

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMA INVESTIMENTI AREA SUD

PROGETTAZIONE:



### S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA ARRICCHITO

### LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO

### SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA

### ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A B H 0 0 F 7 8 C L S L 0 1 0 0 0 0 1 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	PINI GROUP	Ottobre 2022	Romano S. Parmendola	Ottobre 2022	Alfano	Ottobre 2022	F. Sacchi 28 ottobre 2022

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
DIREZIONE TECNICA  
Dott. Ing. Francesco Sacchi  
S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Roma n. 23172 Ser. A

File: IABH00F78CLSL0100001A.docx

n. Elab.:

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA IABH	LOTTO 00	FASE F	TIPO DOC CL	OPERA SL01 00 001	REV A	FOGLIO 2 di 89
-----------------------------------	------------------	-------------	-----------	----------------	----------------------	----------	-------------------

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E COPRIFERRO .....</b>	<b>8</b>
	4.1 MATERIALI .....	8
	4.2 COPRIFERRO .....	10
<b>5</b>	<b>STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....</b>	<b>12</b>
	6.1 SPETTRI DI RISPOSTA .....	12
	6.1.1 Spettri di risposta SLV .....	14
	6.1.2 Spettri di risposta SLD .....	15
<b>7</b>	<b>AZIONI DI PROGETTO .....</b>	<b>16</b>
	7.1 AZIONI PERMANENTI .....	16
	7.2 AZIONI VARIABILI .....	18
	7.3 AZIONI SISMICHE .....	25
<b>8</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>35</b>
	9.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO .....	35
	9.2 VALIDAZIONE DEL MODELLO .....	37
	9.3 RISULTATI DELL'ANALISI .....	38
<b>10</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>47</b>
	10.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE .....	47
	10.2 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: TAGLIO .....	47
	10.3 VERIFICHE DI ESERCIZIO ALLO SLE: TENSIONI D'ESERCIZIO .....	48
	10.4 VERIFICHE DI ESERCIZIO ALLO SLE: FESSURAZIONE .....	48
	10.5 VERIFICA DELLE SEZIONI .....	49
	10.5.1 Soletta superiore .....	49
	10.5.1.1 Verifica flessionale sezione di mezzeria .....	49
	10.5.1.2 Verifica flessionale sezione all'incastro .....	54
	10.5.1.3 Verifica a taglio .....	58
	10.5.2 Piedritti .....	60
	10.5.2.1 Verifica flessionale sezione all'incastro in sommità .....	60
	10.5.2.2 Verifica flessionale sezione di mezzeria .....	64
	10.5.2.3 Verifica flessionale sezione all'incastro alla base .....	68
	10.5.2.4 Verifica a taglio .....	72

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	3 di 89

10.5.3	<i>Soletta inferiore</i> .....	74
10.5.3.1	Verifica flessionale sezione di mezzeria.....	74
10.5.3.2	Verifica flessionale sezione all'incastro .....	77
10.5.3.3	Verifica a taglio.....	81
<b>10.6</b>	<b>STATO LIMITE DI DEFORMABILITÀ (SLE)</b> .....	<b>83</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICA CARICO LIMITE</b> .....	<b>85</b>
<b>12</b>	<b>INCIDENZE</b> .....	<b>88</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>89</b>

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	4 di 89

## 1 **PREMESSA**

L'opera oggetto della presente relazione viene realizzata nel contesto dei lavori di adeguamento alle STI STR/ENE – posizionamento apparecchiature STES in corrispondenza della Galleria Appennino, imboccato lato Potenza. Al fine di accedere al piazzale su cui è collocata l'apparecchiatura tecnica, è necessaria la creazione di una nuova viabilità. Tale viabilità, inquadrata come strada a destinazione particolare, attraversa le ferrovie FAL: è quindi necessario sottopassare la linea ferroviaria mediante la realizzazione di un sottovia scatolare varato a spinta.

La presente relazione di calcolo tratta le verifiche strutturali del sottovia scatolare.

Il dimensionamento e le verifiche sono condotti in accordo al quadro normativo vigente.

Per la descrizione di dettaglio delle opere si fa riferimento all'elaborato di progetto.

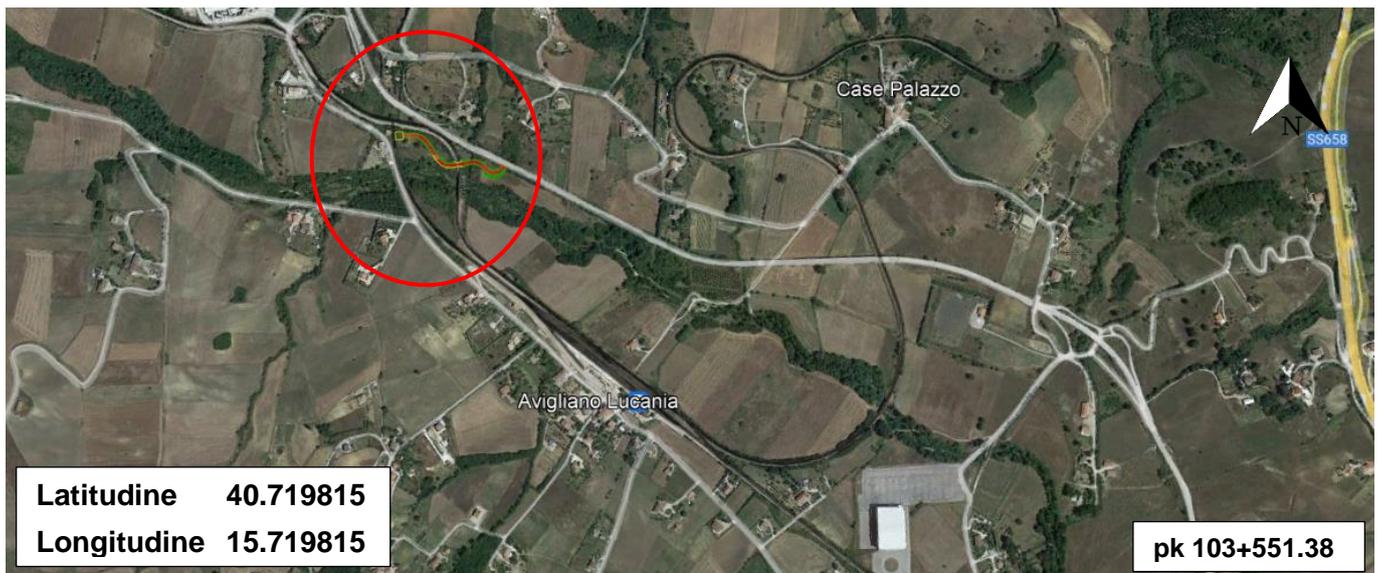


Figura 1-1 - Ubicazione intervento ed opera NV23

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il sottovia oggetto di studio è posto in corrispondenza della strada NV23 in prossimità pk 103+551.38.

Lo scatolare presenta altezza interna pari a 5.75 m e larghezza interna pari a 7.00 m. Lo spessore della soletta superiore e dei piedritti è pari a 0.80 m; lo spessore della soletta di fondazione è pari a 0.90 m.

La struttura viene varata a spinta in seguito alla creazione di un ponte Essen a sostegno dei binari della ferrovia FAL.

L'elaborato riporta le verifiche strutturali e geotecniche.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche geometriche della sezione oggetto di analisi.

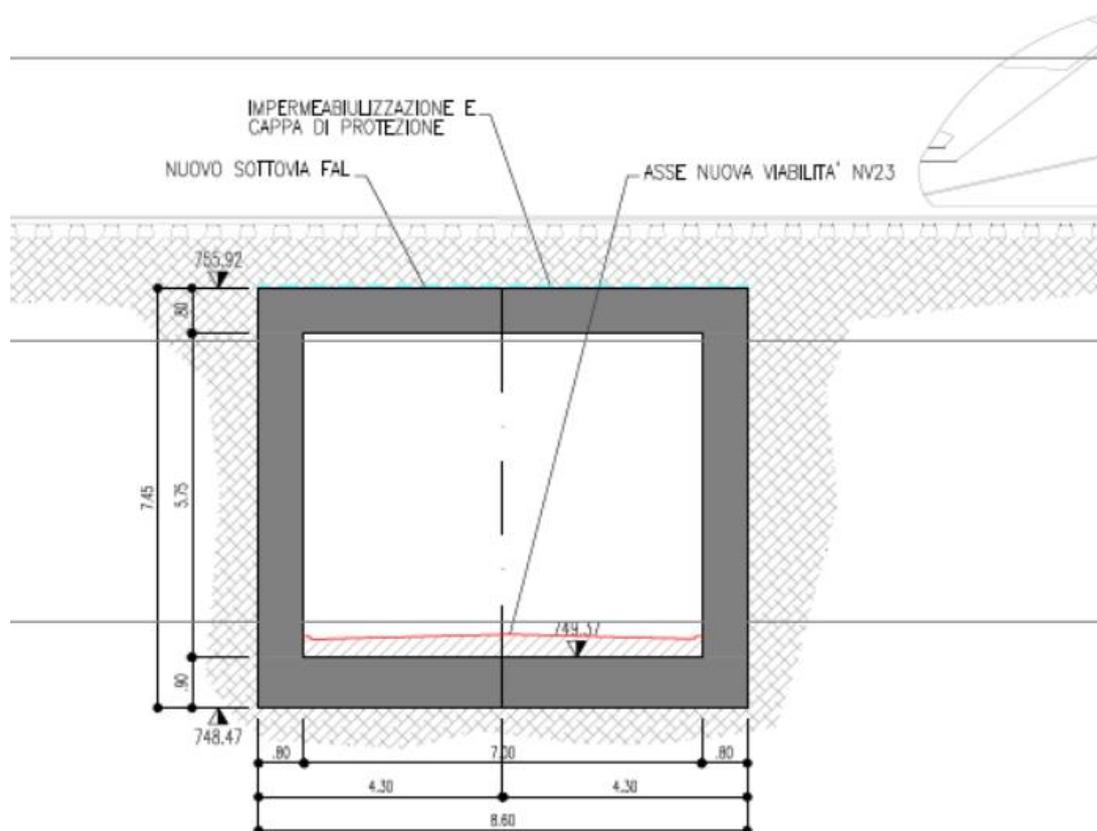


Figura 2-1 –Sezione scatolare

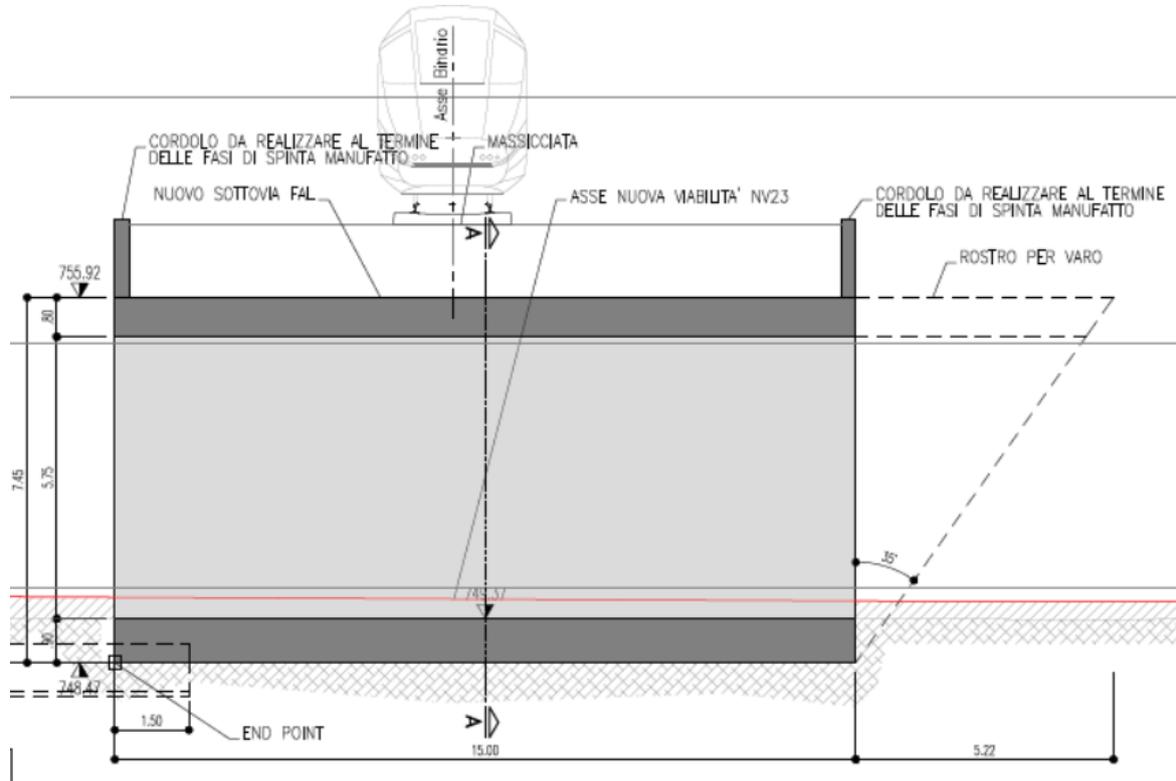


Figura 2-2- Profilo scatolare

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	7 di 89

### 3 **NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

Si riporta l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 17 gennaio 2018 – “Norme Tecniche per le Costruzioni “
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 617 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018
- UNI EN 1992-1-1:2005 – “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.
- UNI EN 1992-2:2006 – “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”
- UNI EN 1998-5:2005 – “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206:2014 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”
- UNI 11104:2004 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”

Si riporta, ora, l'elenco delle norme tecniche, delle circolari e delle istruzioni F.S. delle quali si è tenuto conto.

- RFI DTC SI MA IFS 001 A – Parte I
- RFI DTC SI AG MA IFS 001 A Parte II sezione 1
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 A Parte II sezione 3
- RFI DTC SI GA MA IFS 001 A Parte II sezione 4
- RFI DTC SI CS MA IFS 002 A Parte II sezione 5
- RFI DTC SI CS MA IFS 003 A Parte II sezione 6

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E COPRIFERRO

### 4.1 MATERIALI

- Calcestruzzo solette e piedritti

<b>CALCESTRUZZO</b>	<b>Opere strutturali in c.a.</b>			
Classe di resistenza	C32/40			
$R_{ck}$	40.00	MPa	Resistenza cubica	NTC 2018 - Tab. 4.1.1
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33.2	MPa	Resistenza a compr. cilindrica caratteristica	NTC 2018 - [11.2.1]
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41.2	MPa	Resistenza a compr. cilindrica media	NTC 2018 - [11.2.2]
$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$	3.10	MPa	Resistenza a traz. media	NTC 2018 - [11.2.3a]
$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	MPa	Modulo Elastico	NTC 2018 - [11.2.5]
$\alpha_{cc}$	0.85	-	coeff. riduttivo per carichi di lunga durata	NTC 2018 - [4.1.3]
$\gamma_c$	1.50	-	coeff. parziale di sicurezza	NTC 2018 - [4.1.3]
$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	18.81	MPa	Resistenza di progetto a compressione	NTC 2018 - [4.1.3]

Tabella 4-1- Calcestruzzo

Classe di esposizione fondazione XC3

Classe di esposizione soletta superiore e piedritti XA1

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	9 di 89

- Acciaio

Tutte le armature delle opere in cemento armato saranno realizzate in acciaio ordinario B450C, le cui caratteristiche chimico-meccaniche, nonché tutte le prove di accettazione, devono essere conformi alle pertinenti prescrizioni riportate nelle NTC18. Di seguito si elencano le principali caratteristiche meccaniche del materiale.

- coefficiente di sicurezza  $\gamma_s = 1.15$
- tipo di acciaio: B450C
- tensione di snervamento caratteristica:  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- tensione di rottura caratteristica:  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- tensione di snervamento di progetto:  $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$
- modulo elastico:  $E_s = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

Tipo acciaio	$E_s$ [MPa]	$f_{tk}$ [MPa]	$f_{yk}$ [MPa]	$\gamma_c$	$f_{yd}$ [MPa]
B450C	200000	540	450	1.15	391.3

Tabella 4-2 - Acciaio

## 4.2 COPRIFERRO

Con riferimento a quanto riportato nel Manuale di progettazione RFI 2019 §2.5.2.2.3.2:

*“Per copriferro delle armature si intende la distanza tra la superficie esterna dell’armatura, inclusi collegamenti e staffe, e la superficie di calcestruzzo più vicina”.*

Per la definizione del copriferro minimo da adottare per i diversi elementi strutturali si è, dunque, fatto riferimento alla Tabella 2.5.2.2.3.2.- 1 di seguito riportata.

Elemento strutturale	Copriferro minimo
Pali (di paratie o opere di sostegno), diaframmi e relativi cordoli di collegamento gettati in opera	60mm
Pali/diaframmi di fondazione gettati in opera	60mm
Pali di fondazione prefabbricati	60mm
Solettoni di fondazione, fondazioni armate	40mm
Fondazioni non armate (pozzi, sottoplinti, ecc.)	40mm
Cunette canalette e cordoli	40mm
Opere in elevazione in viste (pile, spalle, pulvini, baggioli)	40mm
Opere in elevazione con superfici interrate o non ispezionabili	40mm

Tabella 4-3 - Copriferro minimo – Stralcio MdP 2017 Tab. 2.5.2.2.3.2-1

Tenuto di quanto sopra, si sono fissati per le strutture in oggetto i seguenti copriferri:

	Var.	Valore	U.M.
Soletta	$c_{min}$	5.00	cm
Piedritti	$c_{min}$	5.00	cm
Fondazione	$c_{min}$	5.00	cm

Tabella 4-4 - Copriferro

## 5 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Per l'opera in esame sono stati assunti nel calcolo i seguenti parametri geotecnici del terreno:

Strato	Profondità tetto strato	$\gamma_n$	$\varphi'$	$c'$	$C_u$	OCR	Eop (fondazioni)	Eop (opera di sostegno)	Cc	Cs	K
	[m da p.c.]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[m/s]
1	0,5	19	25	5	70	2	11	22	0.087	0.056	2.4E-7
2	5,8	21	26	7	140	1	27	54	-	-	2.4E-7
3	10,3	23	24	18	200	1	46	91	-	-	1E-9

z\* = profondità dal tetto dello strato

Tabella 5-1 - Parametri geotecnici

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	12 di 89

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono adottati i seguenti parametri per la definizione dell'azione sismica:

- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso  $CU = 1$
- Vita nominale  $VN = 50$  anni
- Categoria di suolo: C
- Categoria topografica: T1
- Fattore di struttura  $q = 1$

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

### 6.1 SPETTRI DI RISPOSTA

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

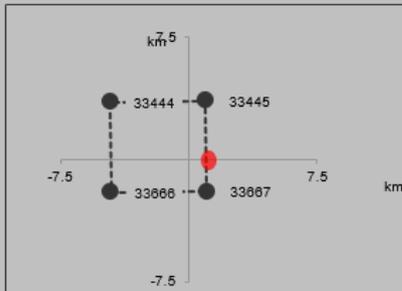
---

Elaborazioni

Tabella parametri

---

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$   info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>
SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

Stati limite ultimi - SLU

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **C** info  $S_S = 1.427$   $C_C = 1.407$  info

Categoria topografica **T1** info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%)   $\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$   Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore  $q$    $\eta = 0.667$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Stato Limite	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)	$S_S$ (-)	$C_C$ (g)	$S_T$ (-)
SLD	0.072	2.335	0.313	1.500	1.527	1.00
SLV	0.203	2.448	0.363	1.427	1.407	1.00

Tabella 6-1 - Parametri sismici sito in esame

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	14 di 89

### 6.1.1 Spettri di risposta SLV

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

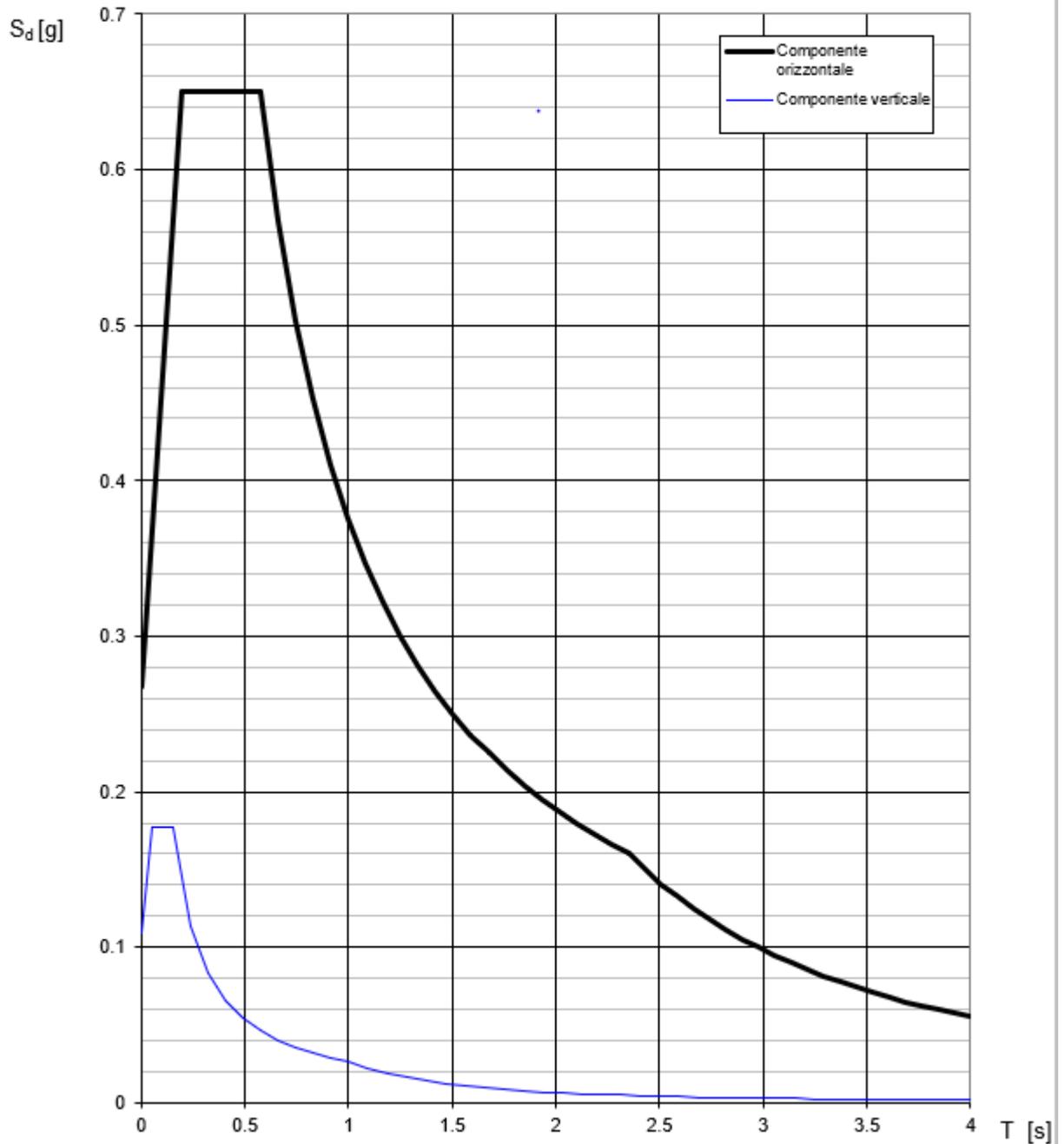


Figura 6-1 - Spettro di risposta SLV

### 6.1.2 Spettri di risposta SLD

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

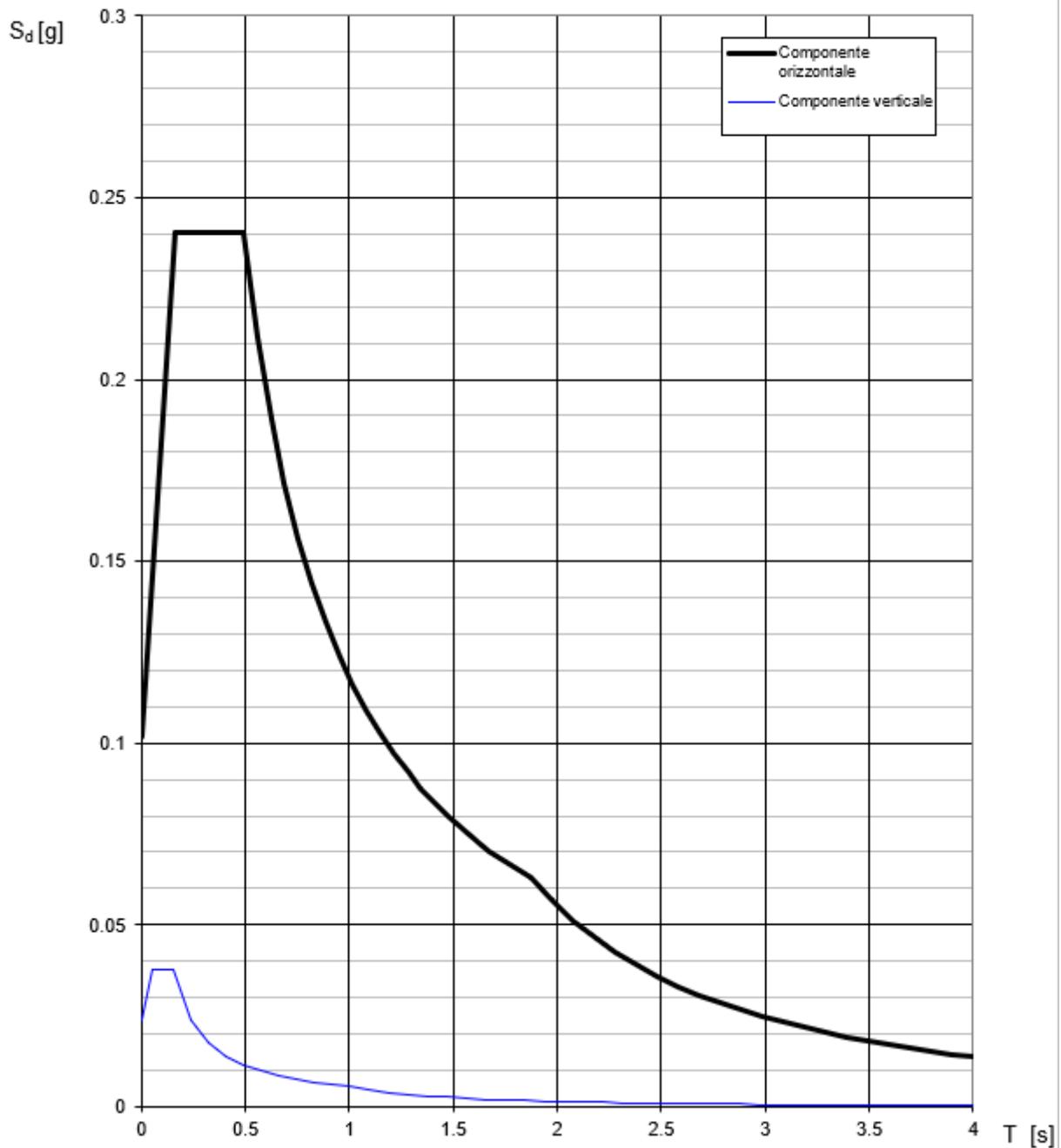


Figura 6-2 - Spettro di risposta SLD

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA IABH	LOTTO 00	FASE F	TIPO DOC CL	OPERA SL01 00 001	REV A	FOGLIO 16 di 89
-----------------------------------	------------------	-------------	-----------	----------------	----------------------	----------	--------------------

## 7 AZIONI DI PROGETTO

Di seguito viene presentato l'elenco delle azioni considerate e degli approcci progettuali adottati, in accordo alle disposizioni del DM 17.01.2018.

### 7.1 AZIONI PERMANENTI

I carichi permanenti agenti sull'opera sono dati dal peso proprio degli elementi strutturali che la compongono, dalla spinta del terreno laterale, dal peso del ballast e dal peso del pacchetto stradale presente all'interno dello scatolare.

- **Peso proprio**

Il peso proprio degli elementi strutturali è stato assunto pari a 25 kN/m<sup>3</sup> ed è stato calcolato automaticamente dal software.

- **Spinta del terreno**

Per il calcolo della spinta sui piedritti data dal terreno è stata considerata la spinta a riposo.

Si riportano le caratteristiche del terreno:

Peso specifico  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito  $\varphi' = 26^\circ$

Coefficiente di spinta a riposo  $k_0 = 1 - \text{sen } \varphi' = 0.56$

Altezza ricoprimento  $H = 7.90 \text{ m}$

La spinta del terreno sui piedritti ha il seguente andamento:

$$q_{\text{terreno}} = \gamma \times k_0 \times z$$

dove  $z$  rappresenta la profondità del punto considerato.

Nel caso in oggetto si ha:

$$q_1 = 15.33 \text{ kPa}$$

$$q_2 = 93.17 \text{ kPa}$$



Figura 7-1 - Andamento pressione terreno

- **Ballast**

Il ballast ferroviario è collocato al di sopra dell'estradosso della soletta superiore.

Il suo peso specifico è pari a  $18 \text{ kN/m}^3$ ; l'altezza dello strato di ballast è stata considerata, a favore di sicurezza, pari a 0.95 metri (altezza massima).

- **Pacchetto stradale**

Lo scatolare al suo interno ospita la strada a destinazione particolare che permette l'accesso al piazzale NV23 sottopassando le ferrovie FAL.

Lo spessore del pacchetto stradale è stato considerato pari a 0.37 m e il peso specifico del terreno pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ .

$$q_{\text{pacchetto stradale}} = 20 \text{ kN/m}^3 \times 0.37 \text{ m} = 7.4 \text{ kN/m}^2$$

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	18 di 89

## 7.2 AZIONI VARIABILI

Sono stati considerati i seguenti carichi variabili:

- **Carico ferroviario**

I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale e pesante.

Inoltre, sono stati utilizzati dei coefficienti moltiplicativi per tenere in conto degli effetti dinamici prodotti dal transito del convoglio ferroviario. Nel seguito vengono espressi i modelli di carico per il calcolo delle azioni verticali e orizzontali prodotte dal treno, oltre che il calcolo dei coefficienti dinamici. Infine, i valori utilizzati vengono riepilogati in forma tabellare per i due differenti modelli di carico (LM71 e SW/2).

### Modello di carico LM71

Questo modello rappresenta gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale, esso è costituito da quattro assi da 250 kN disposti a interasse 1.60 m e un carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0.8 m dagli assi di estremità, come mostrato in Figura 7-2.

Il valore del coefficiente di adattamento  $\alpha$  da adottare per questo modello è pari a 1.1.

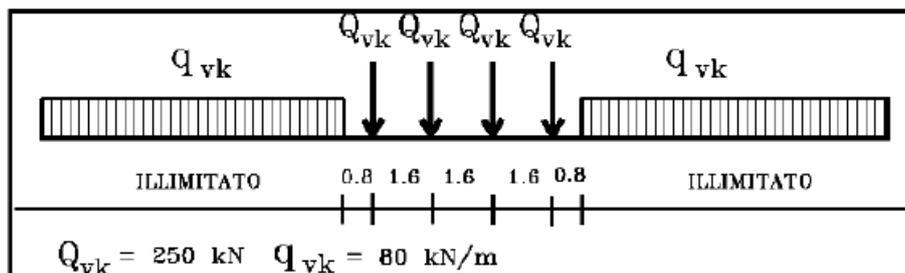


Figura 7-2 - Carico LM71

## Modello di carico SW/2

Il modello di carico SW/2 schematizza gli effetti statici prodotti dal carico ferroviario pesante.

Esso è costituito da due zone caricate con  $q_{vk} = 150$  kN/m per una lunghezza di  $a = 25$  m, separate da un tratto  $c = 7$  m, come mostrato in Figura 7-3.

Il valore del coefficiente di adattamento  $\alpha$  da adottare per questo modello è pari a 1.0.

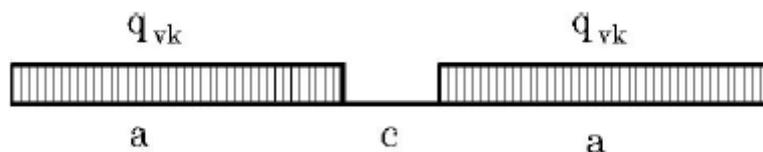


Figura 7-3 - Carico SW/2

## Effetti dinamici

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture del ponte dall'applicazione statica dei modelli di carico debbono essere incrementati per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Il coefficiente di incremento dinamico  $\Phi$  che aumenta l'intensità del modello è stato assunto pari a quello per linee con elevato standard manutentivo.

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.82 \text{ con } 1.00 < \Phi_2 < 1.67 \text{ [5.2.6]}$$

$L_\Phi$  è stato assunto pari a 3 volte la luce dello scatolare, come espresso nella Tabella 5.2.II delle NTC18.

I carichi del treno, sono da diffondere trasversalmente per tenere in conto della presenza del ballast.

La larghezza della traversa è pari a 2.40 m e l'altezza del ballast è di 0.85 m. Si considera una diffusione di 4:1 a partire dal piano del ballast fino alla soletta e una diffusione di 45° dall'estradosso della soletta fino al suo asse, come espresso al Paragrafo 5.2.2.2.1.4 delle NTC18. Pertanto, la larghezza di diffusione risulta essere di 4.18 m.

In tabella si riportano i valori dei modelli di carico dei treni, amplificati per i coefficienti  $\alpha$  e  $\Phi$  e distribuiti su una larghezza di 4.18 m.

	LM71	SW/2
$\alpha$ [-]	1.1	1.0
$L_{\phi}$ [m]	25.80	25.80
$\Phi$ [-]	1.12	1.12
$q_{\text{zona assi}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	46.3	-
$q_{\text{costante}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	23.7	40.4

Tabella 7-1 – Carichi ferroviari

### Azioni di avviamento e frenatura

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario  $L$  determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato.

I valori caratteristici da considerare sono i seguenti:

Avviamento:  $Q_{la,k} = 33 \text{ [kN/m]} \cdot L \text{ [m]}$  per modelli LM71 e SW/2

Frenatura:  $Q_{lb,k} = 20 \text{ [kN/m]} \cdot L \text{ [m]}$  per modelli LM71

$Q_{lb,k} = 35 \text{ [kN/m]} \cdot L \text{ [m]}$  per modelli SW/2

I valori da applicare al modello risulta da distribuire sulla larghezza di 4.18 m e da moltiplicare per il coefficiente  $\alpha$ , dunque risulta:

Avviamento: LM71 = 8.7 kN/m<sup>2</sup>

SW/2 = 7.9 kN/m<sup>2</sup>

Frenatura: LM71 = 4.6 kN/m<sup>2</sup>

SW/2 = 11.7 kN/m<sup>2</sup>

### Distribuzione dei carichi verticali per i rilevati a tergo delle spalle

Il carico verticale sul rilevato a tergo della spalla è assunto uniformemente distribuito su una larghezza di 3 m. Inoltre non è stato applicato alcun incremento dinamico. Per il calcolo del sovraccarico sui piedritti dato dal carico del treno è stato assunto il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$ .

Si riportano i valori calcolati:

LM71 concentrato: 26.0 kN/m<sup>2</sup>

LM71 distribuito: 13.3 kN/m<sup>2</sup>

SW/2: 22.7 kN/m<sup>2</sup>

- Carico da traffico stradale

I carichi verticali da traffico sono considerati in accordo con il Paragrafo 5.1.3.3 delle NTC18.

Poiché la larghezza della superficie carrabile è pari a 7 m, sono state considerate per il calcolo due corsie convenzionali di larghezza pari a 3 m ciascuna. Si è considerato lo schema di Carico 1, il quale considera carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0.40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Fig. 7-4.

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40$ m	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0$ m	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

Tabella 7-2 - Corsie di calcolo

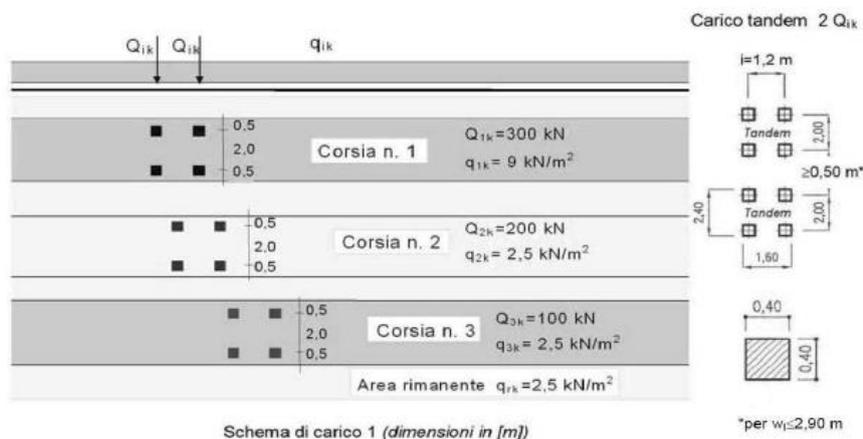


Figura 7-4 - Schema di carico 1

Sono stati dunque considerati i seguenti carichi:

Carichi da traffico		
	Q [kN]	q [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia 1	600.00	9.00
Corsia 2	400.00	2.50
Area Rimanente	-	2.50

Tabella 7-3 - Carichi stradali

I carichi concentrati sono stati diffusi con un angolo pari a 30° all'interno del pacchetto stradale e con un angolo di 45° fino all'asse della soletta, come mostrato in Figura 7-5.

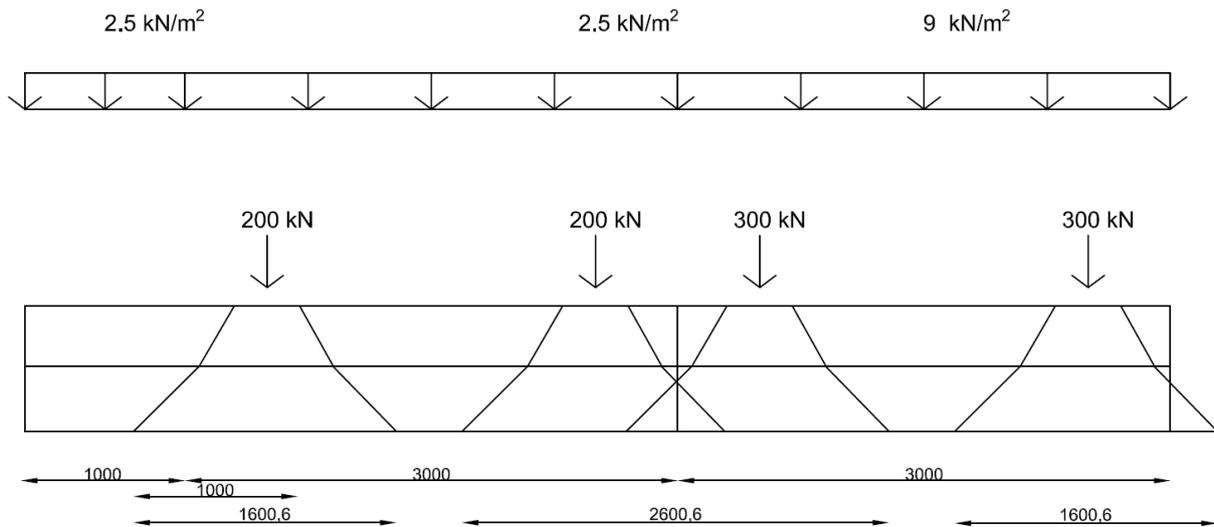


Figura 7-5 - Diffusione carichi stradali

- **Temperatura**

Il Manuale di Progettazione RFI al Paragrafo 2.5.1.4.4 indica, facendo riferimento alle NTC18, di considerare per la variazione termica uniforme di opere in ca una variazione di temperatura pari a  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ . La variazione di temperatura uniforme è da applicarsi sull'intero scatolare.

Per quanto riguarda invece la variazione termica non uniforme, è necessario considerare un gradiente di temperatura di  $5^{\circ}\text{C}$  tra estradosso ed intradosso della soletta. Il gradiente termico è da applicarsi sulla sola soletta superiore.

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	23 di 89

- **Ritiro**

Viene considerato il ritiro differenziato fra la soletta di fondazione, che viene coperta per cui ha una stagionatura più lenta, ed i piedritti e la soletta, che invece sono esposti all'ambiente.

L'ambiente di maturazione del calcestruzzo è un ambiente con umidità medio-alta pari al 70% e un'altezza equivalente pari a:

- Piedritti e soletta superiore  
 $A_c = 2 \times 0.8 \times 5.75 + 0.8 \times 8.6 = 16.1 \text{ m}^2$   
 $u = 2 \times 5.75 \times + 7 = 18.5 \text{ m}$   
 $h_0 = 2 \times A_c / u = 1.7 \text{ m}$
- Soletta inferiore  
 $A_c = 8.6 \times 0.9 = 7.7 \text{ m}^2$   
 $u = 7 \text{ m}$   
 $h_0 = 2 \times A_c / u = 2.2 \text{ m}$

quindi, con  $h_0 > 500 \text{ mm}$  si ha:

- Piedritti e soletta superiore  
 $k_h = 0.7$   
 $\epsilon_{c0} = -0.344 \text{ ‰}$
- Soletta inferiore  
 $k_h = 0.7$   
 $\epsilon_{c0} = -0.374 \text{ ‰}$

A tempo infinito quindi il ritiro da essiccamento è valutabile in:

- Piedritti e soletta superiore  
 $\epsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \epsilon_{c0} = 0.7 \cdot (-0.344) \cdot 10^{-3} = -0.000241$
- Soletta inferiore  
 $\epsilon_{cd,\infty} = 0$

Mentre il ritiro autogeno è stimabile in:

- Piedritti e soletta superiore  
 $\epsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -0.000055$
- Soletta inferiore  
 $\epsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -0.000038$

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	24 di 89

Il ritiro complessivo è quindi pari a:

- Piedritti e soletta superiore  
 $\epsilon_{CS} = \epsilon_{cd,\infty} + \epsilon_{ca,\infty} = - 0.000296$
- Soletta inferiore  
 $\epsilon_{CS} = \epsilon_{cd,\infty} + \epsilon_{ca,\infty} = - 0.000038$

La differenza tra il ritiro nella soletta superiore e piedritti e soletta inferiore vale:

$$\Delta \epsilon_{CS} = \epsilon_{CS,piedritti} - \epsilon_{CS,fondazione} = - 0.000258$$

Il coefficiente di viscosità a 7 giorni vale:

$$\Phi (\infty, t_0 = 7gg) = 2.3$$

Il modulo elastico  $E_\Phi = E / \Phi$  vale:

- Piedritti e soletta superiore  
 $E_\Phi = 14498 \text{ MPa}$
- Soletta inferiore  
 $E_\Phi = 13685 \text{ MPa}$

Le sollecitazioni di coazione che nascono valgono:

- Piedritti e soletta superiore  
 $N_{rit} = A \cdot E_\Phi \cdot \epsilon = 0.8 \cdot 14498 \cdot (- 0.000296) = -3431 \text{ N}$
- Soletta inferiore  
 $N_{rit} = A \cdot E_\Phi \cdot \epsilon = 0.8 \cdot 13685 \cdot (- 0.000038) = - 411 \text{ N}$

Ai fini dell'applicazione del carico nel modello, è stata sfruttata l'analogia con il carico termico equivalente, tramite l'equazione:

$$N_{temp} = N_{rit}$$

$$\Delta T \cdot \alpha_T \cdot E \cdot A = A \cdot \epsilon \cdot E / \Phi$$

$$\Delta T = -11.2^\circ \text{ C}$$

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	25 di 89

### 7.3 AZIONI SISMICHE

La vita nominale è pari a  $V_N = 50$  anni (Tab. 2.4.I delle NTC 2018). Alla classe d'uso II si associa un coefficiente d'uso  $C_u = 1$  (Tab. 2.4.II delle NTC 2018).

Di conseguenza, il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica  $V_R$  si assume pari a:

$$V_R = V_N \times C_u = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica,  $P_{VR}$ , si determina il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma di progetto.

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = 1898 \text{ anni}$$

I valori di riferimento dei parametri  $a_g$  (g),  $F_0$  e  $T^*_c$  (s) sono stati calcolati al Paragrafo 6.1.

Il coefficiente sismico orizzontale  $k_h$  è pari a (NTC 2018 par. 7.11.6.2.1):

$$k_h = \beta_m \times a_{max} = 1 \times 0.203 \text{ g} = 0.203 \text{ g}$$

dove:

$\beta_m$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, che tiene conto della capacità dell'opera di subire spostamenti permanenti senza subire cadute di resistenza; conservativamente si è posto  $\beta_m=1$ .

- Forze inerziali

Assumendo che le masse interessate dall'azione sismica siano quelle del peso proprio della struttura, sono state ricavate le azioni inerziali orizzontali agenti sulle strutture per effetto del sisma atteso in sito.

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo pseudo-statico, in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k_h$ . La forza sismica orizzontale è pertanto la seguente:

$$\text{Forza sismica orizzontale } F_h = k_h \cdot W = 120.89 \text{ kN/m}$$

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	26 di 89

- Incremento di spinta sismico dei terreni

L'incremento di spinta sismico dei terreni è stato calcolato, a partire dal valore di  $k_h$  prima determinato, in base al metodo di Wood. In tale ipotesi l'incremento di spinta ha un andamento costante con la profondità, il cui valore risultante è dato dalla somma tra il contributo del terreno adiacente e il contributo del terreno di ricoprimento:

$$\Delta S_E = k_h \times \gamma \times H^2 + k_h \times q \times h = 0.203 \times 21 \times 8.08^2 + 0.203 \times 18 \times 0.85 = 304.9 \text{ kN/m}$$

L'incremento di spinta orizzontale esercitato dal terreno è stato quindi schematizzato mediante un carico orizzontale uniforme sull'intera altezza del piedritto pari a:

$$\Delta S_E = 304.9 / 7.13 = 42.8 \text{ kN/m}^2$$

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	27 di 89

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico da considerare per i diversi stati limite sono definite al par. 2.5.3 delle NTC 2018.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

dove:

*G*: azioni permanenti da peso proprio delle strutture, incluso il peso del terreno e le azioni da esso derivanti, quali le spinte ( $G_1$ ); azioni permanenti da peso proprio di elementi non strutturali ( $G_2$ ); ritiro; spostamenti e deformazioni impresse; presollecitazione ( $P$ );

*Q*: azioni variabili: sovraccarichi, inclusa la neve; azioni del vento; azioni della temperatura;

*A*: azioni eccezionali;

*E*: azioni sismiche;

$\gamma_G, \gamma_Q$ : coefficienti parziali per le azioni;

$\psi$ : coefficienti di combinazione.

Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combi- nazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$g^1_1$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(3)</sup>	0,0
	$g^1_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(3)</sup>	-
	$g^1_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(3)</sup>	0,0
	$g^1_4$	1,00	1,00 <sup>(3)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

 Tab. 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

	Azioni	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>(3)</sup>	-	-
	Centrifuga	<sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>	<sup>(2)</sup>	<sup>(2)</sup>
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0

Tabella 8-1- Coefficienti di combinazione













RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	35 di 89

## 9 MODELLO DI CALCOLO

Al fine di determinare le sollecitazioni agenti sulla struttura si è fatto ricorso ad un modello agli elementi finiti con il codice di calcolo:

MIDAS Gen 2022 v.2.1

Produttore: MIDAS IT Co., Ltd

Si sono eseguite analisi elastiche statiche lineari per quanto concerne i carichi agenti sulla struttura e pseudo-statiche per valutare l'azione sismica.

### 9.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello FEM del sottovia scatolare è un modello 2D realizzato con elemento "beam" di larghezza unitaria.

La soletta superiore ed i piedritti hanno spessore pari a 0.80 m e la soletta inferiore ha spessore pari a 0.90 m. La soletta inferiore è realizzata su un letto di molle alla Winkler, al fine di rappresentare l'interazione terreno-struttura.

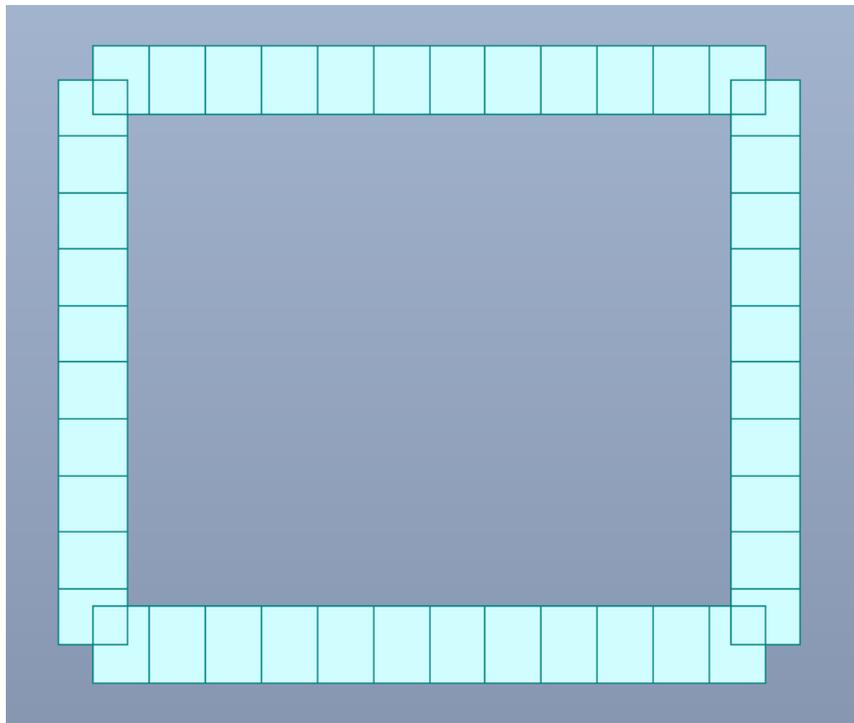


Figura 9-1 - Modello FEM

Il terreno è dunque stato simulato mediante l'impiego di molle verticali del tipo "Compression only".

Per il calcolo della costante di rigidezza  $k_v$  è stata utilizzata la formulazione di Bowles:

$$k_v = \frac{E_t}{B(1 - \nu^2)c_t}$$

con:

B larghezza della fondazione

L lunghezza complessiva della fondazione

$\nu$  e  $E_t$  sono il coefficiente di Poisson ed il modulo elastico del terreno

$c_t$  è il coefficiente di forma della fondazione ottenuto attraverso la seguente formulazione:

$$c_t = 0.853 + 0.534 \cdot \ln\left(\frac{L}{B}\right)$$

valida per  $L/B < 10$ .

Inoltre, sono state inserite delle molle anche in direzione orizzontale di rigidezza pari alla metà di quella verticale.

Poiché anche a tergo dei piedritti è presente il terreno, sono state inserite delle molle del tipo "Compression only" su di essi, secondo la seguente formulazione:

$$k = \frac{E_t}{B(1 - \nu^2)}$$

In tabella si riporta il valore delle rigidezze impiegate.

L	15	m
B	8.6	m
L/B	1.74	-
E	27000	kPa
$\nu$	0.35	-
$c_t$	1.15	-
$k_{v \text{ fond}}$	3110.99	kN/m <sup>3</sup>
$k_{h \text{ fond}}$	1555.49	kN/m <sup>3</sup>
$k_s \text{ piedritti}$	3577.82	kN/m <sup>3</sup>

Tabella 9-1 - Molle di Winkler

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	37 di 89

## 9.2 VALIDAZIONE DEL MODELLO

Al fine di valutare la correttezza del modello sviluppato, è stato svolto un controllo sulle reazioni vincolari dei casi di carico più significativi. Poiché la differenza percentuale tra il calcolo effettuato a mano e quello del modello è inferiore o uguale al 5%, si può ritenere affidabile il modello.

Carico	Reale [kN]	Modello [kN]	$\Delta$	CHECK
Peso proprio	595.50	595.50	0%	ok
Ballast	140.40	140.40	0%	ok
Pacchetto stradale	57.72	57.72	0%	ok
Spinta terreno N	428.58	428.58	0%	ok
Spinta terreno S	-428.58	-428.58	0%	ok
Traffico Tandem	2000.00	1999.96	0%	ok
Traffico distribuito	39.00	39.00	0%	ok
LM71 ass	329.50	329.5	0%	ok
LM71 cost	184.86	184.86	0%	ok
SW/2	315.12	315.12	0%	ok

Tabella 9-2 - Reazioni alla base

Un ulteriore controllo è stato effettuato attraverso la valutazione del momento nella sezione di estremità e in mezzera della soletta superiore. Il calcolo a mano è stato effettuato utilizzando sia il modello di trave in semplice appoggio che il modello di trave doppiamente incastrata.

In tabella si riportano i risultati. Si noti che  $M_1$  indica il momento nella sezione di incastro e  $M_2$  il momento nella sezione di mezzera.

	appoggio- appoggio	incastro	modello
<b>Peso proprio</b>			
Luce	7.80	7.80	7.80
q	20.00	20.00	20.00
M1	-	101.40	110.50
M2	152.10	50.70	41.80
$\Delta$	152.10	152.10	152.30
<b>Ballast</b>			
Luce	7.80	7.80	7.80
q	18.00	18.00	18.00
M1	-	91.26	52.50
M2	136.89	45.63	84.40
$\Delta$	136.89	136.89	136.90

Tabella 9-3 - Momento flettente

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	38 di 89

Dato che il valore di  $\Delta M$  corrisponde nei diversi modelli di calcolo, si può ritenere il modello FEM validato.

### 9.3 RISULTATI DELL'ANALISI

Vengono riportati i risultati delle sollecitazioni degli elementi strutturali dello scatolare in seguito all'applicazione delle combinazioni di carico riportate al Capitolo 8. Si riporta l'inviluppo delle sollecitazioni per le combinazioni SLU, SLV e SLE.

- SLU

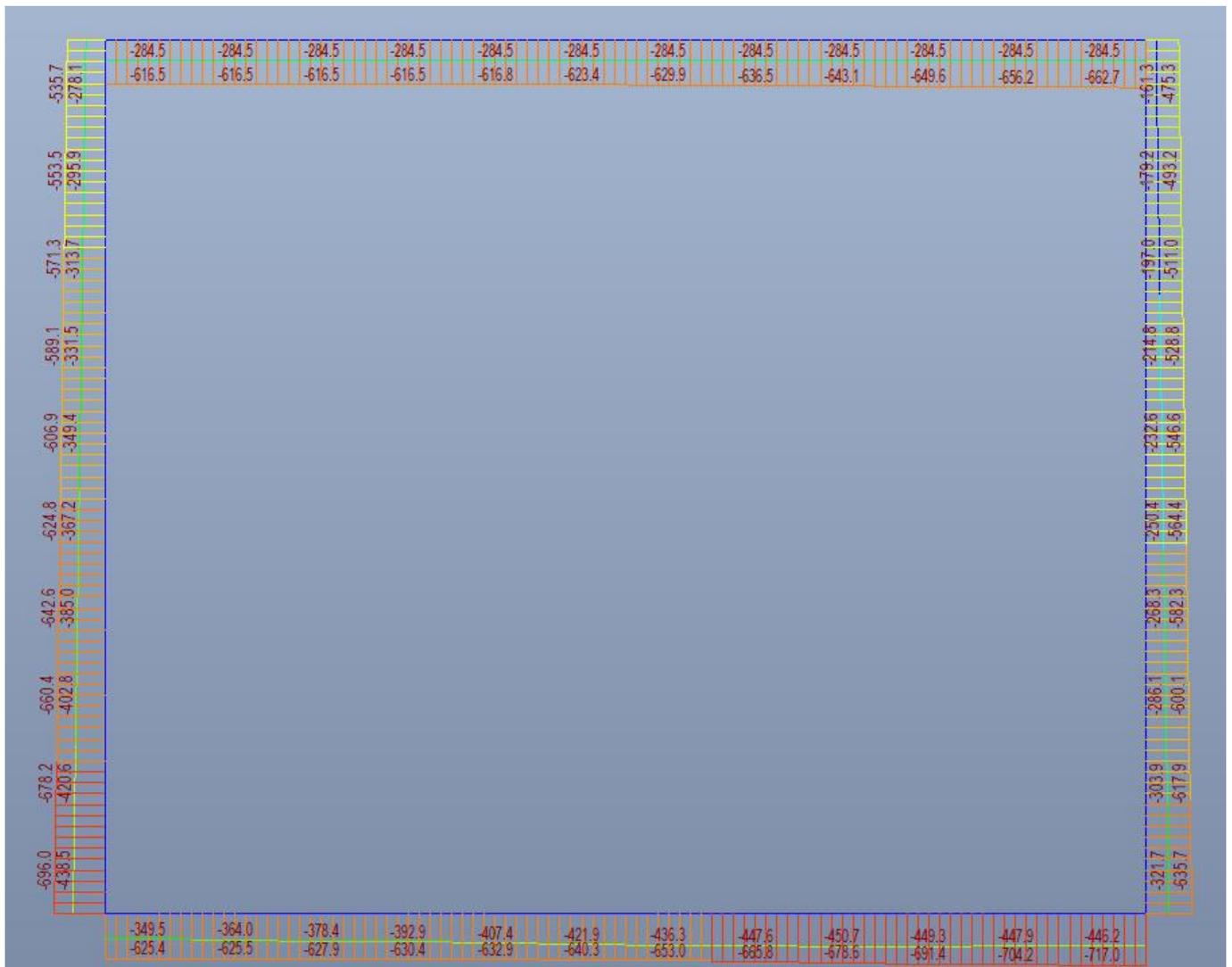


Figura 9-2- Inviluppo SLU Azione assiale



COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	40 di 89

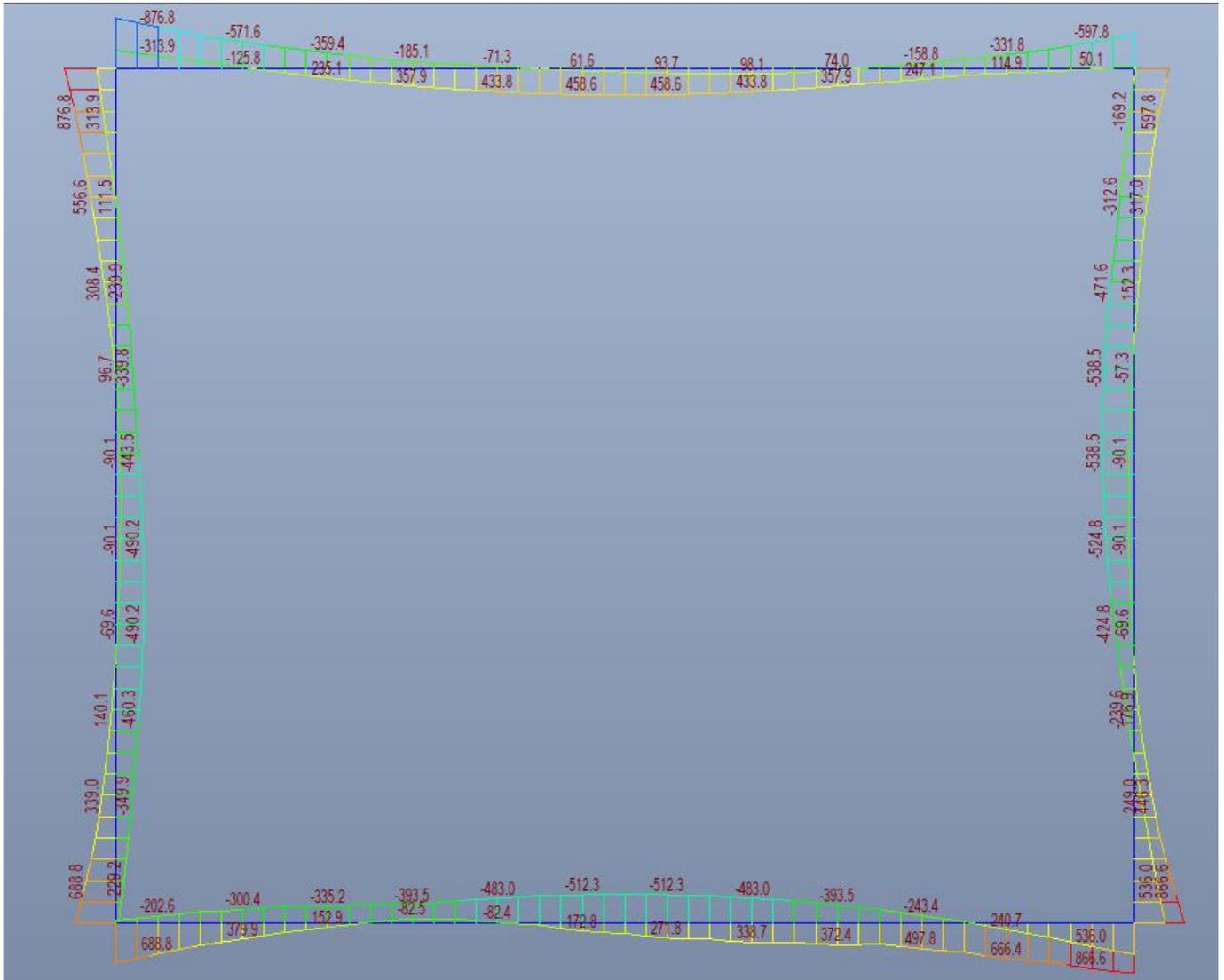


Figura 9-4- Involuppo SLU Momento flettente

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	41 di 89

- SLV

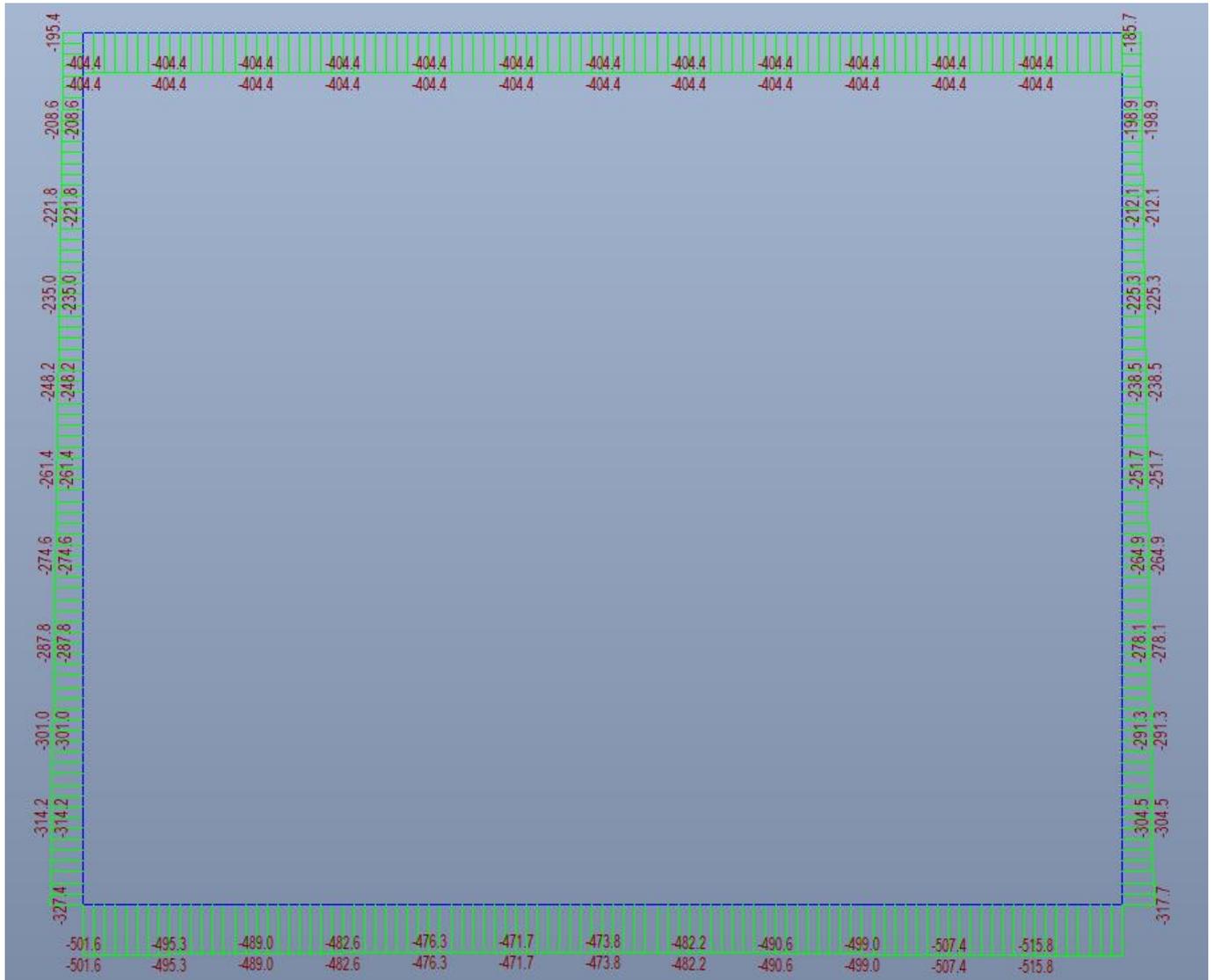


Figura 9-5- Inviluppo SLV Azione assiale

**RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL**

COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	42 di 89

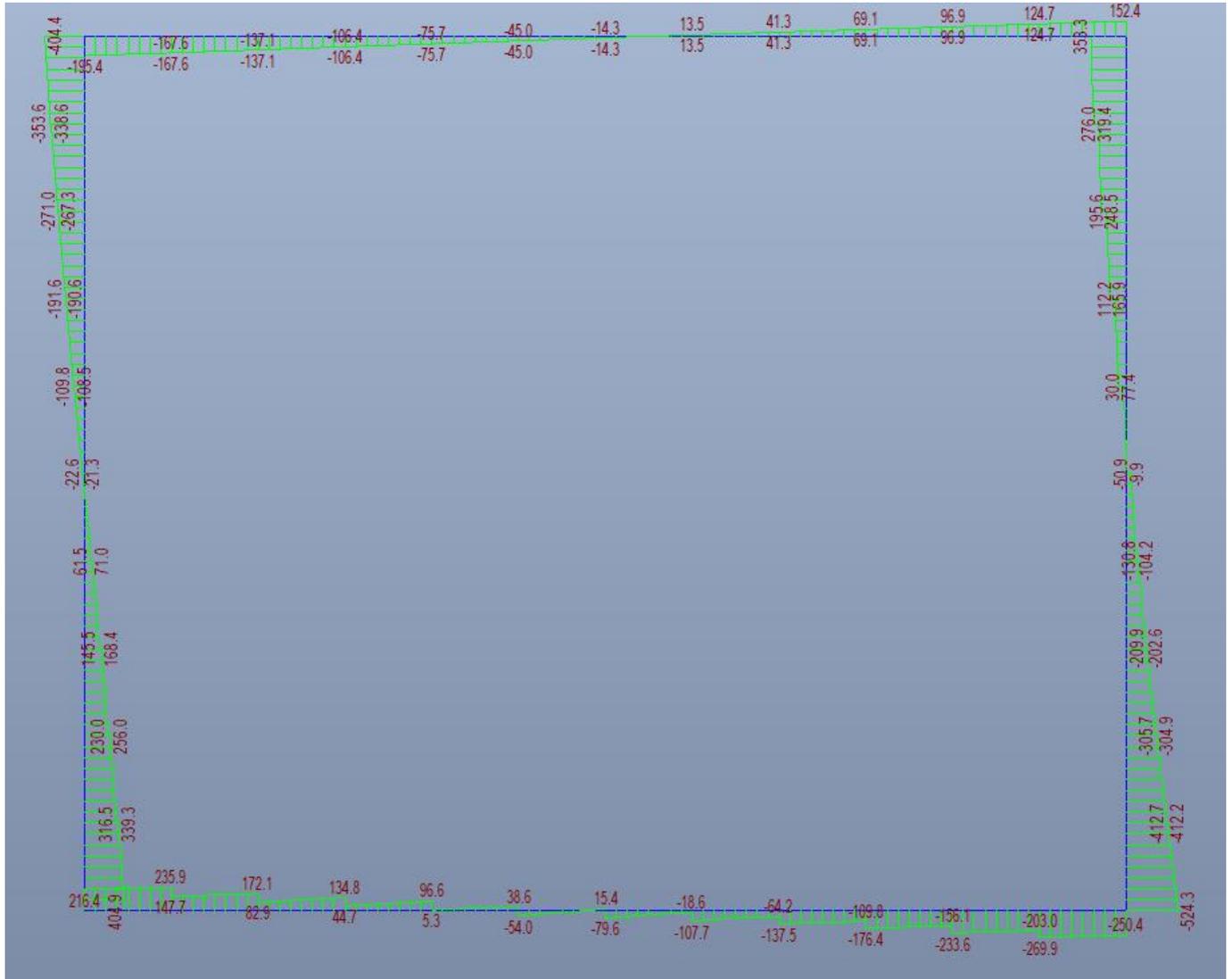


Figura 9-6- Involuppo SLV Taglio

COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	43 di 89

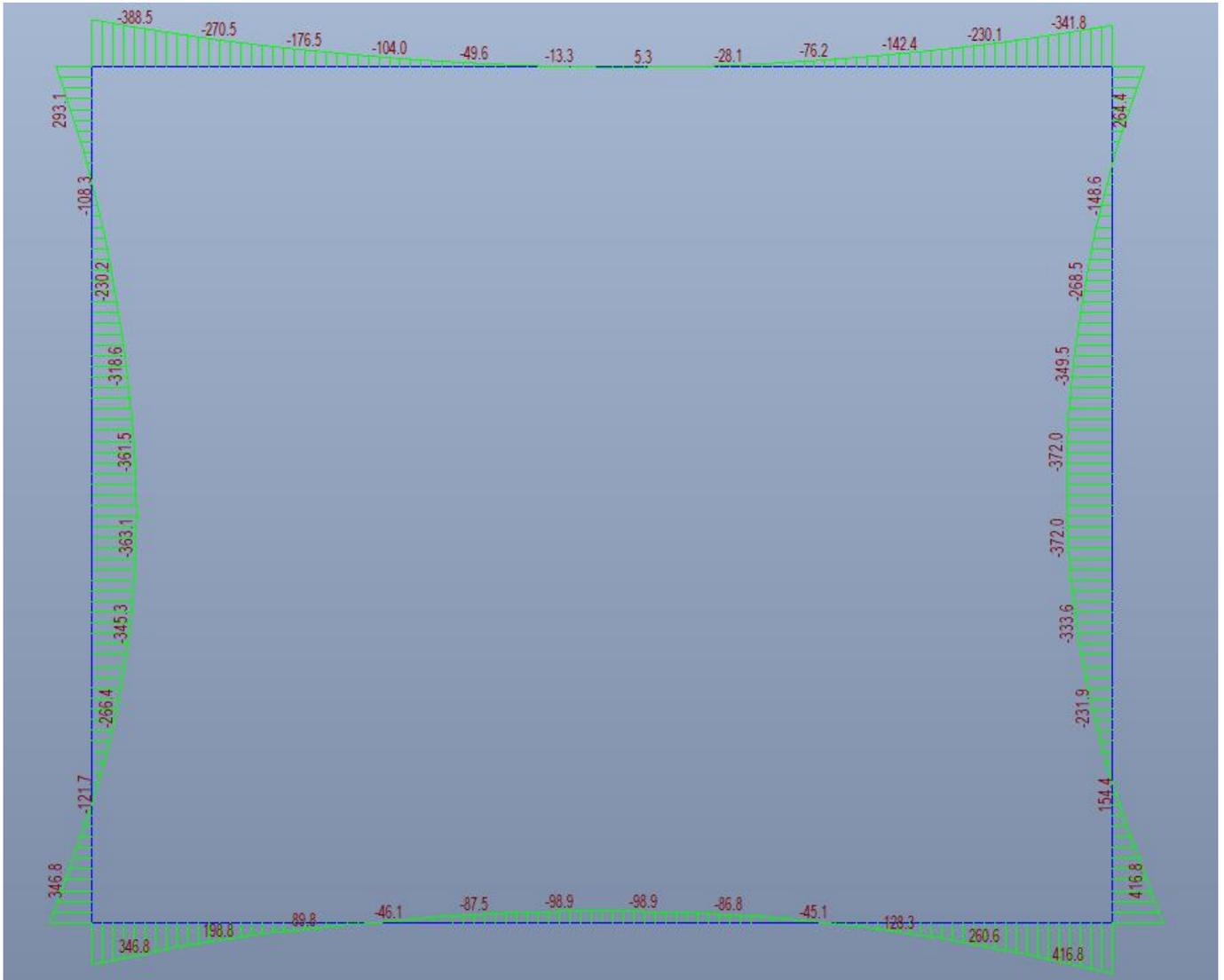


Figura 9-7- Inviluppo SLV Momento flettente

- SLE

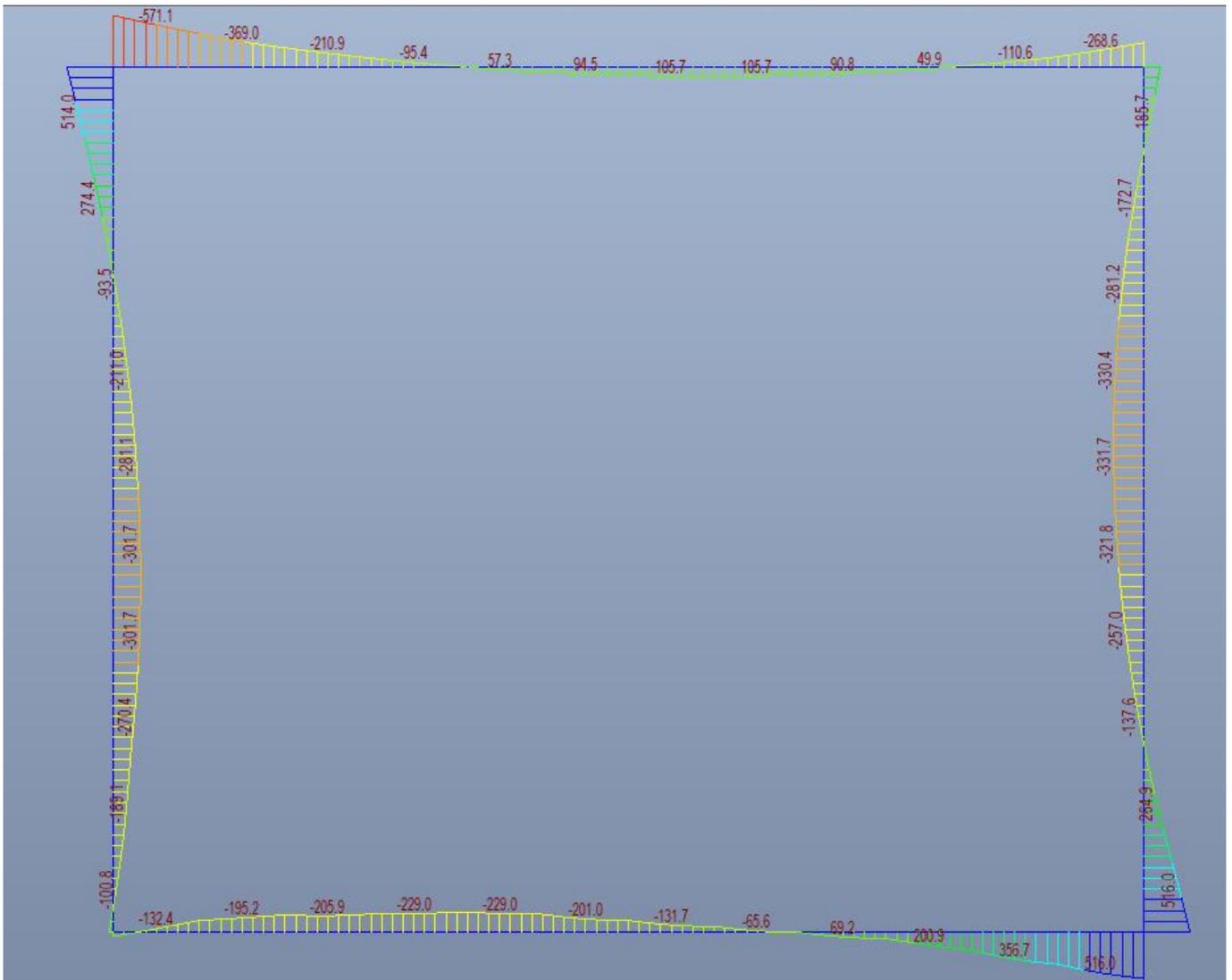


Figura 9-8 - Inviluppo SLE rara Momento flettente

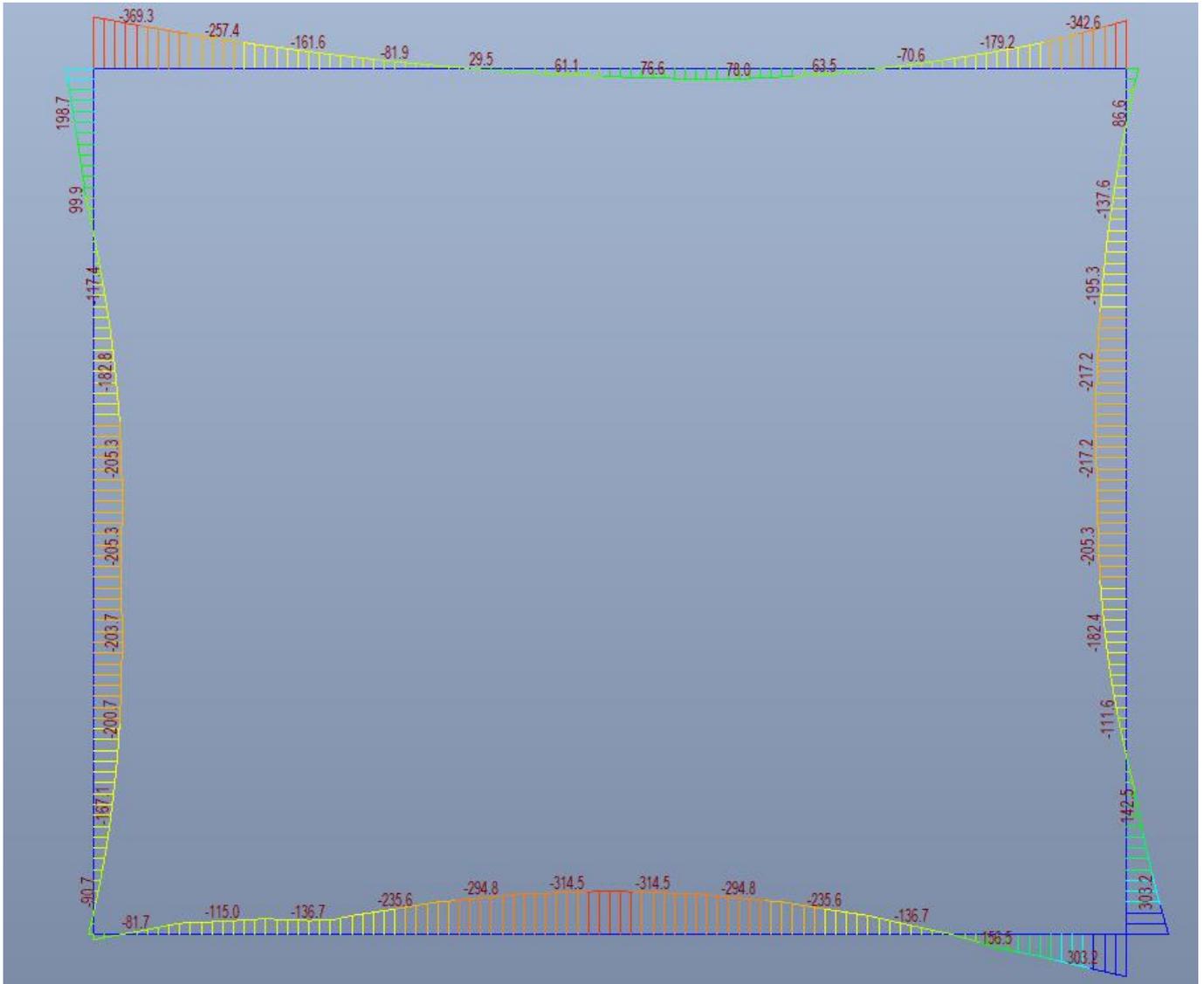


Figura 9-9- Involuppo SLE frequente Momento flettente

COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	46 di 89

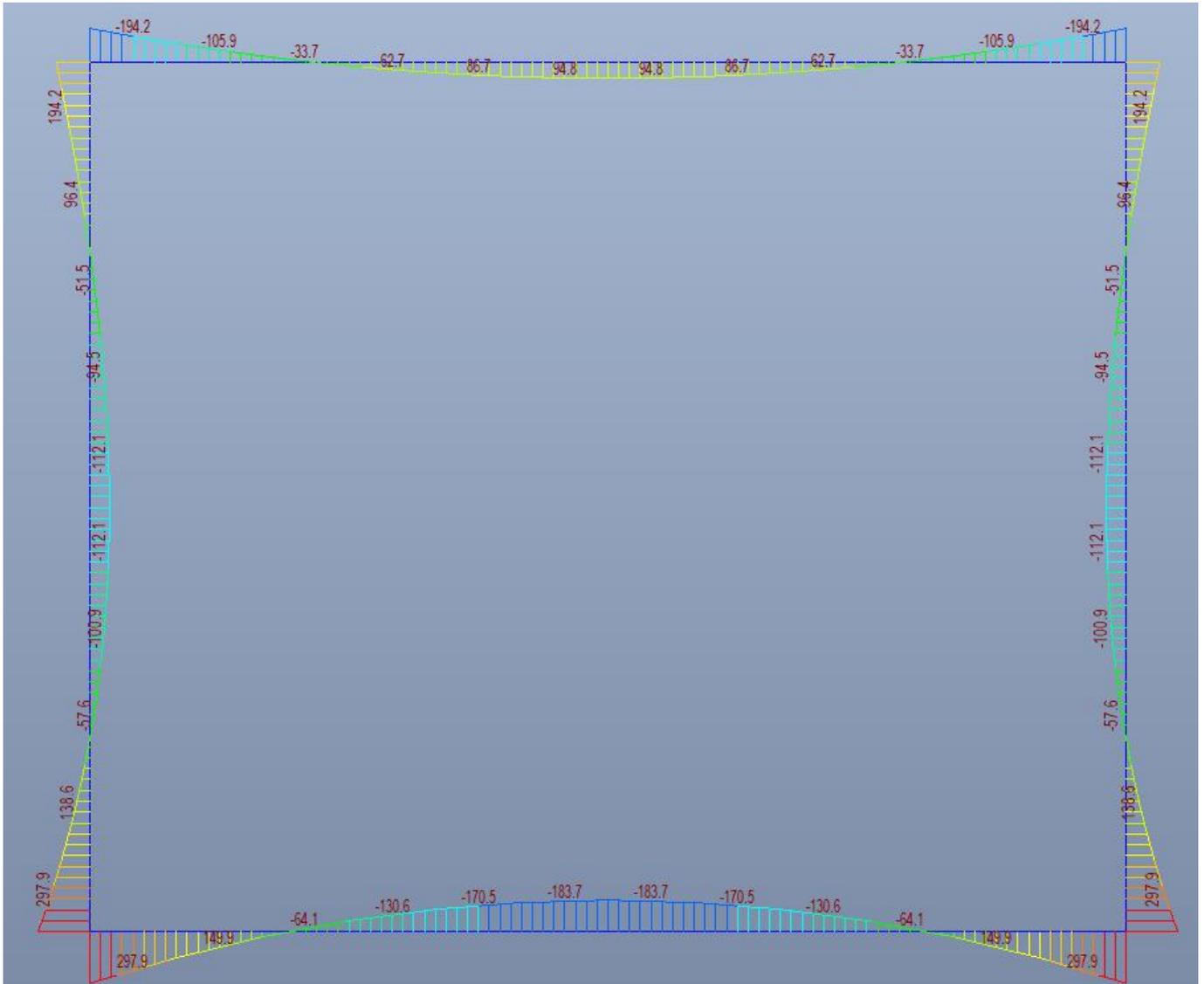


Figura 9-10 - Involuppo SLE quasi permanente Momento flettente

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	47 di 89

## 10 VERIFICHE

Si riportano di seguito i metodi per le principali verifiche di resistenza allo SLU, e di esercizio allo SLE, utilizzati per il dimensionamento degli elementi strutturali in questione. Nei paragrafi successivi verranno specificate le verifiche sulle singole sezioni.

### 10.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

La verifica delle sezioni viene eseguita secondo il metodo degli stati limite basato sulle seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane
- Calcestruzzo non resistente a trazione
- Perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo

Deve risultare:

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

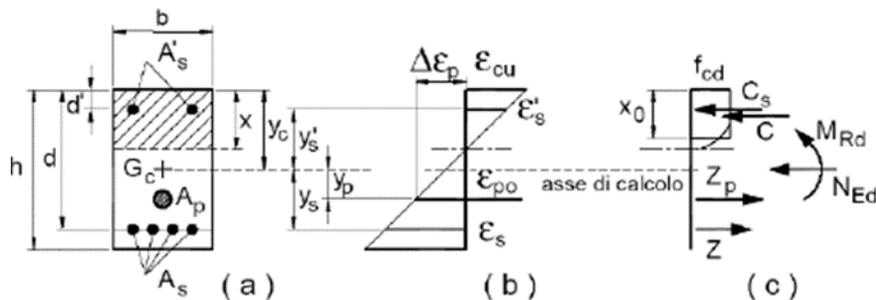


Figura 10-1 - Momento resistente  $M_{Rd}$

### 10.2 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU: TAGLIO

Le azioni taglianti allo SLU possono essere tali da richiedere armatura aggiuntiva specifica nelle sezioni di maggiore sollecitazione. Per la verifica di resistenza allo SLU si pone  $V_{Rd} > V_{Ed}$

La resistenza a taglio senza armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Dove:

- $v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$
- $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$
- $\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$
- $d$  = altezza utile della sezione

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	48 di 89

•  $b_w$  = larghezza minima della sezione

Se tale valore risulta inferiore al taglio sollecitante nelle sezioni di verifica, occorre predisporre dell'armatura specifica per il taglio. La resistenza a taglio di progetto è la minore tra la resistenza a taglio-trazione  $V_{Rsd}$  e la resistenza a taglio-compressione  $V_{Rcd}$ .

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

### 10.3 VERIFICHE DI ESERCIZIO ALLO SLE: TENSIONI D'ESERCIZIO

La massima tensione di compressione nel calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

$$\sigma_c < 0.6 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente}$$

La tensione massima dell'acciaio deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_s < 0.8 f_{yk} \text{ per combinazione caratteristica}$$

### 10.4 VERIFICHE DI ESERCIZIO ALLO SLE: FESSURAZIONE

Nella tabella mostrata in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportate le condizioni ambientali corrispondenti alle varie classi di esposizione.

La soletta ed i piedritti risultano essere in condizioni ambientali aggressive, mentre la fondazione in condizioni ordinarie.

Pertanto, l'apertura limite per la condizione SLE frequente di soletta superiore e piedritti è pari a  $w_2 = 0.3$  mm, mentre quella della fondazioni è pari a  $w_3 = 0.4$  mm.

L'apertura limite per la condizione SLE quasi permanente di soletta superiore e piedritti è pari a  $w_1 = 0.2$  mm, mentre quella della fondazioni è pari a  $w_2 = 0.3$  mm.

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 10-1- Classe di esposizione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	$w_k$	Poco sensibile Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Tabella 10-2- Apertura limite fessure

## 10.5 VERIFICA DELLE SEZIONI

Si presentano di seguito lo stato di sollecitazione e le verifiche dei principali elementi strutturali nel seguente ordine:

- Soletta superiore
- Piedritti
- Soletta di fondazione

Per ogni elemento strutturale sono state studiate le seguenti sezioni:

- Sezione di mezzeria
- Sezione di incastro

### 10.5.1 Soletta superiore

Viene nel seguito riportata la verifica allo SLU e allo SLE della soletta superiore.

L'armatura considerata è la seguente:

	Intradosso	Estradosso
Sezione mezzeria	$\phi 22/20$	$\phi 22/20$
Sezione incastro	$\phi 22/20$	$\phi 22/20 + \phi 20/20$

Tabella 10-3- Armatura principale

La soletta è armata con barre  $\phi 14/20$  in direzione secondaria su entrambi gli strati.

Inoltre, l'armatura a taglio è realizzata con spilli  $\phi 14/20/40$ .

#### 10.5.1.1 Verifica flessionale sezione di mezzeria

### DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta superiore mezzeria

Descrizione Sezione:

Soletta superiore mezzeria

Metodo di calcolo resistenza:

Stati Limite Ultimi

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	50 di 89

Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Comb. non sismiche

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

<b>CALCESTRUZZO - Classe:</b>	C32/40
Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

<b>ACCIAIO - Tipo:</b>	B450C
Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$ :	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	458.60	0.00	0.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	51 di 89

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	241.90

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	233.40 (381.57)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	94.80 (381.57)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -0.6 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 22.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
 As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	458.60	0.05	536.22	1.169	74.4	0.08	0.70	38.0 (13.2)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	52 di 89

Ys min      Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max      Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
 Ys max      Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	80.0	-0.00027	74.0	-0.04299	6.1

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver      S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max      Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
 Yc max      Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min      Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
 Yc min      Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ss min      Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]  
 Ys min      Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff.      Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff.      Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff.      Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre      Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.96	80.0	-1.97	0.0	-25.0	74.0	0.0	0	0.0	0.0

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver      Esito verifica  
 e1      Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2      Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2      = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt      fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm      Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm      Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk      Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess.      Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00015	-0.00015	----	----	----	----	----	381.57

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.90	80.0	-1.90	0.0	-24.1	74.0	0.0	0	0.0	0.0

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00014	-0.00014	----	----	----	----	----	381.57

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------



<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	54 di 89

### 10.5.1.2 Verifica flessionale sezione all'incastro

#### **DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: Soletta superiore incastro**

Descrizione Sezione:	Soletta superiore mezzeria
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

#### **CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$ :	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

#### **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22 + 5Ø20	(34.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

#### **CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	55 di 89

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione  
 VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale  
 MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-876.80	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-571.10

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-369.30 (-411.53)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-194.20 (-411.53)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -0.6 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.2 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
 As Tesà Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesà
--------	-----	---	----	------	-------	----------	----	-----	--------	---------

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	56 di 89

1 S 0.00 -876.80 -0.11 -956.33 1.091 7.4 0.10 0.70 34.7 (13.3)

#### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00061	6.1	-0.03154	74.0

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	6.68	0.0	0.00	21.4	-245.5	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00137	0.00050	0.50	0.60	0.000770 (0.000736)	323	0.249 (990.00)	-411.53

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.32	0.0	0.00	21.4	-158.7	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	57 di 89

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00088	0.00032	0.50	0.60	0.000476 (0.000476)	323	0.154 (0.30)	-411.53

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.27	0.0	0.00	21.4	-83.5	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00047	0.00017	0.50	0.40	0.000250 (0.000250)	323	0.081 (0.20)	-411.53

### 10.5.1.3 Verifica a taglio

#### Sezione di calcolo: soletta superiore

<b>Geometria della sezione</b>			
Base	b	<b>1000</b>	mm
Altezza	h	<b>800</b>	mm
Altezza utile	d	725	mm
Area	Ac	800000	mm <sup>2</sup>
Copriferro	c	<b>50</b>	mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	75	mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	74	mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	<b>32</b>	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	$\gamma_c$	<b>1.5</b>	-
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	<b>0.85</b>	-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18.13	MPa
Diametro barre secondarie	$\Phi$		mm
<b><u>Armatura inferiore</u></b>		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	<b>5</b>	<b>0</b>
Diametro barre	$\Phi$	<b>22</b>	<b>0</b>
Diametro equivalente	$\Phi$	22	
Area strato	As	1900.7	mm <sup>2</sup>
Rapporto di armatura	$\rho$	0.262	%
<b><u>Armatura superiore</u></b>		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	<b>5</b>	<b>0</b>
Diametro barre	$\Phi$	<b>20</b>	<b>0</b>
Diametro equivalente	$\Phi$	20	
Area strato	As	1570.8	mm <sup>2</sup>
Rapporto di armatura	$\rho$	0.217	%
<b><u>Armatura a taglio</u></b>			
Numero bracci	nb	<b>2.50</b>	<b>0</b> -
Diametro staffe	$\Phi$	<b>14</b>	<b>0</b> mm
Passo longitudinale	s	<b>200</b>	<b>400</b> mm
		1.924	0.000 mm <sup>2</sup> /mm
inclinazione	$\alpha$	<b>90</b>	1.571 rad
Area staffe/mm	Asw/s	1.924	mm <sup>2</sup> /mm

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	59 di 89

<u>Azioni interne di verifica</u>	$N_{Ed}$	$V_{Ed}$	(Ned pos. = trazione)	
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
	0	<b>0.0</b>	<b>517.8</b>	
<b><u>Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)</u></b>	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1.53	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	$v_{min}$	0.37	MPa	
Tensione media di compressione	$\sigma_{cp}$	0	MPa	
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$	0.0022		
Resistenza a taglio del solo cls	$V_{rd,c}$	253.0	kN	
Resistenza minima	$V_{rd,c,min}$	270.4	kN	
Resistenza al taglio	$V_{Rd}$	<b>270.4</b>	kN	
Sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	517.8	kN	
		<b>E' richiesta armatura trasversale a taglio</b>		
<b><u>Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)</u></b>				
Inclinazione armatura a taglio	$\cot\alpha$	0.0		
Inclinazione bielle compresse	$\theta$	<b>21.80</b>	0.38	rad
Inclinazione bielle compresse	$\cot\theta$	2.50		
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	<b>450</b>	MPa	
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	$\gamma_s$	<b>1.15</b>	-	
Resistenza di calcolo acciaio	$f_{yd}$	391.3	MPa	
Resistenza a compressione ridotta cls	$f'_{cd}$	9.1	MPa	
	$\sigma_{cp}/f_{cd}$	0.00	-	
Coefficiente maggiorativo	$\alpha_c$	1.00	-	
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	$V_{Rsd}$	1228.4	kN	
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anima	$V_{Rcd}$	2039.9	kN	
Resistenza al taglio di progetto	$V_{Rd}$	<b>1228.4</b>	kN	
Sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	517.8	kN	
		<b>Verificato</b>	F.S.	2.37

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	60 di 89

### 10.5.2 Piedritti

Viene nel seguito riportata la verifica allo SLU e allo SLE dei piedritti nelle seguenti sezioni:

- Sezione incastro in sommità
- Sezione mezzeria
- Sezione incastro alla base

L'armatura considerata è la seguente:

	Intradosso	Estradosso
Sezione incastro sommità	$\phi 22/20$	$\phi 22/20 + \phi 20/20$
Sezione mezzeria	$\phi 22/20$	$\phi 22/20$
Sezione incastro base	$\phi 22/20$	$\phi 22/20 + \phi 20/20$

Tabella 10-4 - Armatura principale

I piedritti sono armati con barre  $\phi 14/20$  in direzione secondaria su entrambi gli strati.

Inoltre, l'armatura a taglio è realizzata con spilli  $\phi 14/20/40$ .

#### 10.5.2.1 Verifica flessionale sezione all'incastro in sommità

### DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

**NOME SEZIONE: Piedritti sommità**

Descrizione Sezione:	Soletta superiore mezzeria
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. a snervamento fyk:		450.0 MPa

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	61 di 89

Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0	MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.3	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$ :	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0	MPa

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22 + 5Ø20	(34.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-876.80	0.00	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-571.10

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-369.30 (-411.53)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-194.20 (-411.53)

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	62 di 89

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -0.6 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.2 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
 As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	-876.80	-0.11	-956.33	1.091	7.4	0.10	0.70	34.7 (13.3)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00061	6.1	-0.03154	74.0

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X, Y, O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X, Y, O)  
 Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X, Y, O)  
 Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\varnothing/2)$  e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	6.68	0.0	0.00	21.4	-245.5	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	63 di 89

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00137	0.00050	0.50	0.60	0.000770 (0.000736)	323 0.249 (990.00)		-411.53

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.32	0.0	0.00	21.4	-158.7	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00088	0.00032	0.50	0.60	0.000476 (0.000476)	323 0.154 (0.30)		-411.53

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.27	0.0	0.00	21.4	-83.5	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00047	0.00017	0.50	0.40	0.000250 (0.000250)	323 0.081 (0.20)		-411.53

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	64 di 89

### 10.5.2.2 Verifica flessionale sezione di mezzeria

#### **DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.**

##### **NOME SEZIONE: Piedritti mezzeria**

Descrizione Sezione:	Soletta superiore mezzeria
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Comb. non sismiche

#### **CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

<b>CALCESTRUZZO - Classe:</b>	C32/40
Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

<b>ACCIAIO - Tipo:</b>	B450C
Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

#### **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

#### **CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	65 di 89

VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale  
 MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	230.00	538.50	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	321.80

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	205.30 (381.57)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	112.10 (381.57)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -0.6 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 22.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
 As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	230.00	538.50	229.81	615.36	1.143	73.8	0.08	0.70	19.0 (13.2)

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	66 di 89

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	80.0	0.00009	74.0	-0.03846	6.1

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.61	80.0	-2.61	0.0	-33.2	74.0	0.0	0	34.7	0.0

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00020	-0.00020	----	----	----	----	----	381.57

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.67	80.0	-1.67	0.0	-21.2	74.0	0.0	0	34.7	0.0

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
--------	-----	----	----	----	----	------	-----	----	---------



<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	68 di 89

### 10.5.2.3 Verifica flessionale sezione all'incastro alla base

#### **DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.**

**NOME SEZIONE:** Piedritti base

Descrizione Sezione:	Soletta superiore mezzeria
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

#### **CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

<b>CALCESTRUZZO - Classe:</b>	C32/40
Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

<b>ACCIAIO - Tipo:</b>	B450C
Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

#### **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22 + 5Ø20	(34.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

#### **CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	69 di 89

VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale  
MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	230.00	-866.60	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-573.00

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-427.90 (-411.53)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	280.00	-297.90 (-474.73)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -0.6 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.2 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	230.00	-866.60	230.22	-1033.96	1.192	8.2	0.11	0.70	34.7 (13.3)

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	70 di 89

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00090	6.1	-0.02808	74.0

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	6.70	0.0	0.00	21.4	-246.3	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00137	0.00050	0.50	0.60	0.000774 (0.000739)	323 0.250 (990.00)		-411.53

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.00	0.0	0.00	21.4	-183.9	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
--------	-----	----	----	----	----	------	-----	----	---------

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	71 di 89

1 S -0.00102 0.00038 0.50 0.60 0.000552 (0.000552) 323 0.178 (0.30) -411.53

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.74	0.0	0.00	27.8	-93.1	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00053	0.00028	0.50	0.40	0.000279 (0.000279)	323	0.090 (0.20)	-474.73

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	72 di 89

#### 10.5.2.4 Verifica a taglio

##### Sezione di calcolo: Piedritti

<b>Geometria della sezione</b>			
Base	b	<b>1000</b>	mm
Altezza	h	<b>800</b>	mm
Altezza utile	d	725	mm
Area	Ac	800000	mm <sup>2</sup>
Copriferro	c	<b>50</b>	mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	75	mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	74	mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	<b>32</b>	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	$\gamma_c$	<b>1.5</b>	-
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	<b>0.85</b>	-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18.13	MPa
Diametro barre secondarie	$\phi$		mm
<b>Armatura inferiore</b>		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	<b>5</b>	<b>0</b>
Diametro barre	$\phi$	<b>22</b>	<b>0</b>
Diametro equivalente	$\phi$	22	
Area strato	As	1900.7	mm <sup>2</sup>
Rapporto di armatura	$\rho$	0.262	%
<b>Armatura superiore</b>		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	<b>5</b>	<b>0</b>
Diametro barre	$\phi$	<b>20</b>	<b>0</b>
Diametro equivalente	$\phi$	20	
Area strato	As	1570.8	mm <sup>2</sup>
Rapporto di armatura	$\rho$	0.217	%
<b>Armatura a taglio</b>			
Numero bracci	nb	<b>2.50</b>	<b>0</b> -
Diametro staffe	$\phi$	<b>14</b>	<b>0</b> mm
Passo longitudinale	s	<b>200</b>	<b>400</b> mm
		1.924	0.000 mm <sup>2</sup> /mm
inclinazione	$\alpha$	<b>90</b>	1.571 rad
Area staffe/mm	Asw/s	1.924	mm <sup>2</sup> /mm

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	73 di 89

<u>Azioni interne di verifica</u>	$N_{Ed}$	$V_{Ed}$	(Ned pos. = trazione)	
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
	0	<b>0.0</b>	<b>725.9</b>	
<b><u>Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)</u></b>	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1.53	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	vmin	0.37	MPa	
Tensione media di compressione	$\sigma_{cp}$	0	MPa	
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$	0.0022		
Resistenza a taglio del solo cls	Vrd,c	253.0	kN	
Resistenza minima	Vrd,c,min	270.4	kN	
Resistenza al taglio	<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>270.4</b>	kN	
Sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	725.9	kN	
		<b>E' richiesta armatura trasversale a taglio</b>		
<b><u>Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)</u></b>				
Inclinazione armatura a taglio	cot $\alpha$	0.0		
Inclinazione bielle compresse	$\theta$	<b>21.80</b>	0.38 rad	
Inclinazione bielle compresse	cot $\theta$	2.50		
Tensione caratteristica di snervamento	f <sub>yk</sub>	<b>450</b>	MPa	
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	$\gamma_s$	<b>1.15</b>	-	
Resistenza di calcolo acciaio	f <sub>yd</sub>	391.3	MPa	
Resistenza a compressione ridotta cls	f'cd	9.1	MPa	
	$\sigma_{cp}/f_{cd}$	0.00	-	
Coefficiente maggiorativo	$\alpha_c$	1.00	-	
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	V <sub>Rsd</sub>	1228.4	kN	
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anima	V <sub>Rcd</sub>	2039.9	kN	
Resistenza al taglio di progetto	<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>1228.4</b>	kN	
Sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	725.9	kN	
	<b>Verificato</b>	F.S.	1.69	

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	74 di 89

### 10.5.3 Soletta inferiore

Viene nel seguito riportata la verifica allo SLU e allo SLE della soletta inferiore.

L'armatura considerata è la seguente:

	Intradosso	Estradosso
Sezione mezzeria	φ22/20	φ22/20
Sezione incastro	φ22/20	φ22/20+φ20/20

Tabella 10-5- Armatura principale

La soletta è armata con barre φ 14/20 in direzione secondaria su entrambi gli strati.

Inoltre, l'armatura a taglio è realizzata con spilli φ 14/20/40.

#### 10.5.3.1 Verifica flessionale sezione di mezzeria

### DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.

**NOME SEZIONE: Soletta inf mezzeria**

Descrizione Sezione:	Soletta superiore mezzeria
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. a snervamento fyk:		450.0 MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:		450.0 MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:		391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	75 di 89

Coeff. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$ : 0.50  
 Comb.Rare - Sf Limite: 360.0 MPa

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	90.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	512.30	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	203.00

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	314.50 (478.06)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	183.70 (478.06)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	-0.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	22.6	cm

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	76 di 89

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	512.30	0.23	610.66	1.192	84.4	0.07	0.70	38.0 (15.0)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	90.0	-0.00027	84.0	-0.04928	6.1

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X, Y, O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X, Y, O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X, Y, O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.32	90.0	-1.32	0.0	-17.1	84.0	0.0	0	34.7	0.0

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	77 di 89

srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00010	-0.00010	----	----	----	----	----	478.06

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.04	90.0	-2.04	0.0	-26.4	84.0	0.0	0	34.7	0.0

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00015	-0.00015	----	----	----	----	----	478.06

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.19	90.0	-1.19	0.0	-15.4	84.0	0.0	0	34.7	0.0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00009	-0.00009	----	----	----	----	----	478.06

### 10.5.3.2 Verifica flessionale sezione all'incastro

**DATI GENERALI SEZIONE DI TRAVE SENZA STAFFE IN C.A.**
**NOME SEZIONE: Soletta inf incastro**

Descrizione Sezione:	Soletta superiore mezzeria
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO - Classe:	C32/40
Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	78 di 89

Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$ :	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	90.0	cm
Barre inferiori:	5Ø22	(19.0 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø22 + 5Ø20	(34.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	0.5	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-866.60	0.00	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	-573.00

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	79 di 89

1 0.00 -427.90 (-512.90)

### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb. N Mx

1 0.00 -297.90 (-512.90)

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -0.6 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.2 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$   
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	-866.60	-0.17	-1092.14	1.260	7.4	0.09	0.70	34.7 (15.0)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00061	6.1	-0.03628	84.0

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X, Y, O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	80 di 89

Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ss min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.47	0.0	0.00	23.2	-215.7	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00118	0.00041	0.50	0.60	0.000647 (0.000647)	323 0.209 (990.00)		-512.90

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.09	0.0	0.00	23.2	-161.1	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00088	0.00031	0.50	0.60	0.000483 (0.000483)	323 0.156 (0.40)		-512.90

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.85	0.0	0.00	23.2	-112.1	6.1	15.0	1500	34.7	9.8

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00062	0.00021	0.50	0.40	0.000336 (0.000336)	323 0.109 (0.30)		-512.90

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	81 di 89

### 10.5.3.3 Verifica a taglio

#### Sezione di calcolo: Soletta inferiore

<u>Geometria della sezione</u>			
Base	b	1000	mm
Altezza	h	900	mm
Altezza utile	d	825	mm
Area	Ac	900000	mm <sup>2</sup>
Copriferro	c	50	mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	75	mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	74	mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	32	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	$\gamma_c$	1.5	-
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	0.85	-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18.13	MPa
Diametro barre secondarie	$\phi$		mm
<u>Armatura inferiore</u>		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	5	0
Diametro barre	$\phi$	22	0
Diametro equivalente	$\phi$	22	
Area strato	As	1900.7	mm <sup>2</sup>
Rapporto di armatura	$\rho$	0.230	%
<u>Armatura superiore</u>		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	5	0
Diametro barre	$\phi$	20	0
Diametro equivalente	$\phi$	20	
Area strato	As	1570.8	mm <sup>2</sup>
Rapporto di armatura	$\rho$	0.190	%
<u>Armatura a taglio</u>			
Numero bracci	nb	2.50	0 -
Diametro staffe	$\phi$	14	0 mm
Passo longitudinale	s	200	400 mm
		1.924	0.000 mm <sup>2</sup> /mm
inclinazione	$\alpha$	90	1.571 rad
Area staffe/mm	Asw/s	1.924	mm <sup>2</sup> /mm

<b>RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	82 di 89

<b>Azioni interne di verifica</b>	$N_{Ed}$	$V_{Ed}$	(Ned pos. = trazione)	
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
	0	<b>0.0</b>	<b>538.6</b>	
<b>Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)</b>	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1.49	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	$v_{min}$	0.36	MPa	
Tensione media di compressione	$\sigma_{cp}$	0	MPa	
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$	0.0019		
Resistenza a taglio del solo cls	$V_{rd,c}$	269.8	kN	
Resistenza minima	$V_{rd,c,min}$	297.8	kN	
Resistenza al taglio	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>297.8</b>	kN	
Sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	538.6	kN	
		<b>E' richiesta armatura trasversale a taglio</b>		
<b>Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)</b>				
Inclinazione armatura a taglio	$\cot\alpha$	0.0		
Inclinazione bielle compresse	$\theta$	<b>21.80</b>	0.38 rad	
Inclinazione bielle compresse	$\cot\theta$	2.50		
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	<b>450</b>	MPa	
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	$\gamma_s$	<b>1.15</b>	-	
Resistenza di calcolo acciaio	$f_{yd}$	391.3	MPa	
Resistenza a compressione ridotta cls	$f'_{cd}$	9.1	MPa	
	$\sigma_{cp}/f_{cd}$	0.00	-	
Coefficiente maggiorativo	$\alpha_c$	1.00	-	
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	$V_{Rsd}$	1397.8	kN	
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anima	$V_{Rcd}$	2321.3	kN	
Resistenza al taglio di progetto	<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>1397.8</b>	kN	
Sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	538.6	kN	
	<b>Verificato</b>	F.S.	2.60	

## 10.6 STATO LIMITE DI DEFORMABILITÀ (SLE)

Nel presente Paragrafo si riportano le verifiche di deformabilità condotte sulla soletta superiore, sotto la combinazione di carico quasi permanente (SLE) e l'azione dei carichi da traffico ferroviario.

La soletta ha una luce  $L$  pari a 8.6 m, ed una sezione pari a  $b=100$  cm e  $h=80$  cm.

Si riportano i valori massimi di deformabilità  $\delta$  ammessi:

- $\delta_{qp} \leq \frac{L}{250} = 34.4 \text{ mm}$ , dove  $\delta_{qp}$  è la freccia massima in condizione di carico quasi permanente (SLE);
- $\delta_{tr} \leq \frac{L}{500} = 17.2 \text{ mm}$ , dove  $\delta_{tr}$  è l'abbassamento massimo al passaggio dei carichi da traffico ferroviario.

I diagrammi deformativi riportati nel seguito sono stati determinati considerando un modulo elastico del calcestruzzo pari a:

$$E_c = 33346 \text{ MPa}$$

Nella sola condizione di carico quasi permanente, per tener conto degli effetti viscosi nel calcestruzzo è stato ridotto il valore del modulo elastico che risulta:

$$E_{c,\infty} = 11115 \text{ MPa}$$

Le frecce sono state calcolate considerando cautelativamente lo schema statico di trave semplicemente appoggiata. I valori delle frecce così determinati sono stati amplificati di un coefficiente  $C_{fes} = 2$  per tenere conto degli effetti fessurativi nel calcestruzzo.

### **Deformabilità – Carichi quasi permanenti**

Si calcola la freccia massima della soletta soggetta alla condizione di carico quasi permanente.

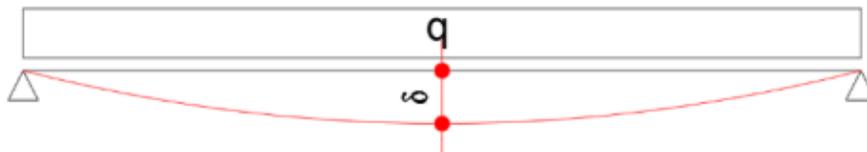


Figura 10-2 -Massima freccia mezzeria carichi permanenti

Sulla soletta agisce il carico da peso proprio e il carico del ballast. Pertanto:

$$q_{qp} = 20 \frac{kN}{m} + 18 \frac{kN}{m} = 38 \frac{kN}{m}$$

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	84 di 89

La freccia massima viene calcolata come:

$$\delta_{qp} = \left( \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{qp} \cdot L^4}{E_{c,\infty} \cdot I} \right) \cdot C_{fes}$$

Dal calcolo risulta:

$$\delta_{qp} = 11.41 \text{ mm} < 34.4 \text{ mm}$$

### **Deformabilità - Carichi da traffico ferroviario**

Si calcola la freccia massima della soletta soggetta al carico da traffico ferroviario LM71 considerando i carichi agenti sulla soletta.

- Freccia massima per il carico LM71:

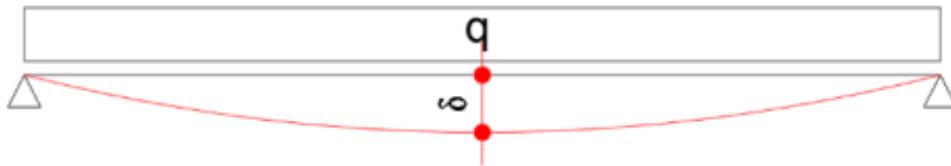


Figura 10-3 - Massima freccia mezzeria carichi da traffico ferroviario

$$q_{LM71} = 43.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

La freccia massima viene calcolata come:

$$\delta_{LM71} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{LM71} \cdot L^4}{E_c \cdot I} = 2.32 \text{ mm}$$

In conclusione, la freccia massima generata dai carichi da traffico ferroviario risulta essere:

$$\delta_{tr} = \delta_{LM71} \cdot C_{fes} = 4.64 \text{ mm} < 17.2 \text{ mm}$$

Tutte le verifiche di deformabilità sono risultate soddisfatte.

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	85 di 89

## 11 VERIFICA CARICO LIMITE

Il calcolo della resistenza di progetto nei confronti della capacità portante  $R_d$  per la soletta di fondazione dell'opera in progetto è sviluppato in accordo alle NTC2018.

La valutazione della resistenza geotecnica a carico limite in condizioni statiche (SLU) è stata effettuata seguendo l'Approccio 1 (A1+M1+R1) Cap. 6.4.2 NTC2018. I coefficienti parziali sulle azioni A1 e sui parametri geotecnici dei terreni M1 sono riportati rispettivamente in Tabella 11-1. I coefficienti sulle resistenze R1 sono pari all'unità.

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 11-1- Coefficienti parziali

La capacità portante di progetto della fondazione superficiale  $R_d$  viene valutata a partire dal valore caratteristico in accordo alla seguente equazione:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} = \frac{q_{lim} * B' * L'}{\gamma_r}$$

$B' * L' =$  area resistente efficace in accordo a Meyerhof, 1963

Il valore caratteristico e successivamente quello di progetto della capacità portante  $R_d$  è stato calcolato con riferimento alla formulazione di Brinch-Hansen.

In condizioni drenate, il carico limite è pari a:

$$q_{lim} = 0.5 \cdot \gamma_c \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	86 di 89

dove:

$B' = B - 2e$  larghezza minore della fondazione equivalente  
 $L' = L - 2e$  larghezza maggiore della fondazione equivalente

$e = M/N$  eccentricità di N rispetto al centro della fondazione  
 N, M sollecitazioni rispetto all'intradosso della fondazione  
 $\gamma'$  peso di volume del terreno  
 $c'$  coesione efficace del terreno  
 $c_u$  coesione non drenata del terreno

- Fattori correttivi di inclinazione di fondazione:

$$b_q = (1 - \alpha \operatorname{tg}(\phi'))^2$$

$$b_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg}(\phi'))^2$$

$$b_c = b_q - [(1 - b_q) / (N_c \operatorname{tg}(\phi'))]$$

- Fattori correttivi di inclinazione del piano campagna:

$$g_q = (1 - \operatorname{tg}(\omega))^2$$

$$g_\gamma = (1 - \operatorname{tg}(\omega))^2$$

$$g_c = g_q - [(1 - g_q) / (N_c \operatorname{tg}(\phi'))]$$

In accordo alle NTC2018 la verifica è da ritenersi soddisfatta se la resistenza di progetto  $R_d$  risulta non inferiore alle azioni di progetto:

$$E_d \leq R_d$$

I parametri geotecnici utilizzati per il calcolo di  $q_{lim}$  sono riportati di seguito:

$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$   
 $\Phi' = 26^\circ$   
 $c' = 7 \text{ kPa}$

Le dimensioni considerate della fondazione sono:

$L = 15.0 \text{ m}$   
 $B = 8.6 \text{ m}$

Il valore della capacità a carico limite ottenuto  $q_{lim}$  è pari a 1.3 MPa.

In Figura 11-1 si riporta la pressione al suolo per l'involuppo delle combinazioni SLU dello scatolare oggetto delle verifiche.

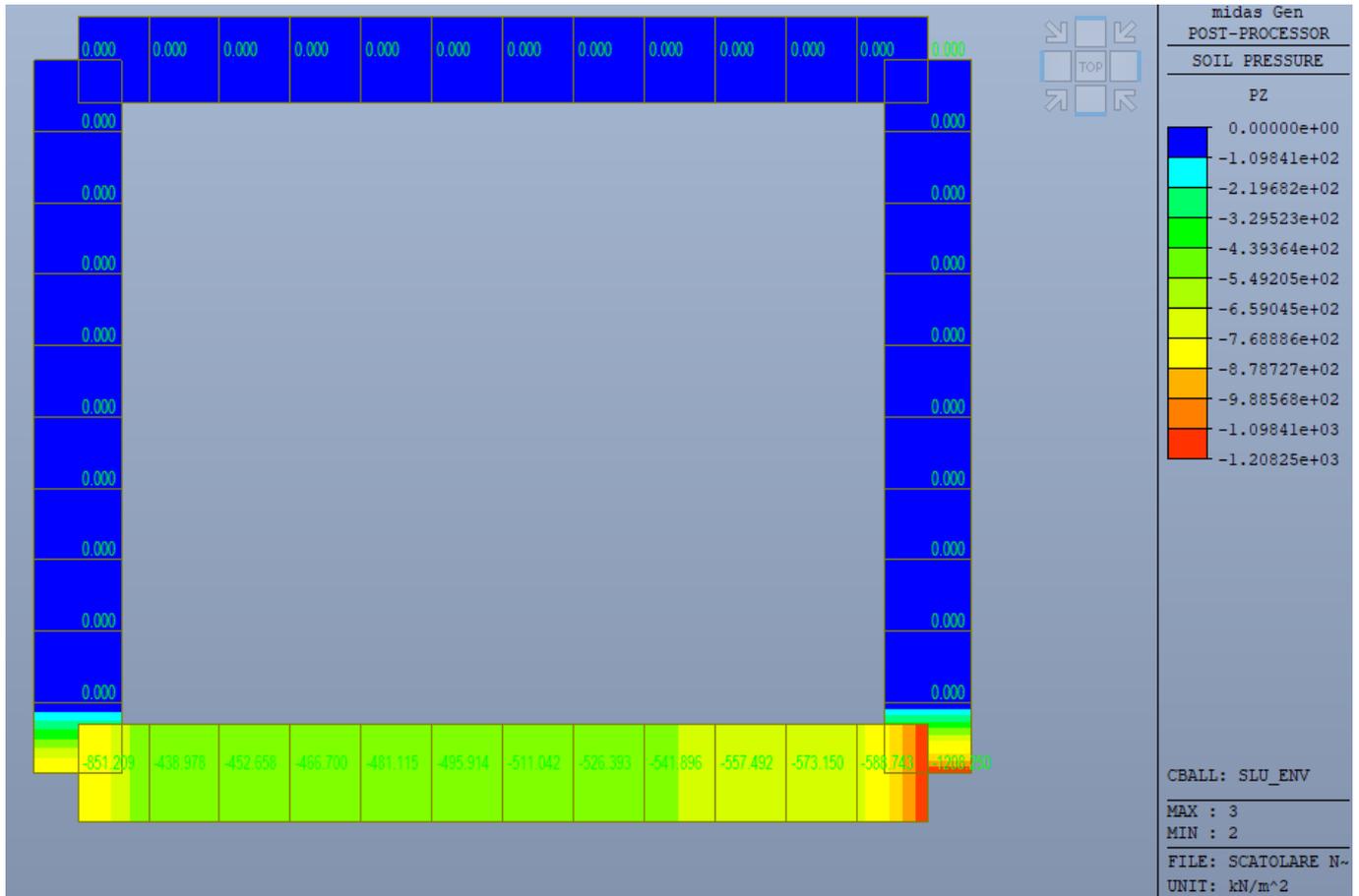


Figura 11-1- Pressione al suolo

Il valore massimo è pari a 1.2 MPa.

Poiché 1.2 MPa < 1.3 MPa, la verifica è soddisfatta.

## **12 INCIDENZE**

Nel presente Capitolo si riportano le incidenze di armatura per i diversi elementi strutturali:

- Soletta superiore: 100 kg/m<sup>3</sup>
- Piedritti: 110 kg/m<sup>3</sup>
- Soletta inferiore: 90 kg/m<sup>3</sup>



LINEA POTENZA-FOGGIA  
TRATTA FERROVIARIA ROCCHETTA-POTENZA  
AMMODERNAMENTO - ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOVIA FAL	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	IABH	00	F	CL	SL01 00 001	A	89 di 89

### 13 CONCLUSIONI

Con la presente relazione si è proceduto al progetto ed alla verifica del sottovia scatolare che sottopassa la linea ferroviaria FAL e permette il raggiungimento del piazzale attraverso la strada NV23. Le verifiche rispettano le indicazioni delle Normative tecniche di riferimento.