

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA CENTRO

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA – MANOPPELLO

LOTTO 2

Farfalla SL21

Relazione Predimensionamento

SCALA:

-

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

I A 9 7    0 0    R    2 9    C L    S L 2 1 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	P. Luciani 	Agosto 2021	P. Di Nucci 	Agosto 2021	T. Paoletti 	Agosto 2021	F. Arduini Novembre 2021
B	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Luciani 	Novembre 2021	P. Di Nucci	Novembre 2021	T. Paoletti 	Novembre 2021	 ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastruttura Centro Dott. Ing. Fulvio Arduini Dott. Ing. Roberto Dott. Ing. Riccardo Dott. Ing. Riccardo

File: IA9700R29CLSL2100001B.doc

n. Elab.: xx-xx

## INDICE

1.	INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO.....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.	FARFALLA SL21 .....	8
3.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	8
3.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	9
3.2.1	Calcestruzzo struttura scatolare .....	9
3.2.2	Calcestruzzo per magrone.....	10
3.2.3	Copriferri .....	10
3.2.4	Acciaio per cemento armato .....	10
3.3	PARAMETRI SISMICI.....	11
3.3.1	Vita di riferimento e sito considerato.....	11
3.3.2	Classe di duttilità.....	12
3.3.3	Analisi sismica adottata .....	13
3.4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	15
3.5	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA .....	15
3.6	ANALISI DEI CARICHI.....	17
3.6.1	Condizioni di carico.....	17
3.6.1.1	Peso proprio strutturale (PP).....	17
3.6.1.2	Carichi permanenti portati (PERM) .....	17
3.6.1.3	Spinta del terreno (SPTSX).....	18
3.6.1.4	Azioni della falda (SPTW) .....	19
3.6.1.5	Azioni termiche (TERM).....	19
3.6.1.6	Ritiro.....	19
3.6.1.7	Azioni variabili da traffico ferroviario.....	21
3.6.1.7.1	Coefficiente di incremento dinamico.....	21
3.6.1.7.2	Larghezza di diffusione .....	21
3.6.1.7.3	Treno LM71 (ACCM_LM71).....	21
3.6.1.7.4	Treno SW/2 (ACCM_SW2) .....	22
3.6.1.7.5	Frenatura e avviamento (AVV e FREN) .....	23
3.6.1.7.6	Serpeggio (SERP).....	23
3.6.1.8	Azioni sismiche .....	23
3.6.1.8.1	Forze di inerzia:.....	23
3.6.1.8.2	Forze sismiche orizzontali (SISMA_H).....	24
3.6.1.8.3	Forze sismiche verticali (SISMA_V).....	24
3.6.2	Applicazione dei carichi sulla struttura.....	25

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	3 di 67

3.7	COMBINAZIONI DI CARICO .....	26
3.8	CRITERI DI VERIFICA.....	30
3.8.1	<i>Verifiche allo stato limite ultimo</i> .....	30
3.8.1.1	<b>Sollecitazioni flettenti</b> .....	30
3.8.1.2	<b>Sollecitazioni taglianti</b> .....	30
3.8.2	<i>Verifiche allo stato limite di esercizio</i> .....	32
3.8.2.1	<b>Verifica a fessurazione</b> .....	33
3.8.2.2	<b>Verifica delle tensioni</b> .....	33
3.9	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	34
3.9.1	<i>Codice di calcolo</i> .....	34
3.9.2	<i>Modello di calcolo</i> .....	34
3.10	ANALISI MODALE .....	36
3.11	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI.....	37
3.12	VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO .....	42
3.12.1	<i>Armature di progetto</i> .....	43
3.12.2	<i>Verifiche SLU a flessione – Verifiche SLE</i> .....	43
3.12.2.1	<i>Verifica soletta di copertura</i> .....	43
3.12.2.2	<i>Verifica soletta di fondazione</i> .....	49
3.12.2.3	<i>Verifica piedritti</i> .....	54
3.13	AZIONI IN FONDAZIONE .....	59
3.14	VERIFICHE GEOTECNICHE DELLA FONDAZIONE.....	59
3.14.1	<i>Verifica a carico limite</i> .....	59
3.14.2	<i>Verifica dei cedimenti</i> .....	64

## 1. INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO

Lo scopo del presente documento è quello di illustrare il progetto di fattibilità tecnica ed economica del raddoppio ferroviario della tratta Interporto d’Abruzzo – Manoppello, realizzato nell’ambito della velocizzazione della linea Roma – Pescara.

Nell’ambito del potenziamento dei collegamenti ferroviari Ovest-Est, nel mese di marzo 2020 è stato sottoscritto un Protocollo di Intesa per la “Costituzione di un Gruppo di Lavoro per il potenziamento del collegamento ferroviario Roma – Pescara” tra Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Regione Abruzzo, Regione Lazio e Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.

L’obiettivo del Gruppo di Lavoro è stato incentrato nel definire gli interventi di tipo infrastrutturale, tecnologico, operativo ed organizzativo necessari per il miglioramento del collegamento ferroviario tra Roma e Pescara e, in particolare, per il potenziamento della frequenza dei servizi tra Pescara, Chieti e Sulmona, e per la velocizzazione dei servizi nella tratta Roma – Avezzano. I risultati di questo studio hanno individuato quattro sub tratte prioritarie ricadenti tra Roma – Avezzano e tra Sulmona – Chieti:

- Linea Pescara – Sulmona:
  - Tratta Interporto d’Abruzzo – Manoppello (lotto 1);
  - Tratta Manoppello – Scafa (lotto 2);
  - Tratta Pratola Peligna – Sulmona (lotto 3);
- Linea Roma – Sulmona:
  - Tratta Tagliacozzo – Avezzano (lotto 4).

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	5 di 67



Fig. 1 – Inquadramento generale tratte interessate dai lavori di velocizzazione della linea Roma-Pescara

Di recente gli interventi per il potenziamento della linea ferroviaria Roma – Pescara sono stati inseriti all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), piano nazionale di attuazione del Next Generation EU; quest'ultimo è lo strumento temporaneo pensato per stimolare la ripresa europea, e costituisce il più ingente pacchetto di misure di stimolo mai finanziato in Europa per la sua ricostruzione dopo la pandemia di COVID-19. L'obiettivo generale è di realizzare un'Europa più ecologica, digitale e resiliente.

Come richiamato anche nel PNRR, la Commissione Europea ha indicato come obiettivo, per i prossimi anni, l'aumento del traffico ferroviario e del trasporto intermodale su rotaia e su vie navigabili interne per competere alla pari con il trasporto su strada. Per raggiungere gli obiettivi prefissati, le opere finanziate dalla CE, su elencate, dovranno essere realizzate entro il 2026.

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'analisi delle opere e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le vigenti disposizioni legislative e in particolare con le seguenti norme e circolari:

- **RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020:** *Manuale di progettazione delle Opere Civili - Emissione per applicazione*
- **RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Dicembre 2020:** *Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio - Emissione per applicazione;*
- **D.M. del 17 gennaio 2018:** *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;*
- **C.M. 21/01/2019 n.7:** *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018;*
- **Legge 05/01/1971 n°1086:** *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;*
- **Legge 02/02/1974 n°64:** *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;*

Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si è inoltre fatto riferimento alla normativa Europea di seguito specificata:

- **UNI EN 1990: 2006:** *Eurocodice 0: Criteri generali di progettazione strutturale;*
- **UNI EN 1991-1-1:2004:** *Eurocodice 1 –Azioni in generale– Parte 1-1: Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi variabili;*
- **UNI EN 1991-1-4:2005:** *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;*
- **UNI EN 1992-1-1:2005:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*

- **UNI EN 1992-2:2006:** Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;
- **UNI EN 1993-1-1:2005:** Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- **UNI EN 1993-2:2007:** Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;
- **UNI EN 1997-1: 2005:** Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- **UNI EN 1998-1:2005:** Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- **UNI EN 1998-2:2006:** Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;
- **UNI EN 1998-5:2005:** Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- **STI 2014 – REGOLAMENTO UE N.1299/2014** della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- **UNI EN 206-1-2016** - Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- **UNI 11104/2016** - Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	8 di 67

### 3. FARFALLA SL21

#### 3.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'oggetto della presente relazione è il sovrappasso ferroviario SL21 della linea storica su NV21 da pk 1+364 a 1+190. La struttura presenta una sezione scatolare e ospita una piattaforma ferroviaria con doppio binario.

La soletta superiore ha spessore 130cm, i setti hanno spessore 120cm e la fondazione ha spessore 150cm. La struttura presenta una fondazione diretta.

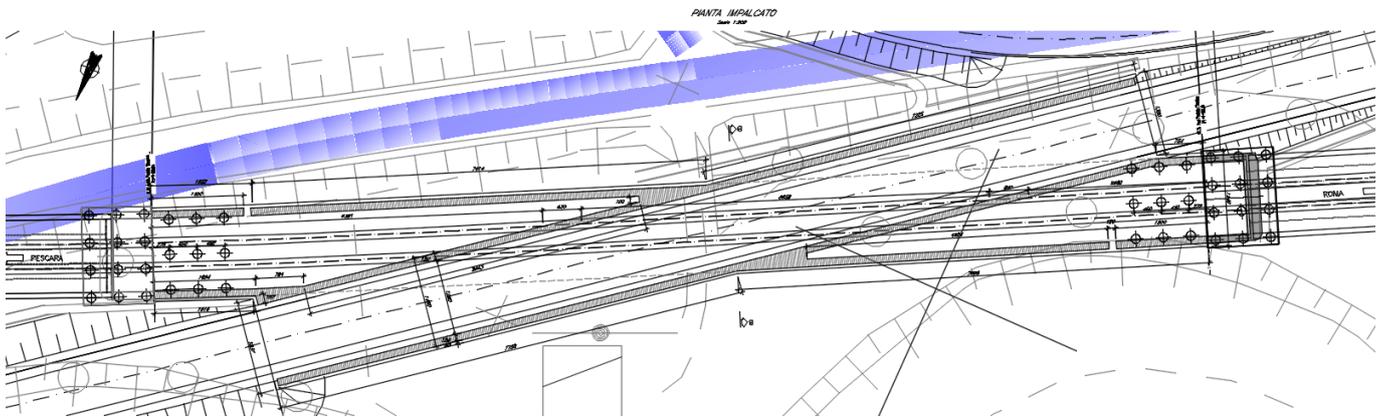


Figura 1: Pianta

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IA97

00 R 29

CL

SL2100 001

B

9 di 67

*SEZIONE TRASVERSALE B-B  
IN ASSE STRADA*

Scala 1:100

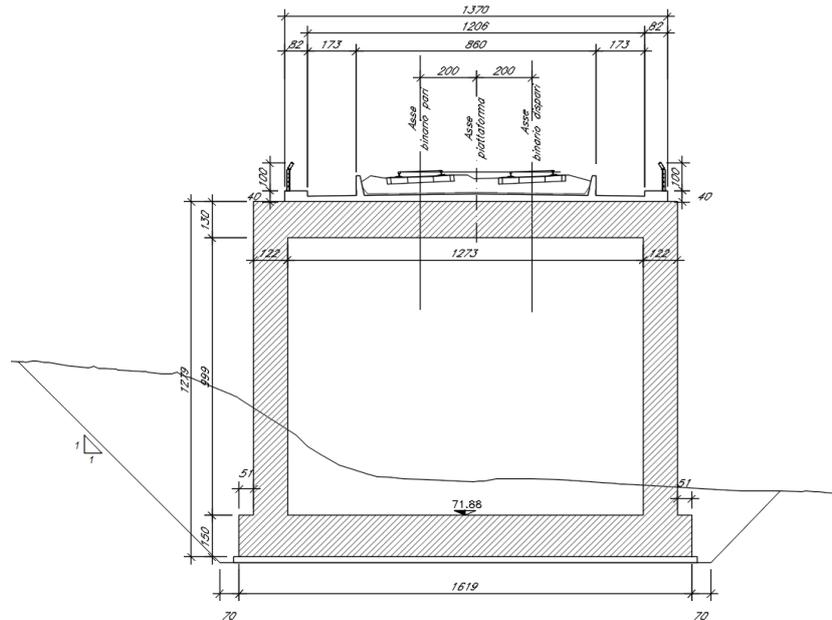


Figura 2: Sezione trasversale

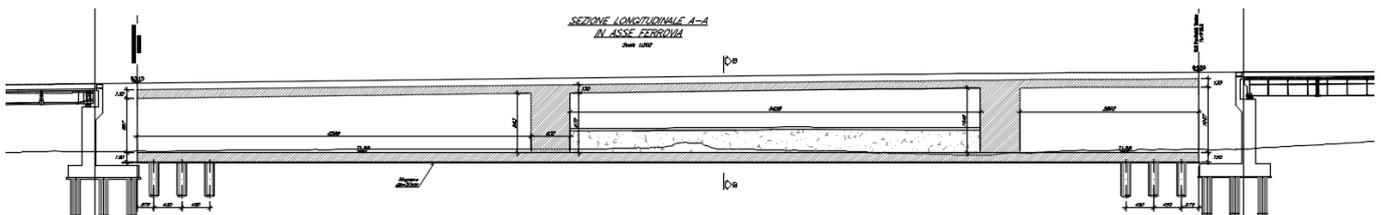


Figura 3: Sezione longitudinale

## 3.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 3.2.1 Calcestruzzo struttura scatolare

Per la realizzazione dello scatolare, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza 30/37 ( $R_{ck} \geq 35.00 \text{ N/mm}^2$ ) che presenta le seguenti caratteristiche:

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	10 di 67

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	<b>37</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	30.71	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	38.71	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	20.47	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	17.40	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2.05	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3.53	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.37	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33019	N/mm <sup>2</sup>

### 3.2.2 Calcestruzzo per magrone

Classe di resistenza = C12/15.

### 3.2.3 Copriferrì

In riferimento alla Tabella C.4.1.IV del DM 17.01.2018, si considera un copriferrì pari a **50 mm** per fondazione ed elevazione.

### 3.2.4 Acciaio per cemento armato

Tipo	B450 (controllato in stabilimento)		
$f_{yk} =$	450 MPa	Tensione caratteristica di snervamento	
$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 =$	391.30 MPa	Resistenza di calcolo	
$\sigma_s = 0.75 f_{yk} =$	337.50 MPa	Tensione limite in condizione di esercizio (comb. Rara)	
$E_s =$	210000 MPa	Modulo elastico	

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA – MANOPPELLO LOTTO 2 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA</b></p>					
<p><b>FARFALLA SL21</b> <b>Relazione di predimensionamento</b></p>	<p>COMMESSA IA97</p>	<p>LOTTO 00 R 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO SL2100 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 11 di 67</p>

### 3.3 PARAMETRI SISMICI

#### 3.3.1 Vita di riferimento e sito considerato

Per la definizione dell'azione sismica occorre definire il periodo di riferimento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato. La vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera è stata assunta pari a 75 anni. La classe d'uso assunta è la II. Il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso, vale:

$$V_R = V_N \times C_u = 75 \times 1 = 75 \text{ anni.}$$

Il valore di probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, è:

$$P_{VR} \text{ (SLV)} = 10\%.$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni vale:

$$T_R \text{ (SLV)} = - \frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 712 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$ :

- $a_g$  → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- $F_0$  → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*c$  → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $S$  → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_t$ );

In questa sede per definire i valori della pericolosità sismica di base è stato scelto come riferimento un punto medio  $P_M$  posto nella zona centrale del tracciato in corrispondenza della pk 4+000 avente le seguenti coordinate geografiche

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	12 di 67

Longitudine = 14.0225;

Latitudine = 42.2906.

Si considera un sottosuolo di categoria C e categoria topografica T1.

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il tracciato corre all'interno di un sito sostanzialmente pianeggiante e viene classificato in categoria topografica T1 (Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , v. Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

### 3.3.2 Classe di duttilità

La classe di duttilità è rappresentativa della capacità dell'edificio di dissipare energia in campo anelastico per azioni cicliche ripetute. deformazioni anelastiche devono essere distribuite nel maggior numero di elementi duttili, in particolare le travi, salvaguardando in tal modo i pilastri e soprattutto i nodi travi pilastro che sono gli elementi più fragili. D.M. 2018 definisce due tipi di comportamento strutturale:

comportamento strutturale non-dissipativo;

comportamento strutturale dissipativo.

Per strutture con comportamento strutturale dissipativo si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD).

CD "A" (Alta);

CD "B" (Media).

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	13 di 67

duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisi, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

La struttura in esame è stata progettata in classe di duttilità "NON DISSIPATIVA".

### 3.3.3 *Analisi sismica adottata*

Viene condotta un'analisi dinamica lineare con spettro di risposta. Di seguito viene riportata la definizione dello spettro di risposta sulla base dei parametri riportati precedentemente. La schermata riportata è estratta dal software di modellazione Midas Gen, all'interno del quale è stato inserito lo spettro di risposta.

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	14 di 67

Add/Modify/Show Response Spectrum Functions

Function Name

Spectral Data Type

Normalized Accel.  
  Acceleration  
  Velocity  
  Displacement

Import File   Design Spectrum

Scaling

Scale Factor  

Maximum Value    g

Gravity

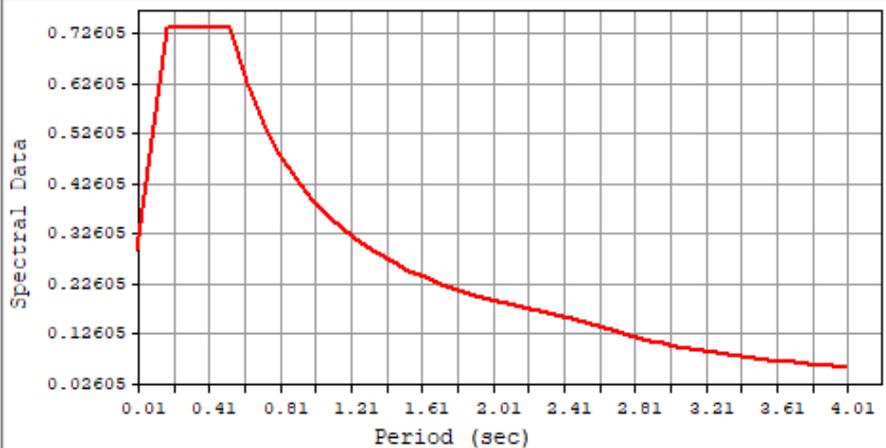
m/sec^2

Damping Ratio

Graph Options

X-axis log scale  
 Y-axis log scale

	Period (sec)	Spectral Data (g)
1	0.0000	0.2930
2	0.1760	0.7390
3	0.5280	0.7390
4	0.6200	0.6290
5	0.7120	0.5480
6	0.8030	0.4860
7	0.8950	0.4360
8	0.9860	0.3960
9	1.0780	0.3620
10	1.1690	0.3340
11	1.2610	0.3090
12	1.3530	0.2890
13	1.4440	0.2700
14	1.5360	0.2540



The graph shows Spectral Data (g) on the y-axis (ranging from 0.02605 to 0.72605) versus Period (sec) on the x-axis (ranging from 0.01 to 4.01). The curve starts at approximately 0.29g at 0.01s, rises to a peak of 0.739g between 0.176s and 0.528s, and then decays asymptotically towards 0.254g at 1.536s.

Description

T 1. Linea ferroviaria ( $V_R = 75$  anni). Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per gli stati limite di riferimento.

Stato Limite	$T_R$ [anni]	Lotto 2		
		$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.071	2.434	0.294
SLD	75	0.089	2.436	0.315
SLV	712	0.213	2.517	0.359
SLC	1462	0.272	2.549	0.370

### 3.4 PARAMETRI GEOTECNICI

Si assumono i seguenti parametri geotecnici:

Materiale	Profondità (m da p.c.)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$C_u$ (kPa)	$\varphi'$
LSA	0 – 5	19.00	5.00	30.00	26.00
GS	5 – 15	22.00	-	-	40.00
AM	15 – 25	20.50	32.00	300.00	28.00

Materiale: LSA (Limo sabbioso e argilloso), GS (Ghiaia con sabbia), AM (Argilla limosa marmosa)

z: profondità da p.c. in m

$\gamma$ : peso dell'unità di volume

$c'$ : coesione efficace

$C_u$ : coesione non drenata

$\varphi'$ : angolo d'attrito

Tabella 1: Caratterizzazione geotecnica

La falda si trova a circa 12 m dal p.c..

### 3.5 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Nel seguito sarà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza 1.00m. Si riportano di seguito le dimensioni geometriche della sezione in retto.

Spessore massetto

$H_m = 0.20m$

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	16 di 67

Larghezza totale dello scatolare	Ltot =	16.20m
Larghezza utile dello scatolare	Lint =	12.70m
Larghezza mensola di fondazione sinistra	Lmsx =	0.50m
Larghezza mensola di fondazione destra	Lmdx =	0.50m
Spessore della soletta di copertura	Ss =	1.30m
Spessore piedritti	Sp =	1.20m
Spessore della soletta di fondazione	Sf =	1.50m
Altezza libera dello scatolare	Hint =	10.0m
Altezza totale dello scatolare	Htot =	12.7m
Quota falda da p.c.	Hw =	12.00m
Larghezza striscia di calcolo	b =	1.00m

### 3.6 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono le condizioni di carico elementari assunte per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche della struttura in esame. Tali condizioni di carico elementari saranno opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

calcestruzzo armato:  $\gamma_{c.a.} = 25 \text{ kN/m}^3$ ;

sovrastuttura stradale:  $\gamma_{ril} = 20 \text{ kN/m}^3$ .

#### 3.6.1 Condizioni di carico

##### 3.6.1.1 Peso proprio strutturale (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti, calcolato in automatico dal software, risulta:

Peso soletta superiore  $P_{ss} = 25.00 \times 1.30 = 32.50 \text{ kN/m}$

Peso soletta inferiore  $P_{si} = 25.00 \times 1.50 = 37.50 \text{ kN/m}$

Peso piedritti  $P_p = 25.00 \times 1.20 = 30.00 \text{ kN/m}$

##### 3.6.1.2 Carichi permanenti portati (PERM)

Soletta superiore

$P_b = \text{Ballast} + \text{Armamento} =$

20.00 kN/mq

Soletta inferiore

$P_b = \text{Sovraccarico stradale (Pavimentazione e terreno di riempimento di 4m di altezza)} =$

70.00 kN/mq

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	18 di 67

### 3.6.1.3 Spinta del terreno (SPTSX)

La struttura è stata analizzata nella condizione di spinta a riposo.

$$K_0 = 0.56$$

La pressione del terreno è stata calcolata come:

$$P = (P_b + h_{\text{variabile}} * \gamma_{\text{terreno\_piedritto}}) * K_0$$

al di sopra della falda

$$P = [P_b + h_{\text{variabile}} * (\gamma_{\text{terreno\_piedritto}} - \gamma_w)] * K_0$$

al di sotto della falda

per cui risulta quanto segue.

Non è presente alcun carico in sommità del terreno, di conseguenza  $P_b$  è da considerarsi nullo. La falda si trova a 12m dal p.c. e di conseguenza non influenza la struttura. Viene considerata un'altezza del terreno di rinterro di 4m dall'estradosso della soletta di fondazione dello scatolare.

Pressione intradosso soletta inferiore  $P = 40.20 \text{ kN/m}$

Nella figura seguente si riportano i diagrammi di spinta del terreno agenti sui piedritti.

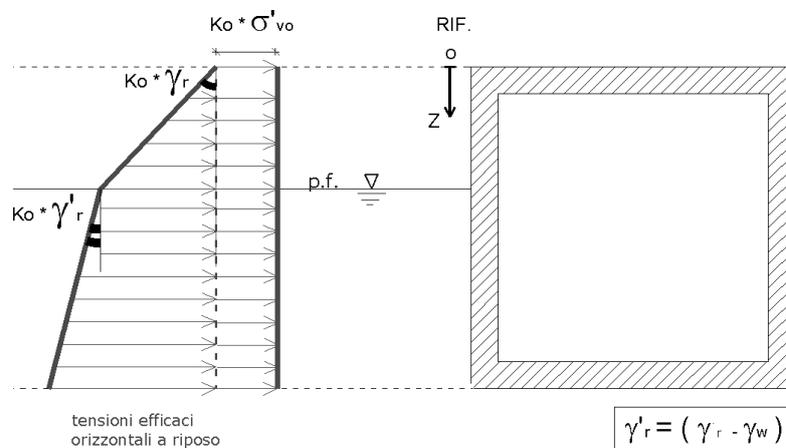
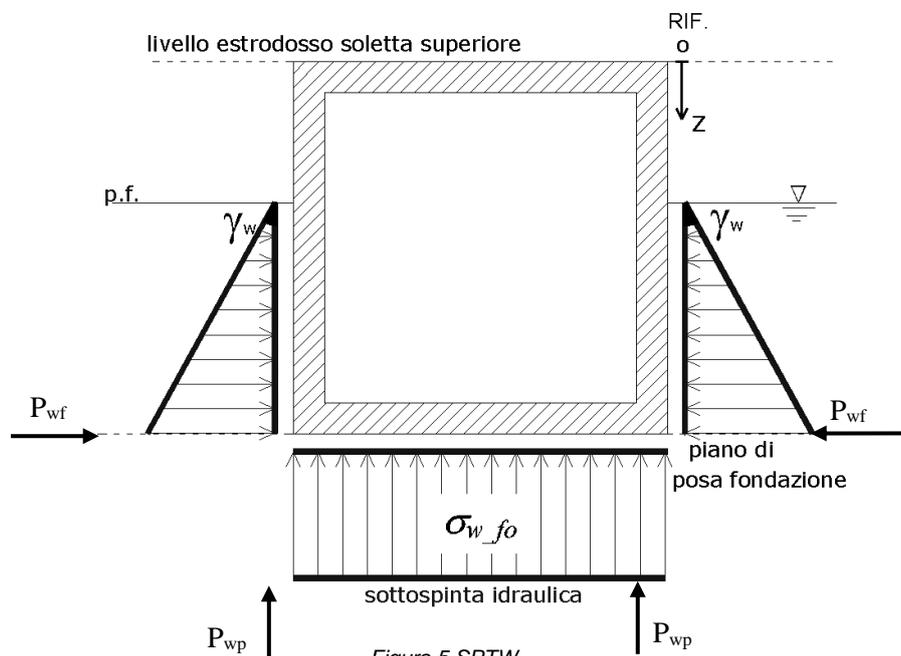


Figura 4 SPTSX

### 3.6.1.4 Azioni della falda (SPTW)

La quota del pelo libero della falda è posta a circa 12m dal p.c. e non esercita quindi alcuna spinta sui piedritti.



### 3.6.1.5 Azioni termiche (TERM)

Sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termiche. In particolare, è stata considerata sulla soletta superiore una variazione termica uniforme di  $\pm 15^\circ \text{C}$  ed una variazione termica nello spessore, tra estradosso ed intradosso, pari a  $\Delta T_v = \pm 5^\circ \text{C}$ . Il valore applicato della variazione termica uniforme viene ridotto di 1/3 per considerare gli effetti viscosi del calcestruzzo, ed è quindi pari a  $\pm 5^\circ \text{C}$ . Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

### 3.6.1.6 Ritiro

Il ritiro viene applicato mediante una variazione termica uniforme della copertura, in grado di produrre la stessa deformazione nel calcestruzzo.

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	20 di 67

I fenomeni di ritiro sono stati considerati agenti sulla sola soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente pari a:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -6.18 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Di seguito i risultati delle analisi.

L'analisi delle sollecitazioni viene svolta per una striscia di larghezza unitaria, assumendo la dimensione convenzionale  $h_0$  pari a  $2 \times A_d/u$  ed un calcestruzzo C28/35.

Caratteristiche della sezione:

$$B = 1.00 \text{ m}$$

$$H = 1.30 \text{ m}$$

Caratteristiche del cls a tempo zero:

$$f_{ck} = 28.00 \text{ N/mm}^2$$

classe del cls

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 36.00 \text{ N/mm}^2$$

resistenza a compressione media

Deformazione da ritiro:

$$U.R. = 75 \text{ } \%$$

umidità relativa

$$\epsilon_{ca}(t=\infty) = -4.50 \text{E-}05$$

ritiro autogeno

$$\epsilon_{cd}(t=\infty) = -2.30 \text{E-}04$$

ritiro per essiccamento

$$\epsilon_r = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd} = -2.75 \text{E-}04$$

Il ritiro viene considerato nel calcolo delle sollecitazioni come un'azione termica applicata alla soletta superiore di intensità pari a:

$$\alpha \times \Delta T \times E_c = \epsilon_r \times E_c / (1 + \phi)$$

$$\Delta T = \epsilon_r / [\alpha \times (1 + \phi)] = 2.75 \text{E-}04 / [1.20 \text{E-}05 \times (1 + 2.71)] = -6.17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura.

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	21 di 67

### 3.6.1.7 Azioni variabili da traffico ferroviario

#### 3.6.1.7.1 Coefficiente di incremento dinamico

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si è fatto riferimento al paragrafo 2.5.1.4.2.5 del MdP RFI DTC SI PS MA IFS 001 C, tenendo conto di quanto riportato nella Tabella 2.5.1.4.2.5.3-1. In particolare, lo scatolare non ricade nella condizione con altezza libera < 5,00m e luce < 8,00m e di conseguenza verrà moltiplicato il coefficiente  $\Phi$  per un coefficiente riduttivo pari a 0,9. Considerando la linea con normale standard manutentivo, vale quanto segue:

Lunghezza del trasverso	$L_{\text{soletta}} =$	13.9m
Altezza dei piedritti	$H_{\text{int}} =$	10.6m
Ricoprimento	$h_r =$	1.25m
Lunghezza media	$L_m =$	11.7m
Lunghezza caratteristica	$L_{\Phi} =$	15.25m
Coeff. incremento dinamico	$\Phi_3 =$	1.18

In accordo alla normativa tale coefficiente dinamico non verrà ridotto in quanto il ricoprimento è inferiore ad un metro.

#### 3.6.1.7.2 Larghezza di diffusione

Il sovraccarico ferroviario è stato distribuito dalla rotaia alla quota del piano medio della soletta di copertura assumendo che detta diffusione avvenga con rapporto 4/1 lungo il ballast ed 1/1 nel massetto delle pendenze e nelle strutture in c.a., con un aumento dell'impronta di carico pari a:

$$\Delta_d = 0.85 \quad \text{m}$$

La diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta dunque pari a:

$$L_d = 2.30 + 2 \Delta_d = 4.00 \quad \text{m}$$

#### 3.6.1.7.3 Treno LM71 (ACCM\_LM71)

Carichi verticali sulla soletta superiore

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	22 di 67

Il treno LM71 viene schematizzato da 4 assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m. Viene moltiplicato poi per il coefficiente dinamico e quello di adattamento. Si ottiene così un carico distribuito di 55kN/m sulla soletta superiore.

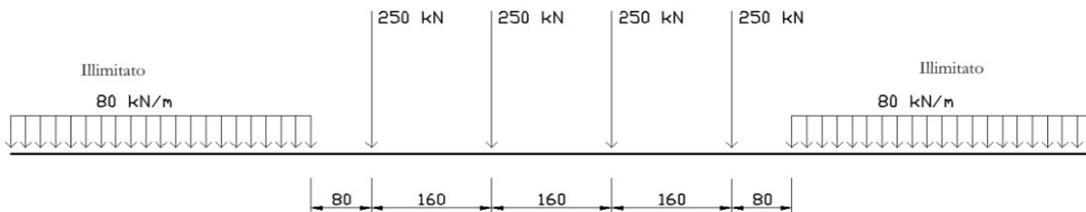


Figura 6 Treno LM71

La larghezza di diffusione in direzione longitudinale, considerando una larghezza della traversina pari a 0.30 m, risulta pari a:

$$L_l = 0.30 + 2 \times \Delta_d = 1.23 \quad \text{m}$$

Poiché la larghezza è minore dell'interasse degli assi (1.6m), le larghezze di diffusione dei singoli assi non si sovrappongono.

Si assume una lunghezza totale di diffusione dei quattro carichi concentrati:

$$L_l = 5.73 \quad \text{m.}$$

Pertanto il carico ripartito dovuto al treno LM71 (considerando il coefficiente di adattamento  $\alpha=1.1$  ed il coefficiente dinamico  $\Phi$ ) risulta:

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate  $P_{V.Q1.cop} = 48.5 \quad \text{kN/m}$

Carico ripartito prodotto dal carico distribuito  $P_{V.Q2.cop} = 24.8 \quad \text{kN/m}$

Considerando che lo scatolare ha una larghezza inferiore a 6.40 m, il carico dovuto al treno LM71 viene distribuito per tutta la larghezza dello scatolare.

### 3.6.1.7.4 Treno SW/2 (ACCM\_SW2)

Carichi verticali sulla soletta superiore

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante. Viene schematizzato da un carico lineare uniformemente ripartito di valore pari a 150 kN/m (coefficiente  $\alpha = 1,00$ ):

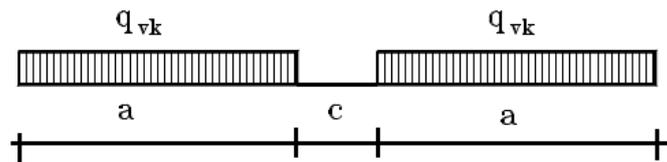


Figura 7 Treno di carico SW

Per la struttura scatolare in oggetto risulta essere meno gravoso

#### 3.6.1.7.5 Frenatura e avviamento (AVV e FREN)

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario nella direzione longitudinale, di conseguenza non rappresentano un'azione dimensionante per lo scatolare.

#### 3.6.1.7.6 Serpeggio (SERP)

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a  $Q_{sk}=100$  kN e la componente trasversale allo scatolare risulta:

#### 3.6.1.8 Azioni sismiche

##### 3.6.1.8.1 Forze di inerzia:

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudo-statica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ .

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale	$F_h = k_h \times W$
Forza sismica verticale	$F_v = k_v \times W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 \times k_h$$

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

$$G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$$

Dove nel caso specifico si assumerà, per i carichi dovuti all'azione del traffico stradale,  $\psi_{2j} = 0.2$ .

Pertanto avremo (per metro di profondità di struttura):

Massa associata al peso proprio copertura  $G_1 = 32.50$  kN/m

Massa associata al carico permanente  $G_2 = 20.00$  kN/m

Massa associata al peso proprio piedritti  $G_3 = 30.00$  kN/m

#### 3.6.1.8.2 Forze sismiche orizzontali (SISMA\_H)

Forza orizzontale sulla soletta di copertura (carico orizzontale uniformemente distribuito applicato alla soletta di copertura):

$$F'_h = k_h (G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}) = 15.90 \quad \text{kN/m}$$

Forza orizzontale sui piedritti (carico orizzontale uniformemente distribuito applicato ai piedritti):

$$F''_h = k_h G_p = 8.45 \quad \text{kN/m}$$

#### 3.6.1.8.3 Forze sismiche verticali (SISMA\_V)

Per la forza sismica verticale avremo analogamente (carico verticale uniformemente distribuito applicato alla soletta di copertura):

Forza verticale sulla soletta di copertura:

$$F'_v = k_v (G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}) = 7.90 \quad \text{kN/m}$$

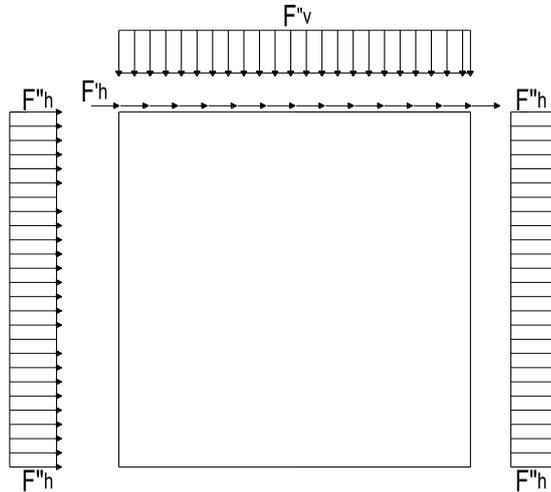


Figura 8 Forze sismiche agenti sulla struttura

### 3.6.2 Applicazione dei carichi sulla struttura

Si riporta nel seguente paragrafo l'applicazione dei carichi, descritti nei capitoli precedenti, all'interno del modello di calcolo.

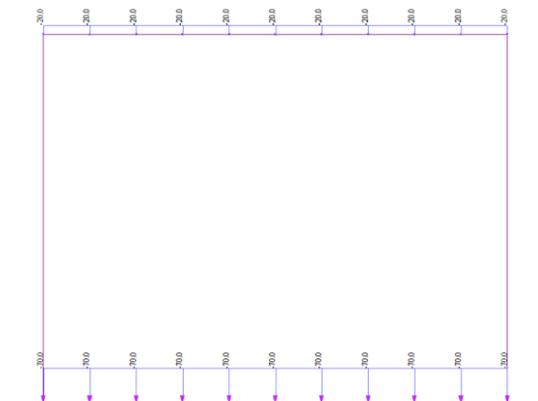


Figura 9 Carichi permanenti portati

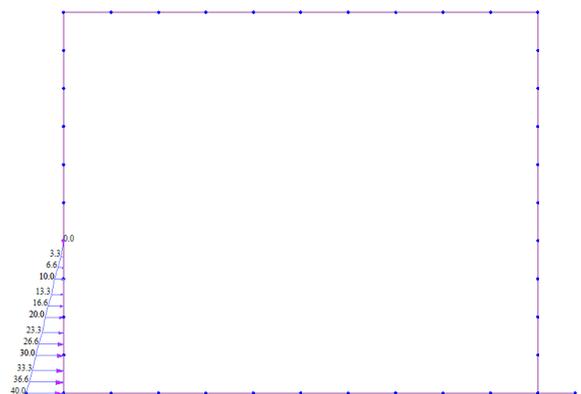


Figura 10 Spinta statica delle terre

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	26 di 67

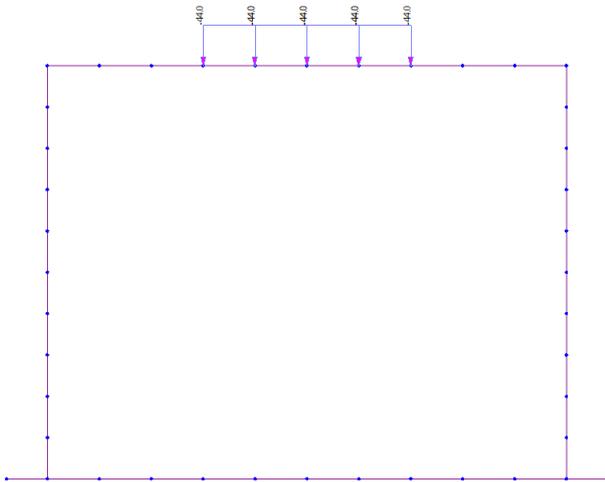


Figura 11 Carico verticale LM71

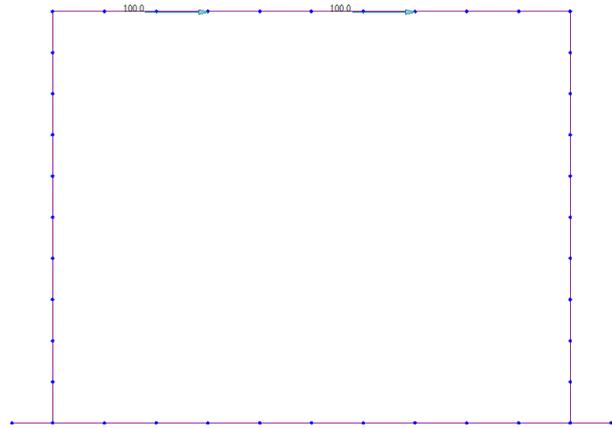


Figura 12 Serpeggio LM71

### 3.7 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	27 di 67

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza del traffico stradale, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.1.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti pedonali  
 (\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IA97 00 R 29 CL SL2100 001 B 28 di 67

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{t1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{t2}$ , $\gamma_{t3}$ , $\gamma_{t4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolge i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

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 combinazione	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
	5	0,0	0,0	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

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si è fatto riferimento alla combinazione A1 STR.

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	29 di 67

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico stradale sono combinate con un coefficiente  $\psi_2 = 0.2$  (paragrafo 5.1.3.12 del DM 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche strutturali sono riportate, in forma estesa, di seguito.

Name	Dead	Portati	Ritiro	Termica	Treno	ST_Terra	Ex
SLU 1	1.35	1.5	1.2	0	0	1.35	0
SLU 2	1.35	1.5	1.2	0.9	0.54	1.35	0
SLU 3	1.35	1.5	1.2	0.9	1.35	1.35	0
SLU 4	1.35	1.5	1.2	1.5	0.54	1.35	0
SLV 1	1	1	1	0	0	1	1
SLV 2	1	1	1	0	0.2	1	1
SLER01	1	1	1	0.6	0.4	1	0
SLER02	1	1	1	0.6	1	1	0
SLEQP	1	1	0	0.5	0	1	0

### 3.8 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche strutturali condotte sono le seguenti:

- Verifiche di stato limite di esercizio:
  - Verifiche di deformabilità
  - Verifiche a fessurazione
  - Verifica delle tensioni
- Verifiche di stato limite di ultimo
  - Verifica a flessione
  - Verifica a taglio

#### 3.8.1 Verifiche allo stato limite ultimo

##### 3.8.1.1 Sollecitazioni flettenti

La verifica agli SLU è stata realizzata attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabola-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ( $\sigma_{\max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$ );
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ( $\sigma_{\max} = f_{yk} / 1.15$ )

##### 3.8.1.2 Sollecitazioni taglienti

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con la seguente espressione:

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

dove:

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5$$

La verifica di resistenza (SLU) è soddisfatta se è verificata la seguente relazione:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura trasversale è stata calcolata con la seguente relazione:

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

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" del calcestruzzo d'anima è stata calcolata con la seguente relazione:

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

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due relazioni sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

d è l'altezza utile della sezione;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione;

$\sigma_{cp}$  è la tensione media di compressione della sezione;

$A_{sw}$  è l'area dell'armatura trasversale;

S è interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha$  è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$f'_{cd}$  è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd}=0.5f_{cd}$ );

$\alpha$  è un coefficiente maggiorativo par ad 1 per membrature non compresse.

### 3.8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

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 2 Descrizione delle condizioni ambientali (Tab. 4.1.III delle NTC18)

Nel caso in esame, le condizioni ambientali sono sempre "aggressive".

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	33 di 67

### 3.8.2.1 Verifica a fessurazione

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è pari a:

-  $w_1 = 0.2$  mm per la combinazione rara, come prescritto dal manuale RFI DTCSICSMAIFS001A capitolo 3.10.3.2.2.

### 3.8.2.2 Verifica delle tensioni

I limiti tensionali considerati per i materiali sono relativi alla combinazione di carico quasi permanente e caratteristica.

Calcestruzzo:

Combinazione di azioni	Limite tensionale
Caratteristica (rara)	$\sigma_c \leq 0.55 f_{ck}$
Quasi permanente	$\sigma_c \leq 0.40 f_{ck}$

Acciaio:

Combinazione di azioni	Limite tensionale
Caratteristica (rara)	$\sigma_a \leq 0.75 f_{yk}$

### 3.9 MODELLAZIONE STRUTTURALE

#### 3.9.1 Codice di calcolo

Il modello di calcolo è stato implementato tramite il software specifico Midas Gen.

#### 3.9.2 Modello di calcolo

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

La fondazione è schematizzata come una trave su suolo elastico alla Winkler non reagente a trazione.

Nelle analisi strutturali, per la determinazione del coefficiente di sottofondo alla Winkler si è fatto riferimento alla seguente relazione (Vesic, 1965):

$$K = \frac{0.65E}{1-\nu^2} \sqrt[12]{\frac{Eb^4}{(EJ)_{fond}}}$$

dove:

E = modulo elastico del terreno;

$\nu$  = coefficiente di Poisson;

b = dimensione trasversale;

h = altezza;

J = inerzia;

$E_c$  = modulo elastico del calcestruzzo della fondazione.

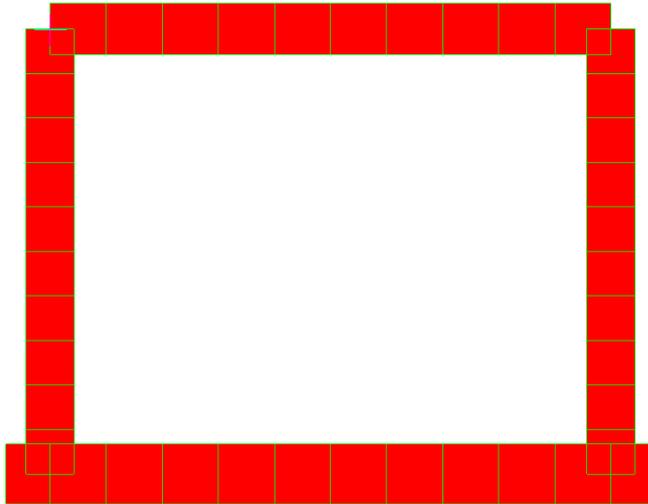
Nel caso in esame  $k_s$  risulta pari a 12190 kN/mc.

Tale rigidezza è stata applicata come support lungo la fondazione, in particolare considerando la striscia di calcolo pari ad 1 m risulta 12190kPa/m \* 1m = 12190 kN/m/m.

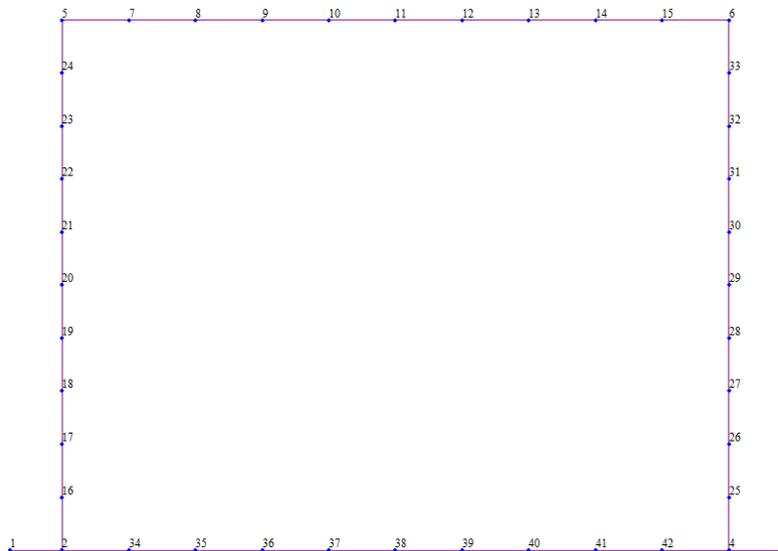
**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	35 di 67



*Figura 13 Modello – Vista 3D*



*Figura 14 Modello – Numerazione dei nodi*

**FARFALLA SL21**

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	36 di 67

### 3.10 ANALISI MODALE

La risposta dinamica della struttura in assenza di forzanti esterne è stata determinata mediante il metodo della analisi modale. Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore allo 85%, come espresso nelle NTC18 al paragrafo 7.3.3.1.

Si riporta di seguito la principale forma modale.

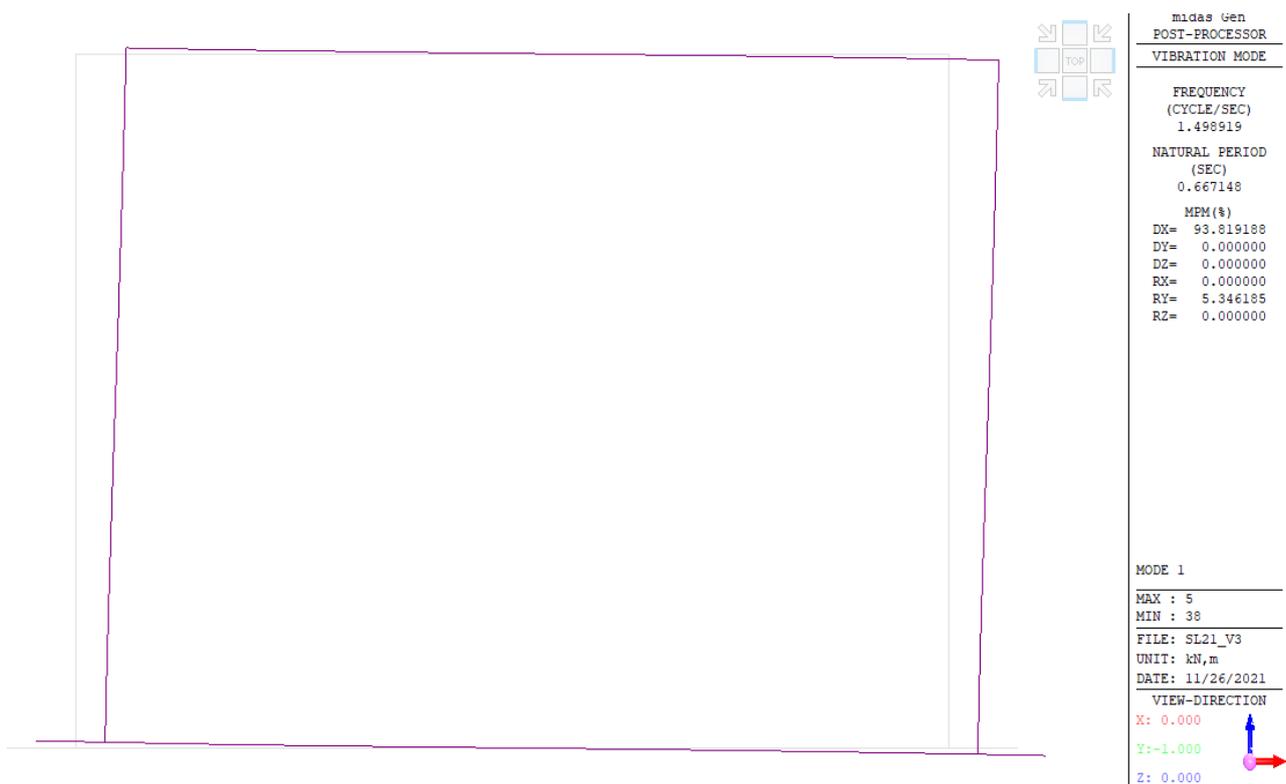


Figura 15 Inviluppo SLU/SLV: Momenti flettenti

**FARFALLA SL21**

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	37 di 67

### 3.11 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito è riportato l'involuppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti dello stato limite ultimo. Le unità di misura adottate nei diagrammi seguenti sono kNm per il momento flettente e kN per taglio e sforzo normale.

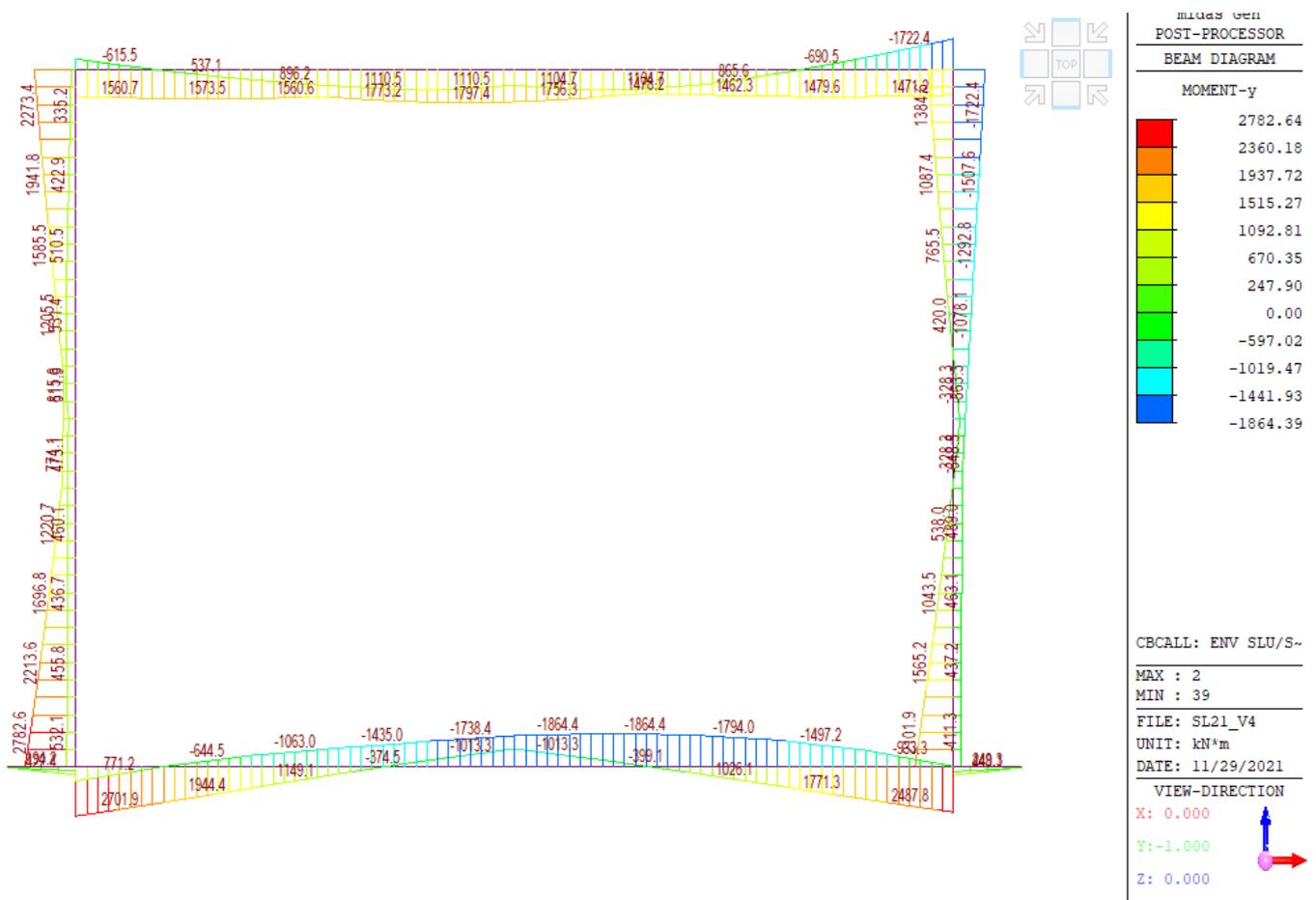


Figura 16 Involuppo SLU/SLV: Momenti flettenti

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	38 di 67

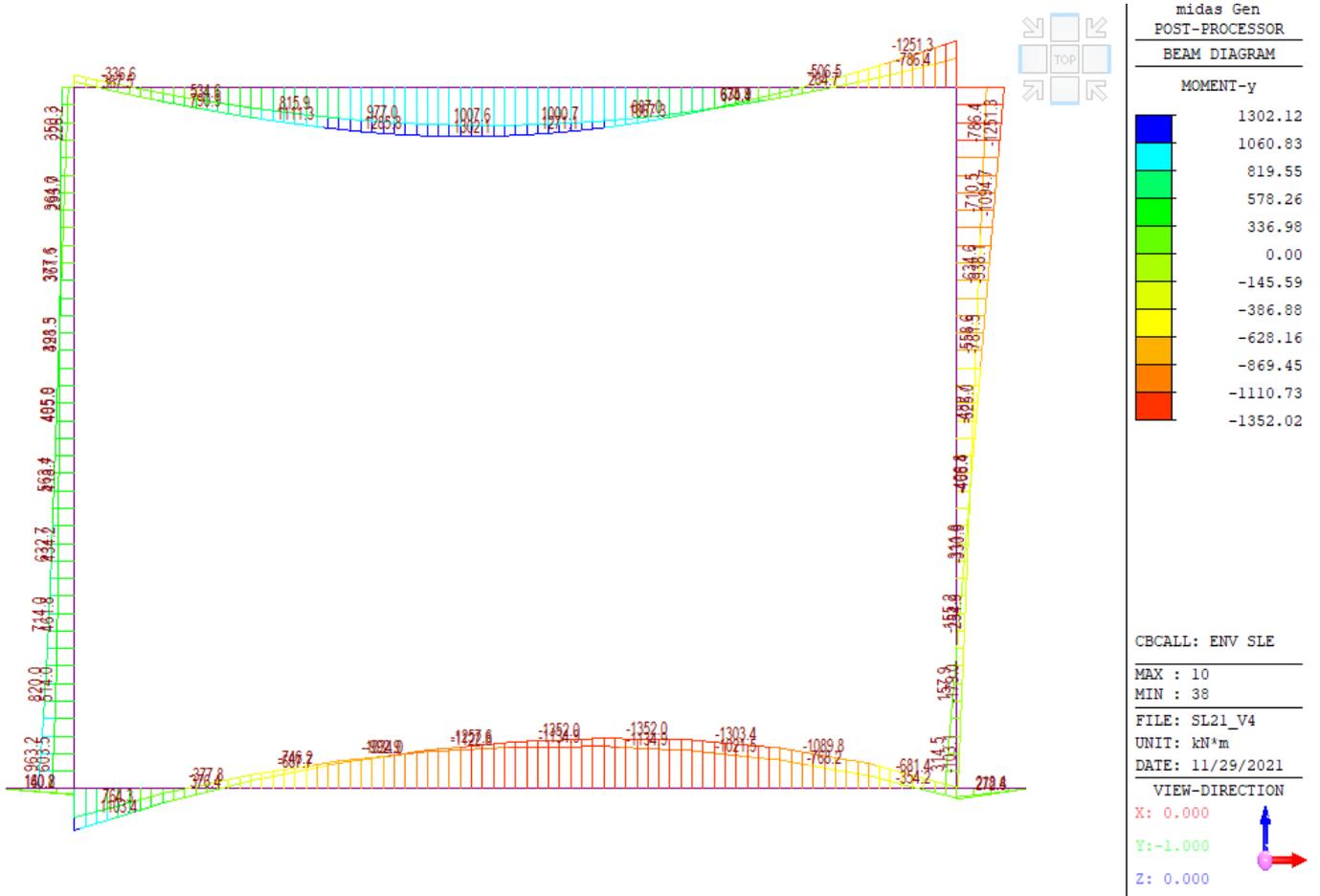


Figura 17 Involuppo SLE: Momenti flettenti

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	39 di 67

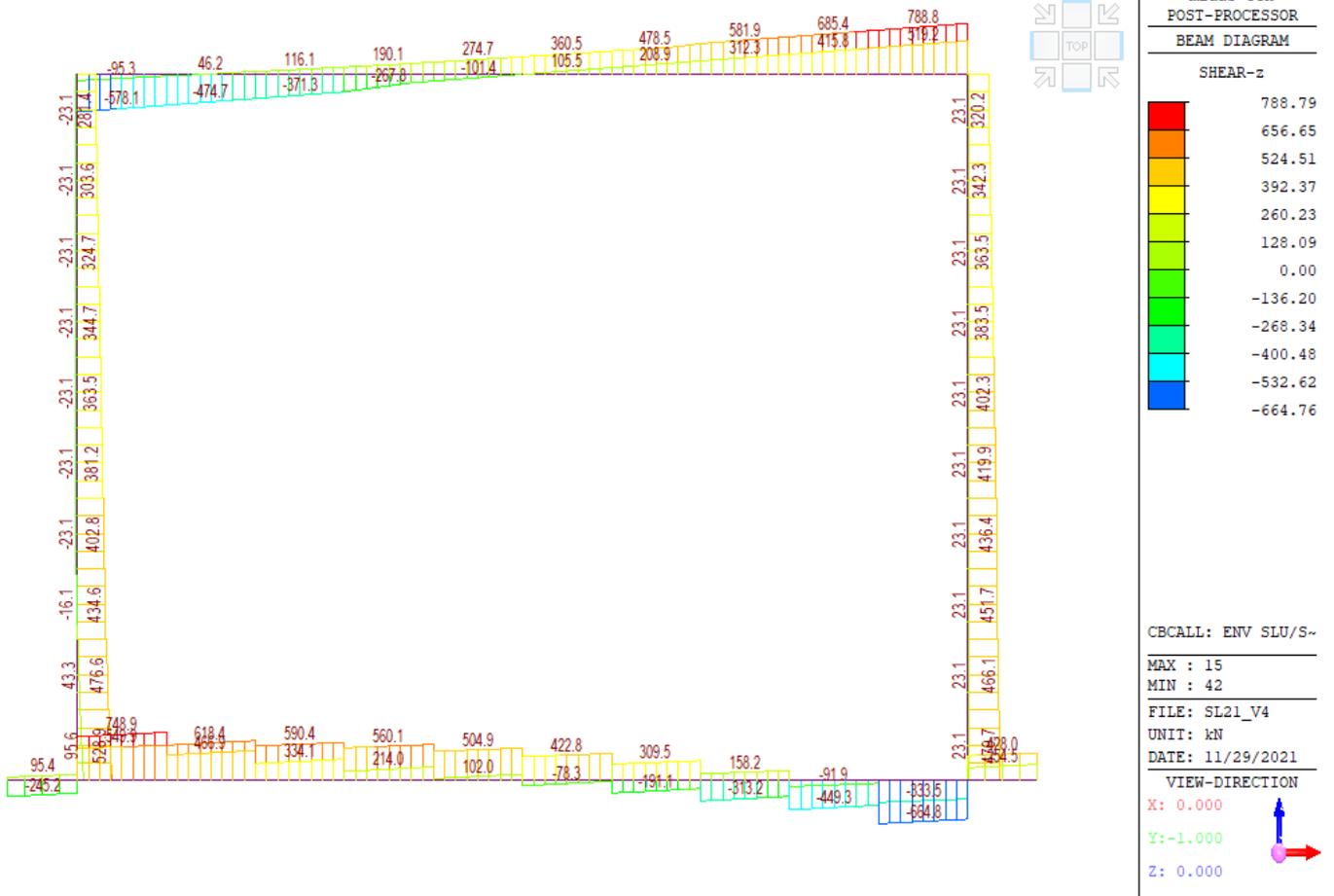


Figura 18 Involuppo SLU/SLV: sollecitazioni taglianti

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	40 di 67

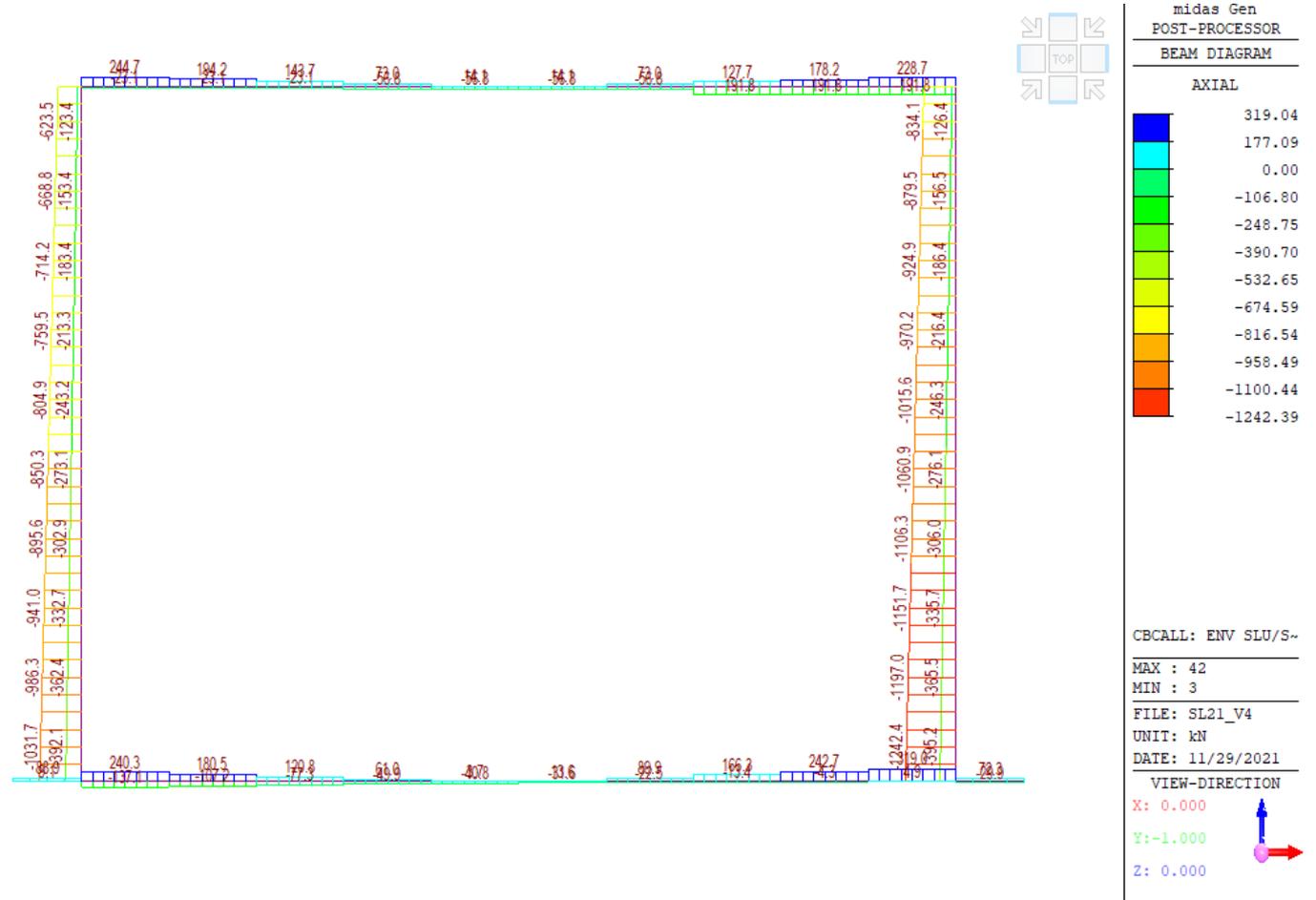
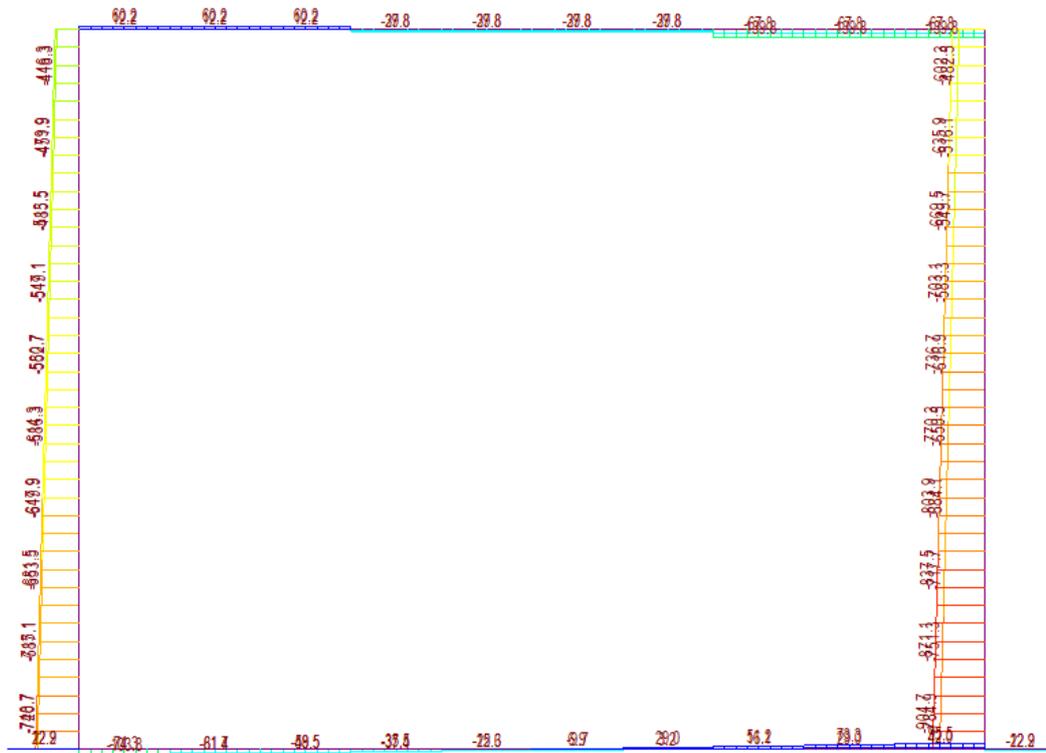


Figura 19 Involuppo SLU/SLV: sforzo normale

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	41 di 67



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

95.48
0.00
-86.37
-177.30
-268.23
-359.16
-450.09
-541.02
-631.95
-722.87
-813.80
-904.73

CBCALL: ENV SLE

MAX : 42  
MIN : 3

FILE: SL21\_V4  
UNIT: kN  
DATE: 11/29/2021

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Figura 20 Involuppo SLE: sforzo normale

### 3.12 VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO

Le verifiche strutturali risultano soddisfatte allo stato limite ultimo e in esercizio per tutte le combinazioni di carico. Vengono effettuate mediante il software RC\_SEC per quanto riguarda le verifiche flessionali.

Le verifiche a taglio vengono eseguite manualmente attraverso l'ausilio di fogli di calcolo strutturati ad hoc.

Nelle verifiche riportate di seguito sono stati rispettati i minimi di armatura previsti dalle NTC18 riportate al paragrafo 4.1.6.

Facendo riferimento al paragrafo 7.4.6.2.4 delle NTC18, si è rispettato il limite per le pareti di almeno 9 legature ogni metro quadrato.

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	43 di 67

### 3.12.1 Armature di progetto

Il software esegue in automatico tutte le verifiche strutturali sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di esercizio.

Si riporta di seguito l'armatura degli elementi strutturali nelle sezioni di mezzera e di incastro.

Elemento	Tipo bxh	Armatura longitudinale							Armatura a taglio					Sommano [kg]	Arm.ripart		
		Lato	Diametro [mm]	N°	As [mm2]	Diametro [mm]	N°	As [mm2]	As tot [mm2]	Lato	Diametro [mm]	Lunghezza [m]	N° al metro		Peso [kg]	Diametro [mm]	N°
Soletta superiore - mezz	130x100	tesa	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8	20x20	10	1.95	25	30.079	172.12	16	5
		compr.	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8							16	5
Soletta superiore - inc	130x100	tesa	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8	20x20	10	1.95	25	30.079	172.12	16	5
		compr.	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8							16	5
Piedritti - Incastro	120x100	tesa	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8	20x20	10	1.8	25	27.765	169.81	16	5
		compr.	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8							16	5
Piedritti - Mezzera	120x100	tesa	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8	20x20	10	1.8	25	27.765	169.81	16	5
		compr.	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8							16	5
Fondazione - Incastro	150x100	tesa	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8	20x20	10	2.25	25	34.706	176.75	16	5
		compr.	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8							16	5
Fondazione - Mezzera	150x100	tesa	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8	20x20	10	2.25	25	34.706	176.75	16	5
		compr.	24	10	4523.9	24	10	4523.9	9047.8							16	5

Per i risultati delle verifiche si rimanda ai tabulati di calcolo riportati di seguito.

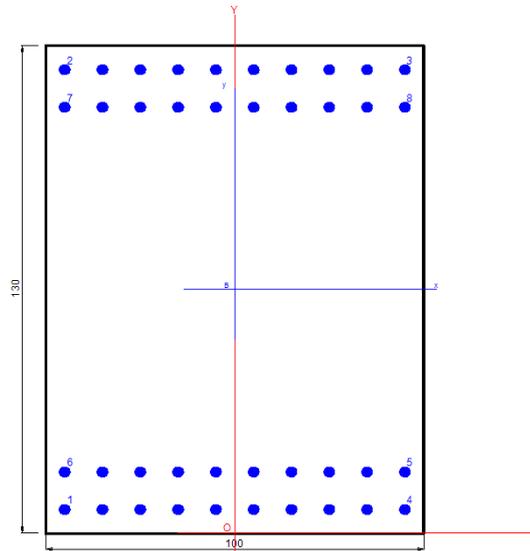
### 3.12.2 Verifiche SLU a flessione – Verifiche SLE

#### 3.12.2.1 Verifica soletta di copertura

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	44 di 67



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.5 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.0 MPa	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.5 MPa	
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.0 MPa	
Resist. 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		2000000 daN/cm <sup>2</sup>	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa		

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C30/37

N°vertice: X [cm] Y [cm]

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	45 di 67

1	-50.0	0.0
2	-50.0	130.0
3	50.0	130.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	6.4	24
2	-45.0	123.6	24
3	45.0	123.6	24
4	45.0	6.4	24
5	45.0	16.4	24
6	-45.0	16.4	24
7	-45.0	113.6	24
8	45.0	113.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	6	5	8	24
4	7	8	8	24

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	10 mm
Passo staffe:	10.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1797.00	0.00	788.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
---	---

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	46 di 67

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	60.00	1250.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	60.00	1250.00 (1182.32)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.8 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 2.8 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1797.00	0.00	0.00	4005.01	0.00	2.23	90.5(20.8)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 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)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 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 compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
--------	--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	47 di 67

1    0.00350    0.121    -50.0    130.0    0.00201    -45.0    123.6    -0.02533    -45.0    6.4

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c            Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
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 per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000233292	-0.026827985	0.121	0.700

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:            10 mm  
Passo staffe:            10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver                    S = comb. verificata / N = comb. non verificata  
Ved                    Taglio di progetto [kN] = proiez. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd                    Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd                    Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
Dmed                  Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna.  
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse).  
bw                     Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg                    Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
Acw                    Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast                    Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff                  Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lunghez.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	788.00	3271.03	1714.88	124.0	100.0	2.500	1.000	7.2	15.7(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver                    S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max                Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max      Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min                Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min      Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.                Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.                Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.13	-50.0	130.0	-134.1	35.0	6.4	2850	90.5

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.                    La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
e1                    Esito della verifica  
e2                    Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata  
k1                    Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff  
= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	48 di 67

kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00072	0.00000	0.845	24.0	52	0.00040 (0.00040)	394	0.158 (990.00)	1182.32	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

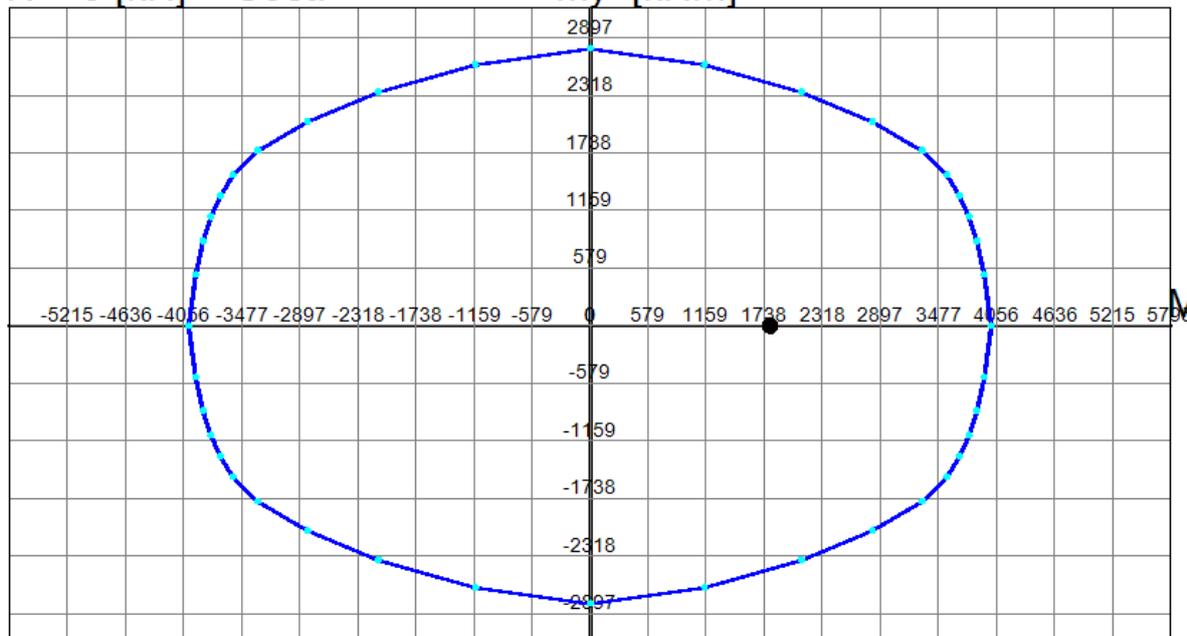
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.13	-50.0	130.0	-134.1	35.0	6.4	2850	90.5

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00072	0.00000	0.845	24.0	52	0.00045 (0.00040)	394	0.178 (0.20)	1182.32	0.00

**N = 0 [kN] = Cost.**

**My [kNm]**



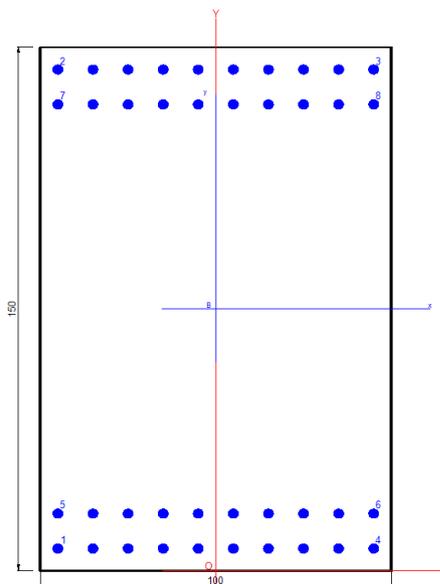
**Mx [kNm]**

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	49 di 67

### 3.12.2.2 Verifica soletta di fondazione



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.5 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.0 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.5 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.0 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.0 MPa
Resist. 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		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$ :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C30/37

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	50 di 67

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	150.0
3	50.0	150.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	6.4	24
2	-45.0	143.6	24
3	45.0	143.6	24
4	45.0	6.4	24
5	-45.0	16.4	24
6	45.0	16.4	24
7	-45.0	133.6	24
8	45.0	133.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	5	6	8	24
4	7	8	8	24

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	5	6	8	24
4	7	8	8	24

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	10	mm
Passo staffe:	10.0	cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	170.00	2701.00	0.00	788.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	51 di 67

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	60.00	1350.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	60.00	1350.00 (1534.77)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.6 cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.8 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	170.00	2701.00	0.00	308.58	4898.20	0.00	1.81	90.5(25.1)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
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)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
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 compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	52 di 67

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.111	-50.0	150.0	0.00209	-45.0	143.6	-0.02817	-45.0	6.4

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
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 per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000220524	-0.029578618	0.111	0.700

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:                    10 mm  
Passo staffe:                    10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver            S = comb. verificata / N = comb. non verificata  
Ved            Taglio di progetto [kN] = proiezz. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd            Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd            Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
Dmed          Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna.  
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).  
bw            Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg            Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
Acw            Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast            Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff          Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	788.00	3823.94	1991.47	144.0	100.0	2.500	1.007	6.2	15.7(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min        Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.        Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.        Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.49	50.0	150.0	-121.6	-45.0	6.4	2850	90.5

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.            La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
e1            Esito della verifica  
Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	53 di 67

e2	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00065	0.00000	0.868	24.0	38	0.00036 (0.00036)	352	0.128 (990.00)	1534.77	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

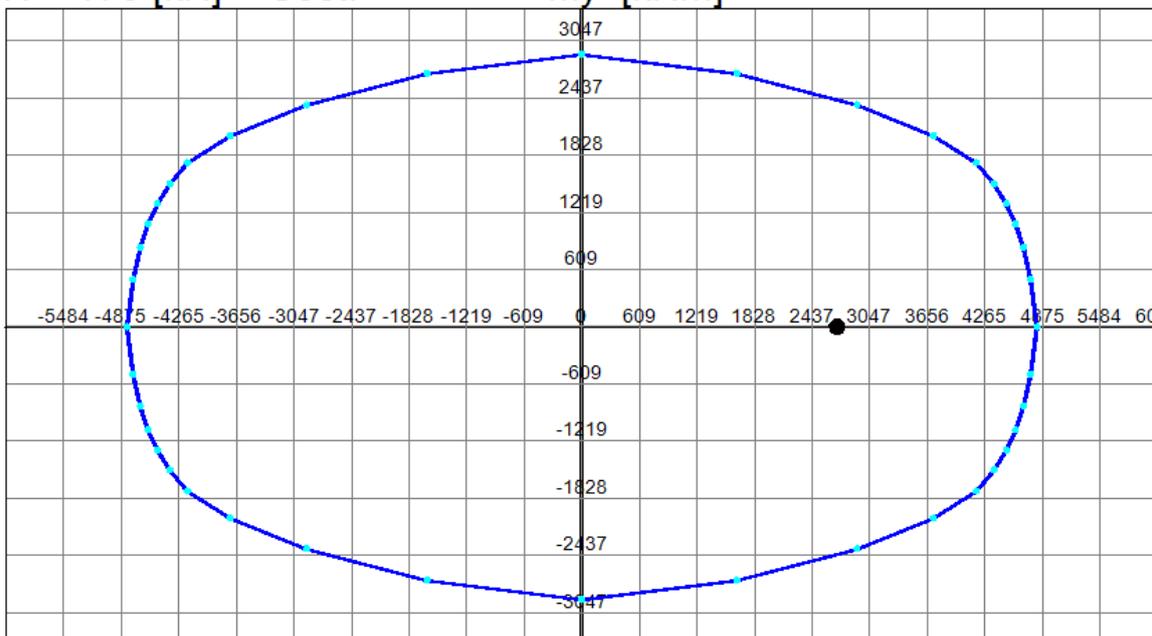
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.49	50.0	150.0	-121.6	-45.0	6.4	2850	90.5

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00065	0.00000	0.868	24.0	38	0.00039 (0.00036)	352	0.137 (0.20)	1534.77	0.00

**N = 170 [kN] = Cost.**

**My [kNm]**



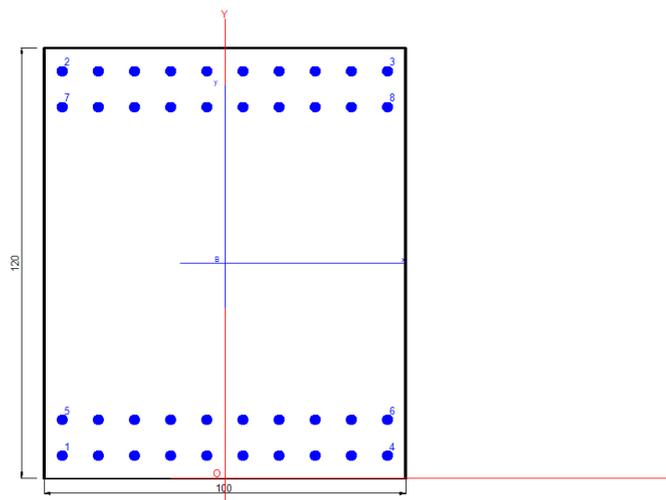
**Mx [kNm]**

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	54 di 67

### 3.12.2.3 Verifica piedritti



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.0 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.5 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.90 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.0 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.5 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. 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	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C30/37

N°vertice: X [cm] Y [cm]

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	55 di 67

1	-50.0	0.0
2	-50.0	120.0
3	50.0	120.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	6.4	24
2	-45.0	113.6	24
3	45.0	113.6	24
4	45.0	6.4	24
5	-45.0	16.4	24
6	45.0	16.4	24
7	-45.0	103.6	24
8	45.0	103.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	5	6	8	24
4	7	8	8	24

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	10 mm
Passo staffe:	15.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1200.00	2782.00	0.00	529.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
---	---

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	56 di 67

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	500.00	1250.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	500.00	1250.00 (1114.59)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.8 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 2.8 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	1200.00	2782.00	0.00	1945.29	4509.97	0.00	1.62	181.0(36.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 Xc max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 Yc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min 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)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 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 compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	57 di 67

1      0.00350      -50.0      120.0      0.00246      -45.0      113.6      -0.01498      -45.0      6.4

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
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 per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000162633	-0.016015930	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:      10 mm  
Passo staffe:      15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver      S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved      Taglio di progetto [kN] = proiez. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd      Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd      Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z      Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
La resistenza dei pilastri è calcolata assumendo il valore di z (coppia interna))  
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse).  
bw      Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg      Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
Acw      Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast      Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff      Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff	
1	S	529.00	3270.78	1079.65	114.0	105.4	100.0	2.500	1.059	5.1	10.5(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver      S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max      Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max      Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min      Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min      Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.      Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.      Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.00	-50.0	120.0	-125.7	35.0	6.4	2600	90.5

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.      La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
e1      Esito della verifica  
e2      Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata  
k1      Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff  
= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	58 di 67

kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00069	0.00000	0.834	24.0	52	0.00038 (0.00038)	372	0.140 (990.00)	1114.59	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

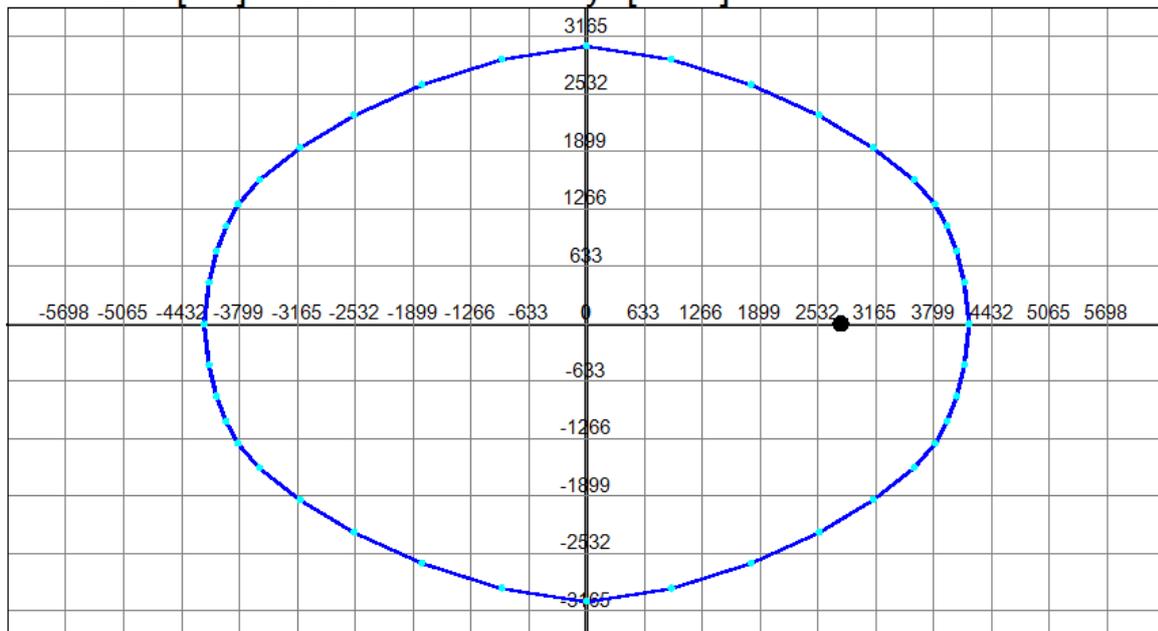
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.00	-50.0	120.0	-125.7	35.0	6.4	2600	90.5

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00069	0.00000	0.834	24.0	52	0.00043 (0.00038)	372	0.159 (0.20)	1114.59	0.00

**N = 1200 [kN] = Cost.**

**My [kNm]**



**Mx [kNm]**

**FARFALLA SL21**

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	59 di 67

### 3.13 AZIONI IN FONDAZIONE

Si valutano le azioni globali agenti in fondazione:

Load	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
SLU 1	-118.75248	3021.45	-64.819728
SLU 2	-226.75248	3210.86	-587.535271
SLU 3	-388.75248	3508.45	-1371.60859
SLU 4	-226.75248	3204.88	-587.535271
SLV 1	730.13535	2137.44	4371.243528
SLV 2	690.13535	2210.91	4177.645179
SLER01	-167.9648	2271.50	-435.211312
SLER02	-287.9648	2491.91	-1016.00636
SLEQP	-87.9648	2121.55	-48.014613

### 3.14 VERIFICHE GEOTECNICHE DELLA FONDAZIONE

Viene effettuata la verifica a carico limite della fondazione e riportata di seguito e il calcolo allo SLE dei cedimenti.

#### 3.14.1 Verifica a carico limite

La verifica riportata si riferisce alla combinazione SLV1, che rappresenta la verifica più gravosa rispetto allo SLU.

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	60 di 67

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni efficaci**

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MN$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

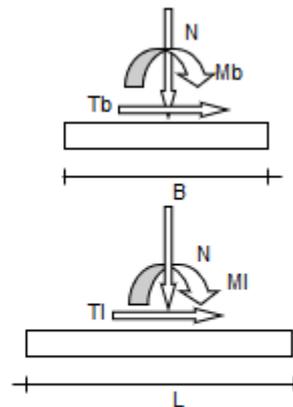
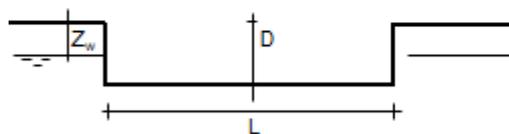
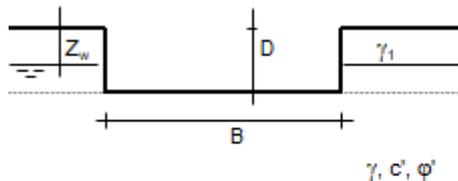
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze	
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo A1+M1+R3	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Definiti dal Progettista	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 16.20 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 2.50 (m)

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	61 di 67



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporane	
N [kN]	2014.00		2014.00
Mb [kNm]	4371.00		4371.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	730.00		730.00
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	730.00	0.00	730.00

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 19.00$  (kN/mc)

$\gamma = 19.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 5.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 26.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c^* = 5.00$  (kN/mq)

$\varphi^* = 26.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 12.00$  (m)

$e_B = 2.17$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 11.86$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 47.50$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 14.86$  (kN/mc)

**$N_c, N_q, N_\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 11.85$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 22.25$

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	62 di 67

$$N\gamma = 2^*(Nq + 1)*\tan\phi'$$

$$N\gamma = 12.54$$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B*Nq / (L^* Nc)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B*\tan\phi' / L^*$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4*B^* / L^*$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_b, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00 \quad \theta = \arctg(Tb/TI) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_q = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_b = (1 - H/(N + B*L^* c' \cot\phi'))^m$$

$$i_b = 0.41$$

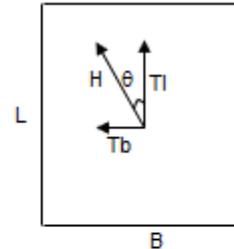
$$i_c = i_b - (1 - i_b)/(Nq - 1)$$

$$i_c = 0.35$$

$$i_\gamma = (1 - H/(N + B*L^* c' \cot\phi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.26$$

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme  
e  $m=(m_b \sin^2\theta + m_q \cos^2\theta)$  in tutti gli altri)



**$d_o, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_o = 1 + 2 D \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_o = 1 + (2 \tan\phi' (1 - \sin\phi')^2) * \arctan(D / B^*)$$

$$d_o = 1.37$$

$$d_c = d_o - (1 - d_o) / (N_c \tan\phi')$$

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	63 di 67

$$d_c = 1.40$$

$$d_7 = 1$$

$$d_7 = 1.00$$

**$b_o, b_q, b_7$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_o = (1 - \beta_r \tan \varphi')^2 \quad \beta_r + \beta_p = 0.00 \quad \beta_r + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_o = 1.00$$

$$b_c = b_o - (1 - b_o) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_7 = b_o$$

$$b_7 = 1.00$$

**$g_o, g_q, g_7$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_o = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_r + \beta_p = 0.00 \quad \beta_r + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_o = 1.00$$

$$g_c = g_o - (1 - g_o) / (N_c \tan \varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_7 = g_o$$

$$g_7 = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 394.04 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 169.82 \quad (\text{kN/m}^2)$$

FARFALLA SL21

Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	64 di 67

Verifica di sicurezza capacità portante

$$q_{lim} / \gamma_R = 171.32 \geq q = 169.82 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

Carico agente

$$H_d = 730.00 \text{ (kN)}$$

Azione Resistente

$$S_d = N \tan(\varphi) + c' B^* L^*$$

$$S_d = 1041.59 \text{ (kN)}$$

Verifica di sicurezza allo scorrimento

$$S_d / \gamma_R = 946.9 \geq H_d = 730.00 \text{ (kN)}$$

### 3.14.2 Verifica dei cedimenti

Si riportano di seguito i cedimenti a lungo termine relativi all'opera in esame, calcolati mediante la formulazione di Paulos & Davis (1974).

Il valore della sollecitazione considerato è quello relativo alla combinazione SLE quasi permanente.

**FARFALLA SL21**

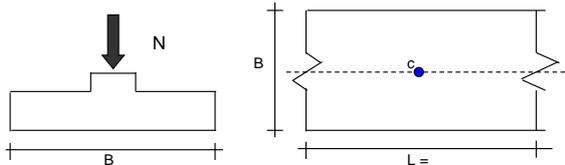
**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IA97 00 R 29 CL SL2100 001 B 65 di 67

**CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME**

z	Azi	Terreno	$\alpha$	sen $\alpha$	cos $\alpha$	E	$\nu$	$\Delta\sigma_{zi}$	$\Delta\sigma_{xi}$	$\Delta\sigma_{yi}$	$\delta_i$	$\Sigma\delta_i$
(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(cm)	(cm)

**LAVORO:**



0.00	1.0	1				10000	0.30					
1.00	1.0	1	1.51	1.00	0.06	10000	0.30	176.16	162.36	101.56	0.97	0.97
2.00	1.0	1	1.39	0.98	0.18	10000	0.30	175.72	135.56	93.38	1.07	2.04
3.00	1.0	1	1.27	0.96	0.29	10000	0.30	174.20	110.99	85.56	1.15	3.19
4.00	1.0	1	1.16	0.92	0.40	10000	0.30	171.27	89.59	78.26	1.21	4.40
5.00	1.0	1	1.06	0.87	0.49	10000	0.30	166.91	71.69	71.58	1.24	5.64
6.00	1.0	2	0.97	0.83	0.56	25000	0.30	161.40	57.15	65.56	0.50	6.14
7.00	1.0	2	0.89	0.78	0.63	25000	0.30	155.08	45.58	60.20	0.49	6.63
8.00	1.0	2	0.82	0.73	0.68	25000	0.30	148.31	36.49	55.44	0.48	7.12
9.00	1.0	2	0.76	0.69	0.72	25000	0.30	141.40	29.37	51.23	0.47	7.58
10.00	1.0	2	0.71	0.65	0.76	25000	0.30	134.56	23.81	47.51	0.45	8.04
11.00	1.0	2	0.66	0.61	0.79	25000	0.30	127.94	19.45	44.22	0.44	8.47
12.00	1.0	3	0.61	0.58	0.82	80000	0.25	121.62	16.02	34.41	0.14	8.61
13.00	1.0	3	0.57	0.54	0.84	80000	0.25	115.67	13.30	32.24	0.13	8.74
14.00	1.0	3	0.54	0.51	0.86	80000	0.25	110.09	11.13	30.31	0.12	8.86
15.00	1.0	3	0.51	0.49	0.87	80000	0.25	104.89	9.38	28.57	0.12	8.98
16.00	1.0	3	0.48	0.46	0.89	80000	0.25	100.05	7.97	27.00	0.11	9.10
17.00	1.0	3	0.46	0.44	0.90	80000	0.25	95.55	6.82	25.59	0.11	9.21
18.00	1.0	4	0.43	0.42	0.91	90000	0.30	91.37	5.87	29.17	0.09	9.30
19.00	1.0	4	0.41	0.40	0.92	90000	0.30	87.49	5.08	27.77	0.09	9.38
20.00	1.0	4	0.39	0.38	0.92	90000	0.30	83.89	4.42	26.49	0.08	9.47
21.00	1.0	4	0.38	0.37	0.93	90000	0.30	80.53	3.87	25.32	0.08	9.55
22.00	1.0	4	0.36	0.35	0.94	90000	0.30	77.41	3.41	24.25	0.08	9.62
23.00	1.0	4	0.35	0.34	0.94	90000	0.30	74.50	3.01	23.25	0.07	9.70
24.00	1.0	4	0.33	0.33	0.95	90000	0.30	71.78	2.67	22.34	0.07	9.77
25.00	1.0	4	0.32	0.31	0.95	90000	0.30	69.24	2.38	21.49	0.07	9.84
26.00	1.0	4	0.31	0.30	0.95	90000	0.30	66.86	2.13	20.70	0.07	9.90
27.00	1.0	4	0.30	0.29	0.96	90000	0.30	64.62	1.92	19.96	0.06	9.97
28.00	1.0	4	0.29	0.28	0.96	90000	0.30	62.52	1.73	19.28	0.06	10.03
29.00	1.0	4	0.28	0.27	0.96	90000	0.30	60.55	1.56	18.63	0.06	10.09
30.00	1.0	4	0.27	0.26	0.96	90000	0.30	58.69	1.42	18.03	0.06	10.15

**Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis: 1974)**

$$\Delta\sigma_{zi} = (2q/\pi) * (\alpha + \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (2q/\pi) * (\alpha - \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (4q/\pi) * (\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{ot} = \Sigma\delta_i = \Sigma(((\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi}))\Delta z_i / E_i)$$

**DATI DI INPUT:**

B = 16.20 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 2854.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 176.17 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 4 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da	zi	a	zi+1	Azi	E	$\nu$	$\delta_{ci}$
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1	LSA	5.00	0.0	5.0	1.0	10000	0.30	5.64		
2	AL	6.50	5.0	11.5	1.0	25000	0.30	2.83		
3	GS	5.50	11.5	17.0	1.0	80000	0.25	0.73		
4	AM	13.00	17.0	30.0	1.0	90000	0.30	0.94		
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-		
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-		

$\delta_{ctot} = 10.15$  (cm)

z	Azi	Terreno	$\alpha$	sen $\alpha$	cos $\alpha$	E	$\nu$	$\Delta\sigma_{zi}$	$\Delta\sigma_{xi}$	$\Delta\sigma_{yi}$	$\delta_i$	$\Sigma\delta_i$
(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(cm)	(cm)

Il cedimento massimo di lungo termine w risulta pari a 10.15 cm. Il modello è stato assimilato ad un caso di fondazione nastriforme, di conseguenza il cedimento stimato massimo è coincidente con il cedimento medio che si ottiene lungo lo sviluppo longitudinale dell'opera.

Nelle successive fasi progettuali sarà approfondito lo studio della distribuzione effettiva degli sforzi e dei cedimenti al di sotto dello scatolare.

**FARFALLA SL21**

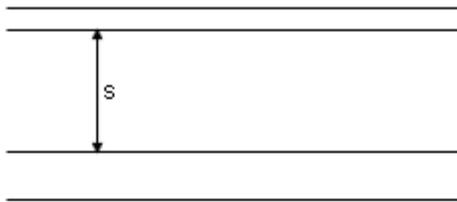
Relazione di predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	66 di 67

Di seguito si riporta una stima del decorso dei cedimenti nel tempo, calcolata mediante la formulazione di Lancellotta (1987):

**DECORSO DEI CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE**

**LAVORI**



**Formulazione Teorica (Lancellotta: 1987)**

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0.5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{0.5})^{0.5})^{0.723}$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^2)^{0.5})^{0.327}$$

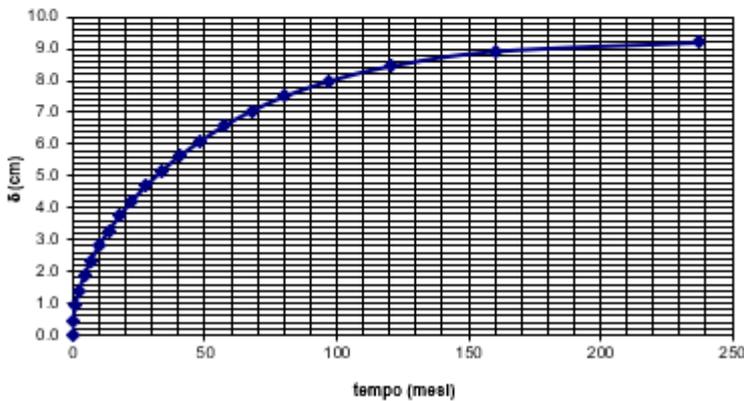
$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

$$U_m = \delta_t / \delta_{t_{max}}$$

**DATI DI INPUT:**

- $\delta_{t_{max}} = 3.41$  (cm) (Cedimento massimo)
- $h = 5.00$  (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)
- $cv = 6.80.E-08$  (m<sup>2</sup>/sec) (Coeff. di Consolidazione)

**Andamento del Cedimento nel Tempo**



$t = 0.067$ (mesi)	$U_m = 2.5$ (%)	$\delta_t = 0.23$ (cm)
$\delta_t = 1.0$ (cm)	$U_m = 10.6$ (%)	$t = 1.26$ (mesi)
$U_m = 99$ (%)	$t = 308.05$ (mesi)	$\delta_t = 9.32$ (cm)

**FARFALLA SL21**

**Relazione di predimensionamento**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 29	CL	SL2100 001	B	67 di 67

Dall'analisi si evince che il cedimento di fine consolidazione si esaurisce in un tempo di circa 308 mesi. Il cedimento immediato nel terreno a grana fine (0,067 mesi) posto al di sotto della fondazione dello scatolare è invece pari a 0,23 cm. Sommando tale cedimento a quello di breve termine dei terreni a grana grossa sottostanti pari 0.73 cm si ottiene un cedimento immediato  $w_0$  pari a

$$w_0 = w_i + w_{gs} = 0.23 + 0.73 = 0.96 \text{ cm}$$

che risulta compatibile con le funzionalità dell'opera. Si ottiene inoltre il cedimento di fine consolidazione  $w_c$  pari a

$$w_c = w - w_0 = 10.15 - 0.96 = 9.19 \text{ cm}$$

ottenuto dalla differenza del cedimento complessivo e di quello immediato. Tuttavia, considerando un cedimento totale di fine consolidazione che eccede i 4 cm e la presenza di carichi asimmetrici in alcune zone dell'opera in esame che può causare cedimenti differenziali, verrà comunque previsto un consolidamento del terreno mediante la realizzazione di uno strato superficiale di bonifica e un consolidamento mediante l'utilizzo di pali in ghiaia. Questi interventi contribuiscono a garantire una maggiore distribuzione dei carichi e una conseguente maggiore uniformità attesa per i cedimenti rispetto a quelli stimati. In relazione ai limiti indicati si ritiene che l'opera con i consolidamenti possa registrare cedimenti massimi anche inferiori.