

**COMUNE DI ALLUMIERE**  
( PROVINCIA DI ROMA )

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**  
**(Progetto Esecutivo)**

**OGGETTO :** Concessione contributi di realizzazione di investimenti di carattere locale ai sensi della legge regionale n. 14/2008, art.1, comma 38 - Determinazione n. G11537 del 28/09/2015 in applicazione della D.G.R. n. 206 del 16/05/2015- *"Intervento urgente di ripristino dell'agibilità della Scuola Elementare di Allumiere mediante consolidamento e irrigidimento statico dei solai di calpestio del plesso scolastico*

**LOCALITA' :** Viale Garibaldi, Allumiere (RM)

**IL PROGETTISTA :** Ing. Laurente Funari

**IL R.U.P.** Arch. Ermanno Mencarelli

**IL COLLABORATORE ALLA PROGETTAZIONE:** Ing. Qualtierio Funari

**IL DIRETTORE DEI LAVORI :** Ing. Laurente Funari

**COMMITTENTE :** Comune di Allumiere (RM)

**DATI CATASTALI :** Foglio n°23 particella 488

## 1- Premessa

Relazione di calcolo, redatta ai sensi del D.M. 14/01/2008 ( NTC ) e successiva Circolare Esplicativa in linea con i metodi di calcolo agli Stati Limite ( SLU, SLE ), per l'esecuzione di un intervento di consolidamento e rinforzo strutturale dei solai in ferro del piano terra e piano primo dell'edificio che ospita la scuola elementare del Comune di Allumiere.

## 2- Descrizione dell'immobile

L'edificio realizzato nei primi anni del '900 e sito nel Comune di Allumiere, è costituito da tre livelli con interpiano di altezza pari a 4,13 m ciascuno. La struttura portante risulta caratterizzata da muratura di pietra locale e gli orizzontamenti sono costituiti da profilati in ferro e tavelloni. La copertura a tetto è realizzata con struttura portante principale e secondaria in legno.

## 3- Descrizione della struttura del solaio degli interventi di irrigidimento e consolidamento dei travetti del solaio

### 3.1- Descrizione del solaio

Gli elementi portanti del solaio sono costituiti da profilati metallici a doppio "T" sulle cui ali inferiori poggiano mattoni forati in laterizio a formare una volta ribassata.

Il profilato metallico ha un'altezza di 200 mm, larghezza ala di 90 mm e spessore 10 mm; l'interasse tra le putrelle è di 90 cm.

I mattoni sono del tipo a 3 fori in laterizio di dimensioni 14x25x5,5 cm.

Il riempimento al di sopra delle voltine è costituito da circa 12 cm di elementi lapidei di varia dimensione debolmente cementati e da 2,5 – 3 cm di malta di allettamento con sopra direttamente la pavimentazione.

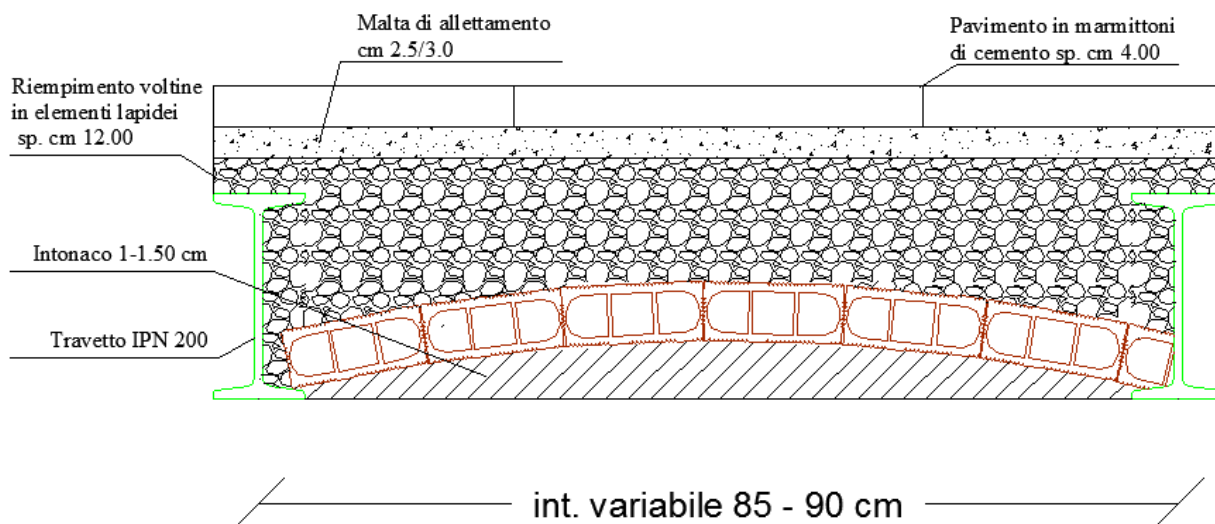


Fig.1 – Planimetria piano tipo

#### 4.1 – Analisi dei carichi ( NTC '08 )

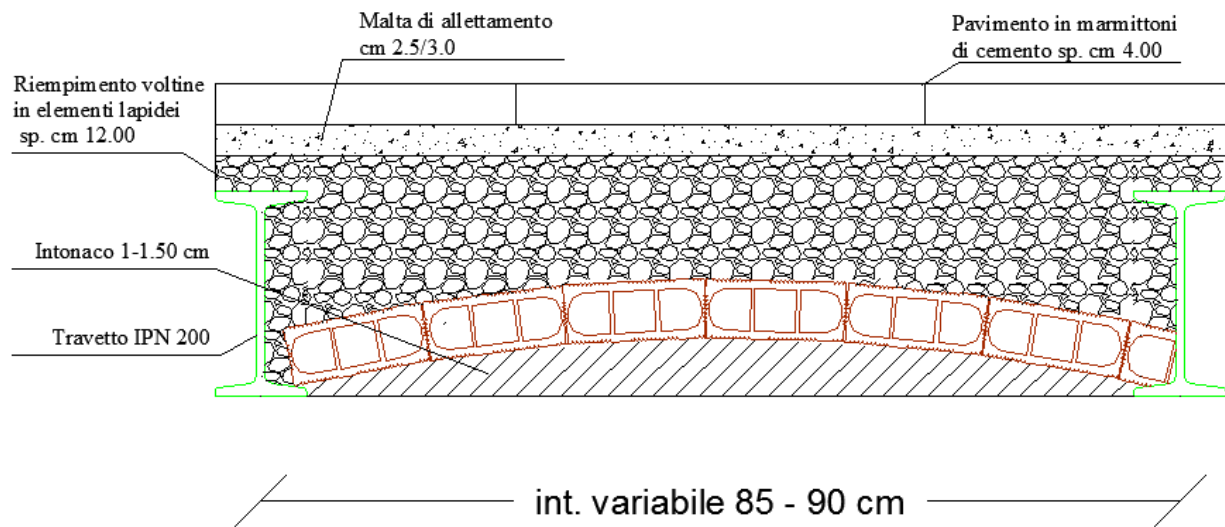


Fig.2 – Sezione solaio tipo nella situazione ante - operam

##### - Carichi Permanenti Strutturali $G_1$

Peso proprio profilati IPN200 = 0,262 kN/m

Peso proprio voltine in laterizio =  $0,055\text{m} \times 8 \text{ kN/m} = 0,44 \text{ kN/m}^2$

Peso riempimento lapideo voltine (smedio=12cm) =  $0,12 \times 16 \text{ kN/m}^3 = 1,92 \text{ kN/m}^2$

$$G_1 = 2,63 \text{ kN/m}^2$$

##### - Carichi Permanenti non Strutturali $G_2$

Malta di allettamento (bastarda) =  $0,03 \times 16 \text{ kN/m}^3 = 0,48 \text{ kN/m}^2$

Pavimentazione in marmettoni di cemento ( s = 3cm ) =  $0,75 \text{ kN/m}^2$

$$G_2 = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

##### - Carichi Variabili $Q$

$$Q \text{ ( D.M. 14/01/2008 )} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Dalla Combinazione dei Carichi Fondamentale allo SLU del DM 14/01/2008 si ha:

$$q_d = G_1 \cdot \gamma_{G1} + G_2 \cdot \gamma_{G2} + Q \cdot \gamma_Q = 2,98 \cdot 1,3 + 1,23 \cdot 1,5 + 3 \cdot 1,5 = 9,77 \frac{kN}{m^2}$$

Con:

$$\gamma_{G1} = 1,3$$

$$\gamma_{G2} = 1,5$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

#### 4.2 – Analisi delle sollecitazioni ( NTC '08 )

Noto il carico di progetto e considerando l'interasse fra i travetti di  $i = 0,9 \text{ m}$ , si ottiene un valore di carico uniformemente ripartito pari a:

$$q_d = 9,77 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,9 \text{ m} = 8,80 \frac{kN}{m}$$

- Caratteristiche geometriche del travetto IPN200:

$$I [\text{cm}^4] = 2140$$

$$W [\text{cm}^3] = 250$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 16,03$$

$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

Dalle prove di carico eseguite in situ ( considerando un carico  $Q=3,0\text{kN/m}^2$  ) si è ottenuto una freccia di deformazione massima del solaio oggetto di studio pari a  $f_{\max}=1,1\text{cm}$ . Essendo la freccia max di calcolo ottenuta per trave doppiamente incastrata uguale a:

$$f_{amm} = \frac{1}{384} \cdot \frac{q_d \cdot l^4}{E \cdot J}$$

abbiamo che quest'ultima risulta superiore a quella rilevata in sito. Infatti nota la freccia massima, si ottiene un moltiplicatore pari a:

$$x = \frac{f_{max} \cdot E \cdot J}{q_d \cdot l^4} = \frac{1,1 \cdot 21000 \cdot 2140}{0,088 \cdot 771^4} = 0,0016$$

Che risulta minore di 1/384 :

$$0,0016 < \frac{1}{384} = 0,0026$$

Da tale verifica si può adottare uno schema statico di calcolo dei travetti come quello di una trave incastrata agli estremi per la quale si ottengono le seguenti sollecitazioni di progetto:

$$M_d = q_d \cdot \frac{l^2}{12} = \frac{8,80 \cdot 7,71^2}{12} = 43,59 \text{ kNm}$$

$$V_d = q_d \cdot \frac{l}{2} = 8,80 \cdot \frac{7,71}{2} = 33,92 \text{ kN}$$

### **4.3 – Verifiche (DM 14/01/2008 )**

#### **4.3.1 – Verifica a flessione**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico IPN200 sarà:

$$W_x = 250 \text{ cm}^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{4359 \cdot 1,05}{23,5} = 194,76 \text{ cm}^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Essendo:

$$W_d < W_x$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

#### **4.3.2 – Verifica a taglio**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{16,03 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 207,14 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,16 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

Nonostante l'esito positivo delle suddette verifiche delle sollecitazioni e delle deformazioni, dai risultati ottenuti dalle prove in sito ed in particolare dalla prova di identificazione dinamica sui solai, si è rilevata per i valori delle frequenze e degli smorzamenti che hanno fatto rilevare sensibile deformabilità delle strutture ai carichi dinamici.

## **5 – Situazione “ante - operam” (schema statico - trave appoggiata agli estremi )**

Tenendo conto di possibili fenomeni di degrado della muratura portante dell'edificio nel tempo , con conseguente degrado della “connessione” fra i travetti in ferro dei solai e la muratura stessa; è lecito porsi in condizioni di sicurezza e considerare gli appoggi dei travetti di ferro sulla muratura con uno schema statico di trave appoggiata agli estremi.



### 5.1 – Analisi delle sollecitazioni (NTC '08)

Noto il carico di progetto determinato nel precedente paragrafo, utilizzando lo schema statico di trave appoggiata agli estremi:

#### 1) Solaio con profilati IPN200

##### - Caratteristiche geometriche del travetto IPN200:

$$I [\text{cm}^4] = 2140$$

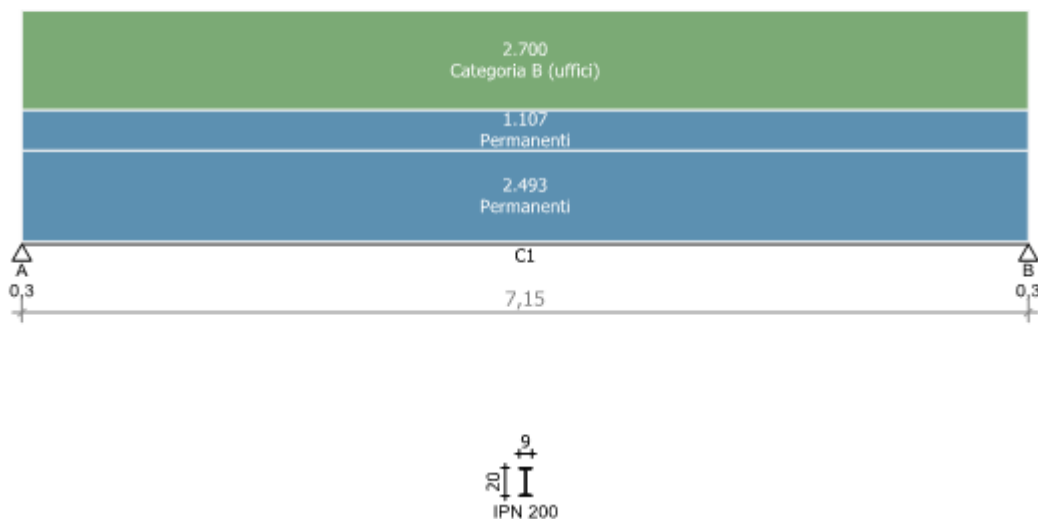
$$W [\text{cm}^3] = 250$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 16,03$$

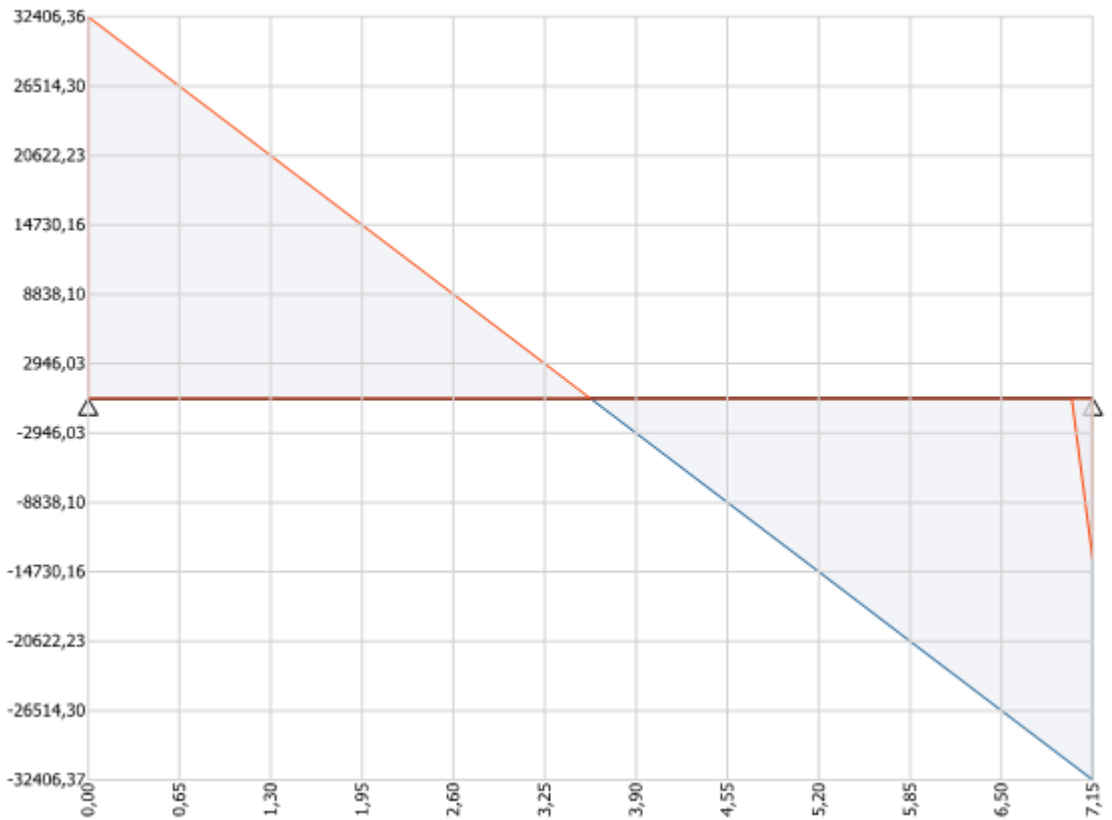
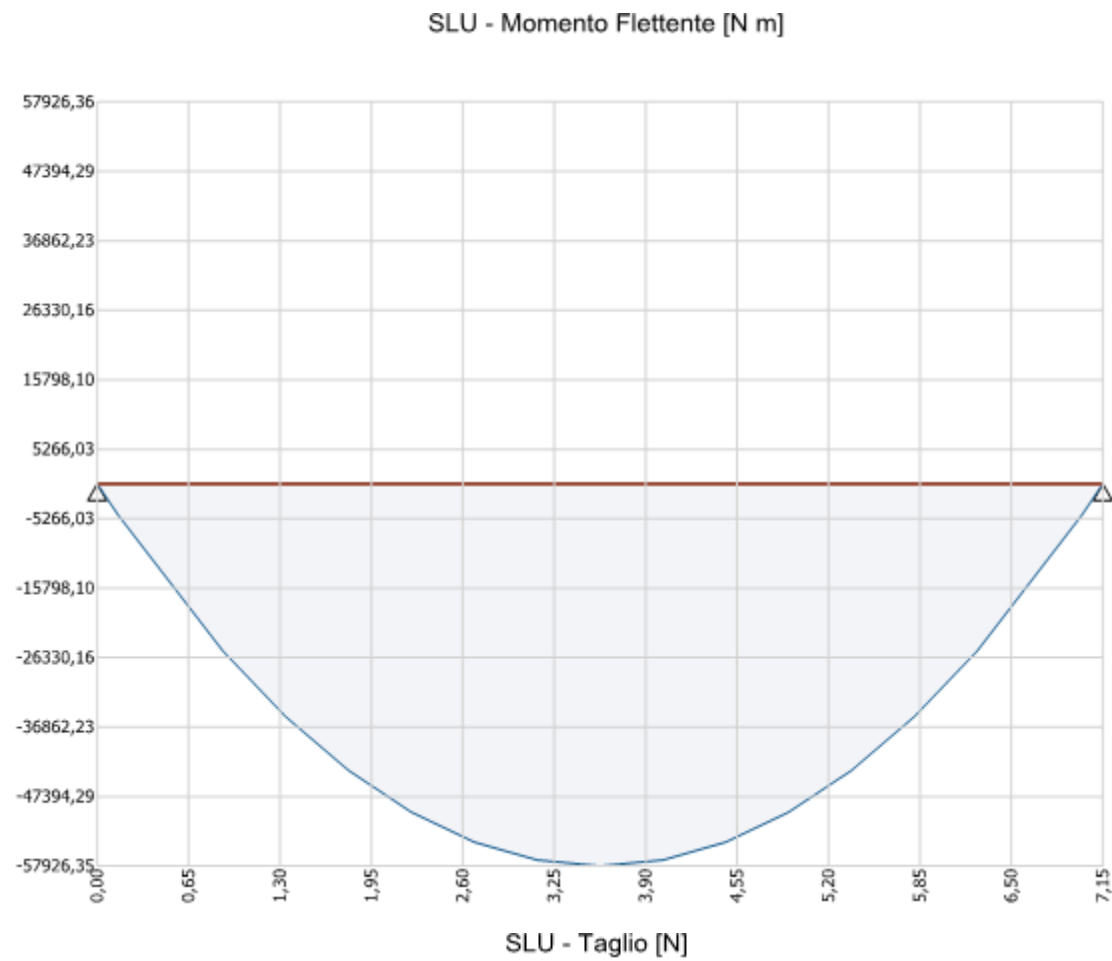
$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

Schema statico [m - N]



Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:



I valori massimi ottenuti sono:

$$M_{d\ inf\ MAX} = 57,92\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 32,40\ kN$$

2) Solaio con profilati IPN120

- Caratteristiche geometriche del travetto IPN120:

$$I\ [cm^4] = 328$$

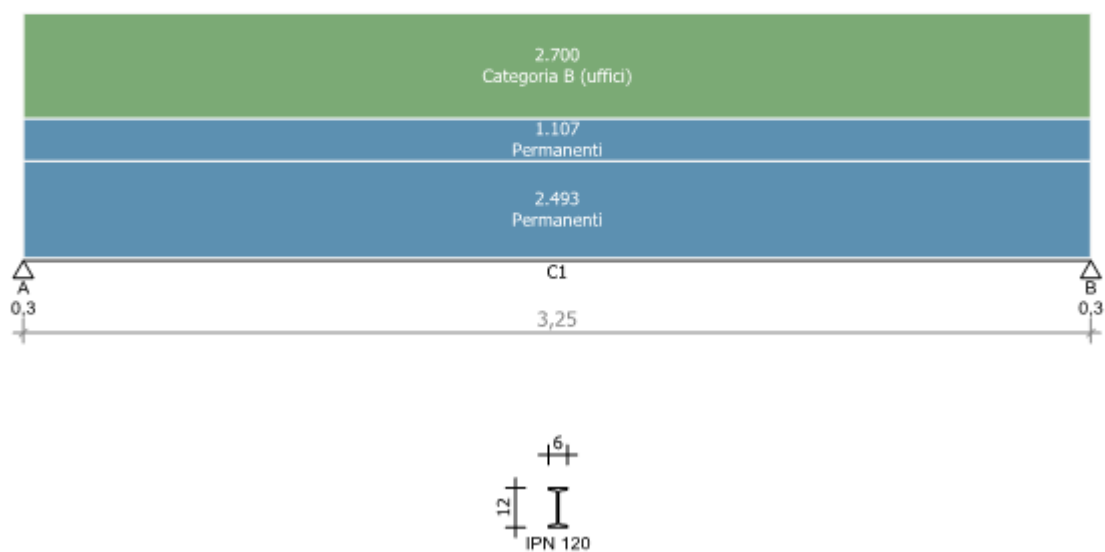
$$W\ [cm^3] = 63,6$$

$$A_v\ [cm^2] = 6,63$$

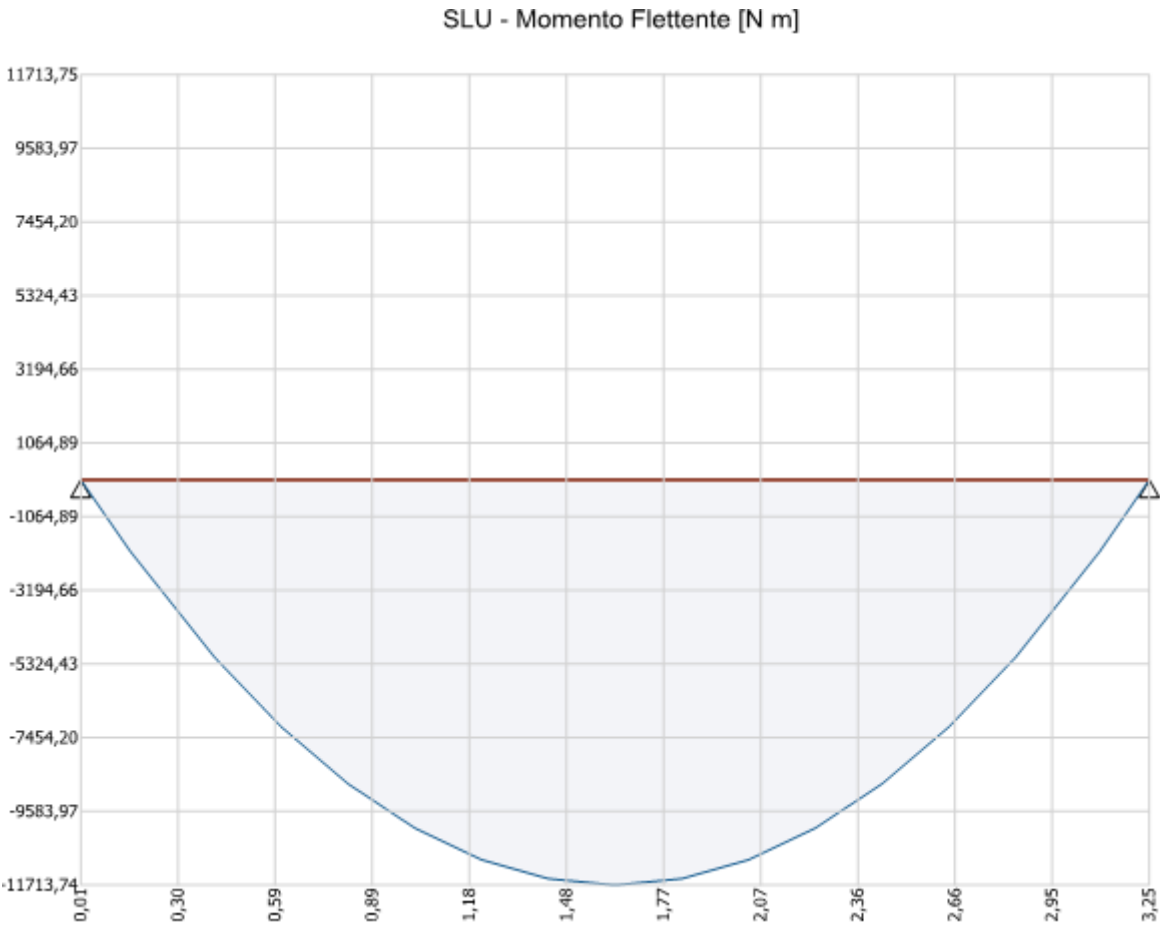
$$E\ [kN/cm^2] = 21000,00$$

$$f_{yk}\ [kN/cm^2] = 23,5$$

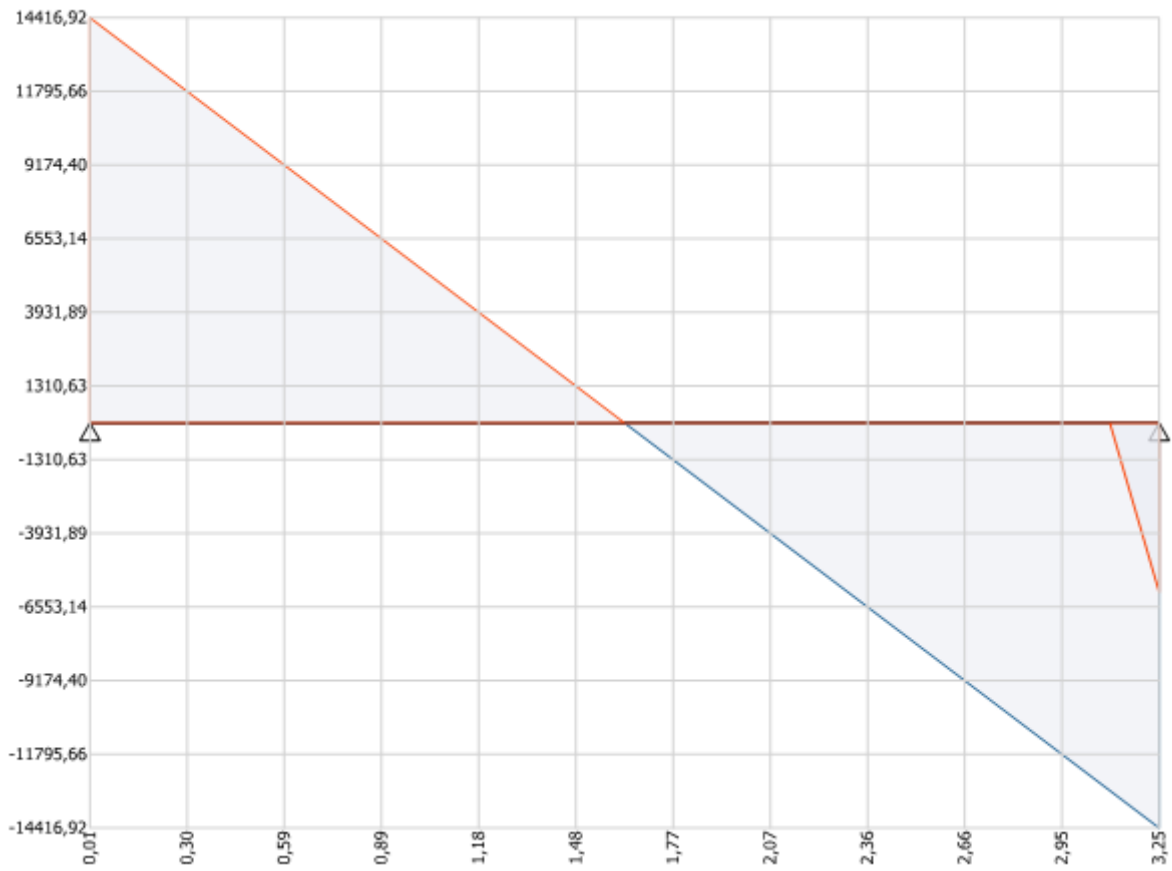
Schema statico [m - N]



Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:



SLU - Taglio [N]



I valori massimi ottenuti sono:

$$M_{d\ inf\ MAX} = 11,71\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 14,42\ kN$$

## **5.2 – Verifiche (DM 14/01/2008 )**

### **5.2.1 – Verifica a flessione (IPN200)**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico IPN200 sarà:

$$W_x = 250 \text{ cm}^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{5792 \cdot 1,05}{23,5} = 258,79 \text{ cm}^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Essendo:

$$W_d > W_x$$

**la verifica non risulta soddisfatta.**

### **5.2.2 – Verifica a taglio (IPN200)**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{16,03 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 207,14 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [ $\text{cm}^2$ ]

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,16 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

### **5.2.3 – Verifica a flessione (IPN120)**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico IPN120 sarà:

$$W_x = 63,60 \text{ cm}^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{1171 \cdot 1,05}{23,5} = 52,32 \text{ cm}^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Essendo:

$$W_d < W_x$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

#### **5.2.4 – Verifica a taglio (IPN120 )**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{6,63 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 85,67 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [cm<sup>2</sup>]

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,17 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**



## 6- Situazione “post - operam”

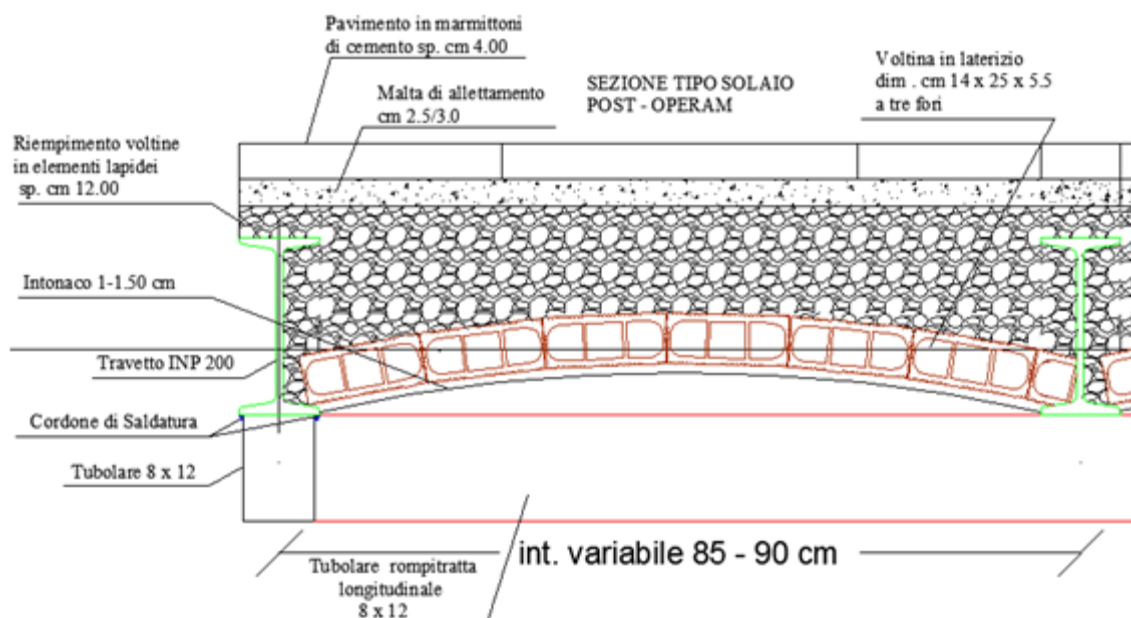


Fig.3 – Sezione solaio tipo nella situazione post - operam

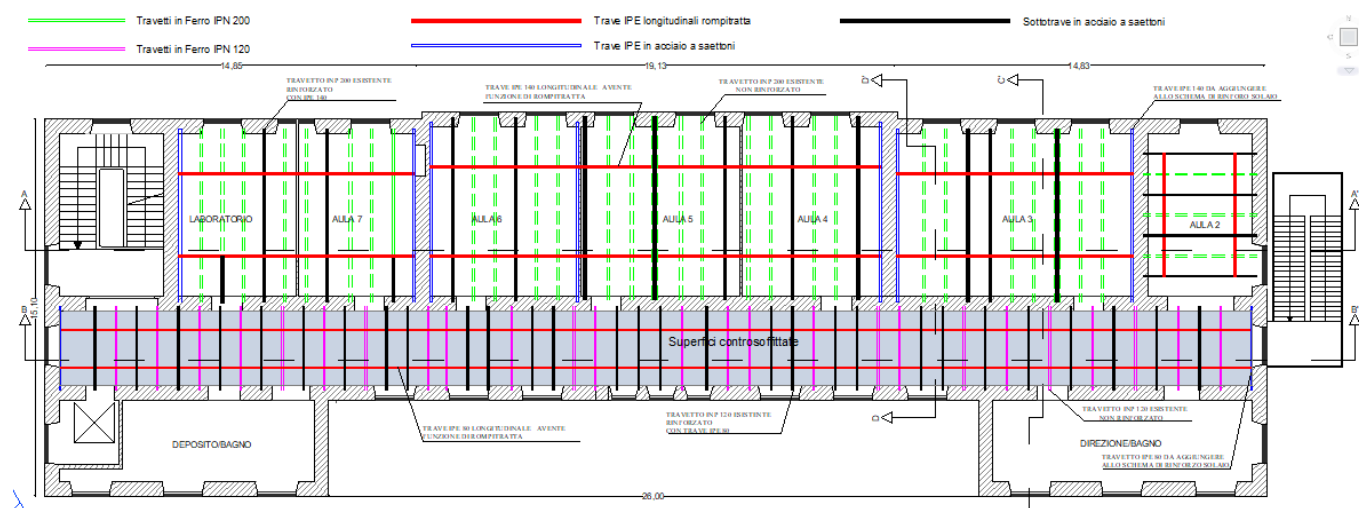


Fig.4 – Planimetria piano tipo con schema di rinforzo dei solai

## **6.1 – TIPOLOGIA DI RINFORZO “A”**

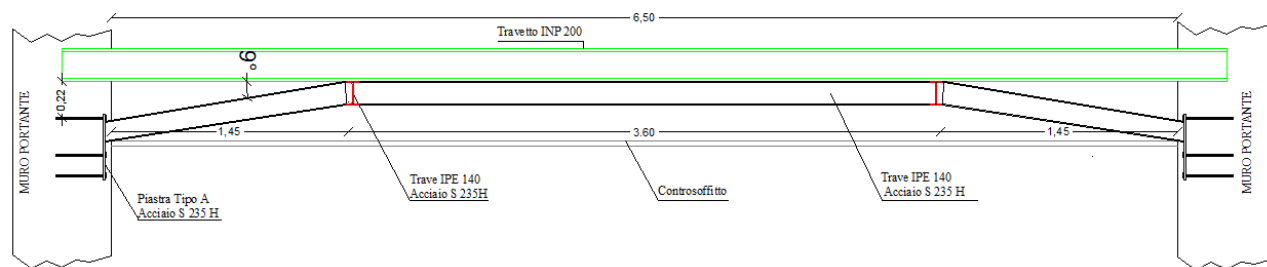


Fig.5 – Particolare del rinforzo “A” strutturale con sottotrave in acciaio a saettoni

### **6.1.1 – Analisi dei carichi**

#### **- Carichi Permanenti Strutturali $G_1$**

Peso proprio profilati IPN200 = 0,262 kN/m

Peso proprio voltine in laterizio = 0,055m x 8 kN/m = 0,44 kN/m<sup>2</sup>

Peso riempimento lapideo voltine (smedio=12cm) = 0,12x16kN/m<sup>3</sup> = 1,92 kN/m<sup>2</sup>

Peso proprio profilati tubolari 8x12 cm = 0,149 kN/m

$$G_1 = 2,77 \text{ kN/m}^2$$

#### **- Carichi Permanenti non Strutturali $G_2$**

Malta di allettamento (bastarda) = 0,03x16kN/m<sup>3</sup> = 0,48 kN/m<sup>2</sup>

Pavimentazione in marmittoni di cemento ( s = 3cm ) = 0,75 kN/m<sup>2</sup>

$$G_2 = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

#### **- Carichi Variabili $Q$**

$$Q \text{ ( D.M. 14/01/2008 )} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Dalla Combinazione dei Carichi Fondamentale allo SLU del DM 14/01/2008 si ha:

$$q_d = G_1 \cdot \gamma_{G1} + G_2 \cdot \gamma_{G2} + Q \cdot \gamma_Q = 2,77 \cdot 1,3 + 1,23 \cdot 1,5 + 3 \cdot 1,5 = 9,95 \frac{kN}{m^2}$$

Con:

$$\gamma_{G1} = 1,3$$

$$\gamma_{G2} = 1,5$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

Noto il carico di progetto e considerando l'interasse fra i travetti di  $i = 0,9 \text{ m}$ , si ottiene un valore di carico uniformemente ripartito pari a:

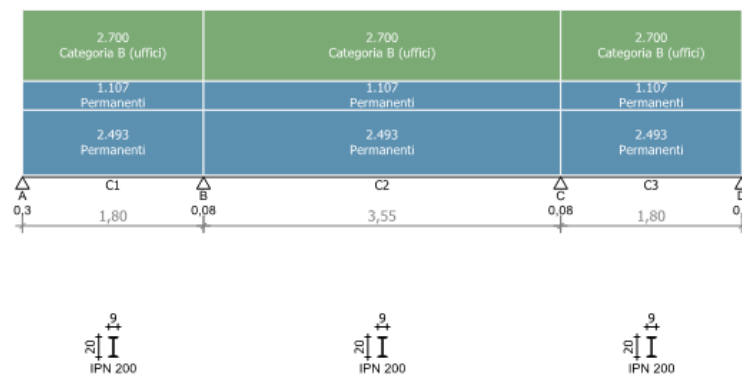
$$q_d = 9,95 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,9 \text{ m} = 8,96 \frac{kN}{m}$$

### 6.1.2 – Analisi delle sollecitazioni

Considerando il rinforzo strutturale con sottotrave in acciaio a saettoni ( profilati tubolari 8x12cm ), lo schema statico che si è considerato è quello di trave appoggiata a tre campate:

#### 1) Solaio con profilati IPN200

Schema statico [m - N]



- Caratteristiche geometriche del travetto IPN200:

$$I [\text{cm}^4] = 2140$$

$$W [\text{cm}^3] = 250$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 16,03$$

$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

- Caratteristiche geometriche del profilato IPE 140cm:

$$I [\text{cm}^4] = 541,2$$

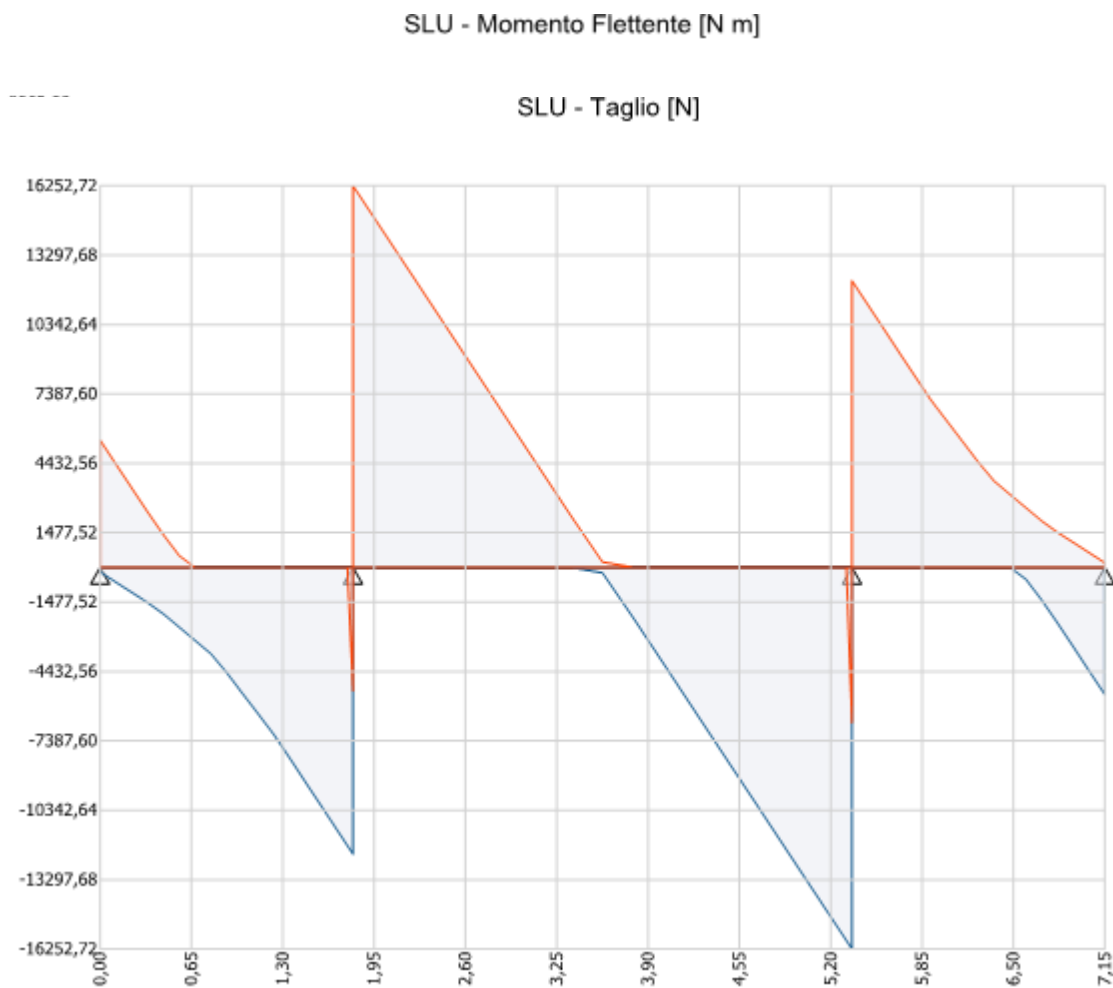
$$W [\text{cm}^3] = 88,34$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 7,64$$

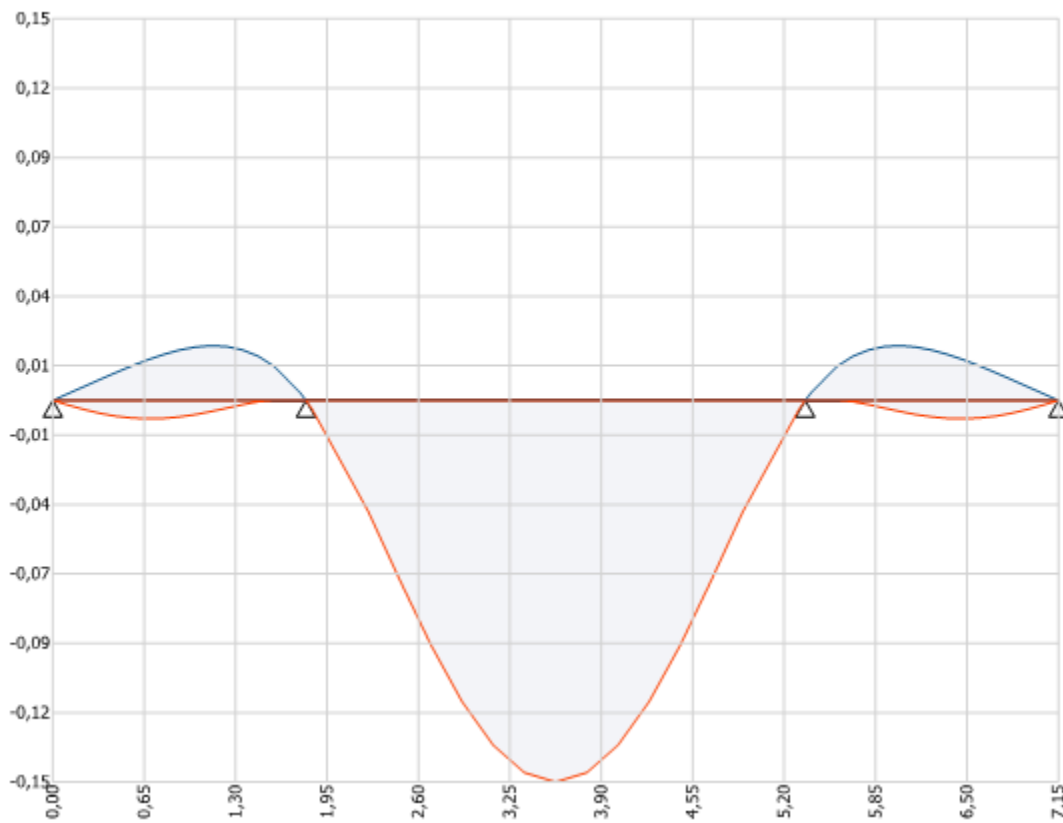
$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:



SLU - Deformata Elastica [cm]



I valori massimi ottenuti sono:

$$M_{d\ MAX} = 8,06\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 16,253\ kN$$

$$f_{MAX} = 0,15\ cm$$

## 2) Solaio con profilati IPN120

- Caratteristiche geometriche del travetto IPN120:

$$I\ [cm^4] = 328$$

$$W\ [cm^3] = 63,6$$

$$A_v\ [cm^2] = 6,63$$

$$E\ [kN/cm^2] = 21000,00$$

$$f_{yk}\ [kN/cm^2] = 23,5$$

- Caratteristiche geometriche del profilato IPE 80 cm:

$$I [\text{cm}^4] = 80,14$$

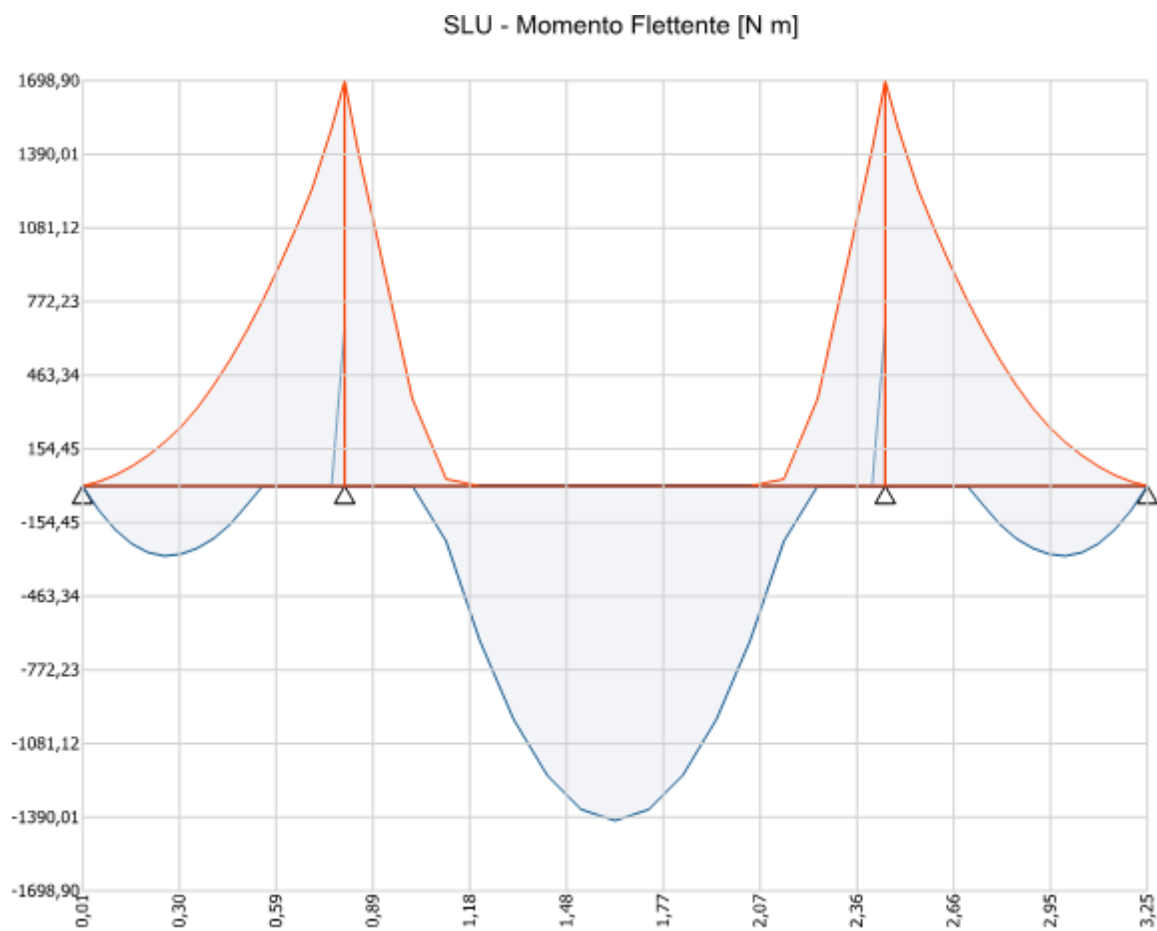
$$W [\text{cm}^3] = 23,22$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 3,58$$

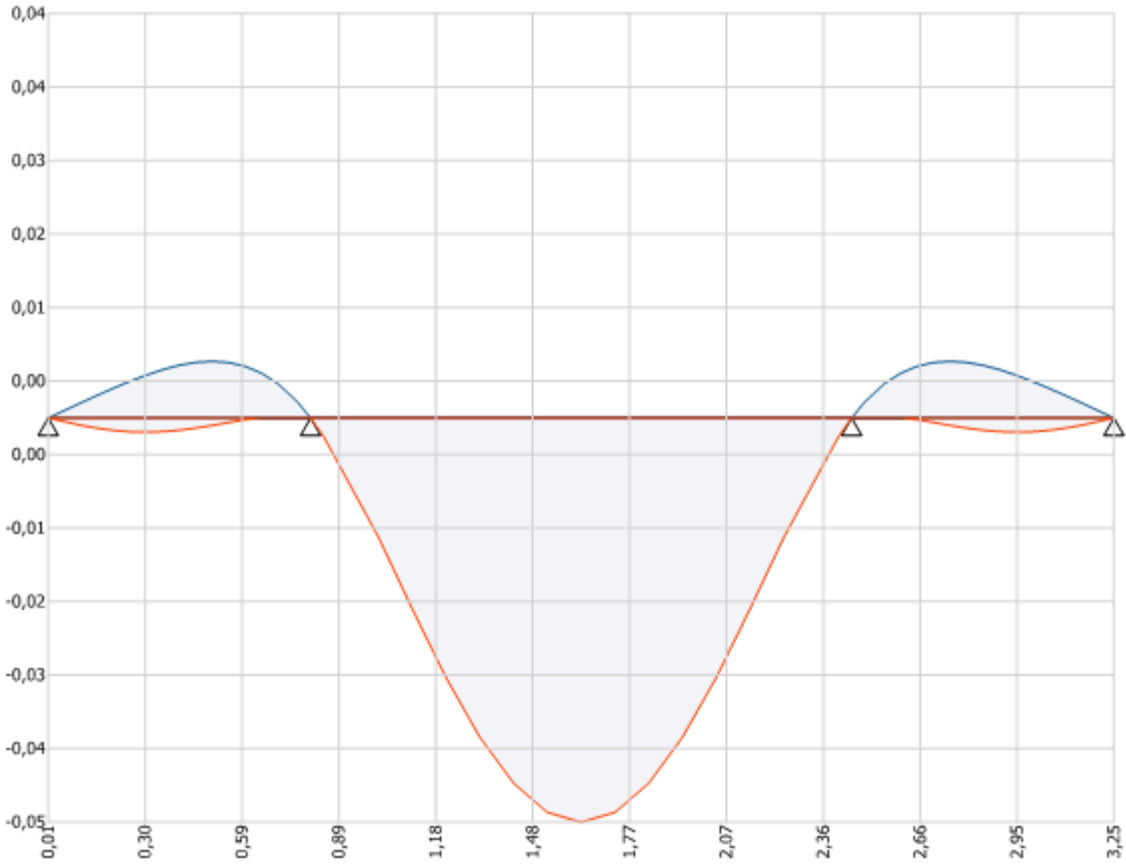
$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

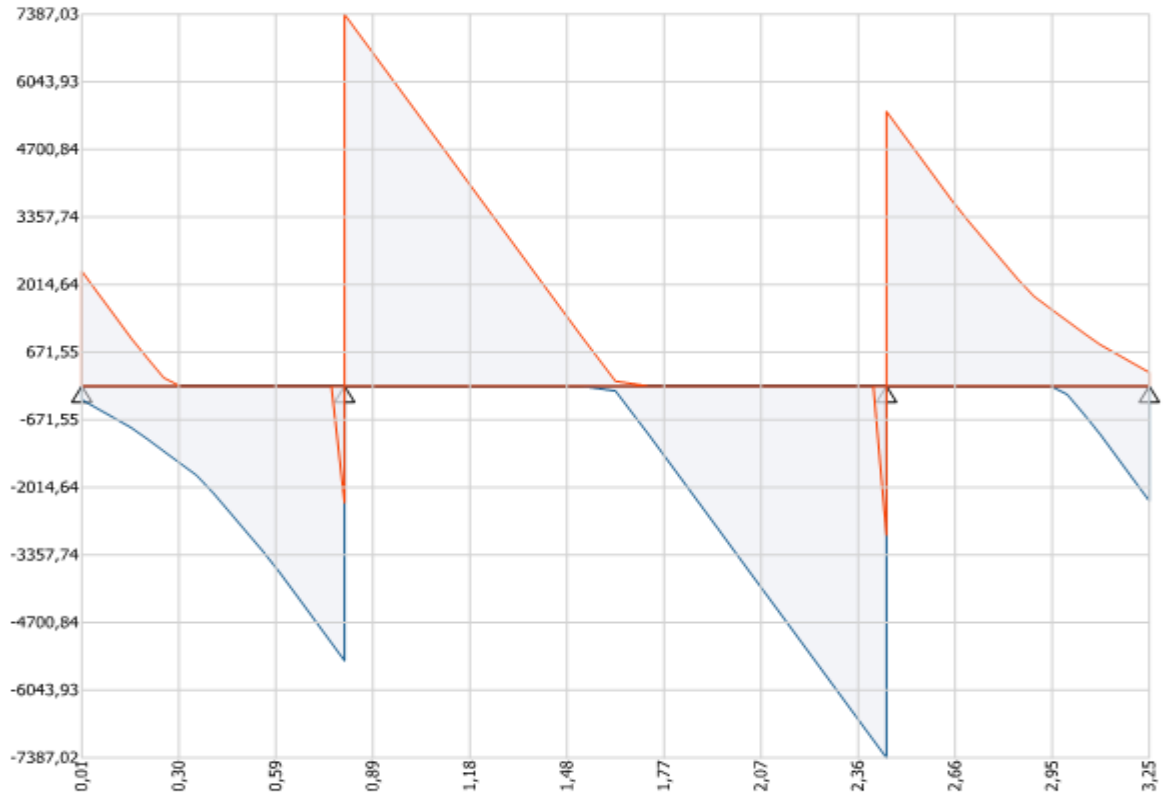
Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:



SLU - Deformata Elastica [cm]



SLU - Taglio [N]



I valori massimi ottenuti sono:

$$M_{d\ inf\ MAX} = 1,70\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 7,38\ kN$$

$$f_{MAX} = 0,05\ cm$$

### **6.1.3 – Verifiche (DM 14/01/2008 )**

#### **6.1.3.1 – Verifica a flessione ( IPN200 )**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico sarà:

$$W_{yIPN200} + W_{yIPE\ 140} = 250 + 88,34 = 338,34\ cm^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{806 \cdot 1,05}{23,5} = 36,01\ cm^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5\ kN/cm^2$$

Essendo:

$$W_d < W_y$$

**la verifica risulta soddisfatta.**



### **6.1.3.2 – Verifica a taglio (IPN200 )**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{(16,03 + 11,40) \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 354,45 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [cm<sup>2</sup>]

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,05 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

### **6.1.3.3 – Verifica a flessione ( IPN120 )**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico sarà:

$$W_{yIPN120} + W_{yIPE 80} = 63,60 + 23,22 = 86,22 \text{ cm}^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{170 \cdot 1,05}{23,5} = 7,60 \text{ cm}^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Essendo:

$$W_d < W_y$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

#### **6.1.3.4 – Verifica a taglio (IPN120 )**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{(6,63 + 7,30) \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 180,00 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [cm<sup>2</sup>]

Essendo:

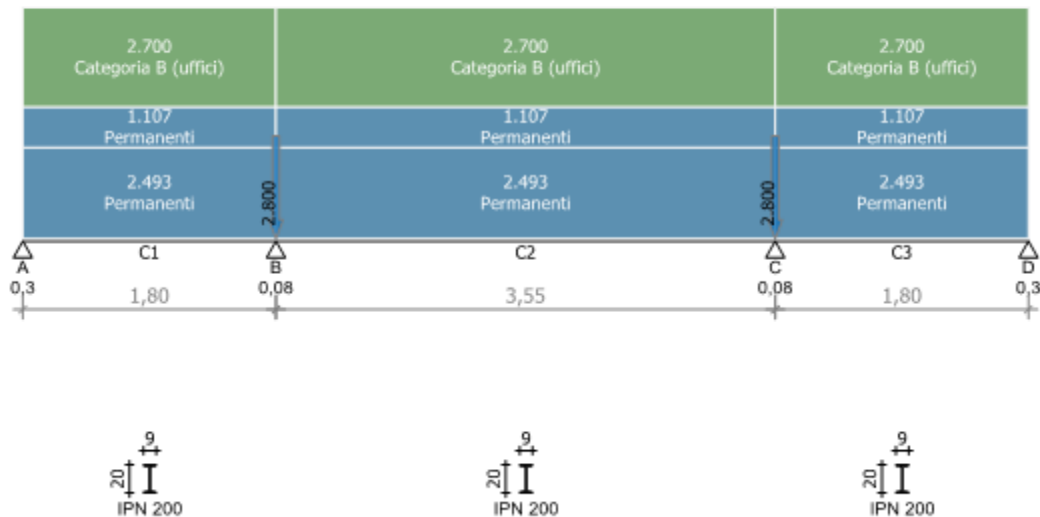
$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,04 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

**6.1.4 – Analisi delle sollecitazioni considerando i carichi concentrati sugli appoggi intermedi trasmessi alle travi consolidate dalle travi longitudinali aventi funzione di rompi tratta dei travetti del solaio non rinforzati.**

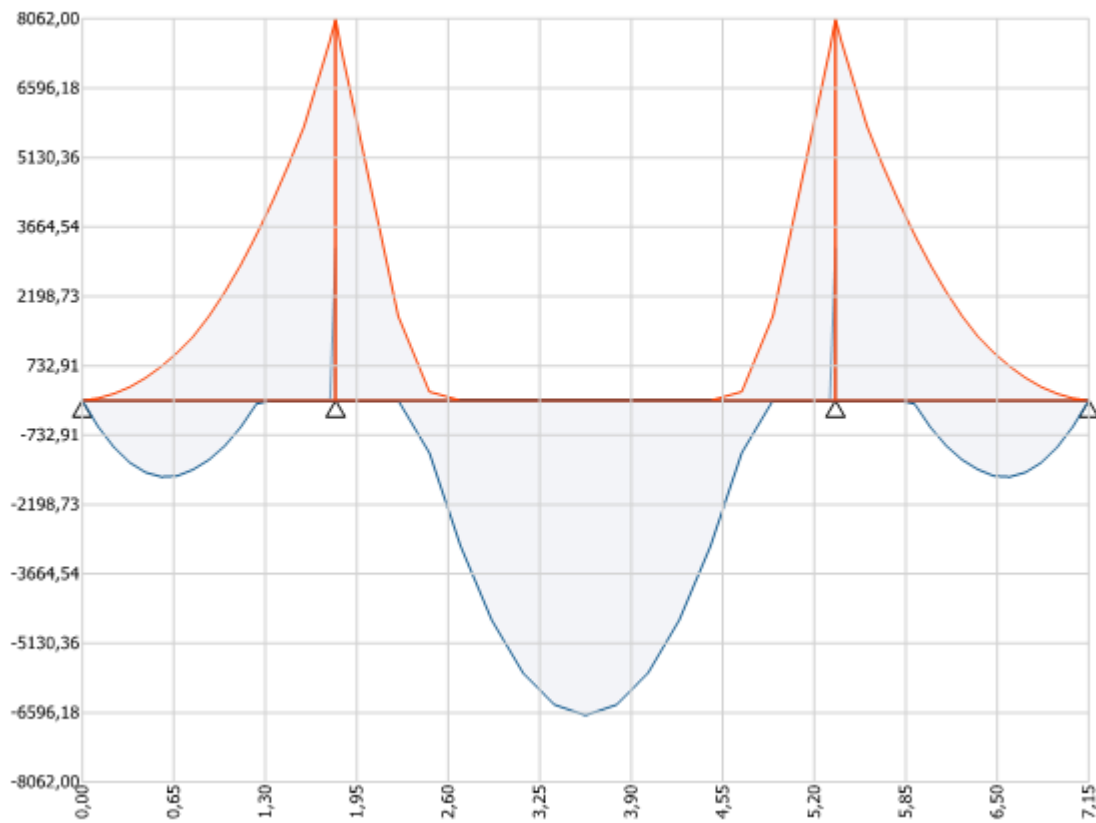
1) Solaio con profilati IPN200

Schema statico [m - N]

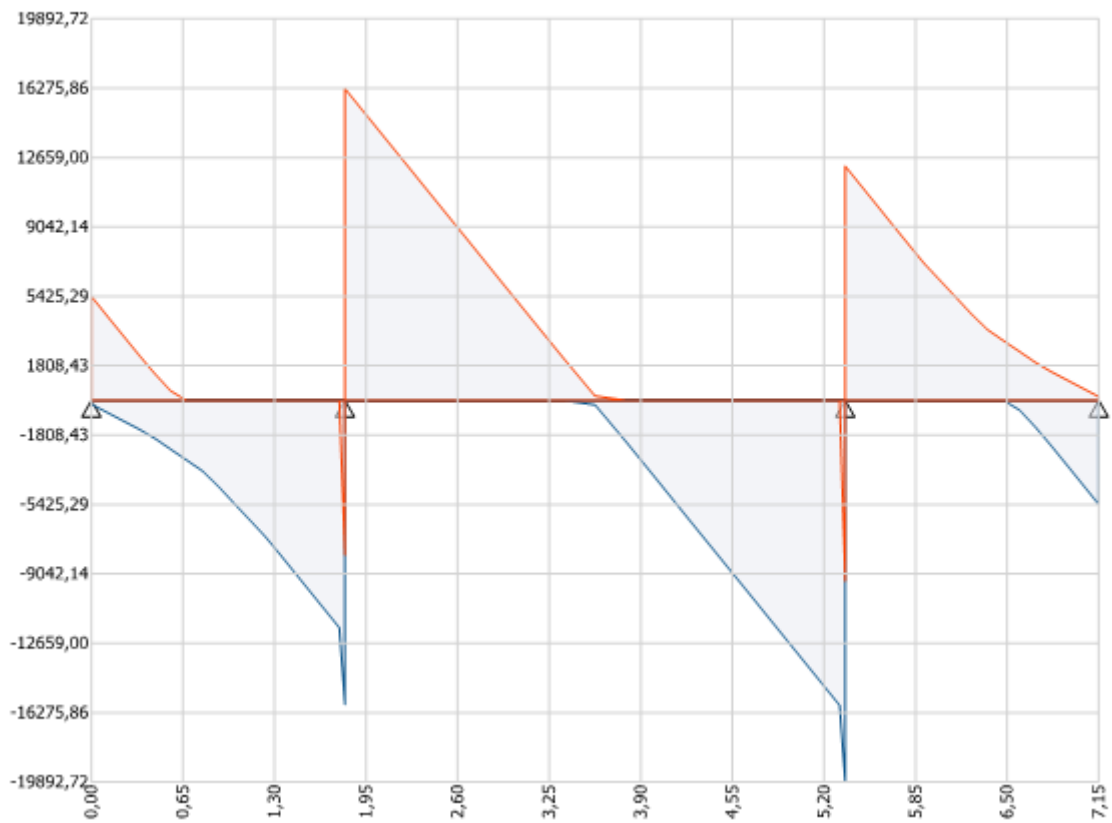


Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:

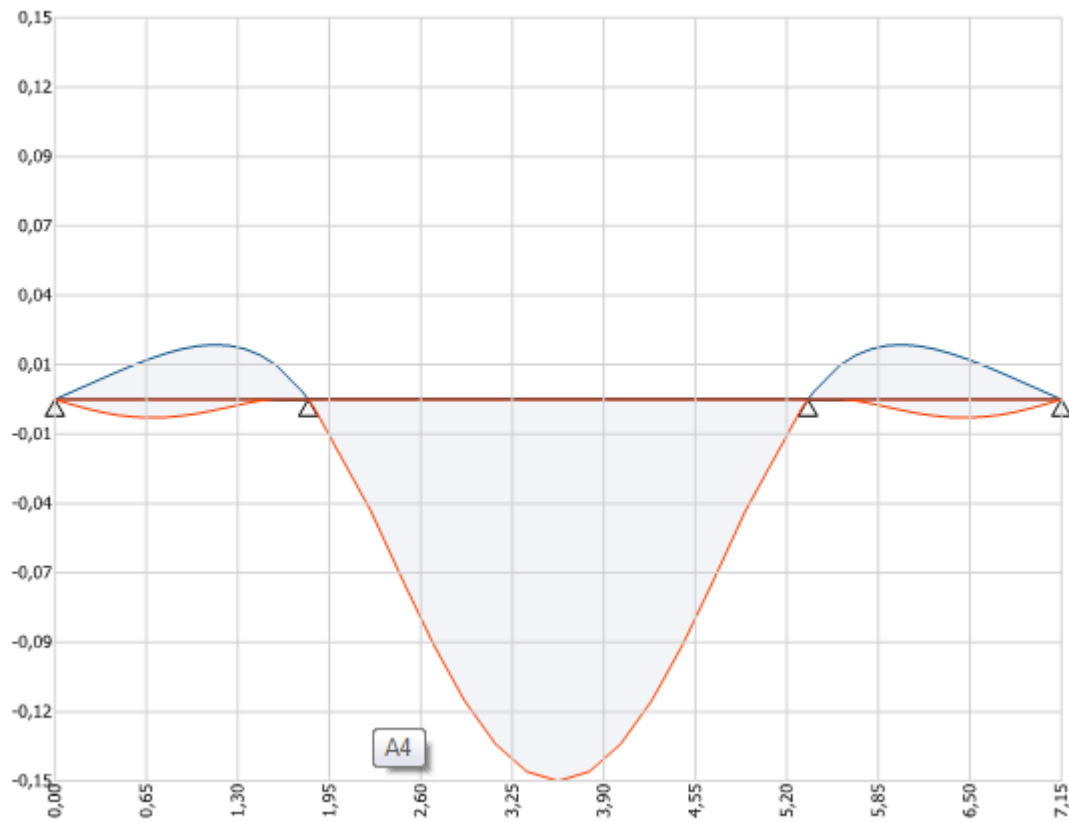
SLU - Momento Flettente [N m]



SLU - Taglio [N]



### SLU - Deformata Elastica [cm]



I valori massimi ottenuti sono:

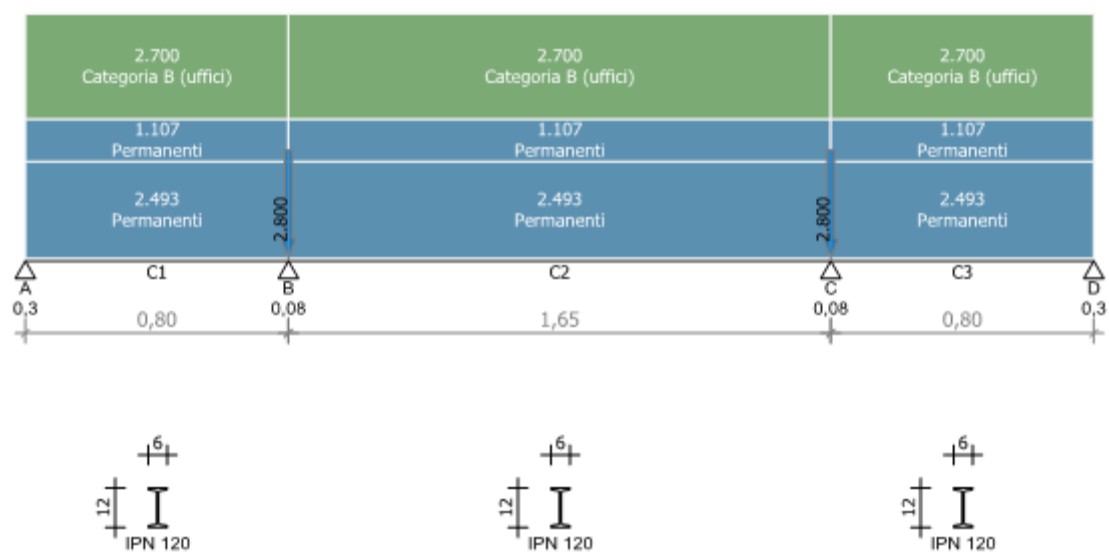
$$M_{d\ MAX} = 8,06\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 19,89\ kN$$

$$f_{MAX} = 0,15\ cm$$

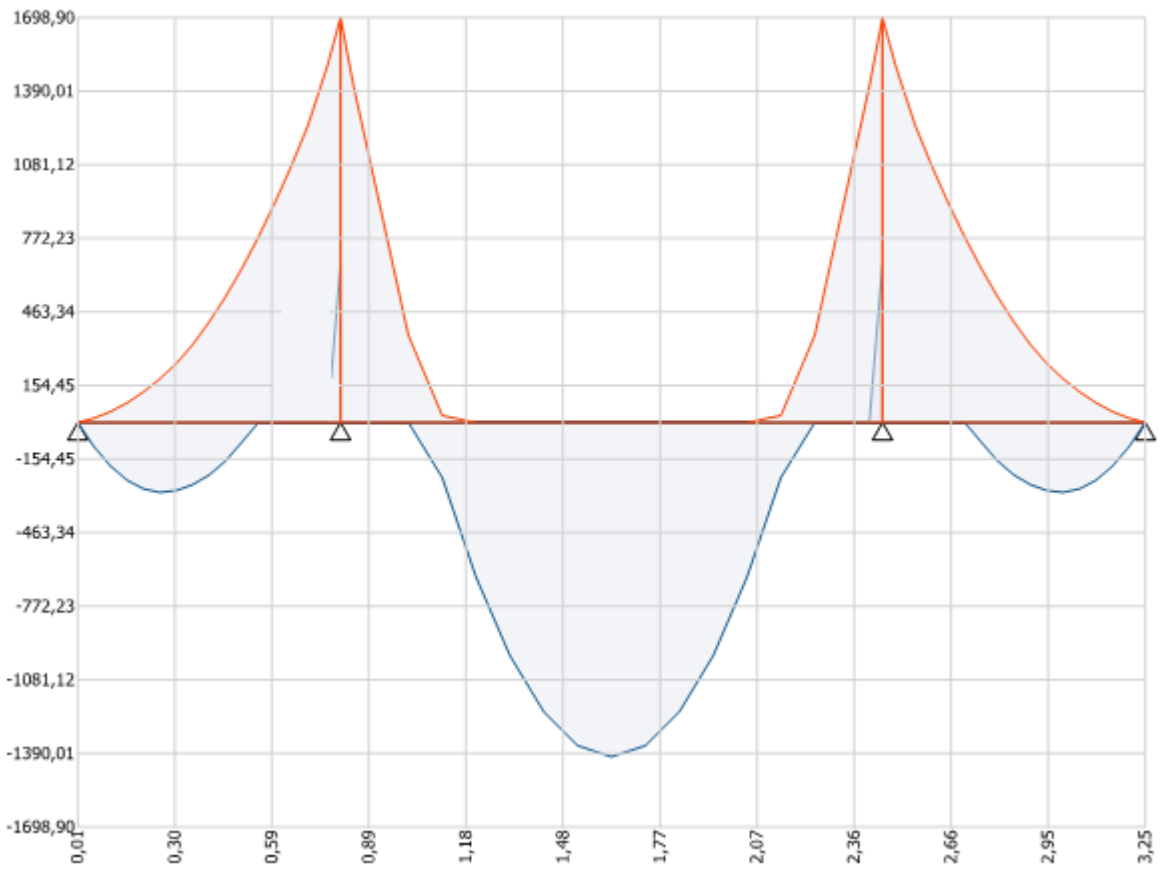
## 2) Solaio con profilati IPN120

Schema statico [m - N]

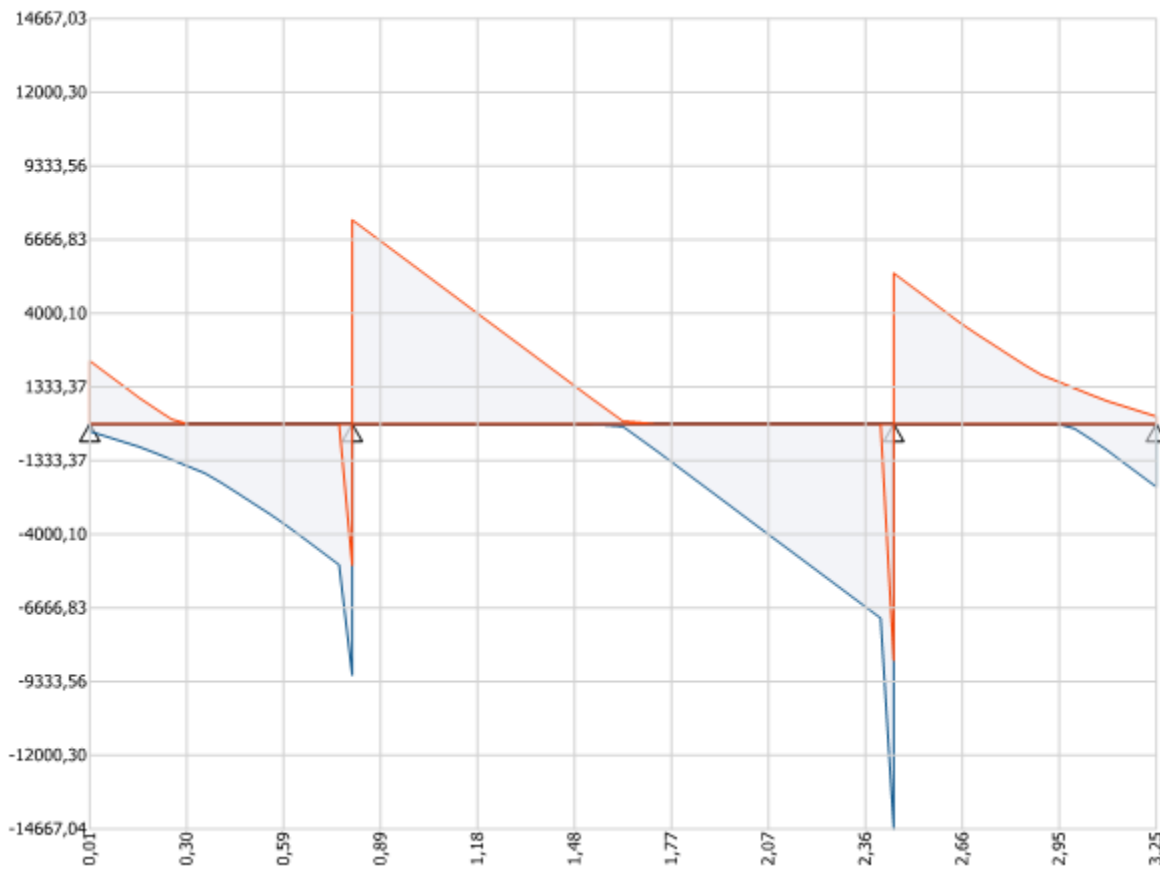


Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:

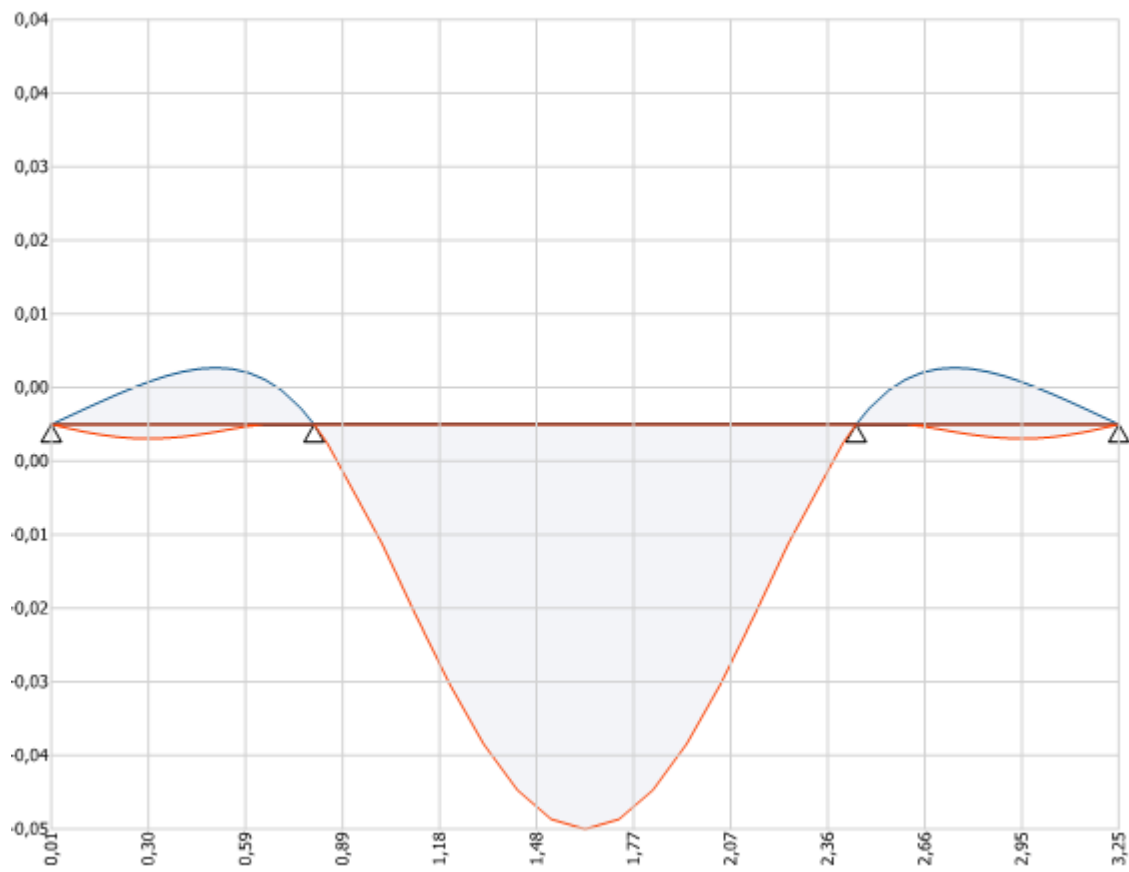
SLU - Momento Flettente [N m]



SLU - Taglio [N]



SLU - Deformata Elastica [cm]



I valori massimi ottenuti sono:

$$M_{d\ inf\ MAX} = 1,70\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 14,67\ kN$$

$$f_{MAX} = 0,05\ cm$$



### **6.1.5 – Verifiche (DM 14/01/2008 )**

#### **6.1.5.1 – Verifica a flessione ( IPN200 )**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico sarà:

$$W_{yIPN200} + W_{yIPE\ 140} = 250 + 88,34 = 338,34\ cm^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{806 \cdot 1,05}{23,5} = 36,01\ cm^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5\ kN/cm^2$$

Essendo:

$$W_d < W_x$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

### **6.1.5.2 – Verifica a taglio (IPN200 )**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{(16,03 + 11,40) \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 354,45 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [cm<sup>2</sup>]

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,06 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

### **6.1.5.3 – Verifica a flessione ( IPN120 )**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico sarà:

$$W_{yIPN120} + W_{yIPE 80} = 63,60 + 23,22 = 86,82 \text{ cm}^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{170 \cdot 1,05}{23,5} = 7,60 \text{ cm}^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Essendo:

$$W_d < W_x$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

#### **6.1.5.4 – Verifica a taglio (IPN120 )**

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{(6,63 + 7,30) \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 180,00 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [cm<sup>2</sup>]

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,08 < 1$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

### 6.2 – TIPOLOGIA DI RINFORZO “B”

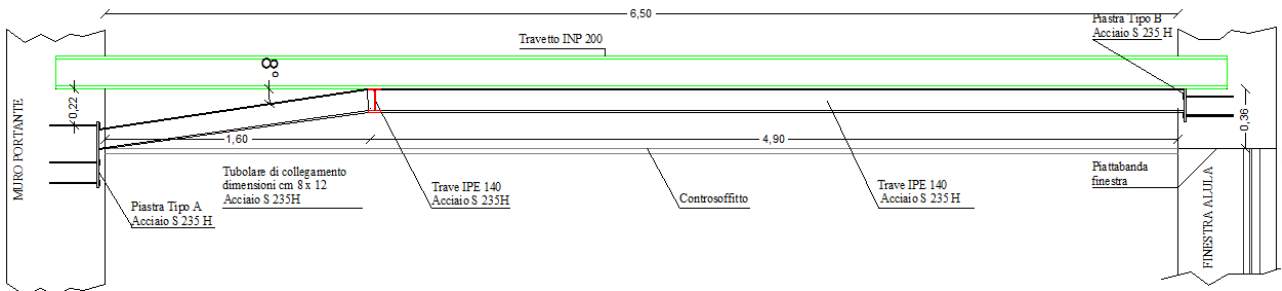
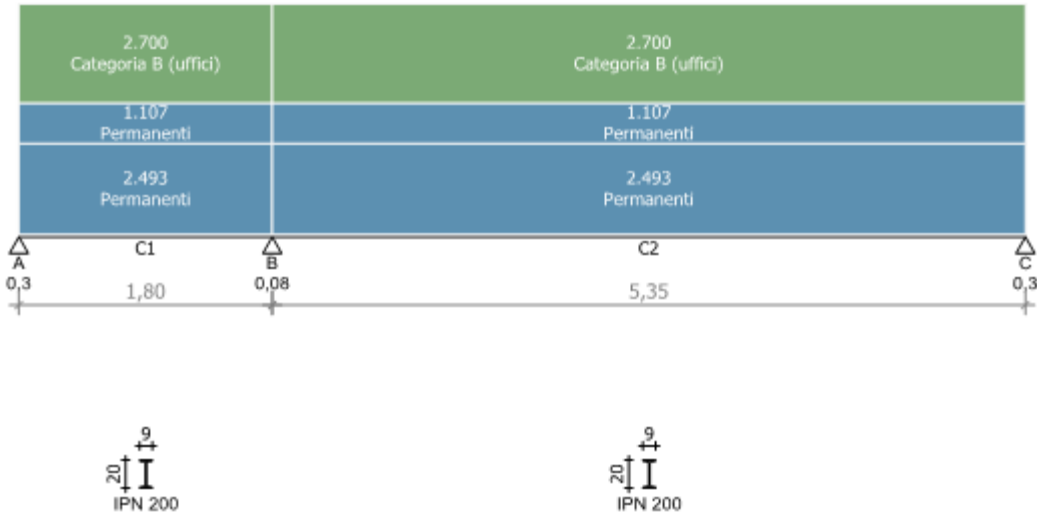


Fig.6 – Particolare del rinforzo “B” strutturale con sottotrave in acciaio a saettoni

### 6.2.1 – Analisi delle sollecitazioni

Considerando il rinforzo strutturale con sottotrave in acciaio a saettoni ( profilati tubolari 8x12cm ), lo schema statico che si è considerato è quello di trave appoggiata a due campate:

Schema statico [m - N]



- Caratteristiche geometriche del travetto IPN200:

$$I [\text{cm}^4] = 2140$$

$$W [\text{cm}^3] = 250$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 16,03$$

$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

- Caratteristiche geometriche del profilato IPE 140cm:

$$I [\text{cm}^4] = 541,2$$

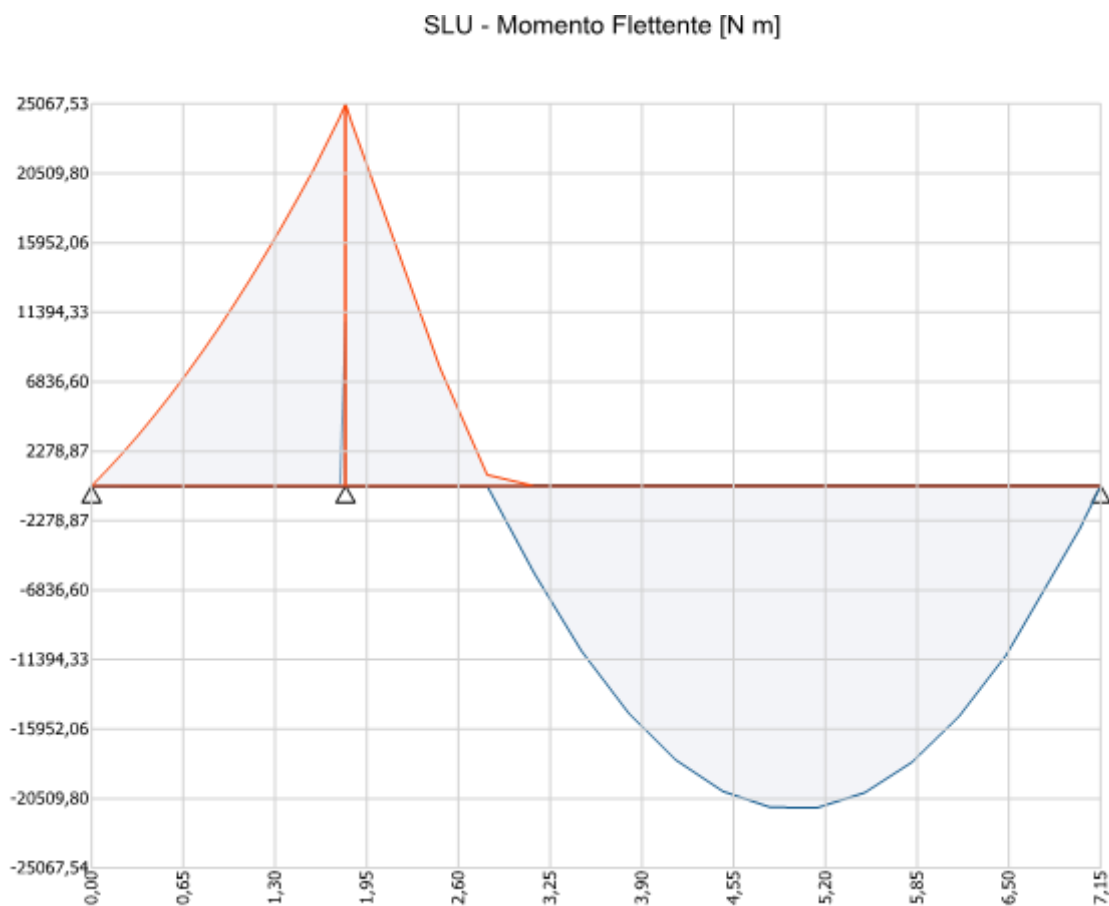
$$W [\text{cm}^3] = 88,34$$

$$A_v [\text{cm}^2] = 7,64$$

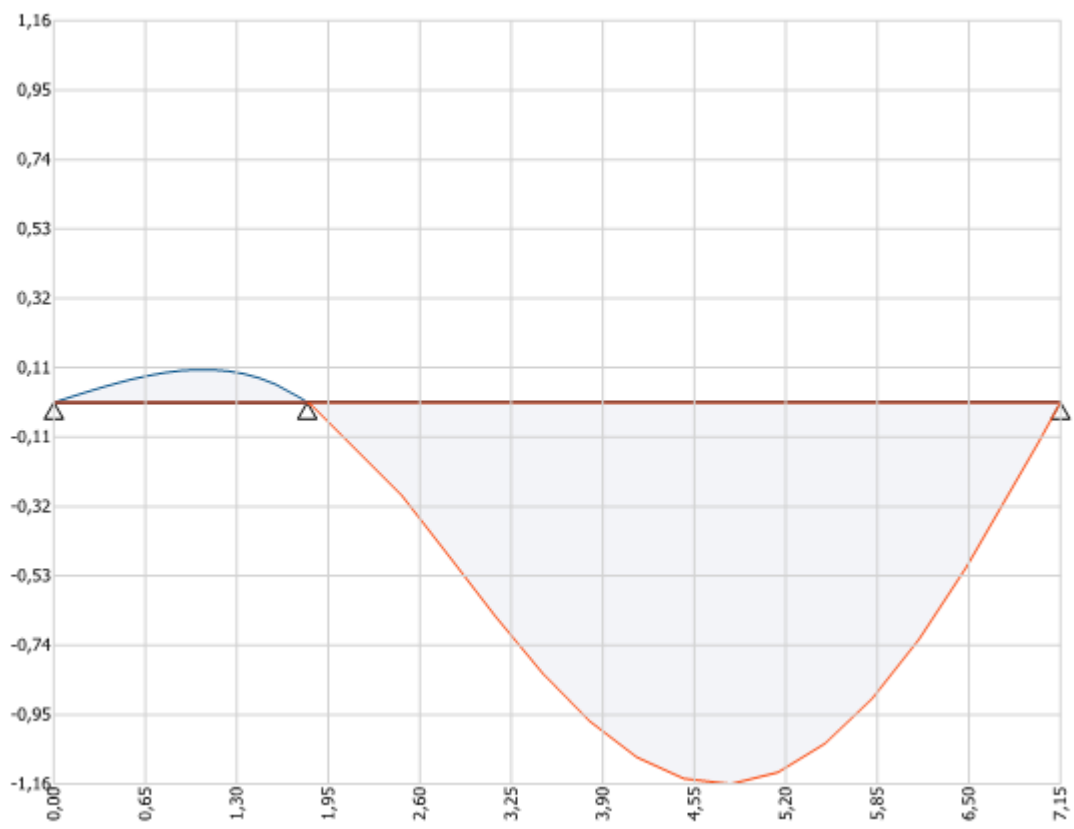
$$E [\text{kN/cm}^2] = 21000,00$$

$$f_{yk} [\text{kN/cm}^2] = 23,5$$

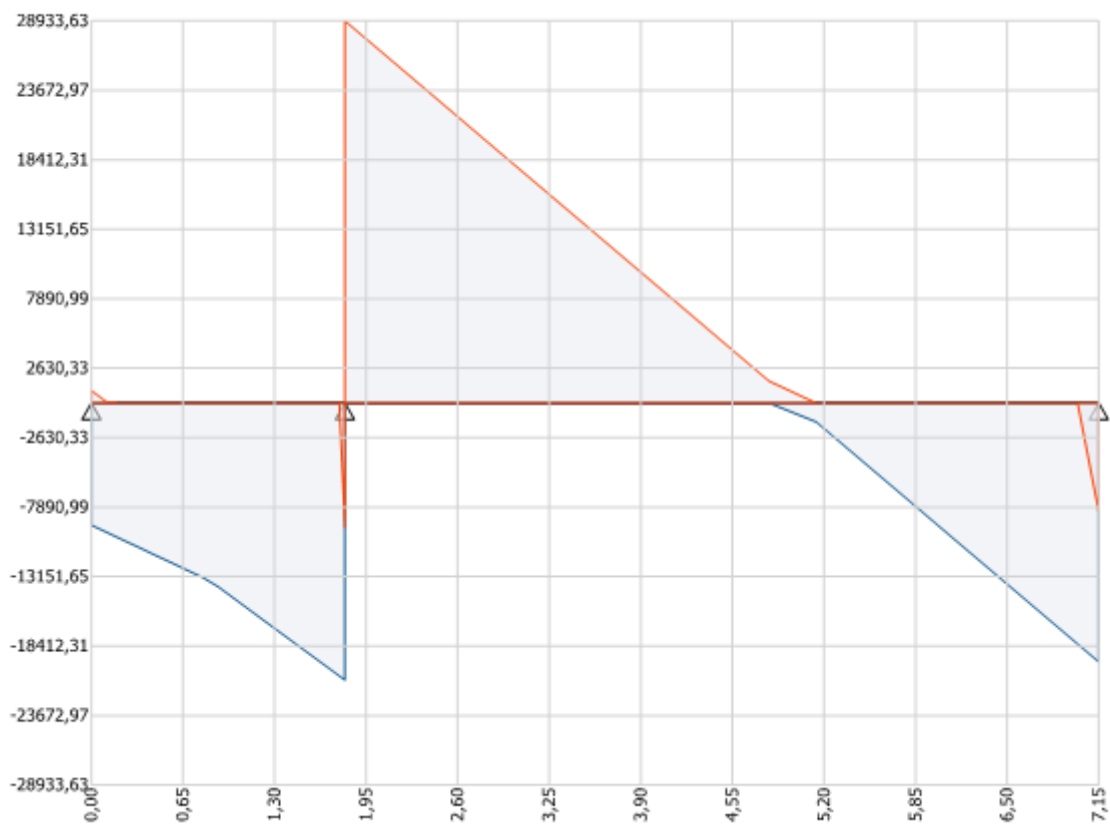
Di seguito si riportano le sollecitazioni di calcolo allo SLU ottenute dal calcolo ottenuto con l'ausilio del software di calcolo TRAVILOG TITANIUM 3:



SLU - Deformata Elastica [cm]



SLU - Taglio [N]



I valori massimi ottenuti sono:

$$M_{d\ inf\ MAX} = 25,07\ kNm$$

$$V_{d\ MAX} = 28,93\ kN$$

$$f_{MAX} = 1,16\ cm$$

### **6.2.2 – Verifiche (DM 14/01/2008 )**

#### **6.2.2.1 – Verifica a flessione ( IPN200 )**

Dalle tabelle caratteristiche delle carpenterie metalliche, si evince che il modulo di resistenza caratteristico del profilato metallico sarà:

$$W_{yIPN200} + W_{yIPE\ 140} = 250 + 88,34 = 338,34\ cm^3$$

Il valore di progetto si ottiene dalla seguente relazione:

$$W_d = \frac{M_d \cdot 1,05}{f_{yk}} = \frac{2507 \cdot 1,05}{23,5} = 112,01\ cm^3$$

con:

$$f_{yk} = 23,5\ kN/cm^2$$

Essendo:

$$W_d < W_y$$

**la verifica risulta soddisfatta.**

### 6.2.2.2 – Verifica a taglio (IPN200 )

Il taglio resistente  $V_{Rd}$  è dato dalla seguente relazione:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = \frac{(16,03 + 11,40) \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,05} = 354,45 \text{ kN}$$

con:

$A_v$  = area resistente a taglio [ $\text{cm}^2$ ]

Essendo:

$$\frac{V_d}{V_{Rd}} = 0,08 < 1$$

la verifica risulta soddisfatta.

### **6.2.2 – VERIFICA ANCORAGGIO CHIMICO**

*Calcolo sforzo di taglio agente su una singola barra metallica utilizzata come ancorante delle piastre alla muratura portante del plesso scolastico*

Considerando la tipologia di rinforzo A la quale risulta quella maggiormente sollecitata, si ottiene un valore di sforzo di taglio  $V_{d \text{ MAX}}$  agente sulla piastra di ancoraggio pari ha:

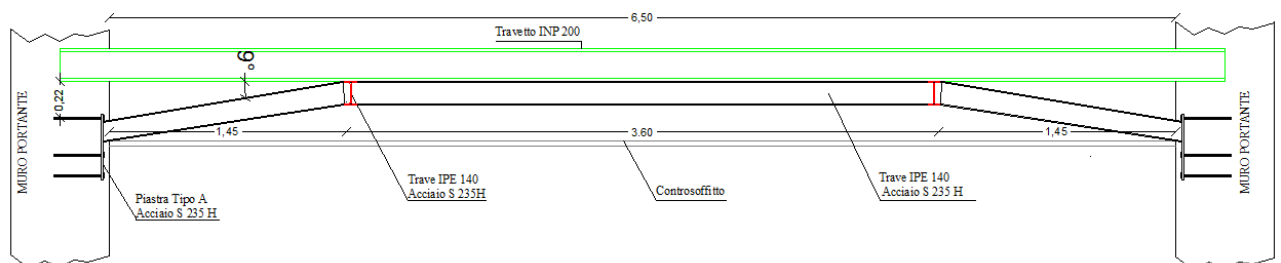
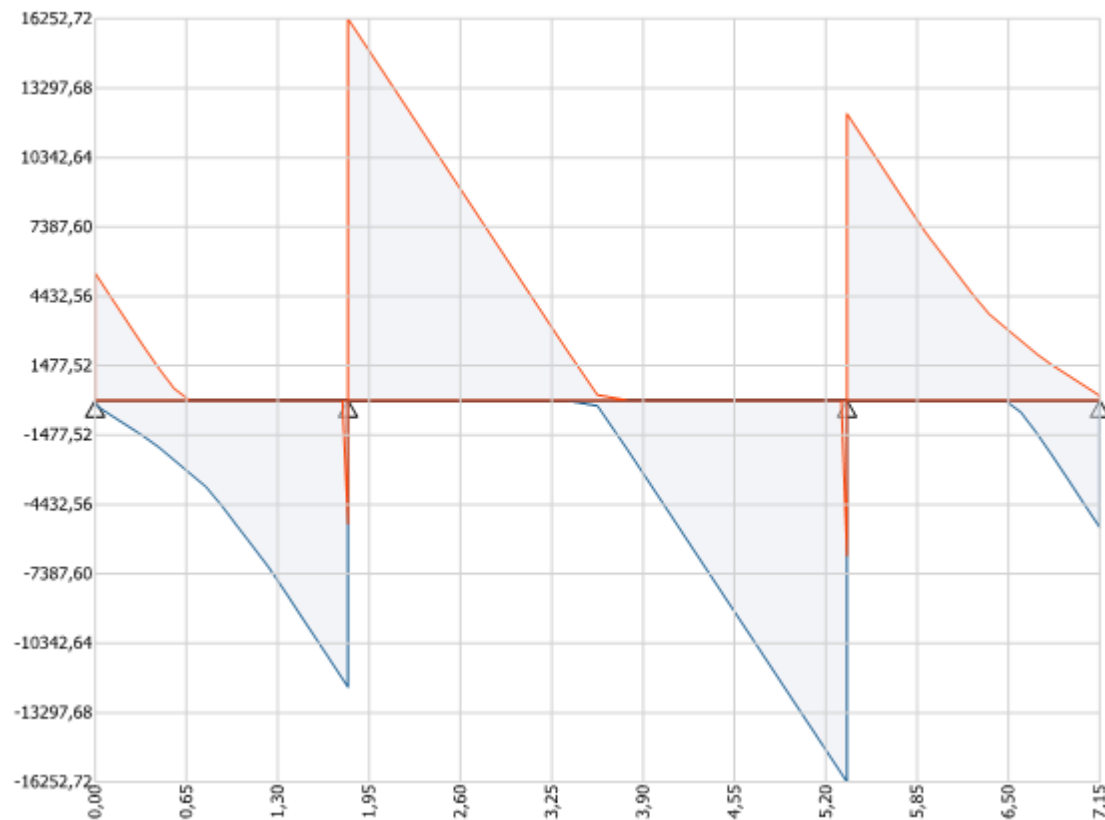


Fig.5 – Particolare del rinforzo “A” strutturale con sottotrave in acciaio a saettoni



SLU - Taglio [N]



$$V_{d\ MAX} = 16,25\ KN + 13,29\ KN = 29,54\ KN$$

Essendo le piastre di ancoraggio fissate alla muratura mediante 6 barre filettate disposte in modo simmetrico rispetto agli assi principali cartesiani, lo sforzo di taglio che ciascuna barra filettata dovrà sopportare sarà pari a :

$$V_{d,barra\ filettata} = \frac{29,54\ KN/cm}{6} = 4,92\ KN = 492\ daN$$

Si è scelto di utilizzare barre di ancoraggio filettate RGM 12 in grado di sopportare uno sforzo di taglio pari a  $V_{d,barra\ filettata} = 1250\ daN$  con esagono esterno con resina in fiala RM 12.

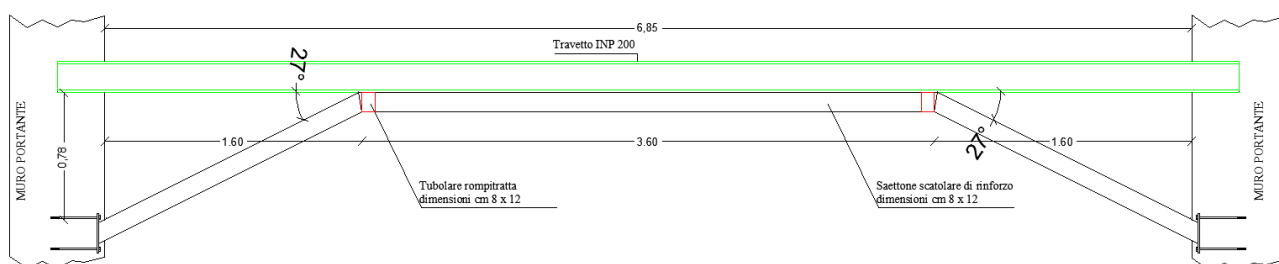
Per quanto riguarda la saldatura delle travi di rinforzo all' intradosso dei solai di calpestio del piano terra e primo si adotteranno **elettrodi basici** AWS E 7018 e la sezione di gola della saldatura avrà uno spessore minimo di 0.5 cm

**7- Oggetto della prima richiesta di autorizzazione sismica in variante a quella rilasciata dal Genio Civile di Roma in data 14.07.2015 Posizione n° 32062/C Protocollo n°2015-0000351037 ed approvata in data 17.11.2015 prot. n° 2015-0000622102 posizione n° 32062/C/V**

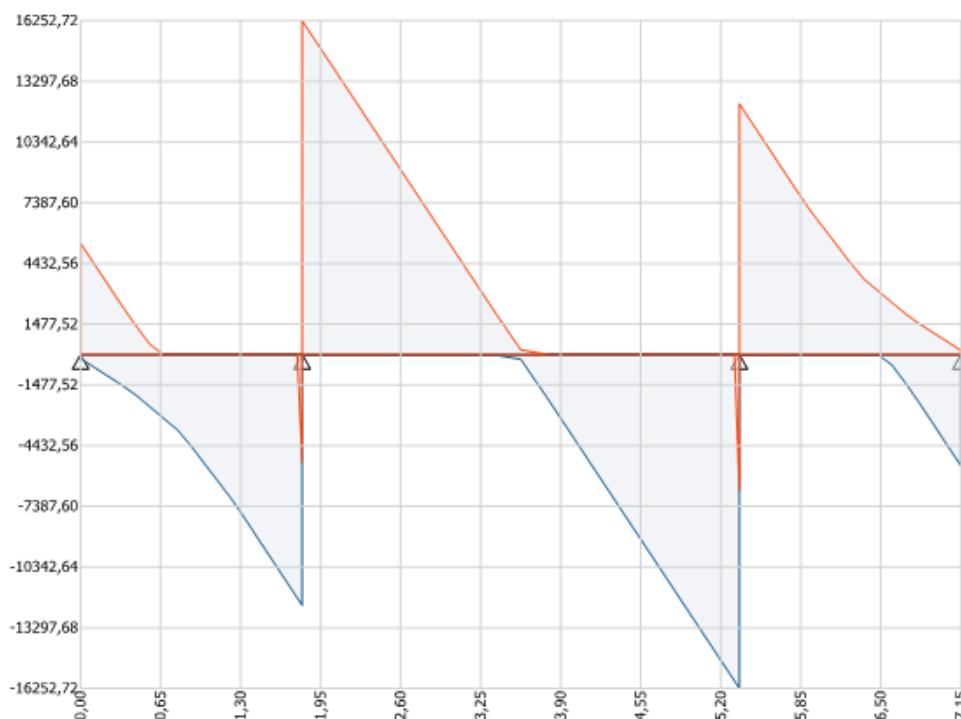
La richiesta del rilascio di una nuova autorizzazione sismica, in variante a quella rilasciata in data 14.07.2015 Posizione n° 32062/C Protocollo n°2015-0000351037 poiché sulla base dei colloqui e sopralluoghi intercorsi con il RUP della Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici della Provincia di Roma è stato necessario modificare l'angolo di inclinazione dei saettoni di consolidamento dei solai di calpestio delle aule del Piano Primo e Secondo (passando da un'inclinazione di  $27^\circ$  ad un'inclinazione di  $8^\circ$ ), al fine di consentire la possibilità di installare pannelli in cartongesso al di sotto di essi per nascondere il consolidamento che si andrà a porre in opera di modo da preservare l'aspetto estetico dell'edificio e gli impatti visivi che tali consolidamenti possono produrre.

La modifica dell'angolo di inclinazione dei saettoni, essendo essi sollecitati a compressione (puntoni), ha comportato il ricalcolo dello sforzo normale agente su di essi:

**Calcolo sforzo normale agente su un singolo saettone della trave di consolidamento ed irrigidimento stativo con angolo di incidenza di  $27^\circ$**



SLU - Taglio [N]

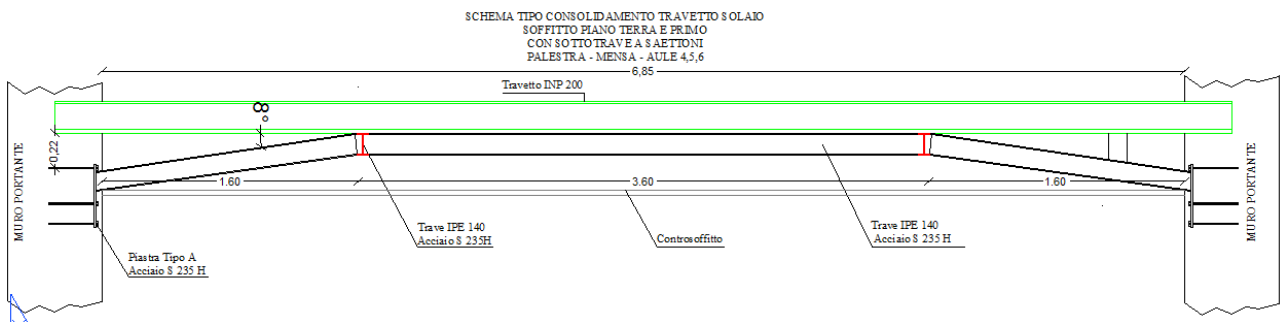


$$V_{d\ MAX} = 16,25\ KN + 13,29\ KN = 29,54\ KN$$

*Calcolo Valore dello sforzo normale di compressione agente su un singolo saettone inclinato di 27°*

$$N_{d\ MAX} = 29,54\ KN \cdot \sin(27^\circ) = 13,41\ KN$$

*Calcolo sforzo normale agente su un singolo saettone della trave di consolidamento ed irrigidimento stativo con angolo di incidenza di 8°*



$$N_{d\ MAX} = 29,54\ KN \cdot \sin(8^\circ) = 4,11\ KN < 13,41\ KN$$

Come si può notare passare da un angolo di incidenza dei saettoni da 27° a 8° va a favore di sicurezza in quanto si ha una riduzione dello sforzo normale agente su di essi.

***8- Oggetto della precedente richiesta di autorizzazione sismica in variante a quella rilasciata dal Genio Civile di Roma in data 14.07.2015 Posizione n° 32062/C Protocollo n°2015-0000351037 e della variante approvata in data 17.11.2015 prot. n° 2015-0000622102 posizione n° 32062/C/V***

La richiesta del rilascio di una nuova autorizzazione sismica, in variante a quella rilasciata in data 17.11.2015 Posizione n° 32062/C/V redatta in variante al Progetto inizialmente autorizzato in data 14.07.2015 Pos. N° 320627C Protocollo n° 2015-0000351037 riguarda la sostituzione dei profilati metallici Scatolari Dimensione 120 x 80 x 5 mm con travi IPE 140.

Tali nuovi profilati dovranno essere messi in opera come travi di consolidamento e travi rompi tratta dei travetti in ferro costituenti il solai di calpestio delle aule e dei corridoi della scuola elementare.

Le travi IPE 140 avranno un angolo di inclinazione dei saettoni pari ha 8° (Cosi come già previsto tra l'altro nella variante autorizzata in data 17.11.2015 Posizione n° 32062/V) , ed andranno a sostituire gli scatolari dim. 120 x 80 x 5 mm ,previsti per il consolidamento delle aule del piano terra e primo;

Al di sotto degli stessi verranno posti dei pannelli in cartongesso per nascondere il consolidamento che si andrà a porre in opera di modo da preservare l'aspetto estetico dell' edificio e gli impatti visivi che tali consolidamenti possono produrre.

Poiché la modifica oggetto di variante riguarda solamente la tipologia di profilato da porre in opera, e considerato che l'unico fattore che viene modificato è il peso degli stessi al metro lineare,in quanto gli angoli di inclinazione rimangono come suddetto identici a quanto già autorizzato con la variante del 17.11.2015 Posizione n° 32062/C/V, poiché come si evince di seguito la variazione dei pesi nel passaggio da un profilato all' altro è da ritenersi praticamente trascurabile ,non si hanno significative variazioni degli stati tensionali di compressione agenti sui saettoni rispetto a quelli già calcolati nella variante del 17.11.2015 Posizione n° 32062/C/V.

Peso profilato Scatole 120 x 80 x 5 mm = 14.40 Kg/mt

Peso profilato IPE 140 = 12.90 Kg/mt

**9- Oggetto della presente richiesta di autorizzazione sismica in variante a quella rilasciata dal Genio Civile di Roma in data 06.06.2016 Posizione n° 32062/C/VV Protocollo n°2017-0000283837**

La richiesta del rilascio di una nuova autorizzazione sismica, in variante a quella ultima rilasciata in data 06.06.2016 Posizione n° 32062/C/V redatta in variante al Progetto inizialmente autorizzato in data 14.07.2015 Pos. N° 320627C Protocollo n° 2015-0000351037 riguarda la sostituzione dei profilati metallici Scatolari Dimensione 80 x 40 x 5 mm con travi IPE 80 .

Tali nuovi profilati dovranno essere messi in opera come travi di consolidamento e travi rompi tratta dei travetti in ferro costituenti il solai di calpestio delle aule e dei corridoi della scuola elementare.

Le travi IPE 80 avranno un angolo di inclinazione dei saettoni pari ha 27° (Cosi come già previsto tra l'altro nella variante autorizzata in data 06.06.2016 Posizione n° 32062/C/VV) , ed andranno a sostituire gli scatolari dim. 80 x 40 x 5 mm ,previsti per il consolidamento dei corridoi del piano terra e primo;

Al di sotto degli stessi verranno posti dei pannelli in cartongesso per nascondere il consolidamento che si andrà a porre in opera di modo da preservare l'aspetto estetico dell' edificio e gli impatti visivi che tali consolidamenti possono produrre.

Poiché la modifica oggetto di variante riguarda solamente la tipologia di profilato da porre in opera, e considerato che l'unico fattore che viene modificato è il peso degli stessi al metro lineare,in quanto gli angoli di inclinazione rimangono come suddetto identici a quanto già autorizzato con la variante del 06.06.2016 Posizione n° 32062/C/VV, poiché come si evince di seguito la variazione dei pesi nel passaggio da un profilato all' altro è da ritenersi praticamente trascurabile ,non si hanno significative variazioni degli stati tensionali di compressione agenti sui saettoni rispetto a quelli già calcolati nella variante del 06.06.2016 Posizione n° 32062/C/VV.

Peso profilato Scatole 80 x 40 x 5 mm = 8.13 Kg/mt

Peso profilato IPE 80 = 6.00 Kg/mt

Il Progettista delle Strutture

Ing. Laurente Funari