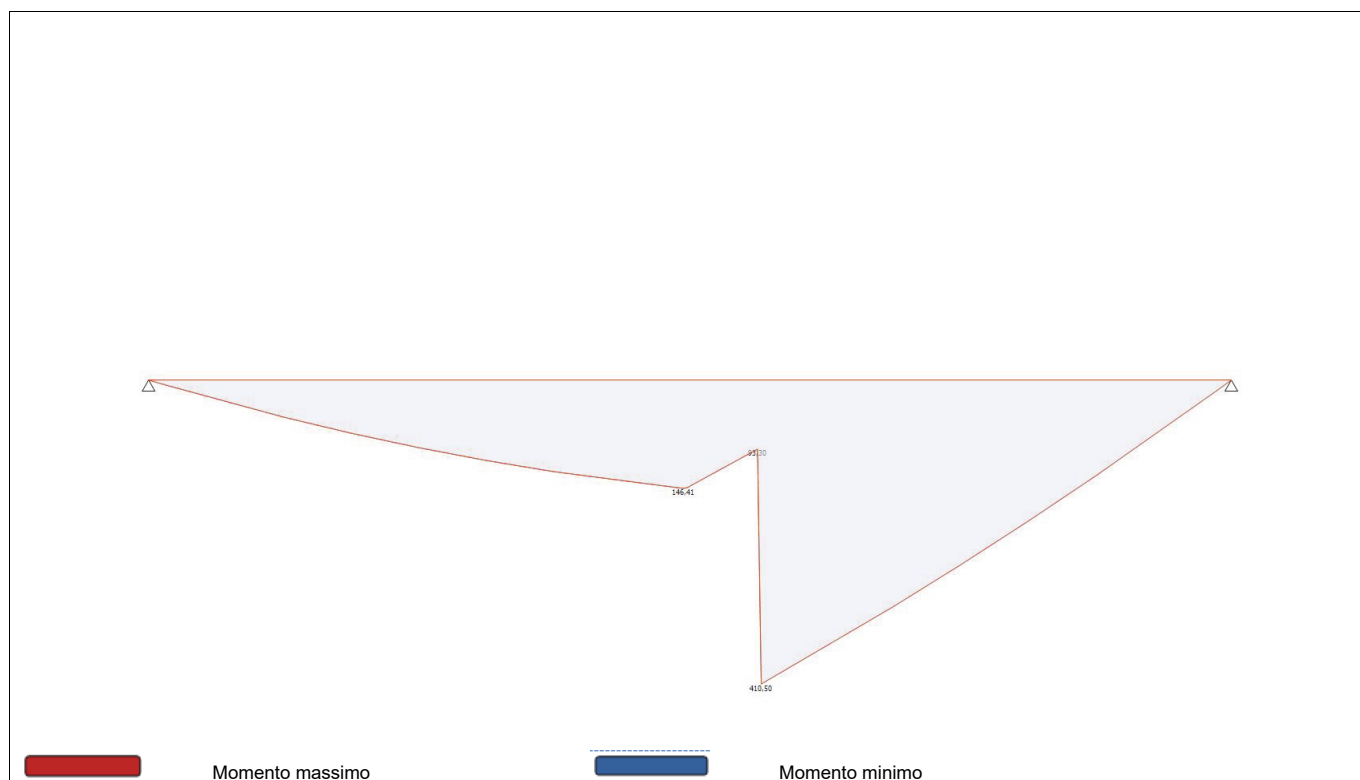
Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	3,31	1,0

## 5 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE frequente

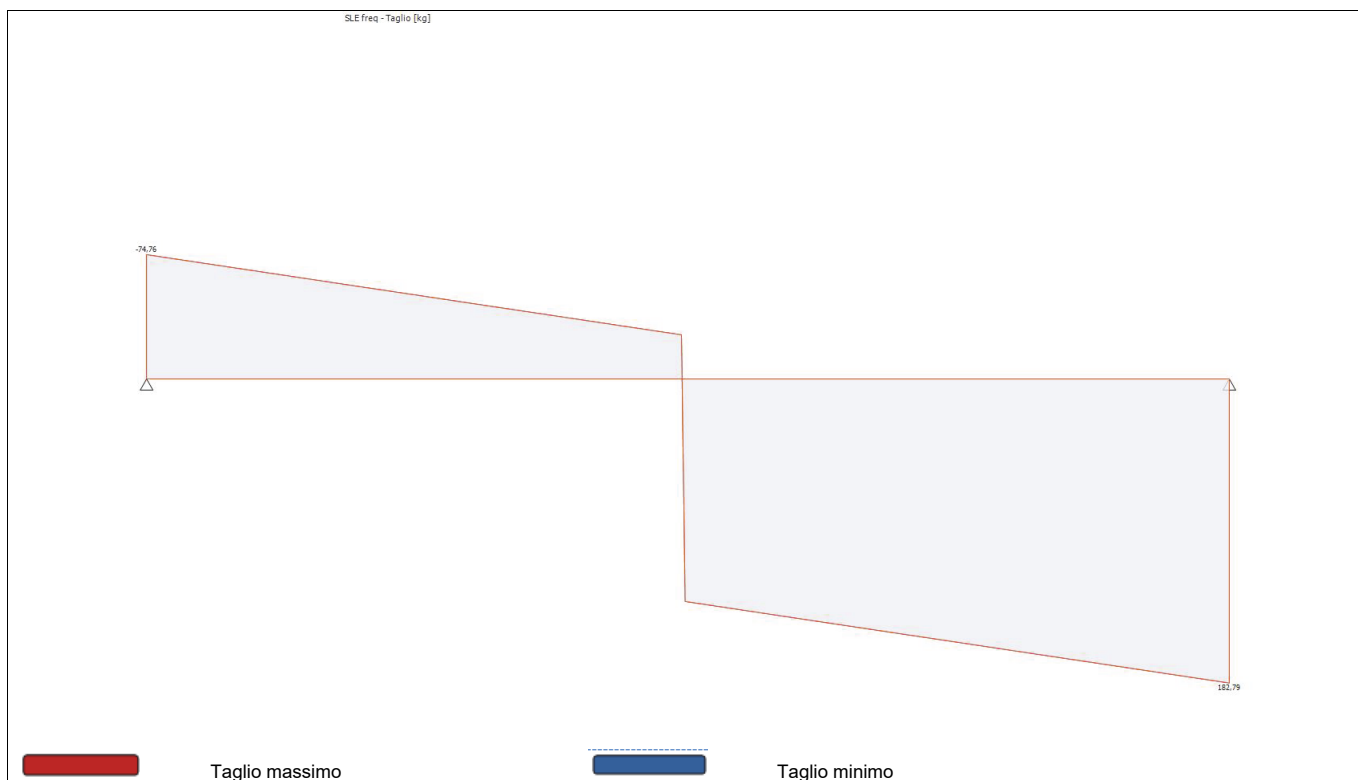
#### Diagramma della Deformata Elastica



#### Diagramma del Momento Flettente



#### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	74,76	74,76
B	182,79	182,79

#### Azioni

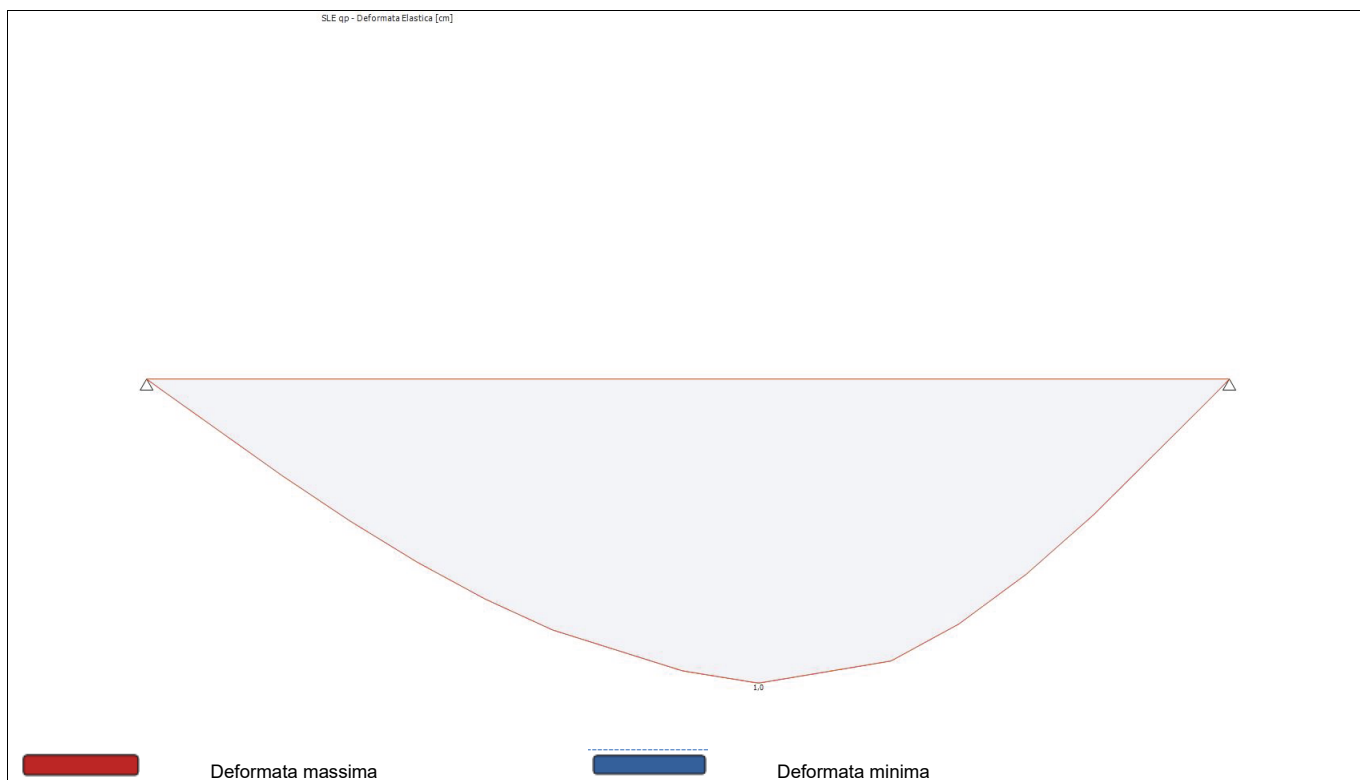
Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-74,76	-74,76
C1	3,31	410,50	410,50	0,00	0,00
C1	5,85	0,00	0,00	182,79	182,79

#### Deformata

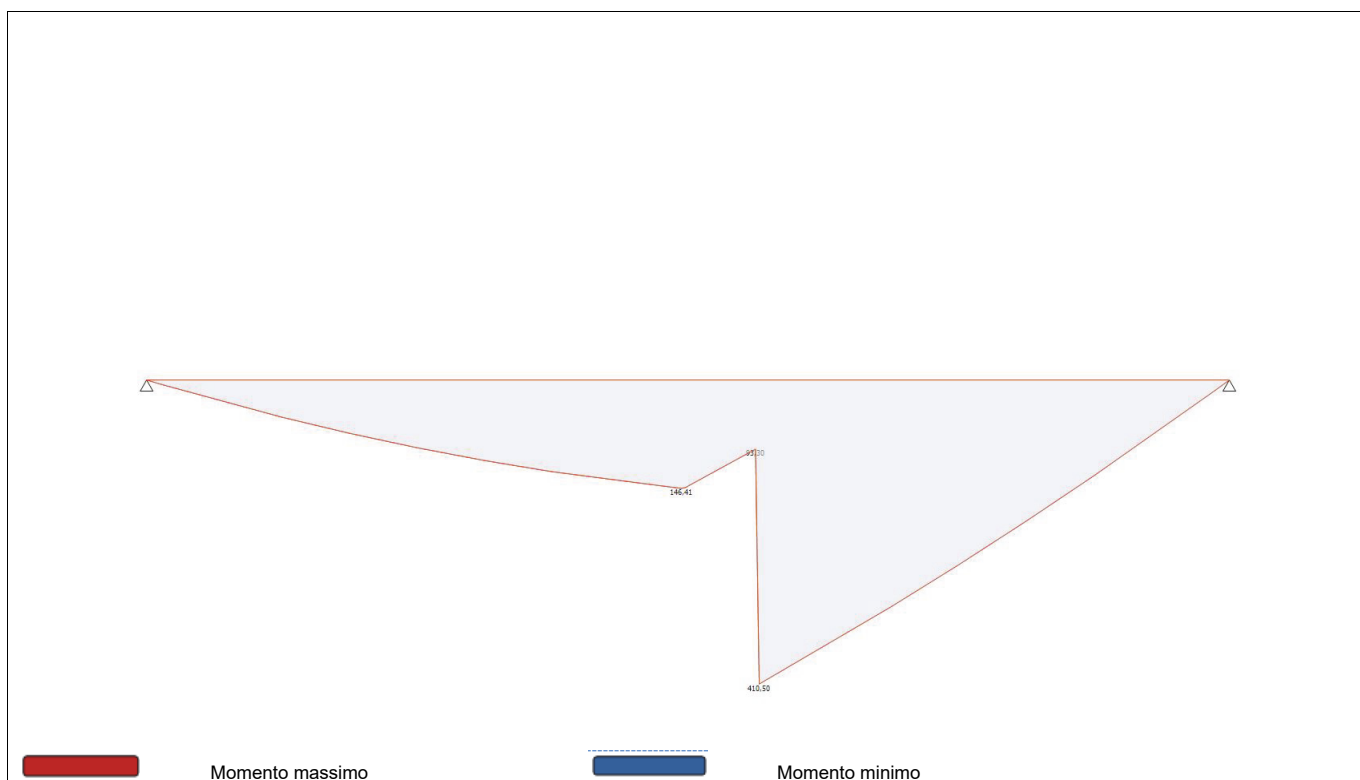
Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	3,31	1,0

## 6 Sollecitazioni agenti - Combinazione SLE quasi permanente

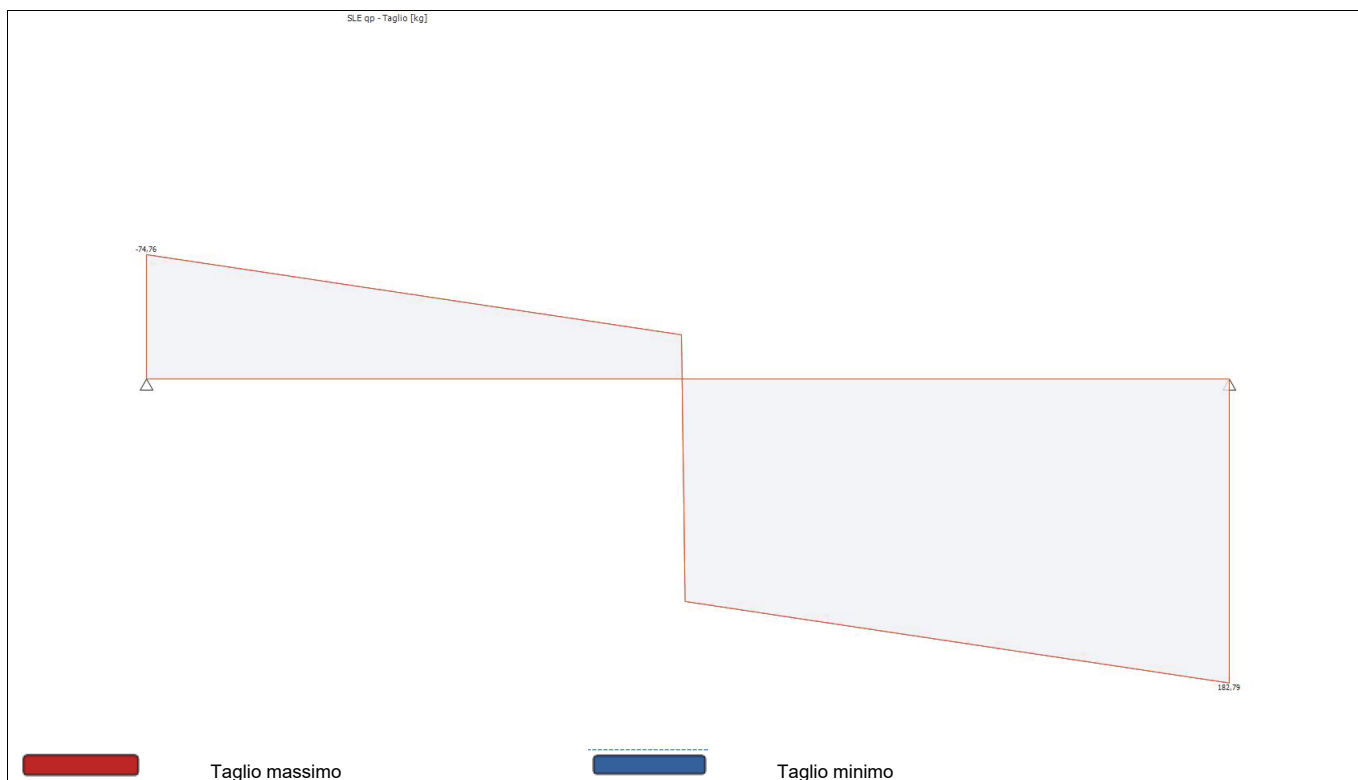
#### Diagramma della Deformata Elastica



#### Diagramma del Momento Flettente



#### Diagramma del Taglio



#### Reazioni vincolari

Appoggio	Reazione Max [kg]	Reazione Min [kg]
A	74,76	74,76
B	182,79	182,79

#### Azioni

Campata	Ascissa [m]	Momento Max [kg m]	Momento Min [kg m]	Taglio Max [kg]	Taglio Min [kg]
C1	0	0,00	0,00	-74,76	-74,76
C1	3,31	410,50	410,50	0,00	0,00
C1	5,85	0,00	0,00	182,79	182,79

#### Deformata

Campata	Ascissa [m]	Deformata Massima [cm]
C1	3,31	1,0

## Verifiche

### Verifica di Resistenza

Criterio	Sfruttamento	Ascissa [m]	N [kg]	M3 [kg m]	T2 [kg]	Verifica
Verifica a flessione retta y-y	0,24	3,656	--	533,65	--	OK

### Verifica di Deformabilità

Criterio	Sfruttamento	Lunghezza [m]	Spostamento [cm]	Spostamento limite [cm]	Verifica
Elemento singolo	0,44	5,850	1,0	2,3	OK

### Verifica di Stabilità

Criterio	Sfruttamento	Ascissa [m]	M3 [kg m]	Mcr [kg m]	Kc	Chi LT	Verifica
Verifica stabilità a flessotorsione	0,32	3,656	533,65	3.303,63	0,86	0,85	OK

## **Ripristino delle lesioni vano scala ovest**

Da un'analisi visiva è possibile dedurre che alcune di queste lesioni si siano presentate già all'inizio della costruzione, osservando l'impostazione di alcuni archi rampanti su mattoni di coltello affiancati a zone con mattoni di piatto con malta di calce, particolare che lascerebbe presupporre problemi statici o fessurazioni già dopo la realizzazione. Anche le murature presentano importanti soluzioni di continuità dove sono visibili rinzaffi con malte di cemento e cunei in mattone come sistemazione delle stesse. Verrà così realizzato un intervento di cucì scucì sul paramento murario, integrando i mattoni lesionati, ripristinando l'originaria orditura utilizzando malte a base calce. Dopo aver effettuato un'adeguata pulitura dei mattoni di volte ed archi lesionati, verranno riprese le apparecchiature in intradosso tramite forzature con zeppe di mattoni ai lembi delle lesioni. Dopodiché saranno integrati gli intonaci mancanti con intonaco a base calce e inerti coerenti a quelli esistenti.

Le lavorazioni previste sono le seguenti:

- Battitura e rimozione intonaci esistenti intorno alle lesioni;
- Realizzazione di cucì e scucì con sostituzione di mattoni nelle murature lesionate;
- Intervento in intradosso delle volte tramite forzature con zeppe di mattoni ai lembi delle lesioni.
- Integrazione degli intonaci mancanti con intonaco a base calce e inerti coerenti a quelli esistenti tramite idonee garze.

## K-Caratteristiche ed affidabilità codice di calcolo

Questo paragrafo fornisce un inquadramento teorico relativo alle metodologie di calcolo ed all'impostazione generale utilizzate dal software di calcolo ad elementi finiti *TRAVILOG TITANIUM*

### Codice di calcolo

Il codice di *TRAVILOG TITANIUM* è stato sviluppato da Logical Soft srl in linguaggio Visual Studio 2008 e .Net Framework 2.0 e non può essere modificato o manipolato dall'utente.

Il contenuto del presente capitolo certifica l'affidabilità del calcolo limitatamente ai test effettuati, di cui si allega analisi teorica e soluzione fornita da *TRAVILOG TITANIUM 2* ed altro codice di calcolo di confronto.

Il solutore a elementi finiti utilizzato dal programma è Xfinest 8.1, prodotto da Harpaceas s.r.l.

La bontà del solutore è certificata direttamente da CEAS srl, produttore di XFinest 8.1. Per maggiori dettagli si consiglia di consultare le specifiche i n merito.

### Metodo numerico adottato

Il software esegue l'analisi della struttura tramite il **metodo di calcolo agli elementi finiti**, ovvero mediante la costruzione di un modello matematico costituito da un numero definito di elementi discreti, per ognuno dei quali è stata definita analiticamente una relazione tra forze e spostamenti.

Da queste il programma assembla quindi la matrice di rigidezza e calcola la risposta dell'intera struttura.

### Caratteristiche del modello

Ogni telaio, considerato in materiale perfettamente elastico, è modellato con 2 tipologie di elemento finito:

- **Tipo asta**, adatto per elementi aventi proprietà riconducibili a un comportamento unidirezionale.

L'elemento asta è calcolato mediante funzioni di forma cubiche. Le matrici di rigidezza e di massa associate all'elemento sono costituite sulla base della teoria delle travi snelle, tipo Eulero – Bernoulli. Il programma mostra i diagrammi delle azioni interne discretizzando l'elemento in 17 punti di calcolo.

Se l'asta ha proprietà di suolo elastico, il software valuta le azioni interne e le pressioni sul terreno secondo la teoria delle travi su suolo elastico alla Winkler.

L'elemento finito di XFinest, al cui manuale si rimanda per maggiori dettagli, è l'elemento MBEAM.

- **Tipo shell** (elemento finito XFinest tipo QF46) per elementi aventi proprietà riconducibili a un comportamento bidimensionale. Il tipo di elemento utilizzato può lavorare in regime membranale e flessionale e, grazie alla linearità del sistema, i due effetti possono essere considerati separatamente.

L'elemento finito QF46 utilizzato è isoparametrico, basato sulla teoria dei gusci secondo Mindlin – Reissner. E' adatto sia per gusci spessi che sottili, non contiene modi spuri, consente di valutare i tagli fuori piano e può degenerare in un triangolo. Tutte le componenti del tensore delle deformazioni sono integrate nel piano medio con ordine di integrazione gaussiana 2 x 2. Per maggiori dettagli si può fare riferimento al manuale di XFinest.

### Tipologie di analisi svolte dal software

La scelta del metodo di analisi è effettuata dal progettista a seconda delle prescrizioni previste dalla normativa. Tali prescrizioni dipendono in generale dalla destinazione d'utilizzo della struttura, dalla forma in pianta e dallo sviluppo in altezza della stessa, nonché dalla zona sismica di riferimento. Il software è in grado esegue i seguenti metodi di analisi:

- **Analisi statica.** La struttura è soggetta a carichi statici, distribuiti concentrati, applicati alle aste, ai nodi o agli elementi shell. L'equazione risolvibile in tal caso ha la seguente forma:

$$F = Kx$$

dove:

$F$  è il vettore dei carichi agenti sulla struttura

$K$  è la matrice di rigidezza

$x$  il vettore di spostamenti e rotazioni (gradi di libertà del sistema).

- **Analisi sismica statica.** Se la struttura possiede le caratteristiche previste dalla normativa, l'azione del sisma può essere modellata con un sistema di forze di piano equivalenti, valutate e assegnate in funzione della rigidezza degli elementi. La precedente diventa pertanto:

$$F + F_s = Kx$$

dove:

$F_s$  è il vettore dei carichi sismici equivalenti agenti sulla struttura, valutati in base alle relative norme di riferimento.

- **Analisi sismica dinamica modale.** In questo caso il programma valuta un comportamento inerziale della struttura, attribuendo un'accelerazione al sistema di riferimento terreno, secondo uno spettro sismico previsto dalla normativa in funzione della classificazione del territorio e altri parametri.

$$M \ddot{x} + K x = -M \ddot{u}$$

dove:

$M$  è la matrice di massa della struttura

$\ddot{u}$  è il vettore delle accelerazioni sismiche applicate al terreno

Gli effetti dinamici dovuti al comportamento inerziale della struttura e l'effetto dei carichi statici vengono successivamente combinati, secondo opportuni coefficienti stabiliti dalla norma.

#### Formulazione del metodo

Il software esegue il calcolo ad elementi finiti formulando un'analisi di tipo lineare. In questo caso la matrice di rigidezza non varia durante lo sviluppo dell'analisi, considerando l'approssimazione dei piccoli spostamenti. Sotto tali ipotesi valgono i seguenti benefici:

- Vale il principio di sovrapposizione degli effetti.
- Non influisce la sequenza di applicazione dei carichi sulla struttura.
- La precedente storia di carico della struttura non ha alcuna influenza, pertanto gli sforzi residui possono essere trascurati.

L'applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti permette di considerare indipendentemente le ipotesi di carico elementari, per poi combinarle secondo opportuni coefficienti di partecipazione. In questo modo è possibile calcolare la risposta come una combinazione lineare di carichi elementari, rendendo il processo di analisi estremamente efficiente.

Le non linearità trascurate in questo tipo di analisi sono le seguenti:

- Non linearità dovuta a effetti geometrici. Grandi spostamenti e rotazioni possono introdurre significativi cambiamenti di forma e orientamento, variando drasticamente la rigidezza totale delle strutture.
- Non linearità delle caratteristiche dei materiali, legate al legame costitutivo o a eventuali anisotropie.
- Non linearità delle condizioni di vincolo.
- Non linearità dei carichi. La direzione di applicazione può variare in funzione della deformata della struttura.

#### Metodo di risoluzione del problema dinamico

La risoluzione del problema dinamico a  $n$  gradi di libertà si basa su un **metodo di sovrapposizione modale**. Tale metodo permette di trasformare un sistema di equazioni accoppiate a un sistema di equazioni disaccoppiate, utilizzando le proprietà di ortogonalità di autovalori e autovettori, ovvero i modi di vibrare della struttura. Lo studio della struttura non necessita dell'estrazione di tutti gli autovalori, ma solo di una parte significativa di essi, secondo limiti previsti dalle norme.

Il metodo utilizzato dal software per l'estrazione degli autovalori è il metodo di *Lanczos*, adatto anche per matrici non simmetriche a termini complessi.

Nel calcolo della risposta sismica i contributi derivanti dai singoli modi sono combinati secondo il metodo CQC, che consente di tener conto delle singole componenti modali  $X_k$ , ottenute da una combinazione quadratica delle componenti  $X_{kj}$  secondo opportuni coefficienti.

#### Metodi di verifica svolti dal software

TRAVILOG TITANIUM 2 è in grado di eseguire analisi di sezioni e di verificare il comportamento delle strutture secondo due metodi principali di verifica:

- **Tensioni ammissibili.** I carichi sono applicati alla struttura con il loro valore nominale. Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per opportuni coefficienti ottenendo delle tensioni massime a cui potranno lavorare i materiali stessi. Tali tensioni risultano al di sotto del limite elastico convenzionale.
- **Stati limite.** Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per dei coefficienti di sicurezza ottenendo dei valori limite in campo plastico. I carichi di esercizio, accidentali o permanenti vengono incrementati secondo opportuni coefficienti definiti dalla normativa (vedi in seguito).

Il programma valuta diverse condizioni di stato limite:

- o **Stato limite ultimo.** La normativa prevede in questo caso che la struttura sia soggetta in condizioni straordinarie a carichi che possano causare il collasso della stessa, quali ad esempio l'evento sismico.
- o **Stato limite di esercizio.** Anche in questo caso il calcolo della struttura è effettuato incrementando i carichi secondo opportuni coefficienti. A differenza del caso precedente però la struttura è soggetta a carichi in condizioni di esercizio, sotto l'azione dei quali devono prodursi deformazioni controllate, che non impediscano il funzionamento previsto. Esistono tre diverse condizioni di esercizio: **Rara, Frequente, Quasi permanente.**
- o **Stato limite di danno.** E' il caso in cui la struttura è soggetta a forze di natura sismica. La verifica al danno è da effettuarsi sugli spostamenti.

La scelta dell'uno o dell'altro metodo dipende dalle prescrizioni previste dalle normative vigenti.

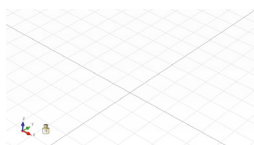
### Sistemi di riferimento

Il programma possiede 2 diversi tipi di sistema di riferimento:

- **Riferimento globale.**

Il sistema di riferimento è definito da una terna cartesiana destrorsa, valido per tutti gli elementi della struttura e non dipende dal particolare orientamento di parti di essa.

**I vincoli esterni, le reazioni vincolari e gli spostamenti nodali calcolati sono riferiti alla terna globale**



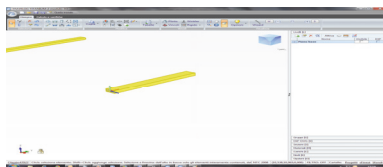
*La terna di riferimento globale*

- **Riferimento locale.**

In questo caso il sistema di riferimento è ancora definito da una terna cartesiana destrorsa, l'orientamento del quale varia elemento per elemento.

**Le azioni interne sono sempre riferite alla terna locale**

- o **Riferimento locale per le Aste.** Per l'elemento asta la direzione x è coincidente con l'asse baricentrico dell'asta stessa, mentre y e z sono perpendicolari ad x e diretti secondo gli assi principali d'inerzia della sezione assegnata all'asta. Secondo l'impostazione di default y è diretto secondo la direzione di azione del peso, a meno di rotazioni assegnate alla sezione. Selezionando un'asta TRAVILOG TITANIUM 2 mostra la terna locale: asse locale X rosso, asse locale Y verde, asse locale Z blu.



*Terna locale dell'elemento asta*

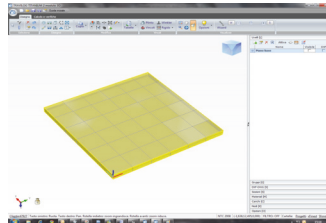
- o **Riferimento locale per gli elementi shell.** Per gli elementi bidimensionali TRAVILOG TITANIUM 2 trasforma le azioni interne in un unico sistema di riferimento.

**Il riferimento adottato dipende da come vengono costruiti i macro elementi dai quali verrà generata automaticamente la mesh di calcolo:**

Elemento lastra/piastra:

Si tratta di un macro elemento quadrangolare a mesh regolare. La terna locale è così definita:

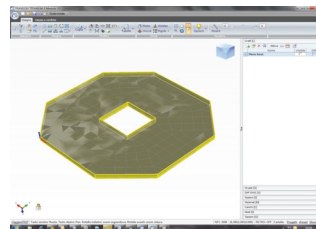
asse X locale (rosso) con origine nel primo nodo cliccato e in direzione primo nodo – secondo nodo. Asse Y locale (verde) ortog



*Esempio terna locale elemento lastra/piastra*

Elemento platea o parete:

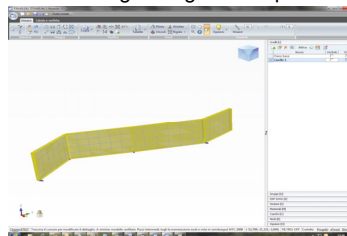
Si tratta di un macro elemento poligonale piano, con possibilità di fori poligonali, con generazione automatica della



*Esempio terna locale elemento platea*

Elemento estruso (Muro o Nucleo):

Si tratta di un macro elemento a mesh regolare generato per estrusione in direzione delle forze peso a partire da una traccia.



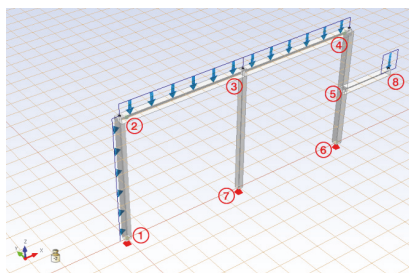
*Esempio terna locali elemento nucleo estruso*

## **Test di verifica 1: telaio ad aste ortogonali**

### **Descrizione**

In questo esempio si vogliono valutare gli effetti di un carico distribuito verticalmente e orizzontalmente su di un telaio ad aste ortogonali. Si è inoltre voluto tener conto di un carico concentrato su mensola. I vincoli introdotti sono perfetti e nel calcolo a mano si sono supposte aste assialmente rigide. Per la modellazione del telaio sono stati utilizzati elementi ASTA.

### **Geometrie, carichi e materiali**



$$L_{12} = L_{23} = L_{34} = 6 \text{ m}, \quad L_{45} = L_{56} = L_{67} = 6 \text{ m}$$

$$p = 10000 \text{ N/m}, \quad q = 5000 \text{ N/m}, \quad P = 15000 \text{ N}$$

Sezioni 12, 23, 34, 45, 56, 58

$$0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \quad J_{30 \times 30} = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Sezione 37

$$0,15 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \quad J_{15 \times 30} = 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E = 2,85 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

## Risultati

Azione	Teorico	Calcolato *	Scostamento %
M max 34	$5,54 \cdot \frac{p \cdot l^2}{52} = 38354 \text{ Nm}$ a 3,234 m da C	38440 Nm a 3,37 m da C	+0,22
M in 32	$11 \cdot \frac{p \cdot l^2}{52} = 76154 \text{ Nm}$	75703 Nm	-0,61
M 7	$10,5 \cdot \frac{p \cdot l^2}{52} = 72692 \text{ Nm}$	72697 Nm	-0,006
M nullo 23	0 Nm a 3,462 m da B	0 Nm a 3,469 m da B	+0,20
T 7	$19,5 \cdot \frac{p \cdot l}{52} = 22499 \text{ N}$	22500 N	+0,004

\*Punto di valutazione delle azioni interne più vicino all'ascissa del momento massimo

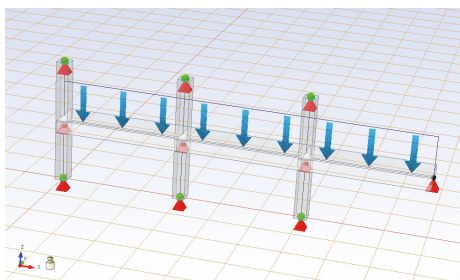
**Bibliografia:** Esercizi di Tecnica delle Costruzioni. P.Gambarova - E.Giuriani - P.Ronca - S.Tattoni - Edizione: "Città Studi Edizioni"

## Test di verifica 2: trave a telaio ridotto (nodi non spostabili)

### Descrizione

In questo esempio si valutano gli effetti dei carichi su un telaio ridotto a tre luci con pilastri ad altezza pari a alla meta delle luci. I vincoli introdotti sono delle cerniere alla testa dei pilastri e incastro sull'ultima trave. In questo esempio i nodi sono considerati come non spostabili. Per imporre questo tipo di vincolo, nel modello abbiamo introdotto delle cerniere tra il collegamento dei pilastri con le travi.

### Geometrie, carichi e materiali



$$L_{pil} = 1,5 \text{ m} \quad L_{travi} = 3 \text{ m}$$

$$p = 10000 \text{ N/m} \quad q = 5000 \text{ N/m} \quad P = 15000 \text{ N}$$

Sezioni travi (b x h)

$$0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \quad J_{90 \times 30} = 20,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Sezione pilastri

$$0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \quad J_{30 \times 30} = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E = 2,85 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

## Risultati

Azione	Teorico	Calcolato	Scostamento %
M camp 2-5	$\frac{175}{402} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 4897 \text{ Nm}$ a 1,50 m da 2	4898 Nm a 1,50 m da 2	+0,02
M pil 12	$\frac{35}{301} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 1959 \text{ Nm}$ a 1,50 m da 1	19598 Nm	0

M <sub>6 sin</sub>	$\frac{157}{201} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 8787 \text{ Nm}$	8787 Nm	0
M <sub>camp 8-10</sub>	$\frac{135}{402} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 3778 \text{ Nm}$ a 1,50 m da 8	3772 Nm a 1,50 m da 8	-0,15
T <sub>9 dest</sub>	$\frac{801}{804} \cdot \frac{p \cdot l}{8} = 14944 \text{ N}$	14944 N	0

**Bibliografia:** Esercizi di Tecnica delle Costruzioni. Giandomenico Toniolo - Edizione: "Zanichelli"

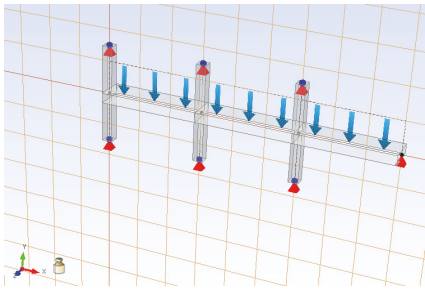
### Test di verifica 3: trave a telaio ridotto (1)

#### Descrizione

In questo esempio si vogliono valutare gli effetti dei carichi su un telaio ridotto a tre luci con pilastri ad altezza paria alla meta delle luci.

I vincoli introdotti sono delle cerniere alla testa dei pilastri e incastro sull'ultima trave.

#### Geometrie, carichi e materiali

	$L_{pil} = 1,5 \text{ m}$	$L_{travi} = 3 \text{ m}$
	$p = 10000 \text{ N/m}$	$q = 5000 \text{ N/m}$ $P = 15000 \text{ N}$
	Sezioni travi (b x h)	
	0,90 m x 0,30 m	$J_{90 \times 30} = 20,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
	Sezione pilastri	
	0,30 m x 0,30 m	$J_{30 \times 30} = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
	$E = 2,85 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$	

#### Risultati

Azione	Teorico	Calcolato	Scostamento %
M <sub>camp 2-5</sub>	$\frac{175}{402} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 4897 \text{ Nm}$ a 1,50 m da 2	4903 Nm a 1,50 m da 2	+0,12
M <sub>pil 12</sub>	$\frac{35}{301} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 1959 \text{ Nm}$ a 1,50 m da 1	2002 Nm	+2,19
M <sub>6 sin</sub>	$\frac{157}{201} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 8787 \text{ Nm}$	8691 Nm	-1,09
M <sub>camp 8-10</sub>	$\frac{135}{402} \cdot \frac{p \cdot l^2}{8} = 3778 \text{ Nm}$ a 1,50 m da 8	3739 Nm a 1,50 m da 8	-1,03
T <sub>9 dest</sub>	$\frac{801}{804} \cdot \frac{p \cdot l}{8} = 14944 \text{ N}$	14788 N	-1,04

**Bibliografia:** Esercizi di Tecnica delle Costruzioni. Giandomenico Toniolo - Edizione: Zanichelli

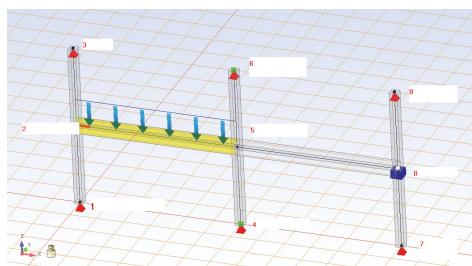
### Test di verifica 4: trave a telaio ridotto (2)

#### Descrizione

In questo esempio si vogliono valutare gli effetti dei carichi su un telaio ridotto a due luci con pilastri ad altezza paria alla meta delle luci. I vincoli introdotti sono degli incastrati agli estremi mentre quelli centrali sono delle cerniere.

**Nel modello si considerano i nodi non spostabili, quindi è necessario inserire un carrello all'estremità del telaio.**

#### Geometrie, carichi e materiali



$$L_{25} = L_{58} = 6 \text{ m} \quad L_{123} = L_{456} = L_{789} = 3 \text{ m}$$

$$p = 5000 \text{ N/m}$$

Sezioni 25, 58

$$1,20 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \quad J_{120 \times 30} = 27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Sezione 12, 23, 45, 56, 78, 89

$$0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \quad J_{30 \times 30} = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E = 2,85 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

## Risultati

Azione	Teorico	Calcolato	Scostamento %
M camp 2-5	$125 \cdot \frac{1}{160} \cdot \frac{p \cdot l^2}{12} = 11719 \text{ Nm}$ a 2,88 m da 2	11732 Nm a 3,00 m da 2	+0,11
M pil 12	$25 \cdot \frac{1}{160} \cdot \frac{p \cdot l^2}{12} = 2344 \text{ Nm}$	2348 Nm	+0,17
M 6	$130 \cdot \frac{1}{160} \cdot \frac{p \cdot l^2}{12} = 12187 \text{ Nm}$	12143 Nm	-0,36
M nullo 58	0 Nm a 1,333 m da 8	0 Nm a 1,311 m da 8	-0,16
T 6 sin	$\frac{990}{960} \cdot \frac{p \cdot l}{2} = 15469 \text{ Nm}$	15458 N	-0,07

**Bibliografia:** Esercizi di Tecnica delle Costruzioni. P.Gambarova - E.Giuriani - P.Ronca - S.Tattoni - Edizione: "Città Studi Edizioni"

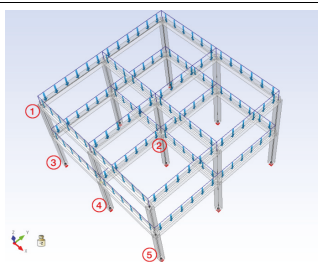
## Test di verifica 5: telaio tridimensionale

### Descrizione

In questo esempio si vogliono valutare gli effetti di un carico distribuito verticalmente su di un telaio tridimensionale ad aste ortogonali.

I vincoli introdotti sono perfetti e le aste assialmente rigide. Per la modellazione del telaio sono stati utilizzati elementi ASTA.

### Geometrie, carichi e materiali



$$L_{campata} = 6 \text{ m} \quad H_{piano} = 3 \text{ m} \quad H_{totale} = 8 \text{ m}$$

$$p = 50000 \text{ N/m}$$

Sezione 40x40

$$0,40 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \quad J_{40 \times 40} = 21,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E = 2,942 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

## Risultati

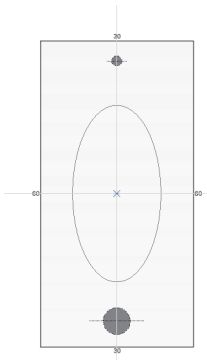
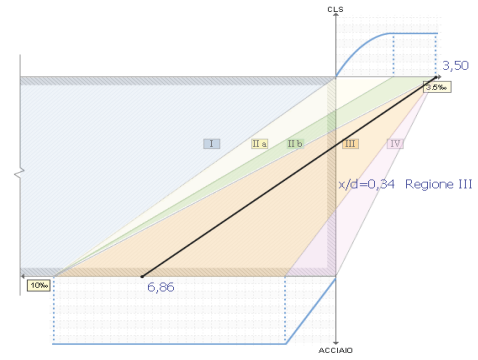
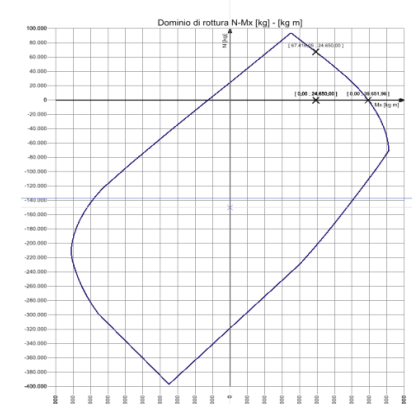
Azione	SAP	Calcolato
M 1	100522,38 Nm	100522,4 Nm
M 2	-161077,7 Nm	-161077,7 Nm
R V3	563934,3 N	563934,3 N
R V4	918032,8 N	918032,8 N
R M5	22207,3 Nm	22207,3 Nm

## Test di verifica 6: sezione rettangolare

### Descrizione

In questo esempio si vogliono valutare allo SLU gli effetti di una flessione semplice applicata ad una sezione rettangolare.

### Geometrie, carichi e materiali

	<p>Altezza della sezione</p> <p>Altezza utile</p> <p>Larghezza sezione</p> <p>Armatura tesa FeB44</p> <p>Distanza bordo teso</p> <p>Armatura compressa FeB44</p> <p>Distanza bordo compresso</p> <p>Resistenza caratteristica cls</p> <p>Tensione caratteristica acciaio</p> <p>Modulo elastico acciaio</p> <p>Momento di calcolo</p>	<p>60 cm</p> <p>55 cm</p> <p>30 cm</p> <p>21,98 cm<sup>2</sup></p> <p>5 cm</p> <p>3,14 cm<sup>2</sup></p> <p>4 cm</p> <p>377 daN/cm<sup>2</sup></p> <p>4300 daN/cm<sup>2</sup></p> <p>2060000 daN/cm<sup>2</sup></p> <p>2465000 daNcm</p>
		

### Risultati

Azione	Teorico	Calcolato	Scostamento %
Xi	17,682 cm	18,580 cm	+5.08
Mu	3975159 daNcm	3963934 daNcm	-0.28
Ks	1,613	1,610	-0.18

**Bibliografia:** Calcolo delle sezioni in cemento armato. Giovanni Falchi Delitala - Edizione: "Hoepli"

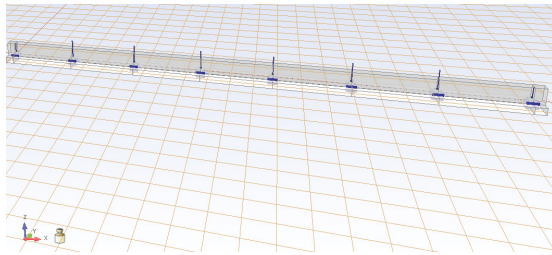
## Test di verifica 7: trave su suolo elastico

### Descrizione

In questo esempio si valuta una trave di fondazione appoggiata su un terreno schematizzabile come suolo elastico alla Winkler.

Per la modellazione del telaio sono stati utilizzati elementi ASTA alla WINKLER.

### Geometrie, carichi e materiali



$$L_{\text{campata}} = 3,20 \text{ m} \quad L_{\text{mensola}} = 0,40 \text{ m}$$

$$p_{\text{int}} = 650000 \text{ N} \quad p_{\text{estr}} = 400000 \text{ N}$$

Sezione a T rovescia

$$B = 0,95 \text{ m} \quad b = 0,35 \text{ m}$$

$$H = 0,30 \text{ m} \quad h = 0,70 \text{ m} \quad J_{\text{trav}} = 45,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$E = 2,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

## Risultati

Azione	Bibliografia	Calcolato	Scostamento %
M I camp	182000 Nm	185632 Nm	+1.99
M II camp	92000 Nm	91925 Nm	+0.08
M III camp	80000 Nm	79696 Nm	-0.38
T II camp	322000 N	327802 N	+1.80
P camp cent	20,2 N/cm <sup>2</sup>	21,0 N/cm <sup>2</sup>	+3.96

**Bibliografia:** Esercizi di Tecnica delle Costruzioni. Giandomenico Toniolo - Edizione: "Zanichelli"

## ***K - Giudizio motivato di accettabilità dei risultati***

Sono stati eseguiti negli anni altri numerosi test per la verifica delle soluzioni determinate mediante il software in oggetto, sia per quanto riguarda il processore di calcolo che per il post-processore di verifica ottenendo risultati coerenti con la teoria.

In particolare anche per il caso in esame si sono eseguiti semplici calcoli manuali, confrontando le reazioni vincolari, i diagrammi delle sollecitazioni e gli stati deformativi del calcolo tramite elaboratore che risultano essere coerenti con quanto atteso dal punto di vista teorico ed ingegneristico.

Pertanto si ritiene il software idoneo alla risoluzione dei problemi inerenti al progetto in esame.