

**ITINERARIO RAGUSA-CATANIA**

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 4 - Dallo svincolo n. 8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana"(escluso)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PA898**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE**

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

	Dott. Ing. N.Granieri	Dott. Ing. M.Abram
	Dott. Ing. F.Durastanti	Dott. Ing. F.Pambianco
	Dott. Ing. V.Truffini	Dott. Ing. M.Briganti Botta
	Dott. Arch. A.Bracchini	Dott. Ing. L.Gagliardini
	Dott. Ing. L.Nani	Dott. Geol. G.Cerquiglini

MANDANTI:

	Dott. Ing. G.Guiducci	Dott. Ing. G.Lucibello
	Dott. Ing. A.Signorelli	Dott. Arch. G.Guastella
	Dott. Ing. E.Moscatelli	Dott. Geol. M.Leonardi
	Dott. Ing. A.Bela	Dott. Ing. G.Parente
	Dott. Arch. E.A.E.Crimi	Dott. Ing. L.Ragnacci
	Dott. Ing. M.Panfilì	Dott. Arch. A.Strati
	Dott. Arch. P.Ghirelli	Archeol. M.G.Liseno
	Dott. Ing. D.Pelle	
	Dott. Ing. D.Carlaccini	Dott. Ing. F.Aloe
	Dott. Ing. S.Sacconi	Dott. Ing. A.Salvemini
	Dott. Ing. C.Consorti	
	Dott. Ing. V.Rotisciani	Dott. Ing. G.Verini Supplizi
	Dott. Ing. G.Pulli	Dott. Ing. V.Piunno
	Dott. Ing. F.Macchioni	Geom. C.Sugaroni
	Dott. Ing. P.Agnello	

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



**SOTTOVIA**  
**SOTTOVIA AL KM 13+308 - SVINCOLO 9 RAMPA 5**  
**Relazione di calcolo**

CODICE PROGETTO		NOME FILE	REVISIONE	SCALA:	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.			
L0408Z	E	2101	C	-	
T04ST06STRRE01					
C	Revisione a seguito di Rapporto di Verifica	Nov 2021	M. Botta	F. Durastanti	N.Granieri
B	Revisione a seguito istruttoria Anas	Set 2021	M. Botta	F. Durastanti	N.Granieri
A	Emissione	Giu 2021	M. Botta	F. Durastanti	N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI</b> .....	<b>7</b>
3.1	<b>CALCESTRUZZO</b> .....	<b>7</b>
3.2	<b>ACCIAIO</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....	<b>8</b>
4.1	<b>TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO</b> .....	<b>8</b>
4.2	<b>INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b> .....	<b>10</b>
5.1	<b>VITA NOMINALE E CLASSE D'USO</b> .....	<b>10</b>
5.2	<b>PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA</b> .....	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>SOFTWARE DI CALCOLO</b> .....	<b>14</b>
6.1	<b>ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO ADOTTATI</b> .....	<b>14</b>
6.2	<b>UNITÀ DI MISURA</b> .....	<b>14</b>
6.3	<b>GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE</b> .....	<b>14</b>
6.4	<b>VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZZA DEL MODELLO</b> .....	<b>14</b>
6.5	<b>CARATTERISTICHE DELL'ELABORAZIONE</b> .....	<b>14</b>
6.6	<b>GIUDIZIO FINALE SULLA ACCETTABILITÀ DEI CALCOLI</b> .....	<b>15</b>
6.7	<b>PROGRAMMI DI SERVIZIO</b> .....	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>16</b>
7.1	<b>COMBINAZIONE DEI CARICHI</b> .....	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>SCATOLARE</b> .....	<b>21</b>
8.1	<b>GEOMETRIA</b> .....	<b>21</b>
8.2	<b>MODELLO DI CALCOLO</b> .....	<b>22</b>

8.2.1	Valutazione della rigidezza delle molle.....	22
<b>8.3</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>23</b>
8.3.1	Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati .....	23
8.3.2	Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente .....	24
8.3.3	Ripartizione dei carichi mobili verticali.....	25
8.3.1	Carichi variabili su soletta .....	26
8.3.2	Spinta del sovraccarico sul rilevato $q_1=20$ kN/m .....	26
8.3.3	Frenatura .....	28
8.3.4	Variazione termica .....	28
8.3.5	Ritiro differenziale della soletta di copertura .....	29
8.3.6	Azione sismica inerziale .....	31
<b>8.4</b>	<b>DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI .....</b>	<b>33</b>
<b>8.5</b>	<b>VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A. ....</b>	<b>37</b>
8.5.1	Verifica soletta inferiore .....	37
8.5.2	Verifica soletta superiore.....	42
8.5.3	Verifica piedritti .....	46
<b>8.6</b>	<b>VERIFICA FONDAZIONE.....</b>	<b>50</b>
8.6.1	Verifica portanza .....	50
8.6.2	Stima dei cedimenti .....	55
<b>9</b>	<b>MURO AD U.....</b>	<b>56</b>
<b>9.1</b>	<b>GEOMETRIA.....</b>	<b>56</b>
<b>9.2</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>57</b>
9.2.1	Valutazione della rigidezza delle molle.....	58
<b>9.3</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>58</b>
9.3.1	Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati .....	58

9.3.2 Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente .....	59
9.3.3 Carichi variabili su soletta .....	60
9.3.4 Variazione termica .....	60
9.3.5 Azione sismica inerziale .....	60
9.3.6 Spinta sismica terreno .....	62
<b>9.4 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI .....</b>	<b>63</b>
<b>9.5 VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A. ....</b>	<b>67</b>
9.5.1 Verifica soletta inferiore .....	67
9.5.2 Verifica piedritti .....	71
<b>9.6 VERIFICA FONDAZIONE.....</b>	<b>75</b>
9.6.1 Verifica portanza .....	75
9.6.2 Stima dei cedimenti .....	80
<b>10 VERIFICA STABILITÀ DELLO SCAVO .....</b>	<b>81</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione è relativa alla descrizione e alla verifica degli elementi strutturali che compongono il sottovia ST06 relativamente alla progettazione esecutiva dei lavori di riqualificazione dell'itinerario Ragusa – Catania, collegamento viario compreso tra lo svincolo della SS 514 di "Chiaromonte" con la SS115 e lo svincolo della SS194 "Ragusana" **lotto 4 dallo svincolo n°8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana" (escluso)**.

L'opera inizia alla progressiva **0+107.12** e termina alla progressiva **0+173.39** dello svincolo per una lunghezza totale dell'opera misurata in asse pari a **34.22**.

Nelle figure seguenti si riporta la sezione tipo dell'opera con le relative dimensioni degli elementi strutturali.

L'opera consiste in uno scatolare in c.a. gettato in opera ed in sezioni ad U di imbocco.

La sezione trasversale dello scatolare retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 10.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 6.60$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 1.301.30$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 1.10$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 1.10$  m.

La sezione trasversale dei muri d'ala ha una larghezza interna di  $L_{int} = 10.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 7.30$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 1.20$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 1.00$  m.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.

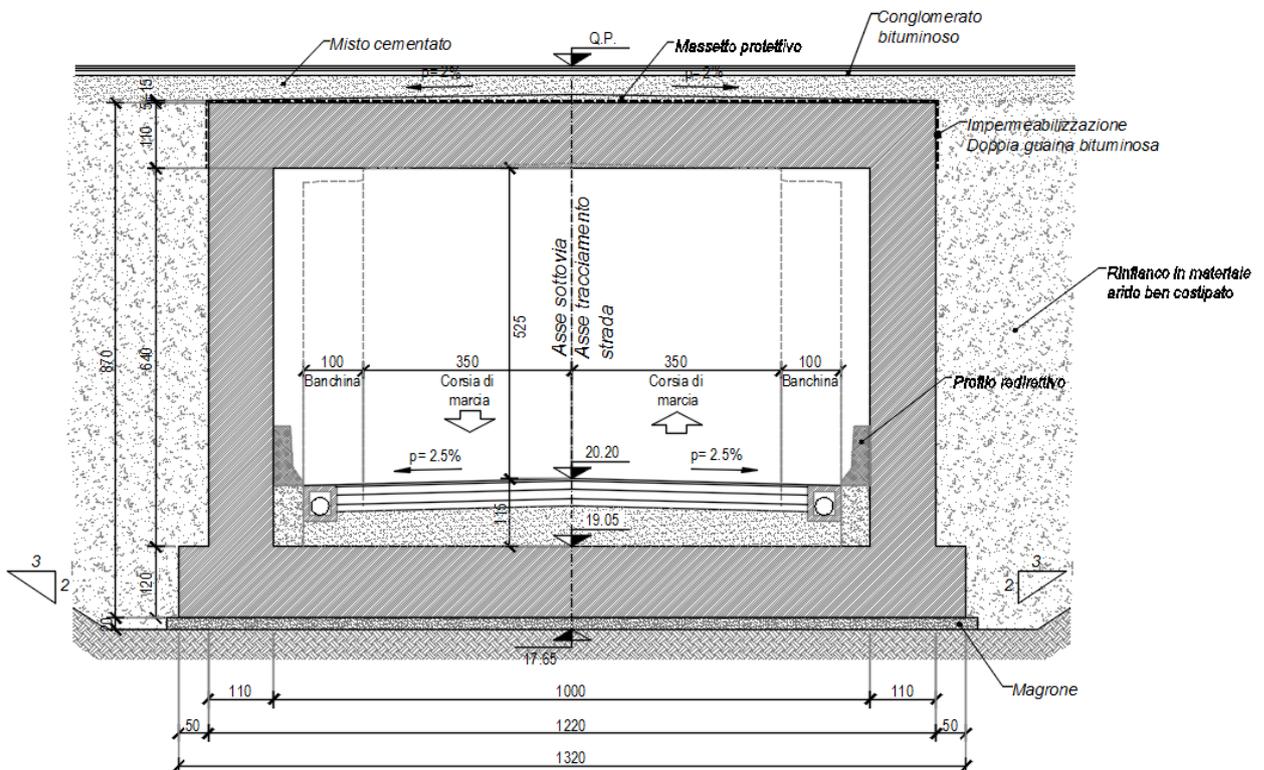


Fig. 1 – Sezione trasversale dello scatolare

**RELAZIONE DI CALCOLO**

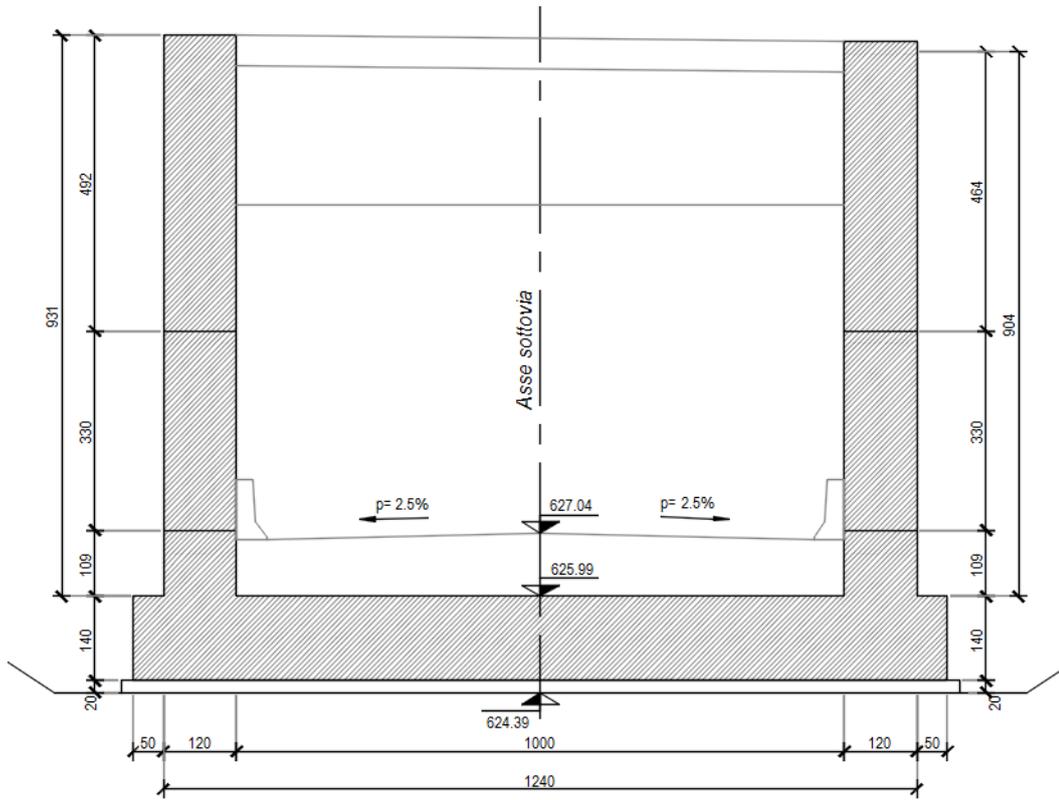


Fig. 2 – Sezione trasversale muro di imbocco

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento, nelle fasi di calcolo e progettazione, è la seguente:

D.M. 14 gennaio 2008 – pubblicato su S.O. n. 30 alla G.U. 4 febbraio 2008, n. 29 – “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;

Circolare 2 febbraio 2009 n.617: Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D. Min. 14 gennaio 2008;

UNI EN 1992-1-1:2005: “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”;

UNI EN 1997-1:2005: "Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali";

UNI EN 206-1 Ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”;

UNI 11104:2004 Marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”;

Model Code 1990, CEB-FIP.

### 3 MATERIALI

Il calcestruzzo adottato corrisponde alla Classe C30/37, mentre l'acciaio in barre ad aderenza migliorata corrisponde alla classe B450C. Di seguito vengono elencate le specifiche.

#### 3.1 CALCESTRUZZO

##### CALCESTRUZZO PER MAGRONE

- Classe di resistenza: C12/15
- Resistenza a compressione cubica caratteristica:  $R_{ck} = 15.00 \text{ N/mm}^2$

##### CALCESTRUZZO PER OPERE DI FONDAZIONE ED ELEVAZIONE

- Classe di resistenza: C32/40
- Resistenza caratteristica cubica a compressione:  $R_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:  $f_{ck} = 33.20 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione:  $f_{cd} = 18.81 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione media:  $f_{ctm} = 3.10 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico:  $E = 33643 \text{ N/mm}^2$
- Classe di esposizione: XA2
- Copriferro: 40 mm

#### 3.2 ACCIAIO

- Tipo: B450C
- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico:  $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati alle verifiche in esame si è fatto riferimento ai risultati forniti dai sondaggi della campagna del 2012 e riportati sia nei profili geotecnici che nella relazione geotecnica.

Il sottopasso presenta come strato di fondazione Limo sabbioso (LSa) della formazione "ar" (Terrazzi fluviali di vario ordine, costituiti da ghiaie, sabbie e limi) secondo quanto riportato nel profilo geotecnico.

Sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche eseguite, sono stati definiti i seguenti parametri geotecnici per il calcolo:

### 4.1 TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO

Per il terreno di ricoprimento dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

### 4.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Per i parametri geologico-geotecnici si fa riferimento ad:

Dalla scheda stratigrafica si desume la stratigrafia di progetto con i relativi parametri caratteristici:

unità geotecnica	litotipo	$\gamma$	$c'$	$\Phi$	cu	E	OCR
-	-	(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(°)	kPa	(Mpa)	-
a	Alluvioni fluviali	18	10	25.5	100	10	10

L'opera non è interessata dalla falda idrica.

Categoria sottosuolo sismica: **C**

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo (formula di Vesic)

$$k = \frac{0.65 E}{1 - \nu^2} * \sqrt[12]{\frac{Eb^4}{(E_c J)_{fond}}}$$

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo

**RELAZIONE DI CALCOLO**

- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- $E$  = modulo elastico medio del terreno sottostante.

$$E = \boxed{10000} \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 0.3$$

$$B = 12.2 \text{ m}$$

$$L = \boxed{34.22} \text{ m}$$

$$L/B = 2.80$$

$$c_t = 1.40$$

$$K_w = 642 \text{ kN/m}^3$$

Figura 1: tabella relativa allo scatolare

$$E = \boxed{10000} \text{ kN/m}^2$$

$$\nu = 0.3$$

$$B = 12.0 \text{ m}$$

$$L = \boxed{16.00} \text{ m}$$

$$L/B = 1.33$$

$$c_t = 1.01$$

$$K_w = 910 \text{ kN/m}^3$$

Figura 2: tabella relativa alla sezione ad U

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa  $640 \text{ kN/m}^3$ .

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17gennaio 2018.

### 5.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 50$  anni. Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe IV a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_U = 2,0$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

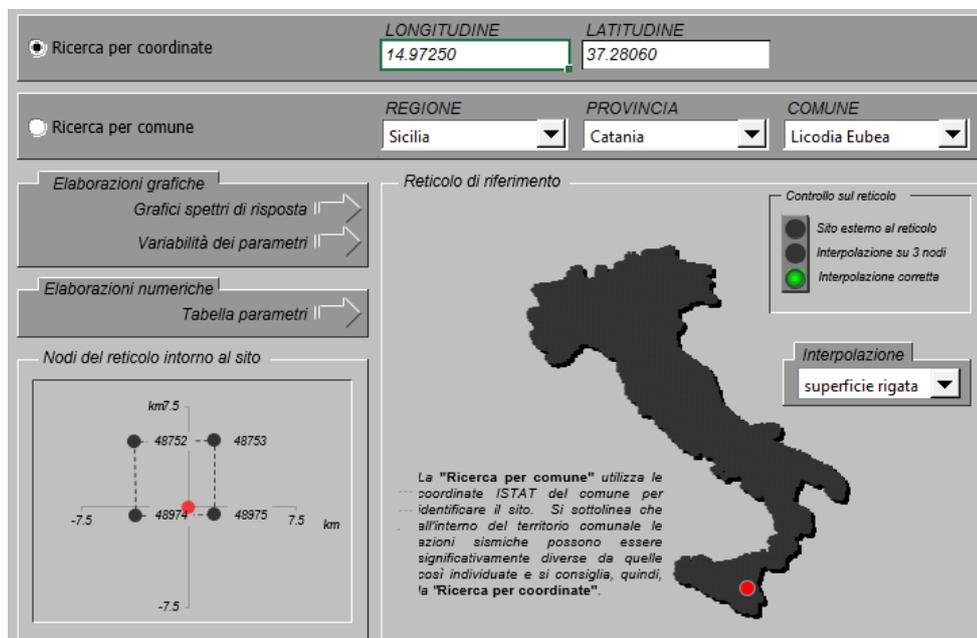
Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 50 \times 2 = 100$  anni

## 5.2 PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo **C**

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 17.01.18, si ottiene per il sito in esame:



Ricerca per coordinate  
LONGITUDINE: 14.97250  
LATITUDINE: 37.28060

Ricerca per comune  
REGIONE: Sicilia  
PROVINCIA: Catania  
COMUNE: Licodia Eubea

Elaborazioni grafiche  
Grafici spettri di risposta  
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione  
superficie rigata

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

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

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

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$   info
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$   info

Stati limite ultimi - SLU

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$   info
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$   info

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

Categoria topografica  info

$S_s = 1.168$   $C_o = 1.347$  info

$h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

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

Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_o$   Regol. in altezza  info

Compon. verticale

Spettro di progetto Fattore  $q$    $\eta = 1.000$  info

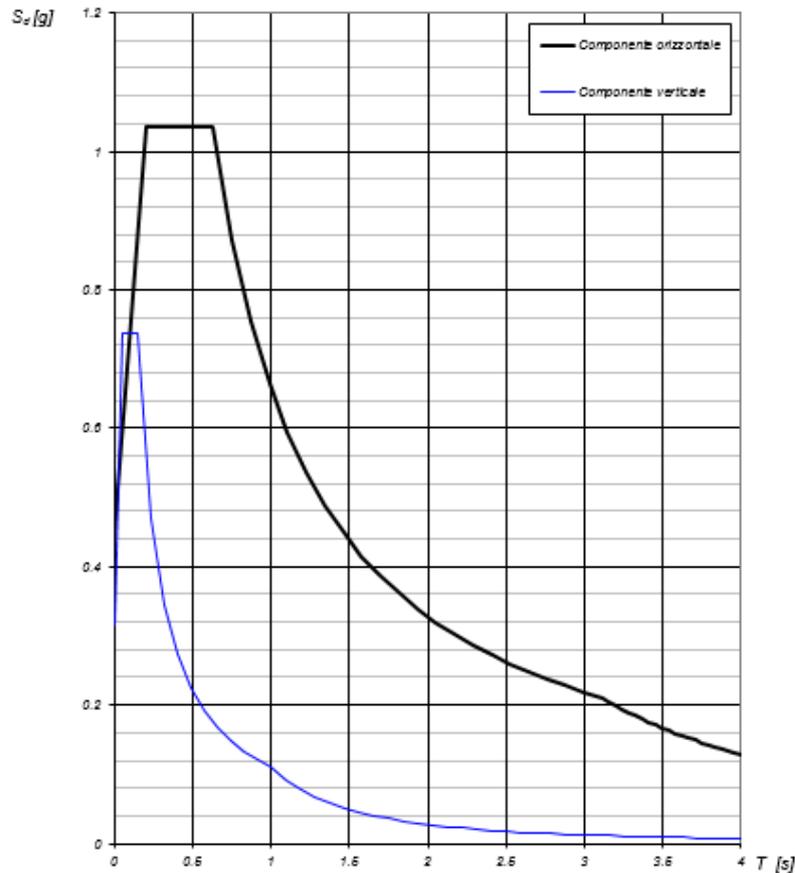
Elaborazioni

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

Spettri di risposta

Spettro di progetto - componente orizzontale  
 Spettro di progetto - componente verticale  
 Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV**



**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.379 g
$F_{0.1}$	2.340
$T_C$	0.470 s
$S_S$	1.168
$C_C$	1.347
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.168
$\eta$	1.000
$T_B$	0.211 s
$T_C$	0.633 s
$T_D$	3.115 s

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudo statico, si eseguirà un calcolo elastico assumendo un fattore di struttura unitario. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

## 6 SOFTWARE DI CALCOLO

### 6.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO ADOTTATI

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il Sap 2000 v.22 prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures, Inc.1995 University Ave. Berkeley. Questa procedura è sviluppata in ambiente Windows, permette l'analisi elastica lineare e non di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti. Gli elementi considerati sono frame (trave), con eventuali svincoli interni o rotazione attorno al proprio asse. I carichi sono applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sulle travi, come forze distribuite, trapezie, concentrate, come coppie e come distorsioni termiche. A supporto del programma è fornito un ampio manuale d'uso contenente fra l'altro una vasta serie di test di validazione sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

Tale programma fornisce in output, oltre a tutte le caratteristiche geometriche e di carico delle strutture, i risultati relativi alle sollecitazioni indotte nelle sezioni degli elementi presenti.

### 6.2 UNITÀ DI MISURA

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi
- angoli: gradi sessadecimali o radianti
- si assume l'uguaglianza  $1 \text{ kN} = 100 \text{ kg}$

### 6.3 GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto. È possibile inoltre ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura.

### 6.4 VALUTAZIONE DELLA CORRETTEZZA DEL MODELLO

Il modello di calcolo adottato è da ritenersi appropriato in quanto non sono state riscontrate labilità, le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati, la simmetria di carichi e struttura dà origine a sollecitazioni simmetriche.

### 6.5 CARATTERISTICHE DELL'ELABORAZIONE

Tutte le analisi strutturali sono state eseguite su di una workstation dedicata avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Tipo Intel i5
- Memoria centrale 32 Gb;
- Lunghezza in bit della parola 64 bit;
- Memoria di massa 1 Hard disk da 500 Gb.

## 6.6 GIUDIZIO FINALE SULLA ACCETTABILITÀ DEI CALCOLI

Si ritiene che i risultati ottenuti dalla elaborazione siano accettabili e che le ipotesi poste alla base della formulazione del modello matematico siano valide come dimostrato dal comportamento dei materiali.

All'interno del pacchetto Sap 2000 sono inoltre presente una serie di test per il benchmark del solutore, che consentono di comprovare l'affidabilità del codice di calcolo e paragonare risultati ottenuti con le soluzioni esatte.

## 6.7 PROGRAMMI DI SERVIZIO

Per le verifiche delle sezioni si adotta il programma: "RC-SEC" – Autore GEOSTRU Software. ANALISI DEI CARICHI E FASI

## 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, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

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

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

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

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:

$$E = \pm 1.00 \times E_y \pm 0.3 \times E_z$$

avendo indicato con  $E_y$  e  $E_z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

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

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si è fatto riferimento alla combinazione A1 STR (Approccio 1 – Combinazione 1) per le verifiche strutturali ed A1 GEO (Approccio 1 – Combinazione 2) per le verifiche geotecniche.

## 7.1 COMBINAZIONE DEI CARICHI

L'opera principale è trattata con le combinazioni tipiche dei ponti ai sensi del DM 17/01/2018 e s.m.i.

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

Gruppo di azioni	Carichi sulla carreggiata					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura $q_3$	Forza centrifuga $q_4$	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup>
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 <sup>(*)</sup>						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
4 <sup>(**)</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
5 <sup>(***)</sup>	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

<sup>(\*)</sup> Ponti di 3<sup>a</sup> categoria  
<sup>(\*\*)</sup> Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
<sup>(\*\*\*)</sup> Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

La Tab. 5.1.V fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

**RELAZIONE DI CALCOLO**

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

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti 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

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento $q_5$	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_5$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**RELAZIONE DI CALCOLO**

Le condizioni di carico considerate sono le seguenti:

Tabella 1 – Riepilogo condizioni di carico

Tipo Carico	Abbreviazione
Peso proprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM
Falda	FALDA
Spinta terreno sinistra	STS
Spinta terreno destra	STD
Carico Stradale Centrato	TRM
Carico Stradale Laterale	TRV
Sovraccarico accidentale sinistra	SAS
Sovraccarico accidentale destra	SAD
Ritiro	RIT
Variazione termica	$\Delta T$
Frenatura	FRE
Azione sismica orizzontale	$E_H$
Azione sismica verticale	$E_V$

Non tutte le condizioni di carico elementari potrebbero essere attive nel presente modello di calcolo.

Si riportano di seguito le combinazioni di carico ritenute più significative con i coefficienti di combinazione  $\gamma \cdot \psi$ . Essendo la struttura simmetrica, si adottano tipologie di combinazione asimmetriche in modo da massimizzare le sollecitazioni. Il dimensionamento delle armature e le verifiche strutturali verranno poi eseguite tenendo conto della simmetria e verificando le condizioni peggiori per ogni lato della struttura.

Tabella 2 - Combinazioni di carico

COMB	DEAD	STS	STD	RIT	$\Delta T$	PERM	FALDA	TRM	TRV	SAS	SAD	FRE	$E_H$	$E_V$
n° 1 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	-	-	-	-	-		-	-
n° 2 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	-							
n° 3 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50								
n° 04 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35	-	-	-	-		-	-
n° 05 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	1.35							
n° 06 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35							
n° 07 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.35	-	1.35	1.35	1.35	-	-
n° 08 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.35	-	1.35	1.35	1.35		
n° 09 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.35	-	1.35	1.35	1.35		
n° 10 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.35	1.35	1.35	1.35	-	-
n° 11 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.35	1.35	1.35	1.35		

**RELAZIONE DI CALCOLO**

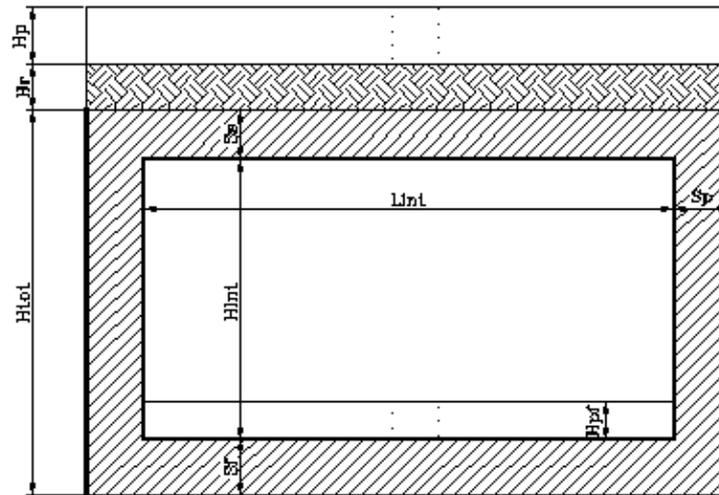
COMB	DEAD	STS	STD	RIT	$\Delta T$	PERM	FALDA	TRM	TRV	SAS	SAD	FRE	E <sub>H</sub>	E <sub>V</sub>
n° 12 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.35	1.35	1.35	1.35		
n° 13 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.35	-	1.35	-	1.35	-	-
n° 14 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.35	-	1.35	-	1.35	-	-
n° 15 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.35	-	1.35	-	1.35	-	-
n° 16 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	0.20	1.0	0.3
n° 17 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	0.20	1.0	-0.3
n° 18 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	0.20	1.0	0.3
n° 19 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	0.20	1.0	-0.3
GEO	1.00	1.30	1.00	1.00	0.60	1.30	1.00	1.15	-	1.15	-	1.15	-	-
GEO - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20		0.20		0.20	1.0	0.3
SLE - Q.P.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.00	-	0.00	-	0.00	-	-
SLE - Frequente	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.75	-	0.75	-	0.75	-	-
SLE - Rara	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	1.00	-	-

## 8 SCATOLARE

La dimensione interna è di 10.00m e l'altezza interna pari a 6.40m, con soletta superiore di spessore 1.10m, piedritti di spessore 1.10m e soletta inferiore di spessore 1.30m. **A favore di sicurezza si considera una larghezza di calcolo misurata sulla diagonale, direzione nella quale saranno posizionate le armature principali, pari a 12.32m (11.10m in retto).**

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera.

### 8.1 GEOMETRIA



#### DATI GEOMETRICI

Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	12.20	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	10.00	m
larghezza interasse	$L_a$	11.10	m
spessore soletta superiore	$S_s$	1.10	m
spessore piedritti	$S_p$	1.10	m
spessore fondazione	$S_f$	1.30	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	8.80	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	6.40	m
spessore pacchetto stradale superiore	$H_{psup}$	0.12	m
spessore ricoprimento superiore	$H_{Rsup}$	0.80	m
spessore pacchetto stradale inferiore	$H_{pinf}$	0.13	m
spessore ricoprimento inferiore	$H_{Rinf}$	1.05	m

- Dimensioni in retto

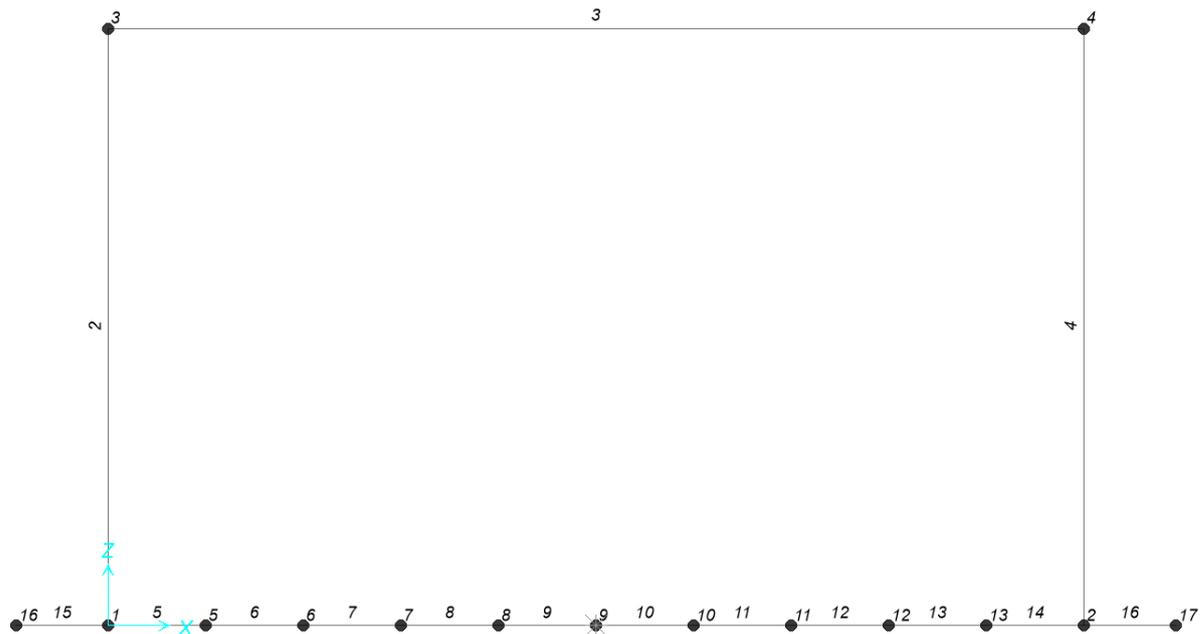
## 8.2 MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello del telaio chiuso su letto di molle alla Winkler.

Il modello considerato per l'analisi è quello di uno scatolare di profondità unitaria (1.00m) soggetto alle azioni da traffico di norma e quelle permanenti. In corrispondenza dei vertici dello scatolare sono state inserite delle zone rigide pari a metà spessore degli elementi.

Il terreno di fondazione è stato modellato utilizzando la schematizzazione alla Winkler con un opportuno coefficiente di sottofondo.

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.

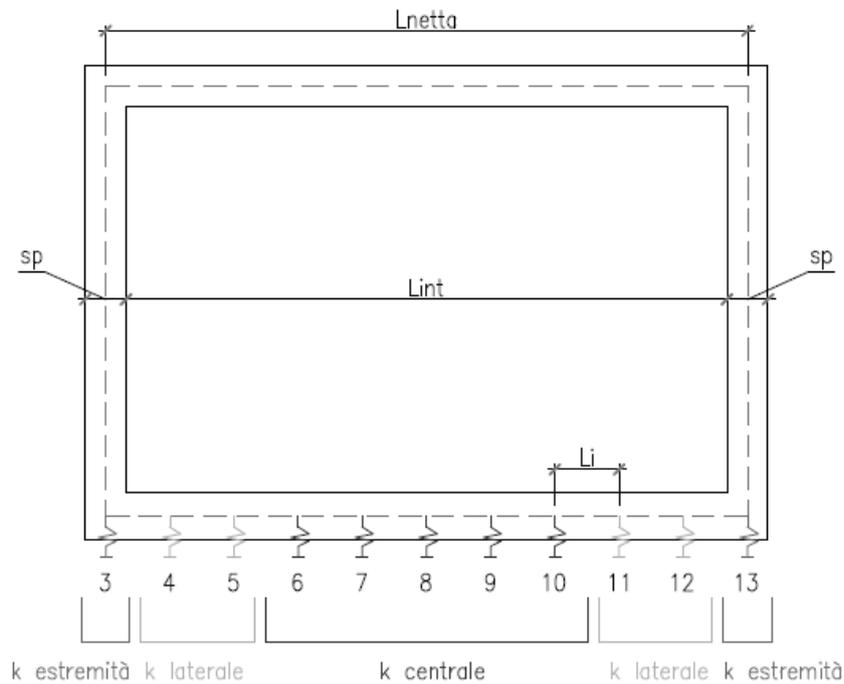


Numerazione aste e nodi

### 8.2.1 Valutazione della rigidità delle molle

Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 640 \text{ kN/mc}$  in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle	$i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10 \text{ [m]}$	
Molle centrali	$k_1 = k * i$	[kN/m]
Molle intermedie	$k_2 = 1.5 * k * i$	[kN/m]
Molle laterali	$k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$	[kN/m]

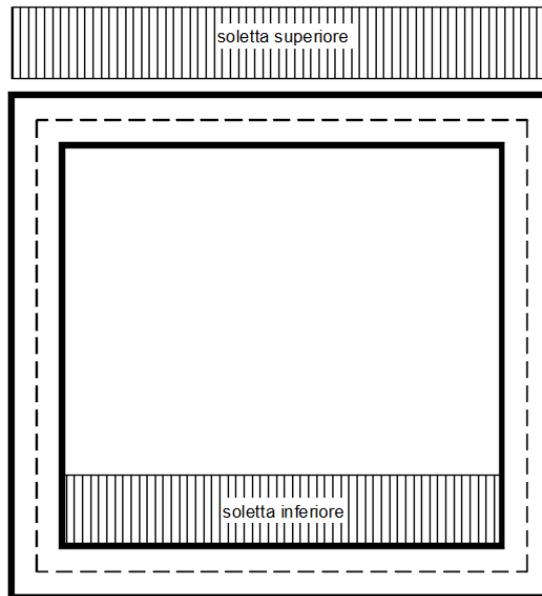


### 8.3 ANALISI DEI CARICHI

#### 8.3.1 Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	27.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>27.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto pavimentazione 12 cm	2.88 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento	15.20 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>18.08 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	32.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>32.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto pavimentazione 13 cm	3.12 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento	19.95 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>23.07 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	27.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>27.50 kN/m</b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 9.94 kN.

Peso della colonna di terreno relativa alla parte sporgente di fondazione pari a:

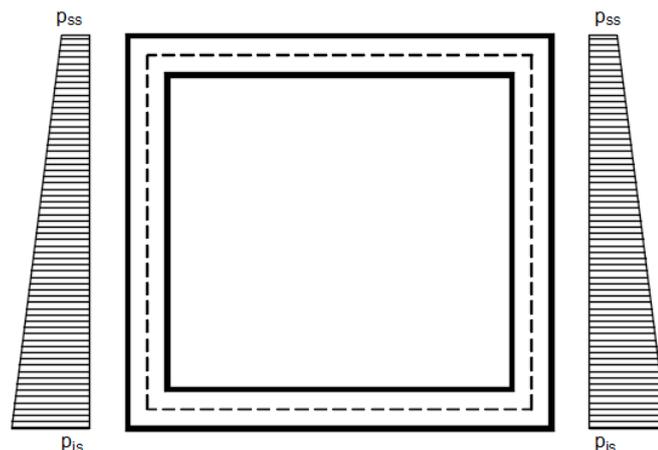
$$q = 19 * (6.40+1.10+0.90m) * 1.0 = 159.6 \text{ kN/m}$$

**8.3.2 Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente**

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 35^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0=1-\sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0=0.43$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_0 * (H_r + H_p + S_s/2) * \gamma = 11.9 \text{ kN/m}$$

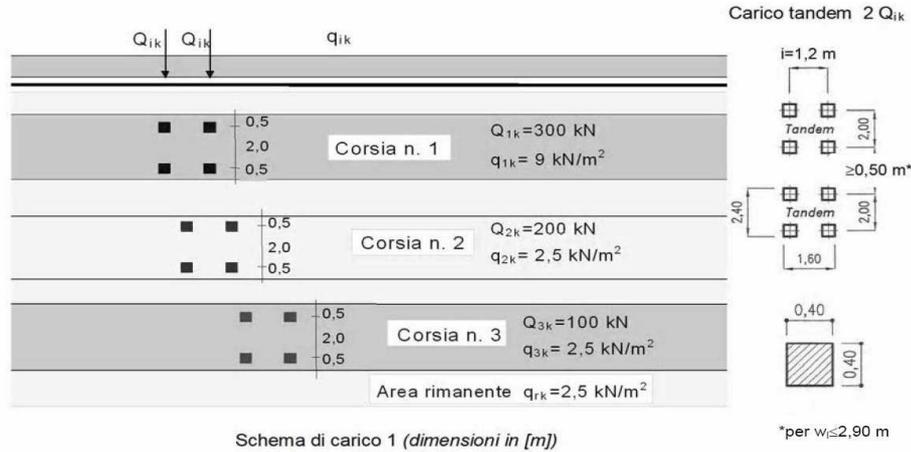
$$p_{is} = p_{ss} + K_0 * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 73.5 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 5.61 kN ed inferiore con valore pari a 49.48 kN.

### 8.3.3 Ripartizione dei carichi mobili verticali

Le azioni variabili del traffico definite nello Schema di Carico 1 sono costituite da carichi concentrati e da carichi uniformemente distribuiti. Tale schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali.

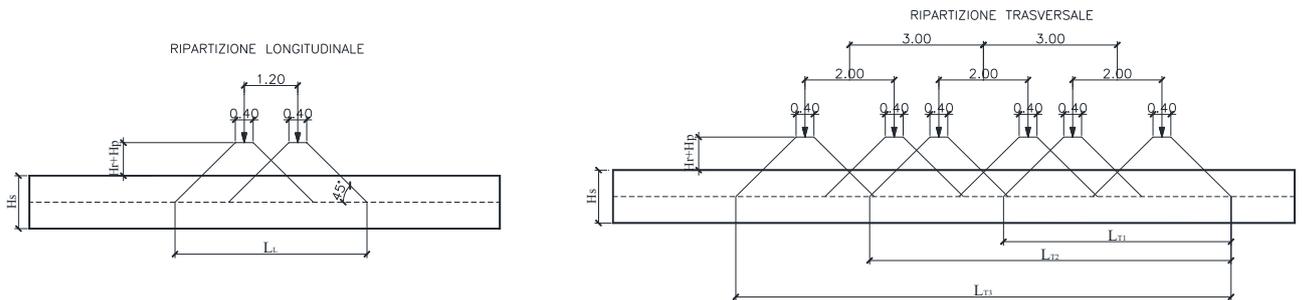


Il numero delle colonne di carichi mobili e la loro disposizione sono quelli massimi compatibili con la larghezza della carreggiata considerata, per i ponti di 1a Categoria.

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9
Corsia Numero 2	200	2,5
Corsia Numero 3	100	2,5
Altre corsie	0,00	2,50

La ripartizione dei carichi si effettua considerando il carico isolato da 150 kN con impronta quadrata di lato 0.4 m.

Per il calcolo dei valori di  $L_L$  ed  $L_T$  si considera una ripartizione a 35° all'interno degli strati di pavimentazione e rinterro e 45° all'interno della soletta in c.a., di seguito i risultati numerici ed uno schema grafico tipologico rappresentativo.



Il carico è schematizzato da due assi da 150 kN disposti ad interasse di 1.20m.

Si procede al calcolo dei carichi per metro lineare riferiti al baricentro della soletta per i diversi treni di carico.

Si considera una larghezza di ripartizione trasversale e longitudinale come descritto nelle figure precedenti; risulta pertanto:

$$q_{1k} = \frac{600}{L_L \times L_{T1}}$$

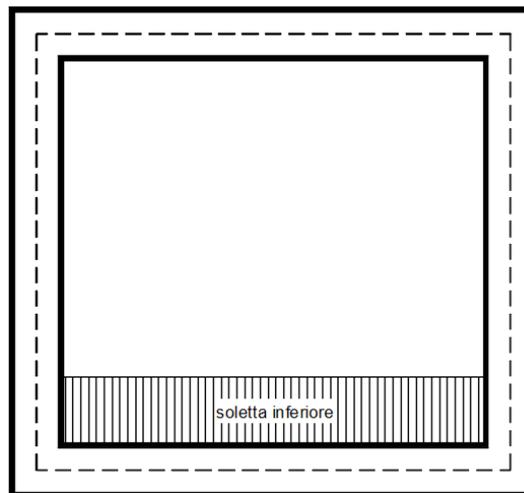
$L_L =$	3.99 m	$q_{2k} =$	9.0 kN/m <sup>2</sup>
$L_{T1} =$	4.79 m	$q_{1k} =$	31.4 kN/m <sup>2</sup>
$L_{T2} =$	7.79 m	$q_{1k} =$	32.2 kN/m <sup>2</sup>
$L_{T3} =$	10.79 m	$q_{1k} =$	27.9 kN/m <sup>2</sup>

Il valore del carico distribuito è pari, per la corsia n°1, a 9.0 kN/mq.

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 17.28 kN per i carichi concentrati e valore pari a 4.95 kN per il carico distribuito.

### 8.3.1 Carichi variabili su soletta

Si prevede un carico accidentale  $q=20\text{kN/m}^2$ .



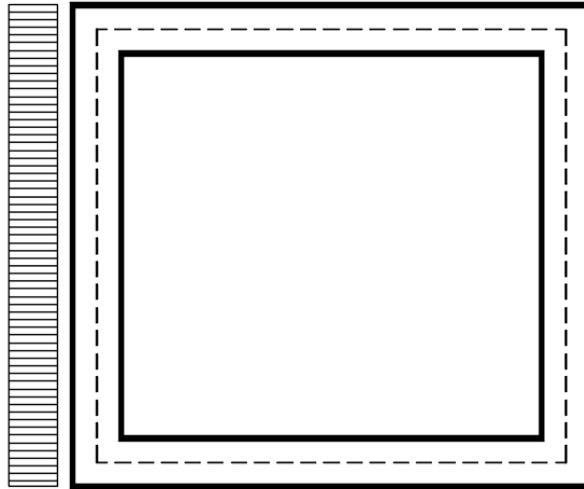
### 8.3.2 Spinta del sovraccarico sul rilevato $q_1=20\text{ kN/m}$

Per il calcolo della spinta dovuta al traffico stradale sul rilevato, si considera un carico tandem distribuito sull'intera lunghezza del mezzo autoarticolato (18.0m) e sui 3.0m di corsia.

$$q_1 = 150 \text{ kN} \cdot 4 / (18 \cdot 3) \text{ m}^2 + 9 \text{ kN/m}^2 = 20 \text{ kN/mq}$$

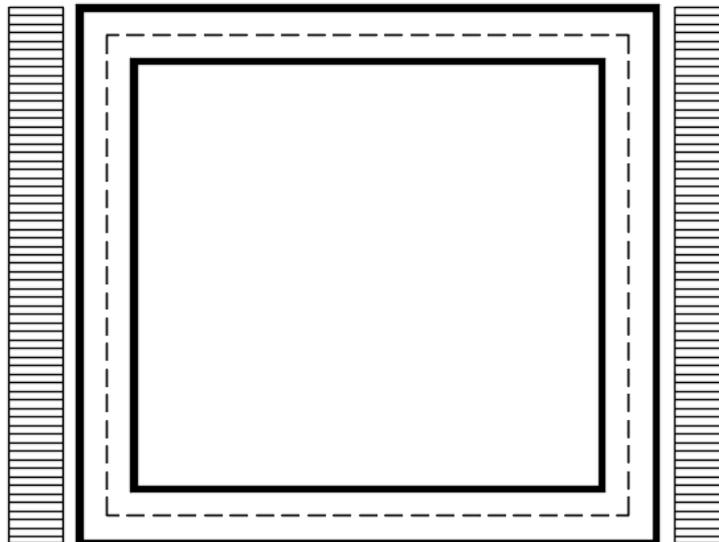
$$q_1 \cdot K_0 = 8.53 \text{ kN/m}^2$$

a) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 4.69 kN ed inferiore con valore pari a 5.54 kN.

b) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 4.69 kN ed inferiore con valore pari a 5.54 kN.

### 8.3.3 Frenatura

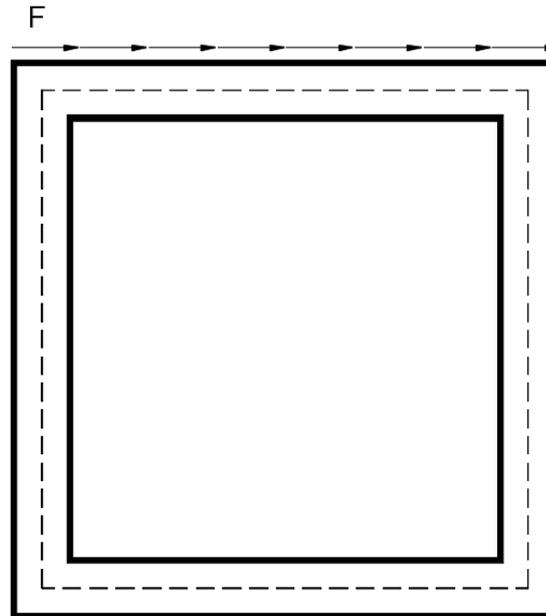
$$Q_3 = 0.6 \cdot (2Q_{k1}) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 393 \text{ kN}$$

$$w_1 = 3.00 \text{ m} \quad (\text{larghezza della corsia})$$

$$L = 12.20 \text{ m} \quad (\text{lunghezza della zona caricata})$$

La forza uniformemente distribuita da applicare sulla soletta vale:

$$q_3 = 0.9 \text{ kN/m}^2$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 0.5 kN.

### 8.3.4 Variazione termica

Si applica una variazione termica pari a +/- 15°C.

### 8.3.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura

Si considera una variazione termica uniforme equivalente sulla soletta superiore come da calcolo seguente. Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni dell'EUROCODICE 2-UNI EN1992-1-1 Novembre 2005 e DM 17-01-2018

Clis a t=0

$R_{ck}$	=	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	33.2	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	41.2	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33643	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio
cls tipo		R		classe del cemento
<b>Tempo e ambiente</b>				
$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	2200	mm	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c$	=	1100000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
RH	=	75	%	umidità relativa percentuale

Coefficiente di viscosità  $\phi(t, t_0)$  e modulo elastico  $EC_1$  a tempo "t"

$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) =$	1.951	coeff. di viscosità
$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$	1.982	coeff. nominale di viscosità
$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 =$	1.166	coeff. che tiene conto dell'umidità
$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} =$	0.892	coeff. per la resistenza del cls
$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} =$	0.968	coeff. per la resistenza del cls
$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$	2.617	coeff. che tiene conto della resistenza del cls
$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$	0.649	coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo
$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$	6.19	coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo
$\alpha =$	1	coeff. per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)

**RELAZIONE DI CALCOLO**

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0.3} = 0.984 \text{ coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{1.8}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.922 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11401085 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{ca}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000315 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{ca,0} = 0.000257 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.861$$

$K_b =$

**0.7** parametro che dipende da  $h_0$  secondo il prospetto seguente

Valori di  $k_h$

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥500	0,70

Valori di  $K_b$  intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{ca,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.00042602$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 0.896094$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ Mpa}$$

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6$$

coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)

$$\alpha_{ds2} = 0.11$$

coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,0} = 0.000058 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca,0} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000058$$

Variatione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -10.67 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

### 8.3.6 Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica 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:

$$\text{Forza sismica orizzontale } F_h = k_h * W$$

$$\text{Forza sismica verticale } F_v = k_v * W$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:  $k_h = a_{max}/g$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.379$  g.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S * a = S_s * S_T * a_g$$

in base al fattore di amplificazione del sito  $S_s$  si ottiene:

$$S_s = 1.168 \quad \text{Coefficiente di amplificazione stratigrafica}$$

$$S_T = 1 \quad \text{Coefficiente di amplificazione topografica}$$

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.168 * 1 * 0.379 \text{ g} = 0.443 \text{ g}$$

$$k_h = a_{max}/g = 0.443$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.221$$

#### Sisma orizzontale

$F_{sis} = a_{max} * \gamma * H_{tot}$	=	74.01	kN/m	(carico applicato sulla parete)
$F_{inp} = \alpha * S_p * \gamma * 1m$	=	12.17	kN/m	(inerzia piedritti)
<b>Totale</b>	=	<b>86.19</b>	<b>kN/m</b>	<b>(piederitto sx)</b>
<b>Totale</b>	=	<b>12.17</b>	<b>kN/m</b>	<b>(piederitto dx)</b>
$F_{inf} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1m$	=	7.74	kN/m	(inerzia pavimentazione e riempimento)
$F_{ins} = \alpha * S_s * \gamma_{cls} * 1m$	=	12.17	kN/m	(inerzia soletta superiore)
$F_q = \alpha * q * 1m * 0.2$	=	3.65	kN/m	(inerzia veicoli)
<b>Totale</b>	=	<b>23.56</b>	<b>kN/m</b>	<b>(soletta superiore)</b>

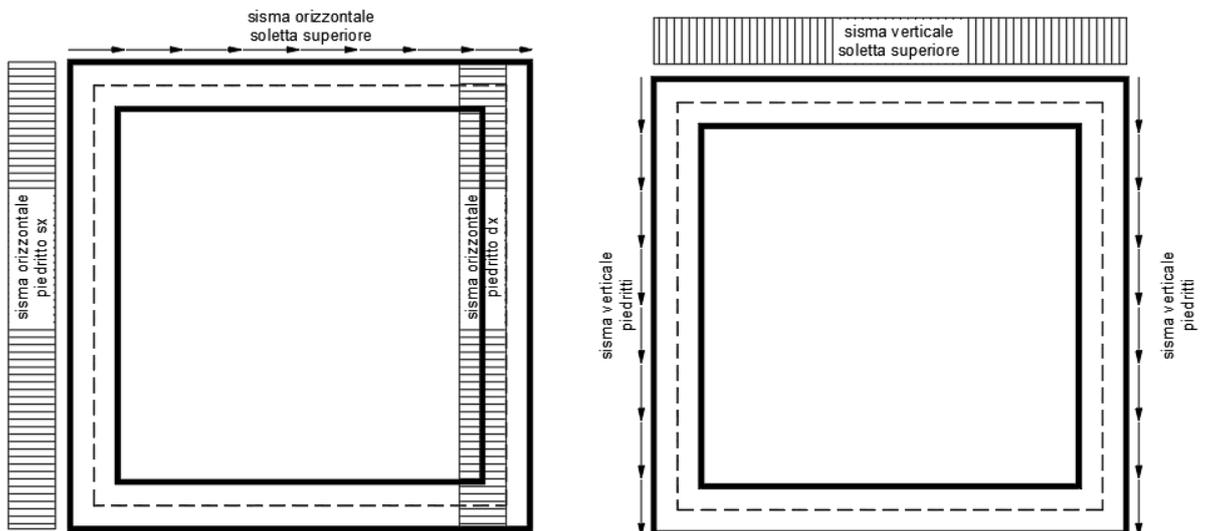
Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 47.40 kN ed inferiore con valore pari a 56.02 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 6.70 kN ed inferiore con valore pari a 7.91 kN.

**Sisma verticale**

$F_{inp} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1m$	=	6.09	kN/m	(inerzia piedritti)
$F_q = 0.5 * \alpha * q * 1m * 0.2$		1.82	kN/m	(inerzia veicoli)
$F_{inf} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1m$	=	3.87	kN/m	(inerzia pavimentazione e riempimento)
$F_{ins} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{cls} * 1m$	=	6.09	kN/m	(inerzia soletta superiore)
<b>Totale =</b>		<b>11.78</b>	<b>kN/m</b>	<b>(soletta superiore)</b>

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 6.48 kN.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  $G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$



**8.4 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI**

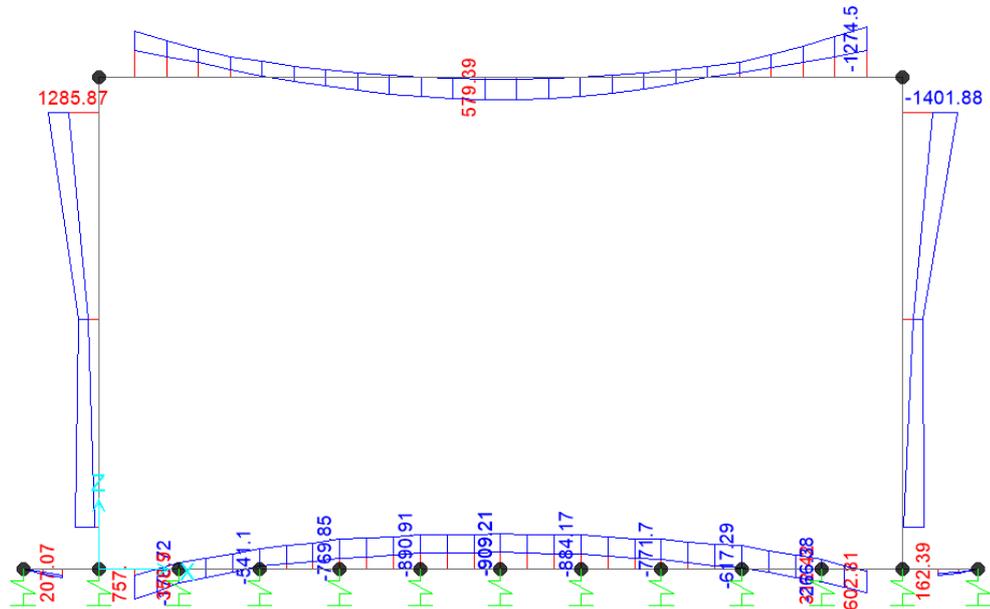


Fig. 3 – Involucro momenti flettenti SLU

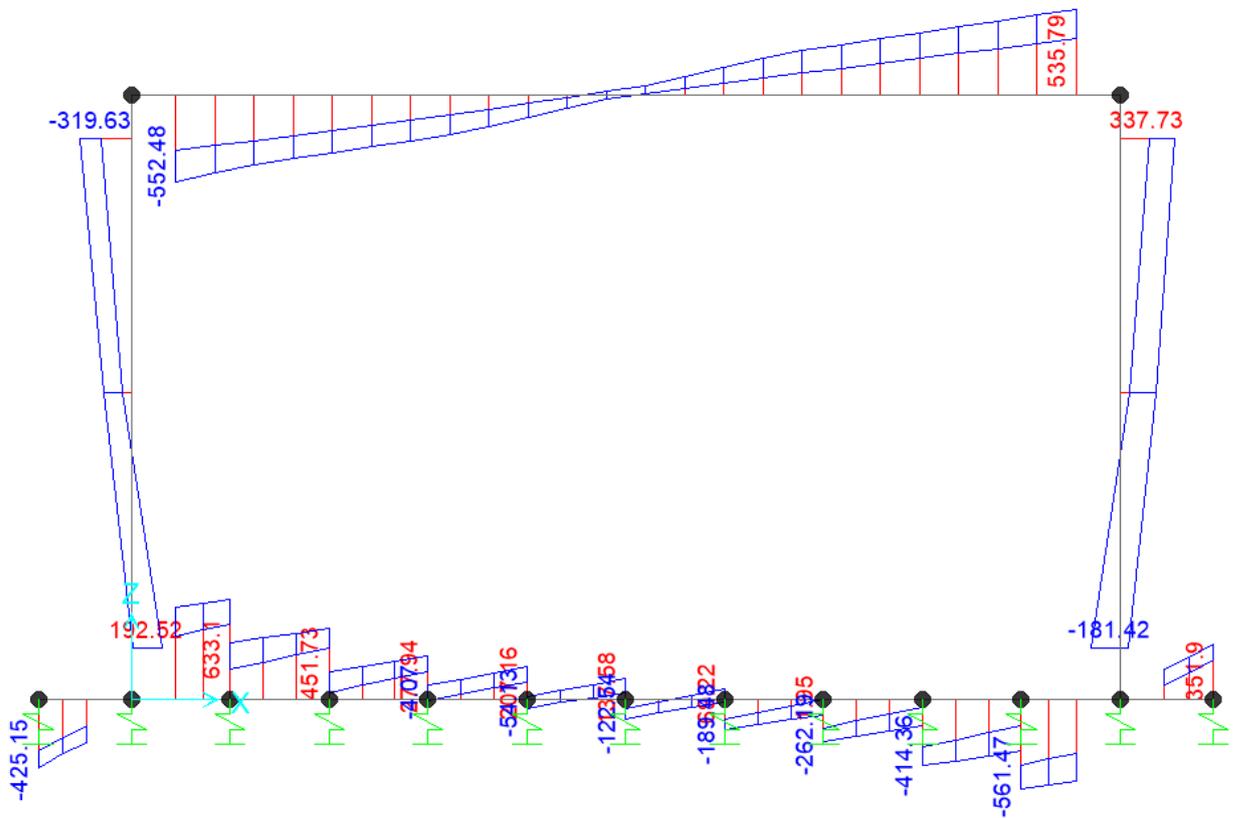


Fig. 4 – Involucro sforzi taglianti SLU

**RELAZIONE DI CALCOLO**

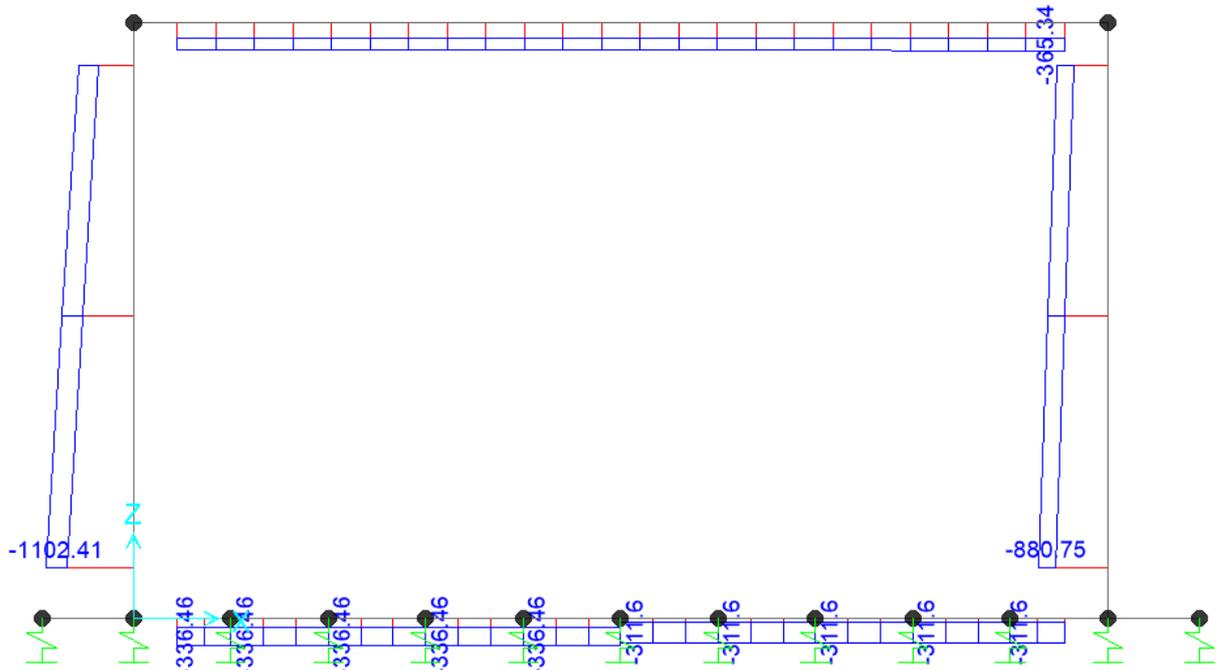


Fig. 5 – Inviluppo azioni assiali SLU

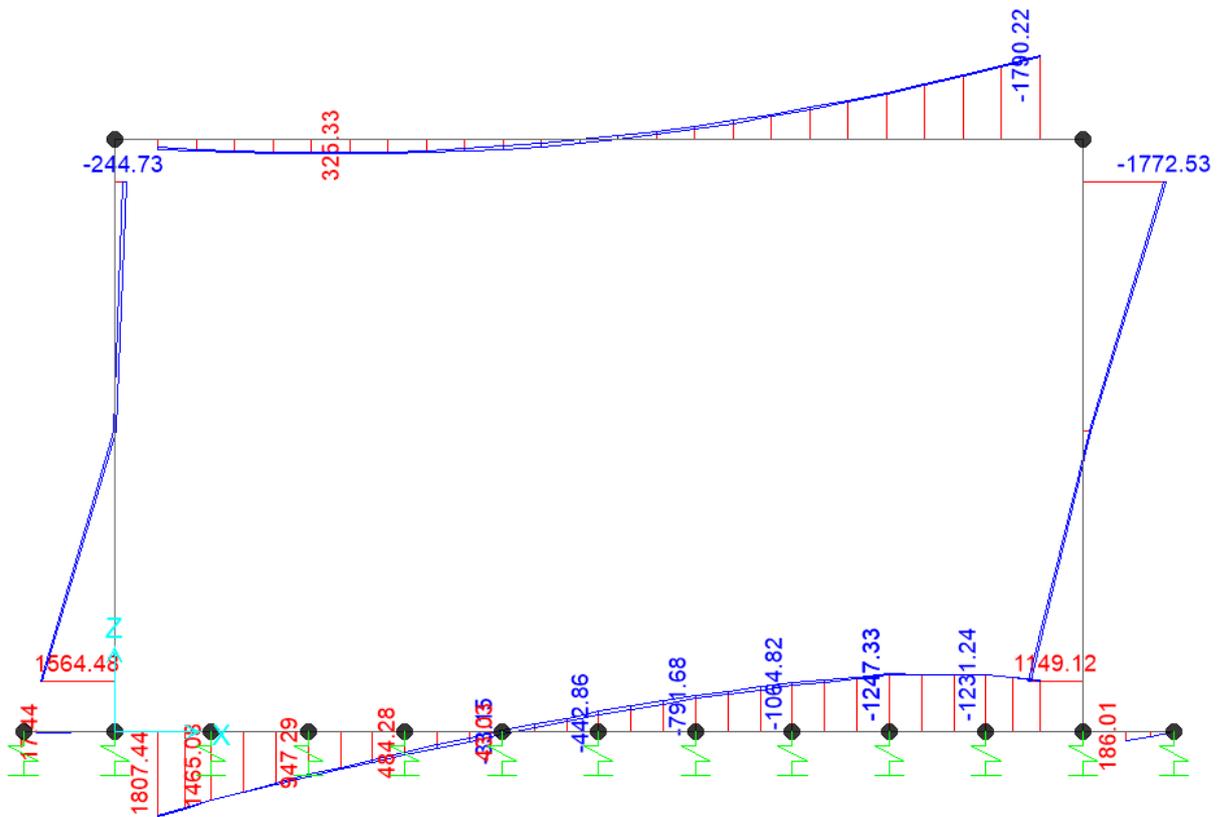


Fig. 6 – Inviluppo momenti flettenti SLV

**RELAZIONE DI CALCOLO**

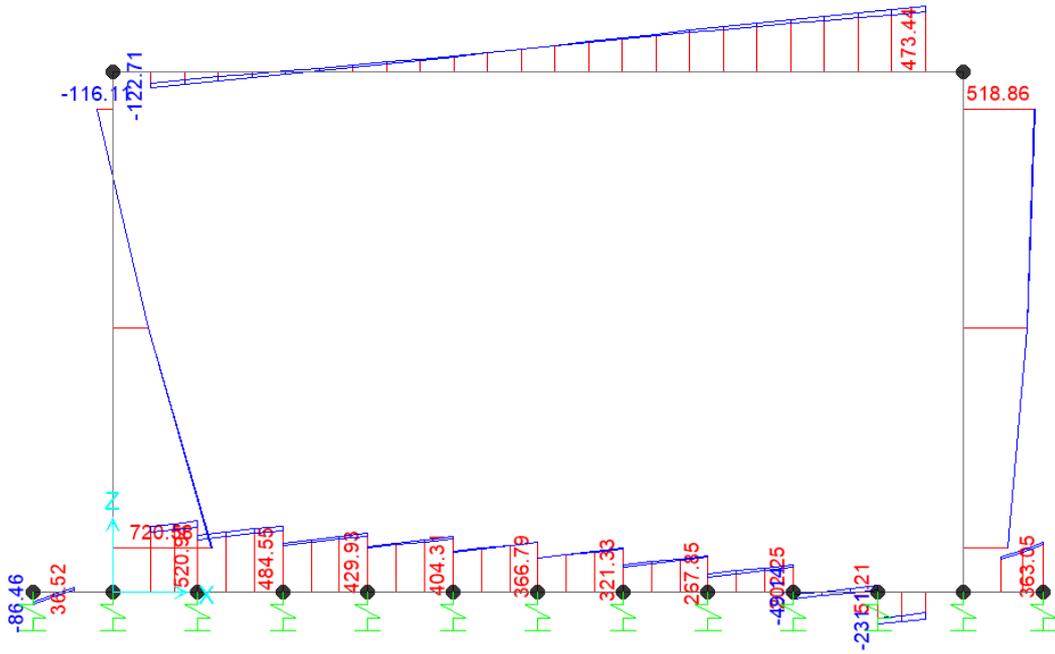


Fig. 7 – Involuppo sforzi taglianti SLV

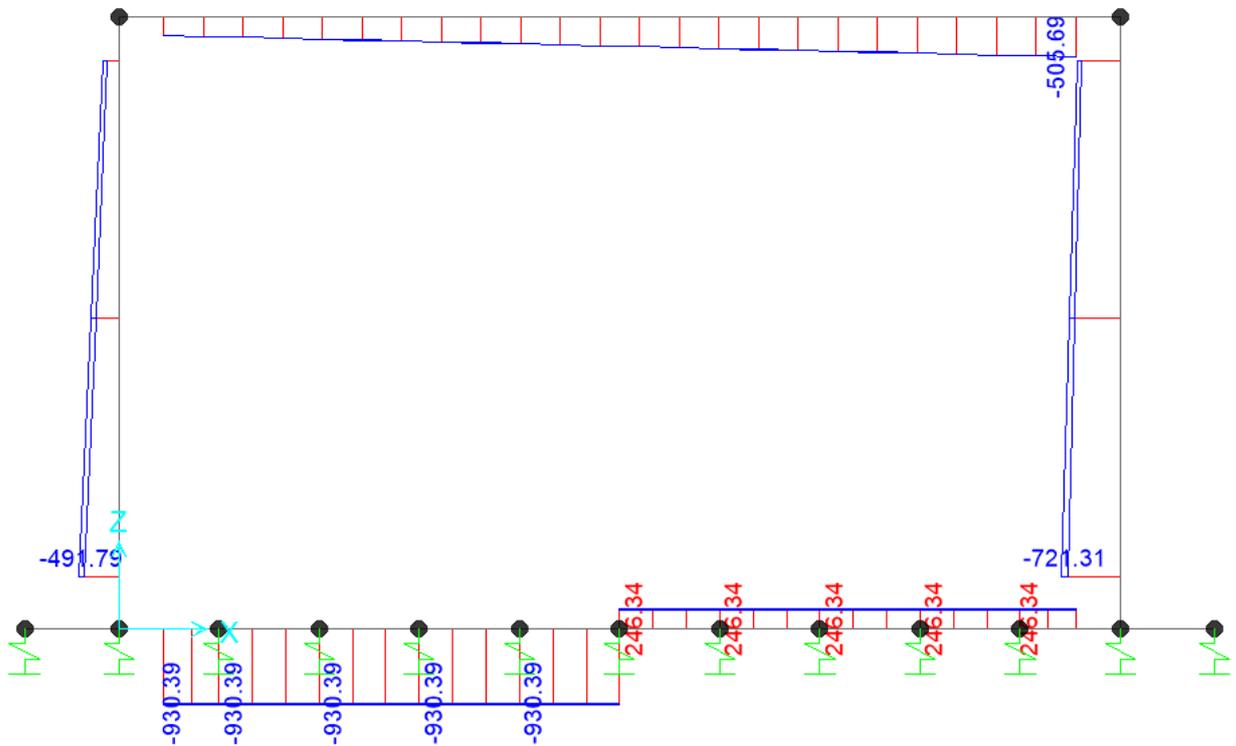


Fig. 8 – Involuppo azioni assiali SLV

**RELAZIONE DI CALCOLO**

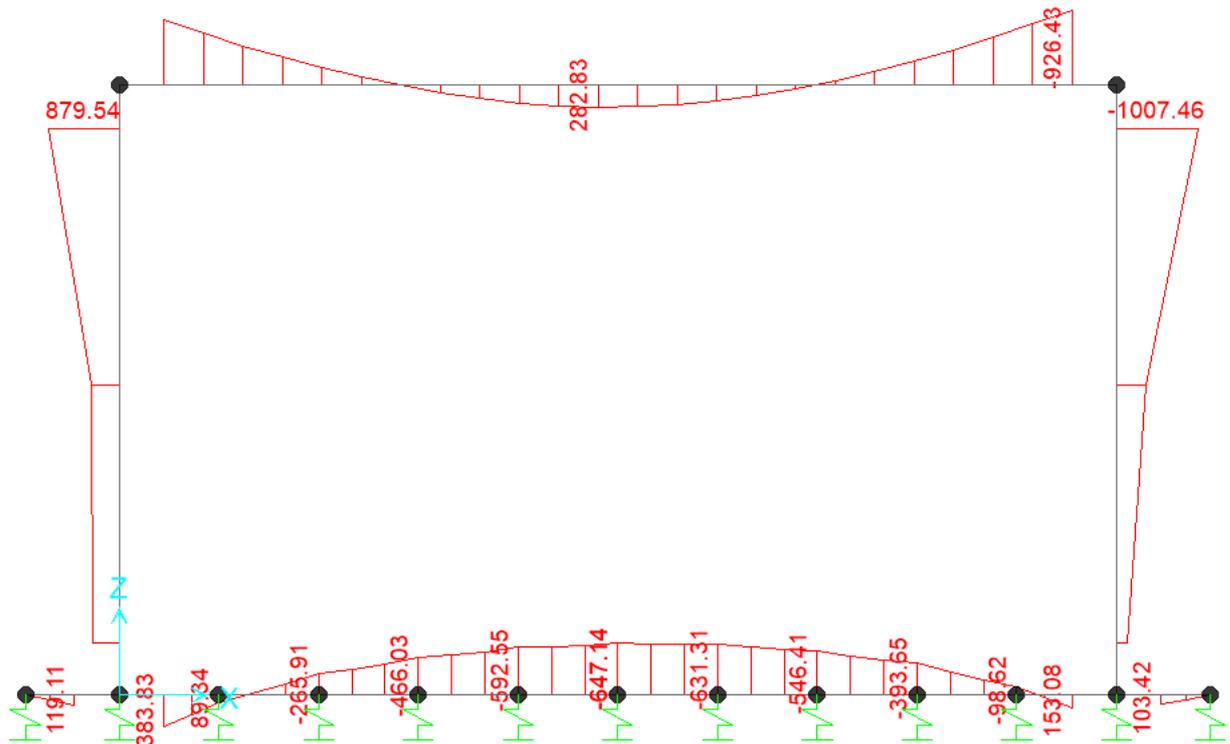


Fig. 9 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

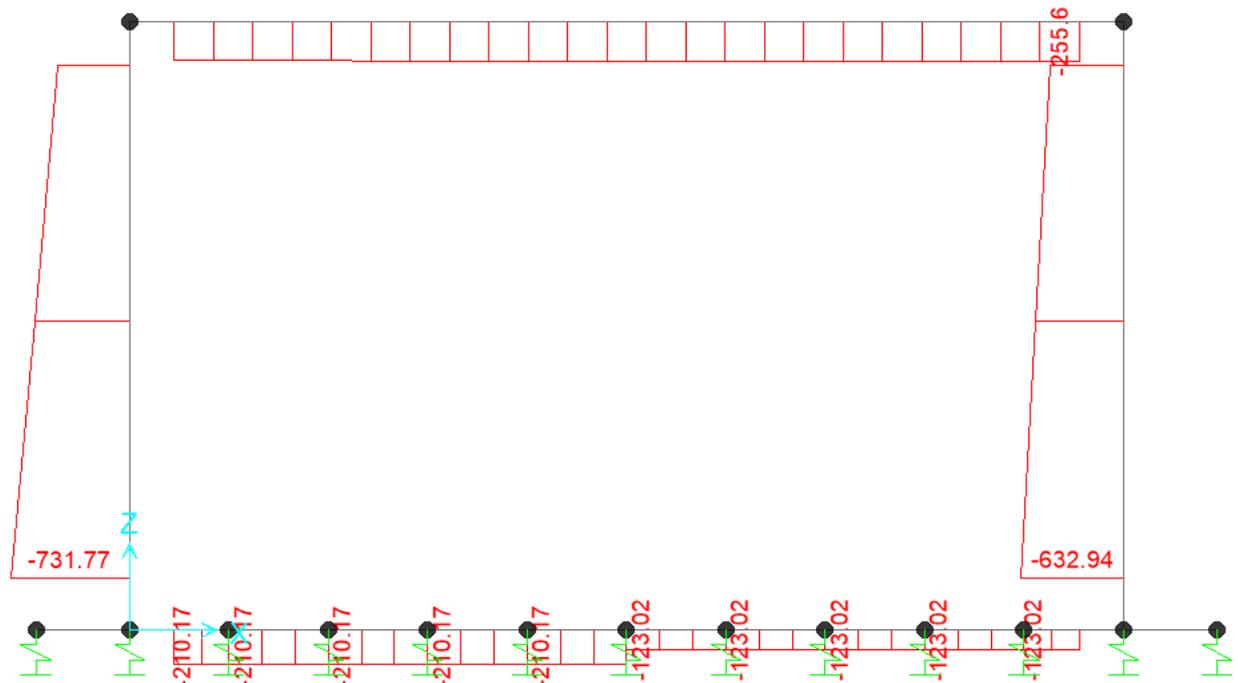


Fig. 10 – Involuppo azioni assiali SLE rara

## 8.5 VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori delle sollecitazioni massime e i valori delle sollecitazioni per la verifica a fessurazione risultanti dalle combinazioni di cui al capitolo precedente.

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido. Per ogni elemento si ricerca la sezione di Momento e Taglio massimo; la verifica sarà eseguita con la sollecitazione, in modulo, maggiore:

		SLU STR-SLV				
Elemento strutturale	Sezione	ID Asta	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)
soletta inferiore	nodo piedritto		SLU16-SIS2	950	1906	633
	campata		SLU16-SIS	-246	-1247	-
soletta superiore	nodo piedritto	3	SLU16-SIS	506	-1790	552
	campata		SLU08-STR2	296	579	-
piedritti	nodo soletta inf	2	SLU17-SIS2	144	-305	743
	nodo soletta inf		SLU16-SIS2	492	1649	743
	nodo soletta sup	4	SLU16-SIS	534	1773	519
	nodo soletta sup		SLU17-SIS	649	-1149	519

		SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
Elemento strutturale	Sezione	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	nodo piedritto		237	502	soletta inferiore	225	455	soletta inferiore	196	343
	campata		210	-647		203	-597		173	-474
soletta superiore	nodo piedritto	3	256	-926	soletta superiore	242	-860	soletta superiore	206	-682
	campata		223	370		215	299		184	107
piedritti	nodo soletta inf	2	732	324	piedritti	700	293	piedritti	447	174
	nodo soletta inf		444	880		412	835		315	721
	nodo soletta sup	4	457	1007		-419	931		306	720
	nodo soletta sup		633	140		595	155		482	174

### 8.5.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -

Classe:

C32/40

Resis. compr. di progetto fcd:

18.8 MPa

Resis. compr. ridotta fcd':

9.4 MPa

RELAZIONE DI CALCOLO

Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. 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:	C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
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	-42.2	7.8	24
2	-42.2	122.2	24
3	42.2	122.2	24
4	42.2	7.8	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

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

**RELAZIONE DI CALCOLO**

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	950.00	1906.00	633.00
2	-246.00	-1247.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	237.00	502.00	0.00
2	210.00	-647.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	225.00	455.00 (1233.65)	0.00 (0.00)
2	203.00	-597.00 (-1183.00)	0.00 (0.00)

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	196.00	343.00 (1260.53)	0.00 (0.00)
2	173.00	-474.00 (-1190.90)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
	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					
	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					
	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]					

RELAZIONE DI CALCOLO

1	S	950.00	1906.00	950.28	2621.81	1.38	90.5(39.0)
2	S	-246.00	-1247.00	-246.28	-1939.31	1.56	90.5(39.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	130.0	0.00110	-42.2	122.2	-0.03416	-42.2	7.8
2	0.00350	-50.0	0.0	0.00026	-42.2	7.8	-0.04719	-42.2	122.2

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	0.000308162	-0.036561121	----	----
2	0.000000000	-0.000414828	0.003500000	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale 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	633.00	3961.95	726.09	125.5   117.7	100.0	2.500	1.039	5.5	6.3(0.0)
2	S	0.00	5584.78	293.32	126.6   118.8	100.0	1.000	1.000	0.0	6.3(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

RELAZIONE DI CALCOLO

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	2.33	-50.0	130.0	-75.3	-32.8	7.8	1950	45.2
2	S	2.96	-50.0	0.0	-106.1	32.8	122.2	1950	45.2

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 unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max * (e\_sm - e\_cm)$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	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	-0.00041	0.00000	0.500	24.0	66	0.00023 (0.00023)	400	0.090 (990.00)	1226.04	0.00
2	S	-0.00058	0.00000	0.500	24.0	66	0.00032 (0.00032)	400	0.127 (990.00)	-1178.16	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI 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	2.12	-50.0	130.0	-67.3	14.1	7.8	1950	45.2
2	S	2.73	-50.0	0.0	-97.0	32.8	122.2	1950	45.2

COMBINAZIONI FREQUENTI 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	-0.00037	0.00000	0.500	24.0	66	0.00020 (0.00020)	400	0.081 (0.30)	1233.65	0.00
2	S	-0.00053	0.00000	0.500	24.0	66	0.00029 (0.00029)	400	0.117 (0.30)	-1183.00	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	1.60	-50.0	130.0	-48.2	-4.7	7.8	1950	45.2
2	S	2.18	-50.0	0.0	-75.9	32.8	122.2	1950	45.2

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	-0.00026	0.00000	0.500	24.0	66	0.00014 (0.00014)	400	0.058 (0.20)	1260.53	0.00
2	S	-0.00041	0.00000	0.500	24.0	66	0.00023 (0.00023)	400	0.091 (0.20)	-1190.90	0.00

Si adottano spille in misura di  $9\text{Ø}10/\text{m}^2$

## 8.5.2 Verifica soletta superiore

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.4	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. 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: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	110.0
3	50.0	110.0
4	50.0	0.0

### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.2	7.8	24
2	-42.2	102.2	24
3	42.2	102.2	24
4	42.2	7.8	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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

2 2 3 8 24

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	506.00	-1790.00	552.00
2	296.00	579.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	256.00	-926.00	0.00
2	223.00	370.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	242.00	-860.00 (-844.97)	0.00 (0.00)
2	215.00	299.00 (935.26)	0.00 (0.00)

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	206.00	-682.00 (-848.83)	0.00 (0.00)
2	184.00	107.00 (1237.57)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

**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
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
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	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
--------	-----	---	----	-------	--------	----------	-----------

RELAZIONE DI CALCOLO

1	S	506.00	-1790.00	505.93	-1965.12	1.10	90.5(33.0)
2	S	296.00	579.00	295.75	1866.25	3.22	90.5(33.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	0.00081	-42.2	7.8	-0.03176	-42.2	102.2
2	0.00350	-50.0	110.0	0.00066	-42.2	102.2	-0.03366	-42.2	7.8

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	-0.000344979	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000363591	-0.036494998	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale 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.proiettata 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	552.00	3258.98	605.65	105.9  98.1	100.0	2.500	1.024	5.7	6.3(0.0)
2	S	0.00	4688.59	242.77	106.1  98.3	100.0	1.000	1.014	0.0	6.3(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

RELAZIONE DI CALCOLO

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	5.54	-50.0	0.0	-193.4	32.8	102.2	1950	45.2
2	S	2.28	-50.0	110.0	-65.6	-14.1	7.8	1950	45.2

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 unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	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	-0.00107	0.00000	0.500	24.0	66	0.00058 (0.00058)	400	0.232 (990.00)	-844.05	0.00
2	S	-0.00037	0.00000	0.500	24.0	66	0.00020 (0.00020)	400	0.079 (990.00)	909.42	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI 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	5.15	-50.0	0.0	-179.2	32.8	102.2	1950	45.2
2	S	1.86	-50.0	110.0	-49.8	-14.1	7.8	1950	45.2

COMBINAZIONI FREQUENTI 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	-0.00099	0.00000	0.500	24.0	66	0.00054 (0.00054)	400	0.215 (0.30)	-844.97	0.00
2	S	-0.00028	0.00000	0.500	24.0	66	0.00015 (0.00015)	400	0.060 (0.30)	935.26	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	4.09	-50.0	0.0	-140.7	32.8	102.2	1950	45.2
2	S	0.69	-50.0	110.0	-9.2	-32.8	7.8	1850	45.2

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	-0.00078	0.00000	0.500	24.0	66	0.00042 (0.00042)	400	0.169 (0.20)	-848.83	0.00
2	S	-0.00005	0.00000	0.500	24.0	66	0.00003 (0.00003)	391	0.011 (0.20)	1237.57	0.00

Si adottano spille in misura di  $9\text{Ø}10/\text{m}^2$

### 8.5.3 Verifica piedritti

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.4	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. 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: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	110.0
3	50.0	110.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	24
2	-42.0	102.0	24
3	42.0	102.0	24
4	42.0	8.0	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

**RELAZIONE DI CALCOLO**

1	1	4	8	24
2	2	3	8	24

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	144.00	-305.00	743.00
2	492.00	1649.00	743.00
3	534.00	1773.00	519.00
4	649.00	-1149.00	519.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	732.00	324.00	0.00
2	444.00	880.00	0.00
3	457.00	1007.00	0.00
4	633.00	140.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	700.00	293.00 (1573.43)	0.00 (0.00)
2	412.00	835.00 (884.63)	0.00 (0.00)
3	419.00	931.00 (875.86)	0.00 (0.00)
4	595.00	155.00 (3889.05)	0.00 (0.00)

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	447.00	174.00 (1698.96)	0.00 (0.00)
2	315.00	721.00 (873.23)	0.00 (0.00)
3	306.00	720.00 (870.87)	0.00 (0.00)
4	482.00	174.00 (1865.37)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

**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
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
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 [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	144.00	-305.00	143.82	-1790.07	5.87	90.5(33.0)
2	S	492.00	1649.00	492.21	1953.60	1.18	90.5(33.0)
3	S	534.00	1773.00	533.83	1973.04	1.11	90.5(33.0)
4	S	649.00	-1149.00	649.15	-2026.91	1.76	90.5(33.0)

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

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
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	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	0.00053	-42.0	8.0	-0.03438	-42.0	102.0
2	0.00350	-50.0	110.0	0.00077	-42.0	102.0	-0.03126	-42.0	8.0
3	0.00350	-50.0	110.0	0.00080	-42.0	102.0	-0.03091	-42.0	8.0
4	0.00350	-50.0	0.0	0.00088	-42.0	8.0	-0.02993	-42.0	102.0

**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	-0.000371327	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000340758	-0.033983334	----	----
3	0.000000000	0.000337352	-0.033608714	----	----
4	0.000000000	-0.000327743	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale 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.

RELAZIONE DI CALCOLO

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	743.00	3206.17	748.86	106.2  98.2	100.0	2.500	1.007	7.7	7.8(0.0)
2	S	743.00	3248.53	746.29	105.9  97.9	100.0	2.500	1.024	7.8	7.8(0.0)
3	S	519.00	3253.59	745.97	105.9  97.9	100.0	2.500	1.026	5.4	7.8(0.0)
4	S	519.00	3267.16	745.04	105.7  97.7	100.0	2.500	1.031	5.4	7.8(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	2.10	-50.0	110.0	-17.6	-42.0	8.0	1500	45.2
2	S	5.41	-50.0	110.0	-164.7	-32.7	8.0	2000	45.2
3	S	6.16	-50.0	110.0	-193.4	-42.0	8.0	2000	45.2
4	S	1.06	-50.0	110.0	0.7	-42.0	8.0	0	0.0

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 unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
= 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 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2)/(2 * e1)$  per trazione eccentrica [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 =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(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	-0.00011	0.00000	0.500	24.0	68	0.00005 (0.00005)	366	0.019 (990.00)	1493.78	0.00
2	S	-0.00092	0.00000	0.500	24.0	68	0.00049 (0.00049)	412	0.203 (990.00)	886.91	0.00
3	S	-0.00108	0.00000	0.500	24.0	68	0.00058 (0.00058)	412	0.239 (990.00)	876.62	0.00
4	S	0.00000	0.00000	0.500	24.0	68	0.00058 (0.00058)	0	0.001 (990.00)	12672.60	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI 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	1.90	-50.0	110.0	-14.1	-42.0	8.0	1400	45.2
2	S	5.13	-50.0	110.0	-157.2	-23.3	8.0	2000	45.2

**RELAZIONE DI CALCOLO**

3	S	5.69	-50.0	110.0	-179.2	-42.0	8.0	2000	45.2
4	S	1.10	-50.0	110.0	-0.9	-42.0	8.0	800	45.2

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	-0.00009	0.00000	0.500	24.0	68	0.00004 (0.00004)	357	0.015 (0.30)	1573.43	0.00
2	S	-0.00088	0.00000	0.500	24.0	68	0.00047 (0.00047)	412	0.194 (0.30)	884.63	0.00
3	S	-0.00100	0.00000	0.500	24.0	68	0.00054 (0.00054)	412	0.221 (0.30)	875.86	0.00
4	S	-0.00001	0.00000	0.500	24.0	68	0.00000 (0.00000)	303	0.001 (0.30)	3889.05	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	1.14	-50.0	110.0	-7.0	-42.0	8.0	1250	45.2
2	S	4.40	-50.0	110.0	-139.7	-42.0	8.0	2000	45.2
3	S	4.39	-50.0	110.0	-140.3	-14.0	8.0	2000	45.2
4	S	1.14	-50.0	110.0	-5.7	-42.0	8.0	1100	45.2

**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	-0.00004	0.00000	0.500	24.0	68	0.00002 (0.00002)	344	0.007 (0.20)	1698.96	0.00
2	S	-0.00078	0.00000	0.500	24.0	68	0.00042 (0.00042)	412	0.172 (0.20)	873.23	0.00
3	S	-0.00078	0.00000	0.500	24.0	68	0.00042 (0.00042)	412	0.173 (0.20)	870.87	0.00
4	S	-0.00004	0.00000	0.500	24.0	68	0.00002 (0.00002)	330	0.006 (0.20)	1865.37	0.00

Si adottano spille in misura di 10Ø10/m<sup>2</sup>

## 8.6 VERIFICA FONDAZIONE

### 8.6.1 Verifica portanza

Si riporta di seguito la verifica di portanza per la combinazione più sfavorevole:

RELAZIONE DI CALCOLO

**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 ( $e_B = Mb/N$ )

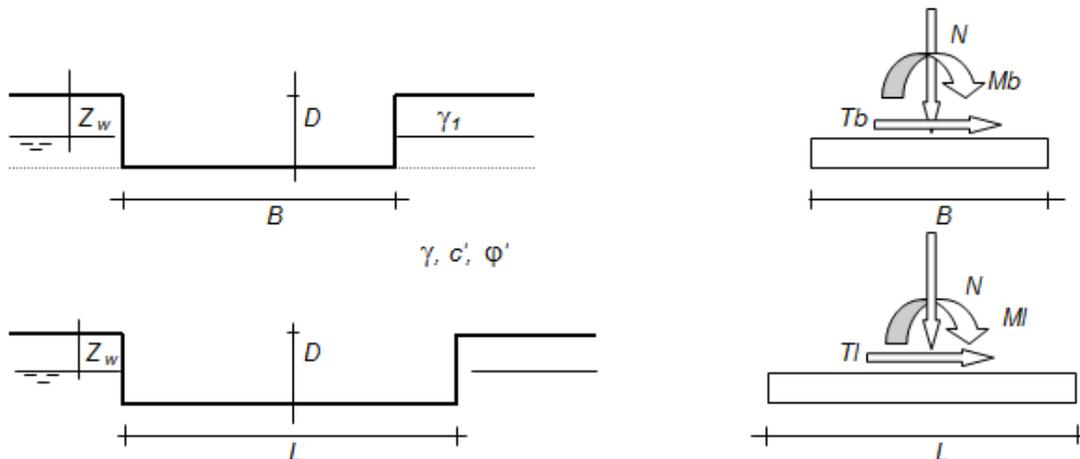
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = ML/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

$B^*$  = 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)

Metodo di calcolo		coefficienti parziali					
		azioni		proprietà del terreno		resistenze	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	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
Tensioni Ammissibili		1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista		1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

$B$  = 14.65 (m)  
 $L$  = 1.00 (m)  
 $D$  = 3.50 (m)

RELAZIONE DI CALCOLO



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	3543.00		3543.00
Mb [kNm]	0.00		0.00
Ml [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	0.00		0.00
Tl [kN]	0.00		0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 18.00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 18.00$  (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 10.00$  (kN/mq)  
 $\phi' = 25.50$  (°)

Valori di progetto

$c' = 10.00$  (kN/mq)  
 $\phi' = 25.50$  (°)

Profondità della falda

$Z_w = 20.00$  (m)  
 $e_B = 0.00$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 14.65$  (m)  
 $L^* = 1.00$  (m)

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 63.00$  (kN/mq)

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

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 11.24$

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

$N_c = 21.47$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$

$N_\gamma = 11.68$

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

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.04$$

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

$$s_q = 1.03$$

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

$$s_\gamma = 0.97$$

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

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.94 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.06 \quad m = 1.94 \quad (-)$$

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

$$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cotg \varphi'))^m$$

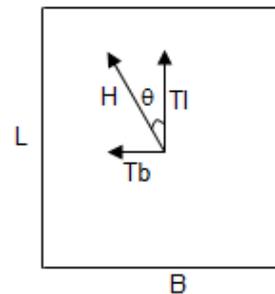
$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

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

$$i_\gamma = 1.00$$



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

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1.40$$

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

$$d_c = 1.44$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**b<sub>c</sub>, b<sub>q</sub>, b<sub>y</sub> : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \phi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = 1.00$$

**g<sub>c</sub>, g<sub>q</sub>, g<sub>y</sub> : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \phi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1445.78 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 241.84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

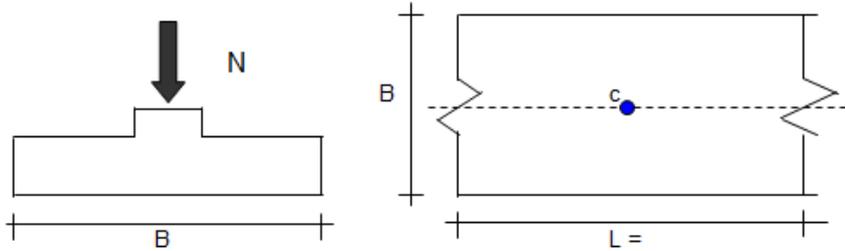
**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 628.6 \geq q = 241.84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

### 8.6.2 Stima dei cedimenti

#### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



#### Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)

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

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

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

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

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

#### DATI DI INPUT:

B = 14.65 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 2347.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 160.20 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 1 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		20.00	0.0	20.0	0.0	10000	0.30	2.87
-			0.0	0.0			0.25	-
-			0.0	0.0			0.30	-
-			0.0	0.0			0.25	-
-			0.0	0.0			0.00	-
-			0.0	0.0			0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 2.87 \text{ (cm)}$$

## 9 MURO AD U

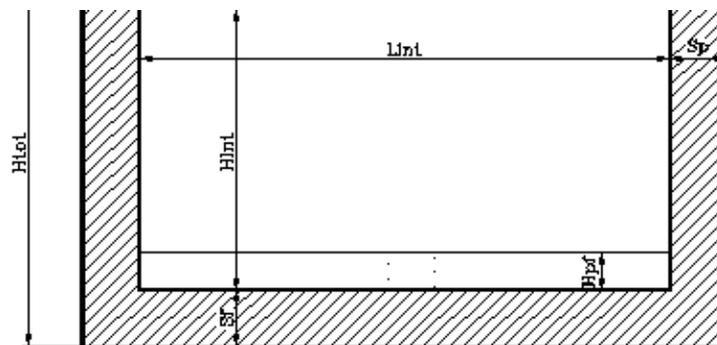
La dimensione interna è di 10.00m e l'altezza interna pari a 7.30m, piedritti di spessore 1.00m e soletta inferiore di spessore 1.20m. Per l'altezza di calcolo, quindi l'altezza del terreno spingente, viene considerato un valore determinato secondo i valori massimi e minimi in base alla seguente formula:

$$H = 3.42 + 0.8 * (8.27 - 3.42) \approx 7.30 \text{ m}$$

A favore di sicurezza si considera una larghezza di calcolo misurata sulla diagonale, direzione nella quale saranno posizionate le armature principali, pari a 12.21m (11.00m in retto).

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera.

### 9.1 GEOMETRIA



DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	12.00	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	10.00	m
larghezza interasse	$L_a$	11.00	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.00	m
spessore piedritti	$S_p$	1.00	m
spessore fondazione	$S_f$	1.20	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	8.50	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	7.30	m
spessore pacchetto stradale superiore	$H_{psup}$	0.00	m
spessore ricoprimento superiore	$H_{Rsup}$	0.00	m
spessore pacchetto stradale inferiore	$H_{pinf}$	0.40	m
spessore ricoprimento inferiore	$H_{Rinf}$	0.80	m

- Dimensioni in retto

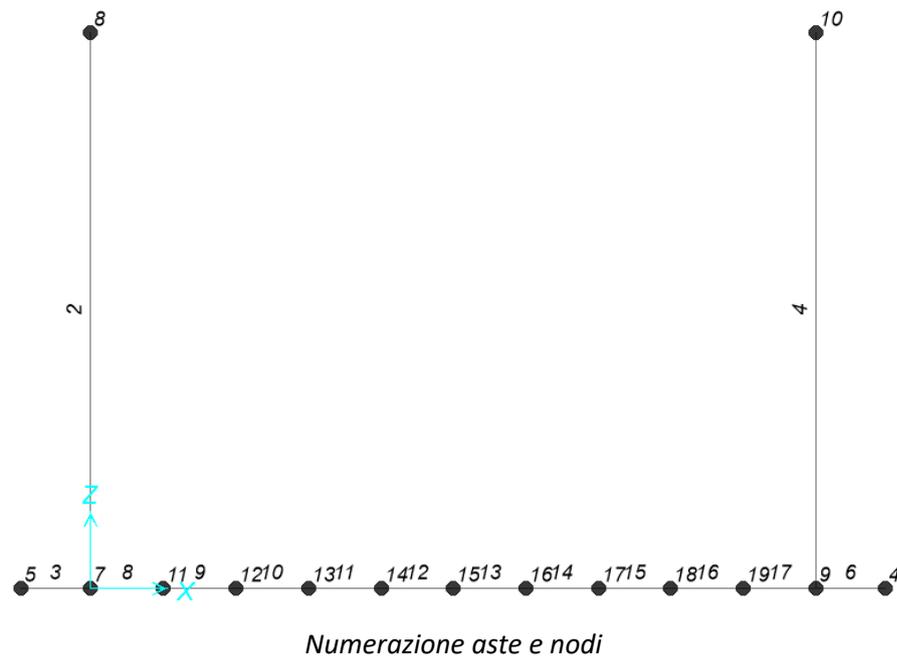
## 9.2 MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello del telaio chiuso su letto di molle alla Winkler.

Il modello considerato per l'analisi è quello di uno scatolare di profondità unitaria (1.00m) soggetto alle azioni da traffico di norma e quelle permanenti. In corrispondenza dei vertici dello scatolare sono state inserite delle zone rigide pari a metà spessore degli elementi.

Il terreno di fondazione è stato modellato utilizzando la schematizzazione alla Winkler con un opportuno coefficiente di sottofondo.

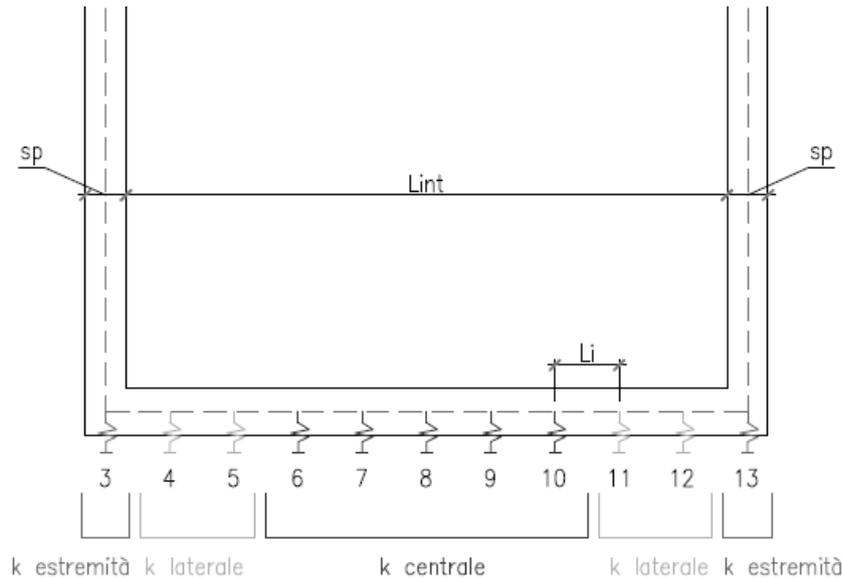
Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



### 9.2.1 Valutazione della rigidità delle molle

Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 900 \text{ kN/mc}$  in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle	$i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10 \text{ [m]}$	
Molle centrali	$k_1 = k * i$	[kN/m]
Molle intermedie	$k_2 = 1.5 * k * i$	[kN/m]
Molle laterali	$k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$	[kN/m]

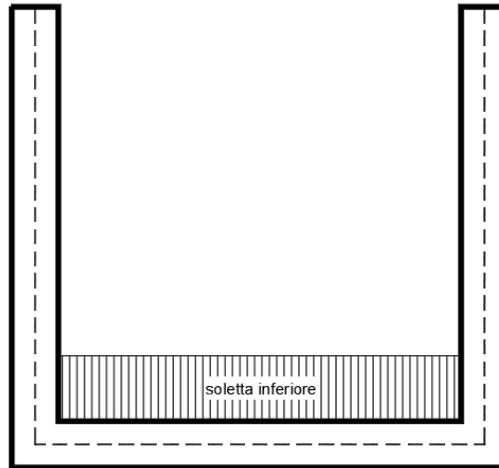


## 9.3 ANALISI DEI CARICHI

### 9.3.1 Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati

<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	30.00 kN/m
	- Totale	<b>30.00 kN/m</b>
	- Peso pacchetto pavimentazione 40 cm	9.60 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento	15.20 kN/m
	- Totale	<b>24.80 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	25.00 kN/m
	- Totale	<b>25.00 kN/m</b>

**RELAZIONE DI CALCOLO**



Peso della colonna di terreno relativa alla parte sporgente di fondazione pari a:

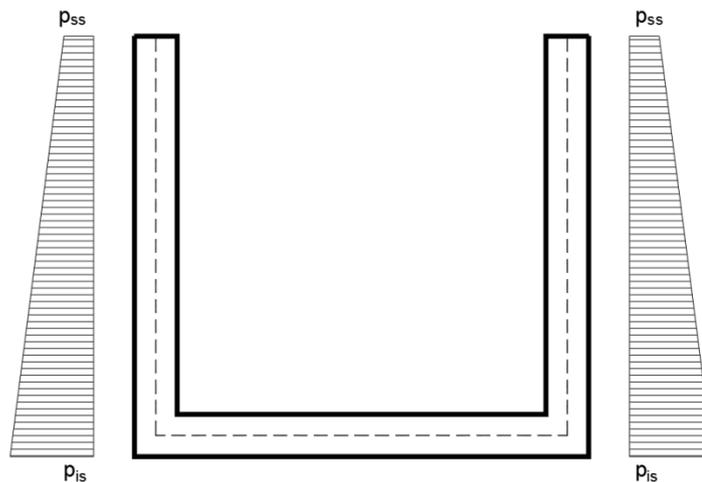
$$q = 19 * 7.30 * 1.0 = 138.7 \text{ kN/m}$$

**9.3.2 Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente**

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 35^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0=1-\sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0=0.43$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_0 * (H_r + H_p + S_s/2) * \gamma = 0.0 \text{ kN/m}$$

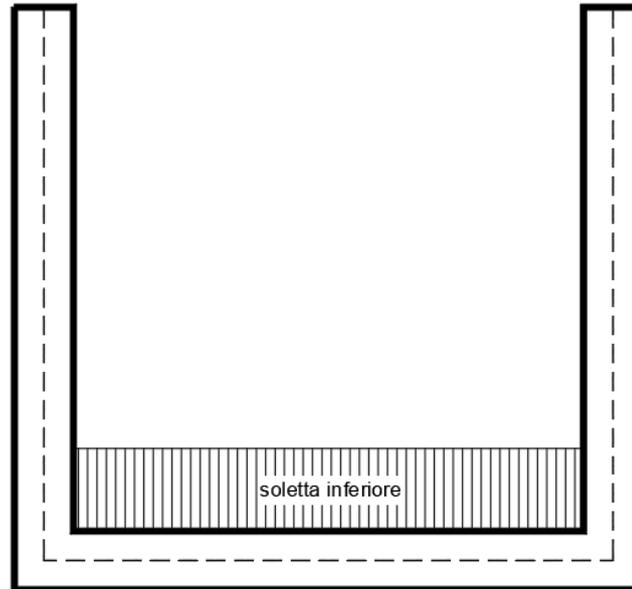
$$p_{is} = p_{ss} + K_0 * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 64.0 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta inferiore con valore pari a 39.86 kN.

### 9.3.3 Carichi variabili su soletta

Si prevede un carico accidentale  $q=20\text{kN/m}^2$ .



### 9.3.4 Variazione termica

Si applica una variazione termica pari a  $\pm 15^\circ\text{C}$  ai piedritti.

### 9.3.5 Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica 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  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:  $k_h = a_{\max}/g$

$k_v = \pm 0.5 * k_h$

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.379 g$ .

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$a_{\max} = S * a = S_s * S_t * a_g$

dove in base al fattore di amplificazione del sito  $S_s$  si ottiene:

$S_s = 1.168$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$  Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.168 * 1 * 0.379 g = 0.443 g$$

$$k_h = a_{max} / g = 0.443$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.221$$

### Sisma orizzontale

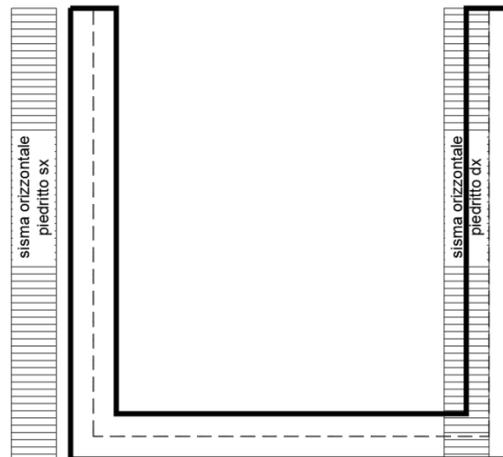
$$F_{sis} = a_{max} * \gamma * H_{tot} = 71.49 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{inp} = \alpha * S_p * \gamma * 1m = 11.07 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 82.56 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

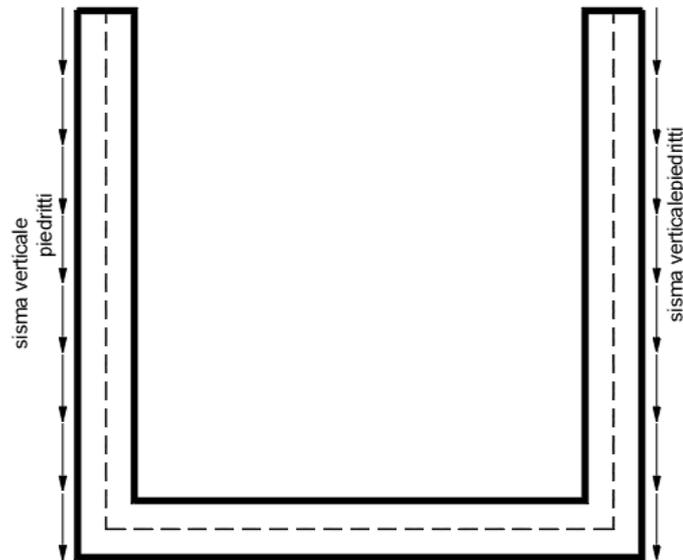
$$\text{Totale} = 11.07 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta inferiore con valore pari a 49.53 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta inferiore con valore pari a 6.64 kN.



### Sisma verticale

$$F_{inp} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1m = 5.53 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$



Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  $G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$

### 9.3.6 Spinta sismica terreno

Le spinte delle terre potranno essere determinate secondo la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = (a_{max}/g) * \gamma * H_{tot}^2$$

Tale risultante applicata ad un'altezza pari ad  $H_{tot}/2$ .sarà considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

**9.4 DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI**

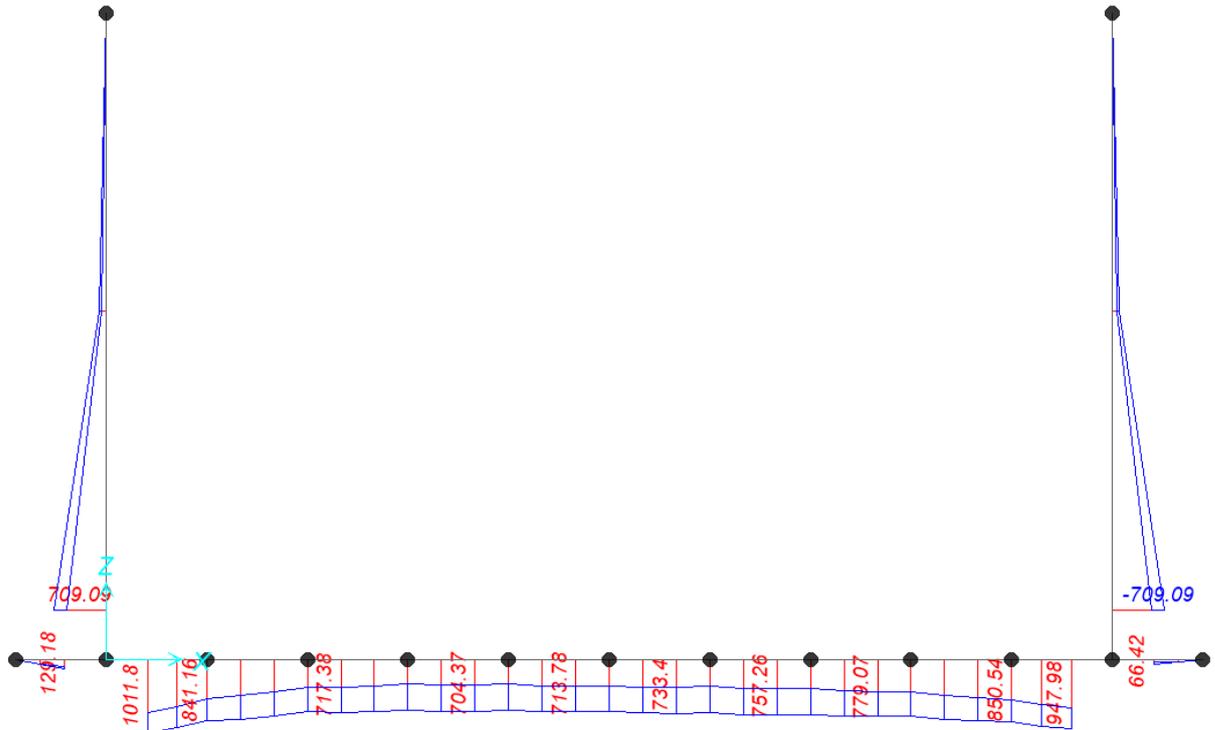


Fig. 11 – Involucro momenti flettenti SLU

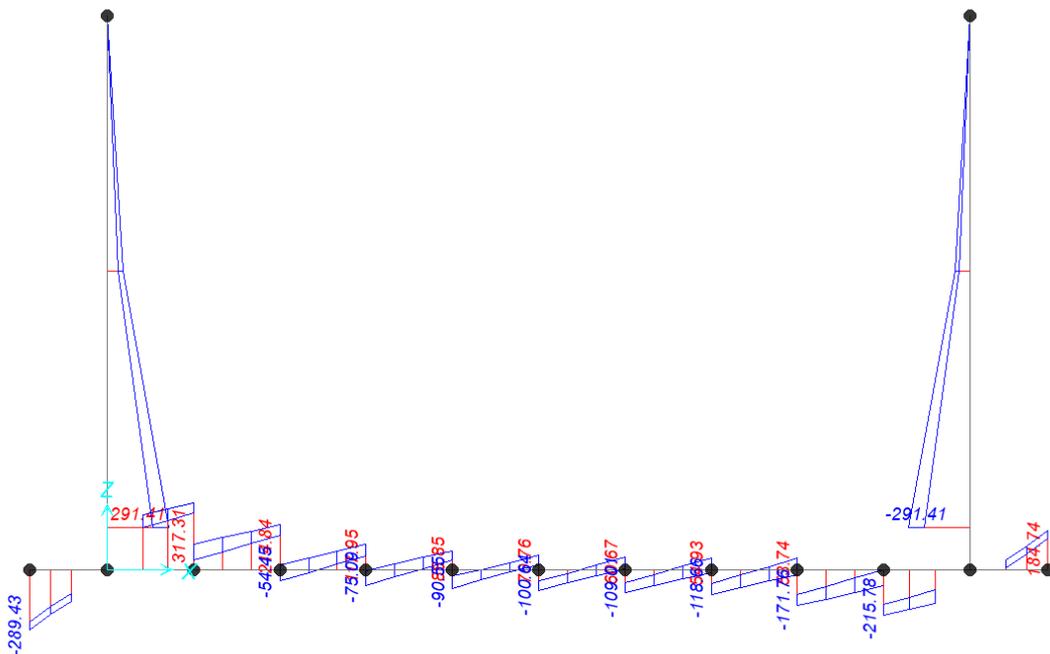


Fig. 12 – Involucro sforzi taglianti SLU

**RELAZIONE DI CALCOLO**

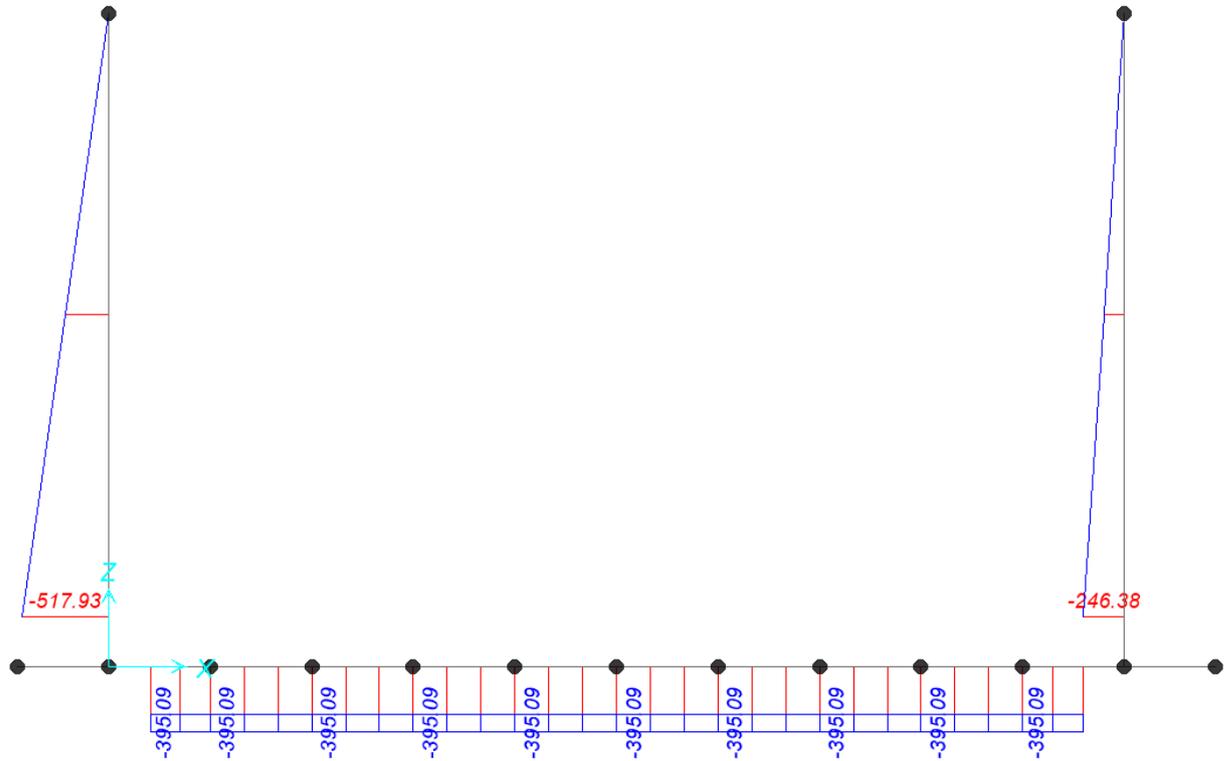


Fig. 13 – Involuppo azioni assiali SLU

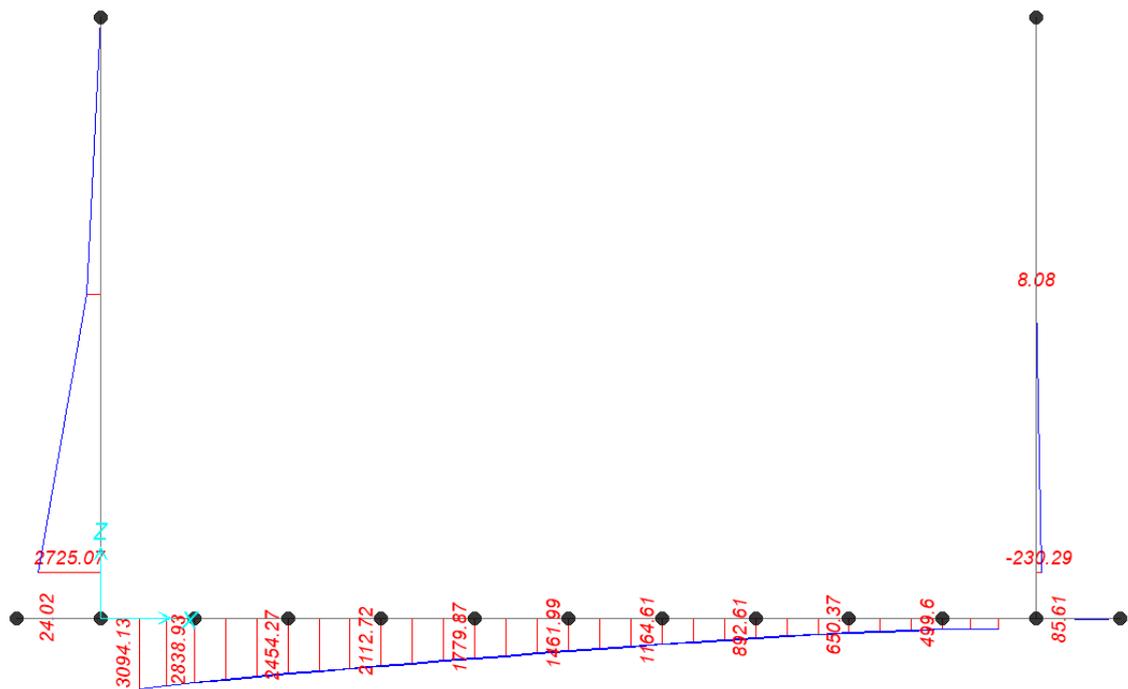


Fig. 14 – Involuppo momenti flettenti SLV

**RELAZIONE DI CALCOLO**

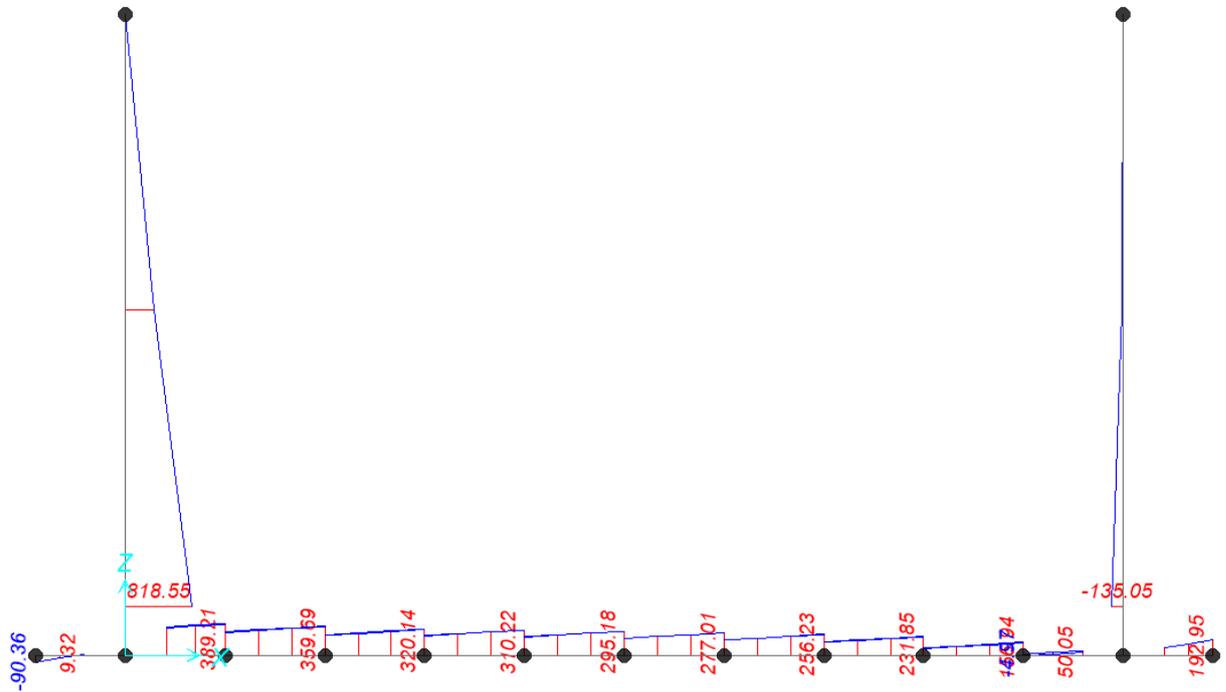


Fig. 15 – Involuppo sforzi taglianti SLV

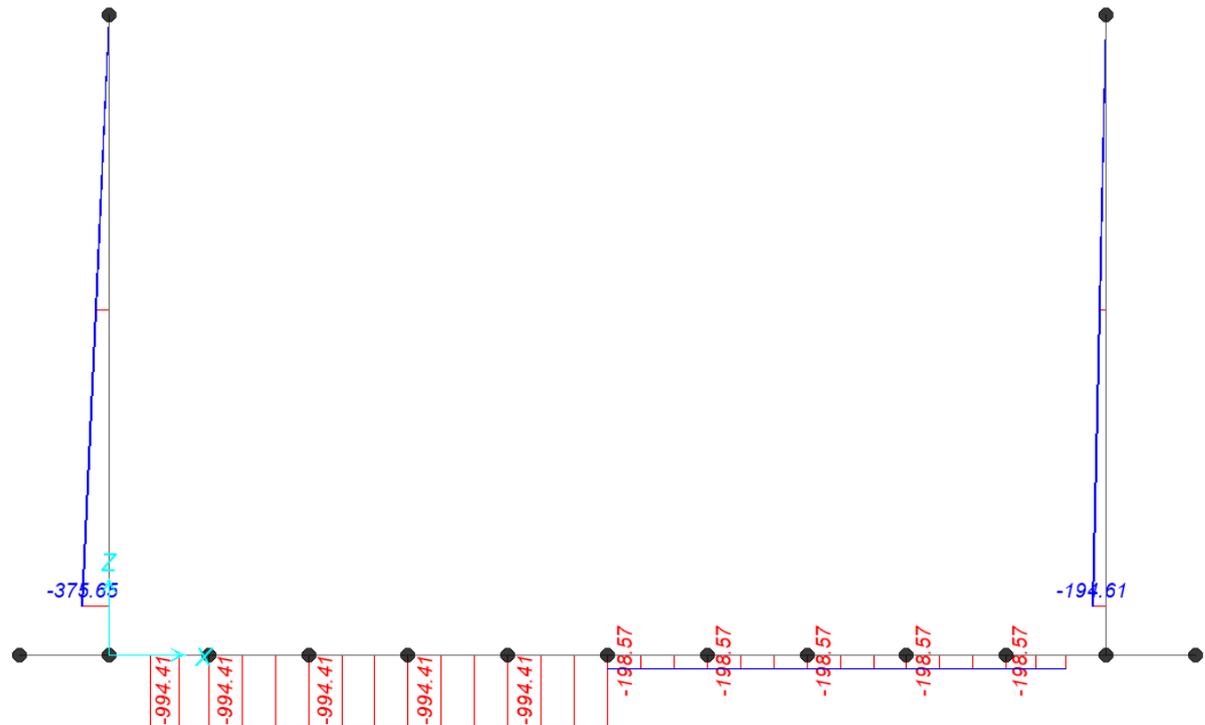


Fig. 16 – Involuppo azioni assiali SLV

**RELAZIONE DI CALCOLO**

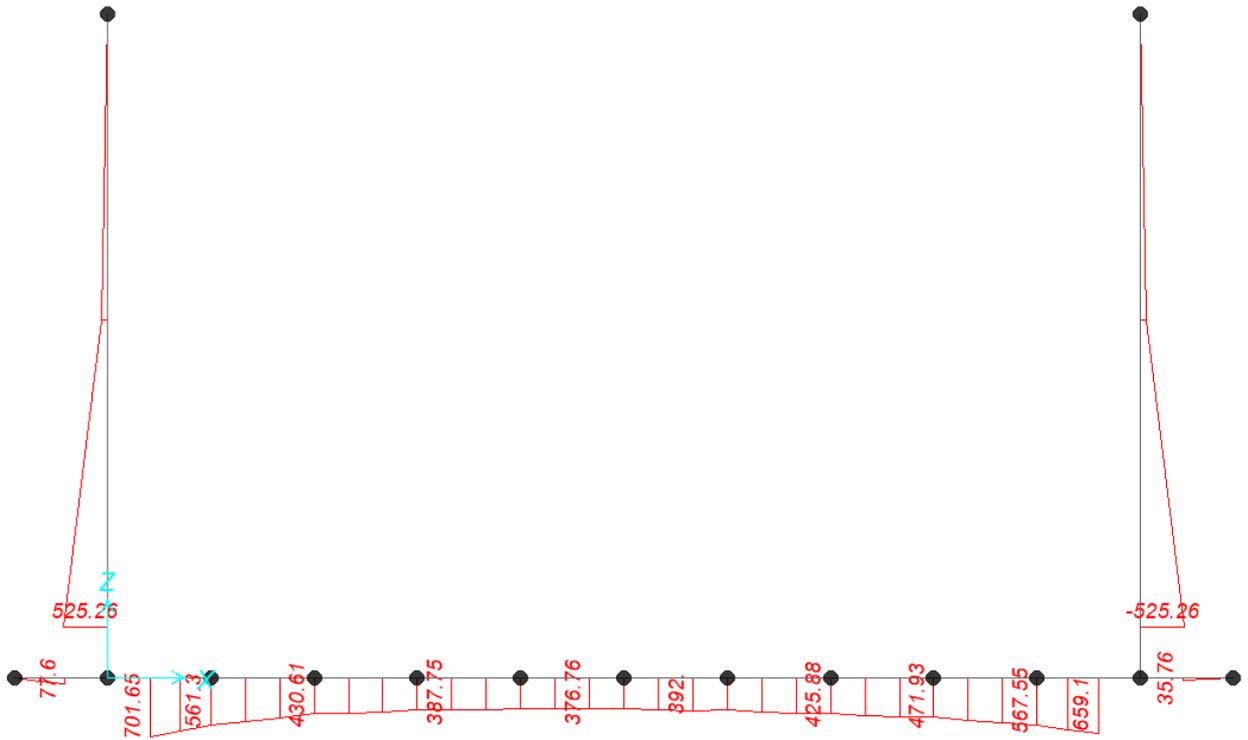


Fig. 17 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

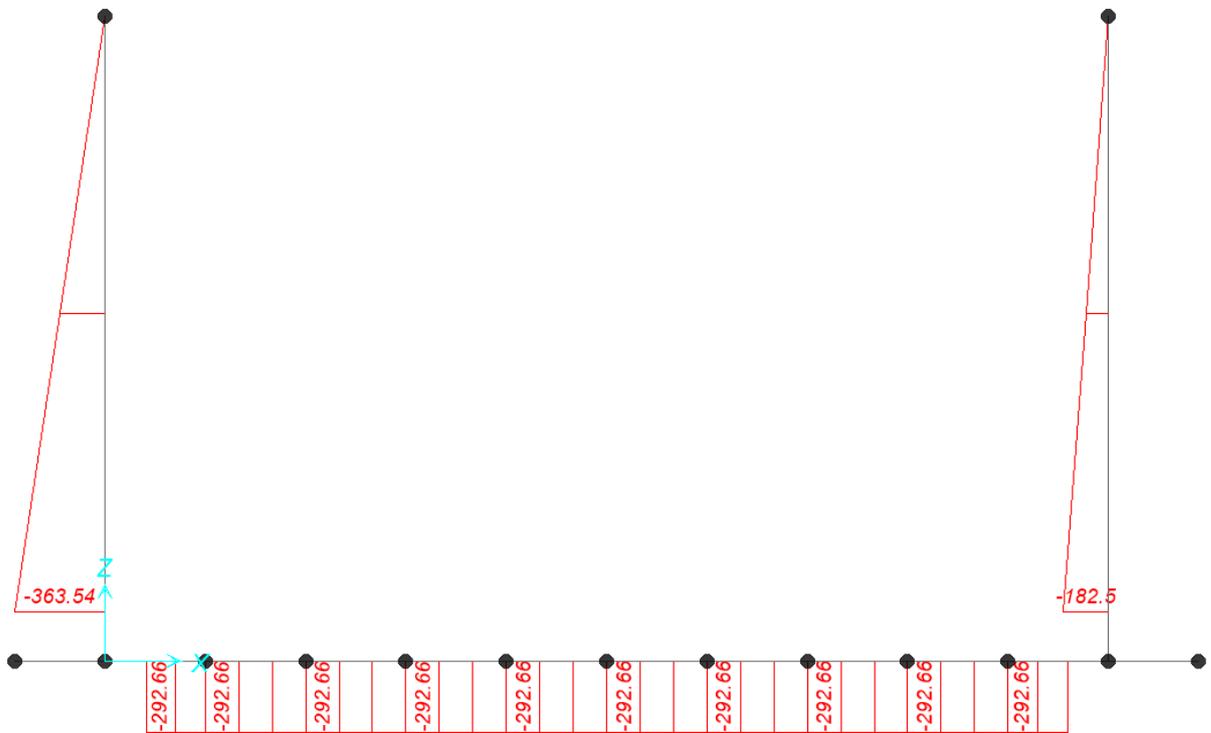


Fig. 18 – Involuppo azioni assiali SLE rara

## 9.5 VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori delle sollecitazioni massime e i valori delle sollecitazioni per la verifica a fessurazione risultanti dalle combinazioni di cui al capitolo precedente.

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido. Per ogni elemento si ricerca la sezione di Momento e Taglio massimo; la verifica sarà eseguita con la sollecitazione, in modulo, maggiore:

		SLU STR-SLV			
Elemento strutturale	Sezione	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$ (kN)
soletta inferiore	nodo piedritto	SLU17-SIS	994	3094	389
	campata	SLU17-SIS	0	0	-
pieдрitti	nodo soletta inf	SLU16-SIS	376	2725	819

		SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
Elemento strutturale	Sezione	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	nodo piedritto	293	702	soletta inferiore	293	702	soletta inferiore	293	702
	campata	0	0		0	0		0	0
pieдрitti	nodo soletta inf	364	525	pieдрitti	364	525	pieдрitti	364	525

La soletta inferiore non inverte mai di segno rispetto alla sezione nodo-piedritto.

### 9.5.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto $f_{cd}$ :	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$ :	0.0020
	Def.unit. ultima $ecu$ :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale $E_c$ :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.9 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.9 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.9 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. $f_{yk}$ :	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura $f_{tk}$ :	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto $f_{yd}$ :	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto $E_{pu}$ :	0.068

RELAZIONE DI CALCOLO

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: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
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	-41.7	8.3	24
2	-41.7	111.7	24
3	41.7	111.7	24
4	41.7	8.3	24
5	-41.7	13.0	24
6	41.7	13.0	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	3	24

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	994.00	3094.00	389.00

COMB. RARE (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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

**RELAZIONE DI CALCOLO**

N°Comb.	N	Mx	My
1	293.00	702.00	0.00

**COMB. FREQUENTI (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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	293.00	702.00 (1088.87)	0.00 (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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	293.00	702.00 (1088.87)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.3 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  
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  
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	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	994.00	3094.00	993.91	3265.97	1.06	67.9(21.5)

**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
--------	--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**RELAZIONE DI CALCOLO**

1	0.00350	0.133	-50.0	120.0	0.00154	-41.7	111.7	-0.02287	-41.7	8.3
---	---------	-------	-------	-------	---------	-------	-------	----------	-------	-----

**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	0.000236121	-0.024834543	0.133	0.700

**METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata						
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)						
Vwct	Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]						
d	Altezza utile sezione [cm]						
bw	Larghezza minima sezione [cm]						
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]						
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [MPa]						
N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	389.00	658.04	111.7	100.0	0.0061	0.83

**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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre								
As eff.	Area barre [cm²] 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	3.36	-50.0	120.0	-86.9	-4.6	8.3	2450	67.9

**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 unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata											
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata											
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]											
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]											
k3	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]											
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali											
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali											
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]											
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]											
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]											
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]											
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr\ max*(e\_sm - e\_cm)$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi											
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
	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	-0.00049	0.00000	0.500	24.0	71	0.00026 (0.00026)	389	0.101 (990.00)	1088.87	0.00	

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

RELAZIONE DI CALCOLO

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.36	-50.0	120.0	-86.9	-4.6	8.3	2450	67.9

COMBINAZIONI FREQUENTI 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	-0.00049	0.00000	0.500	24.0	71	0.00026 (0.00026)	389	0.101 (0.30)	1088.87	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	3.36	-50.0	120.0	-86.9	-4.6	8.3	2450	67.9

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	-0.00049	0.00000	0.500	24.0	71	0.00026 (0.00026)	389	0.101 (0.20)	1088.87	0.00

9.5.2 Verifica piedritti

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	9.4 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.3 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.3 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.3 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/cm²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C32/40
N°vertice:	X [cm] Y [cm]

**RELAZIONE DI CALCOLO**

1	-50.0	0.0
2	-50.0	100.0
3	50.0	100.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.7	8.3	24
2	-41.7	91.7	24
3	41.7	91.7	24
4	41.7	8.3	24
5	-41.7	14.0	24
6	41.7	14.0	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

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	8 mm
Passo staffe:	10.2 cm

**Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:**

N°Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra
1	1	2	3	4

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	376.00	2725.00	819.00

**COMB. RARE (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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	364.00	525.00	0.00

**RELAZIONE DI CALCOLO**

**COMB. FREQUENTI (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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	364.00	525.00 (850.37)	0.00 (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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	364.00	525.00 (850.37)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.1	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	3.3	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.3	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  
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  
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	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	376.00	2725.00	376.18	3049.94	1.12	135.7(30.0)

**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.)  
Xs min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Xs max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Ys 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
1	0.00350	-50.0	100.0	0.00167	-41.7	91.7	-0.01677	-41.7	8.3

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

RELAZIONE DI CALCOLO

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	0.000221034	-0.018603425	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	8 mm									
Passo staffe:	10.2 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]									
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata									
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale 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.proiettata 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	819.00	2822.38	823.07	93.7  85.4	100.0	2.500	1.020	9.8	9.9(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	3.33	-50.0	100.0	-59.8	-23.2	8.3	1950	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 unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata								
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata								
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]								
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]								
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]								
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali								
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali								
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]								
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa								
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]								
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]								
	Massima distanza tra le fessure [mm]								
	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi								

**RELAZIONE DI CALCOLO**

Mx fess. My fess.		Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm] 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	-0.00035	0.00000	0.500	24.0	71	0.00018 (0.00018) 329 0.059 (0.20)				850.37	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	3.33	-50.0	100.0	-59.8	-23.2	8.3	1950	90.5

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	-0.00035	0.00000	0.500	24.0	71	0.00018 (0.00018) 329 0.059 (0.20)				850.37	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	3.33	-50.0	100.0	-59.8	-23.2	8.3	1950	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	-0.00035	0.00000	0.500	24.0	71	0.00018 (0.00018) 329 0.059 (0.20)				850.37	0.00

Si adottano spille  $9\varnothing 12/m^2$

## 9.6 VERIFICA FONDAZIONE

### 9.6.1 Verifica portanza

Si riporta di seguito la verifica di portanza per la combinazione più sfavorevole:

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

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

$D$  = Profondità del piano di appoggio

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

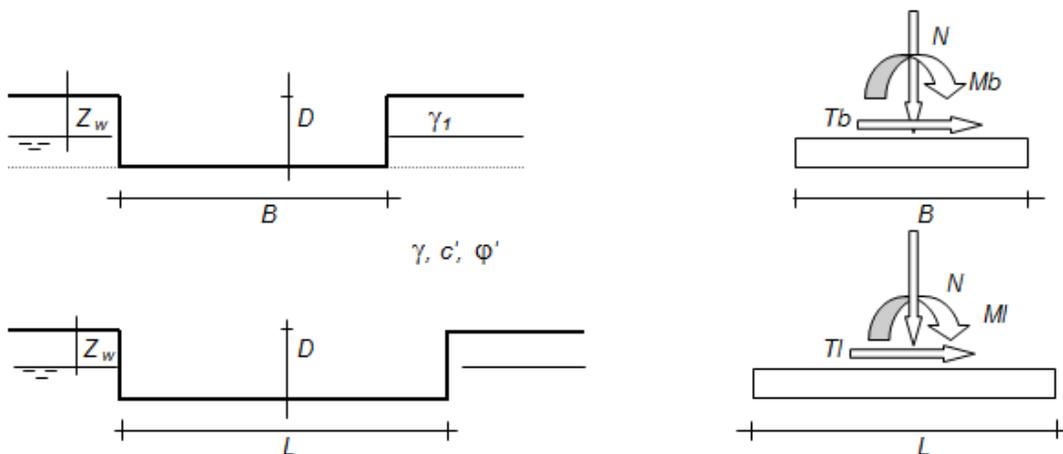
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = Ml/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

$B^*$  = 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)

Metodo di calcolo			coefficienti parziali						
			azioni		proprietà del terreno		resistenze		
			permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00	
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00	
	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	
Tensioni Ammissibili			○	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista			●	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

$B = 14.43$  (m)  
 $L = 1.00$  (m)  
 $D = 3.50$  (m)

RELAZIONE DI CALCOLO



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	2339.00		2339.00
Mb [kNm]	0.00		0.00
Ml [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	0.00		0.00
Tl [kN]	0.00		0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 18.00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 18.00$  (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 10.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 25.50$  ( $^{\circ}$ )

Valori di progetto

$c' = 10.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 25.50$  ( $^{\circ}$ )

Profondità della falda

$Z_w = 20.00$  (m)

$e_B = 0.00$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 14.43$  (m)  
 $L^* = 1.00$  (m)

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 63.00$  (kN/mq)

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

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 11.24$

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

$N_c = 21.47$

$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan \varphi'$

$N_\gamma = 11.68$

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

$$s_c = 1 + B^*N_q / (L^* N_c)$$

$$s_c = 1.04$$

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

$$s_q = 1.03$$

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

$$s_\gamma = 0.97$$

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

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1.94 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1.06 \quad m = 1.94 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^m$$

*(m=2 nel caso di fondazione nastriforme e m=(m\_b sin^2θ+m\_l cos^2θ) in tutti gli altri)*

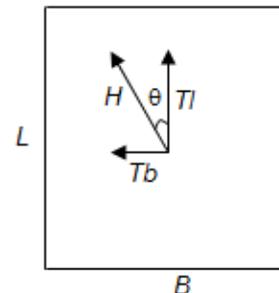
$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

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

$$i_\gamma = 1.00$$



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

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan\varphi' (1 - \sin\varphi)^2 / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan\varphi' (1 - \sin\varphi)^2) * \arctan(D/B^*)$

$$d_q = 1.40$$

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

$$d_c = 1.44$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

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

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

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

$$g_q = 1.00$$

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

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1446.39 \quad (kN/m^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 162.09 \quad (kN/m^2)$$

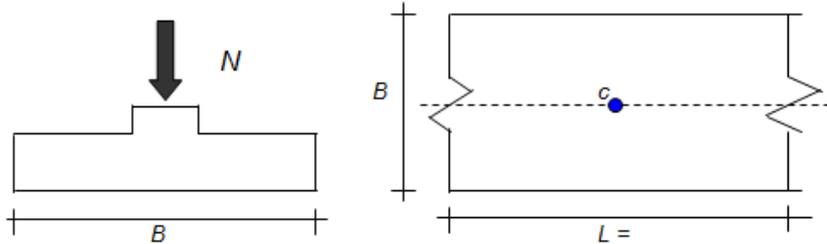
**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 628.87 \geq q = 162.09 \quad (kN/m^2)$$

### 9.6.2 Stima dei cedimenti

#### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

LAVORO:



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

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

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

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

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

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

DATI DI INPUT:

$B = 14.43$  (m) (Larghezza della Fondazione)

$N = 1478.00$  (kN) (Carico Verticale Agente)

$q = 102.43$  (kN/mq) (Pressione Agente ( $q = N/B$ ))

$ns = 1$  (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Spessore	da $z_i$	a $z_{i+1}$	$\Delta z_i$	E	$\nu$	$\delta_{ci}$
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		20.00	0.0	20.0	0.0	10000	0.30	1.84
-			0.0	0.0			0.25	-
-			0.0	0.0			0.30	-
-			0.0	0.0			0.25	-
-			0.0	0.0			0.00	-
-			0.0	0.0			0.00	-

$$\delta_{ctot} = 1.84 \text{ (cm)}$$

## 10 VERIFICA STABILITÀ DELLO SCAVO

Per le verifiche di stabilità globale è stato utilizzato il modulo VSP di PARATIE PLUS 21.0.

Questo tipo di verifica prende in esame la configurazione di scavo nella fase generica, prescindendo dalla sequenza costruttiva precedente. Questa tecnica, infatti, appartiene all'ambito dei metodi dell'equilibrio limite che operano indipendentemente dal comportamento deformativo dell'opera, o meglio, che prescindono dalla successione temporale delle deformazioni reversibili e irreversibili sviluppatesi prima della configurazione esaminata.

Per la verifica è stato adottato il metodo rigoroso di **Morgenstern & Price**, appartenente alla famiglia dei metodi dell'equilibrio limite (LEM), basati sull'individuare una regione di terreno potenzialmente instabile, suddivisa in tanti conci verticali (*slices*) e mobilitata lungo una superficie di scorrimento. Questo metodo considera superfici di scorrimento di forma generica e ricerca il coefficiente di sicurezza associato ad una superficie imponendo le condizioni di equilibrio globale a traslazione e a rotazione. Queste ultime includono tutte le forze di interstriscia.

Al fine di rendere il problema staticamente determinato, si aggiungono (n-1) equazioni, ipotizzando che l'inclinazione delle forze tra i conci vari con la posizione x del conchio, secondo una legge f(x) nota a meno di un moltiplicatore  $\lambda$ , introdotto come incognita aggiuntiva:

$$\frac{X_i}{E_i} = \lambda f(x)$$

Dove:

$X_i$ : forza tangenziale agente sulla faccia i-esima del conchio.

$E_i$ : forza ortogonale alla faccia i-esima del conchio.

$\lambda$ : incognita.

f(x): funzione di forma che nel caso di M&P è sinusoidale.

La soluzione del problema è determinata mediante un processo iterativo.

**Mediante la griglia quadrangolare dei centri definita nel programma, vengono considerate diverse superfici di scorrimento.**

Infine, viene individuata la superficie di scorrimento più gravosa (superficie critica), ovvero quella tale per cui il coefficiente di sicurezza è minimo.

La stabilità è stata studiata nelle sole condizioni statiche, essendo lo scavo provvisorio, e sotto la combinazione dei coefficienti parziali A2+M2+R2.

La verifica risulterà soddisfatta se il coefficiente di sicurezza **FS<sub>MIN</sub> ≥ R2=1.1**

Si sottolinea che, a favore di sicurezza, nella ricerca delle superfici di rottura critiche non sono stati considerati eventuali carichi a valle della regione di terreno potenzialmente instabile, essendo questi ultimi stabilizzanti.

Nella figura sottostante è riportata la superficie di rottura critica per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.446$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1,$$

**la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.**

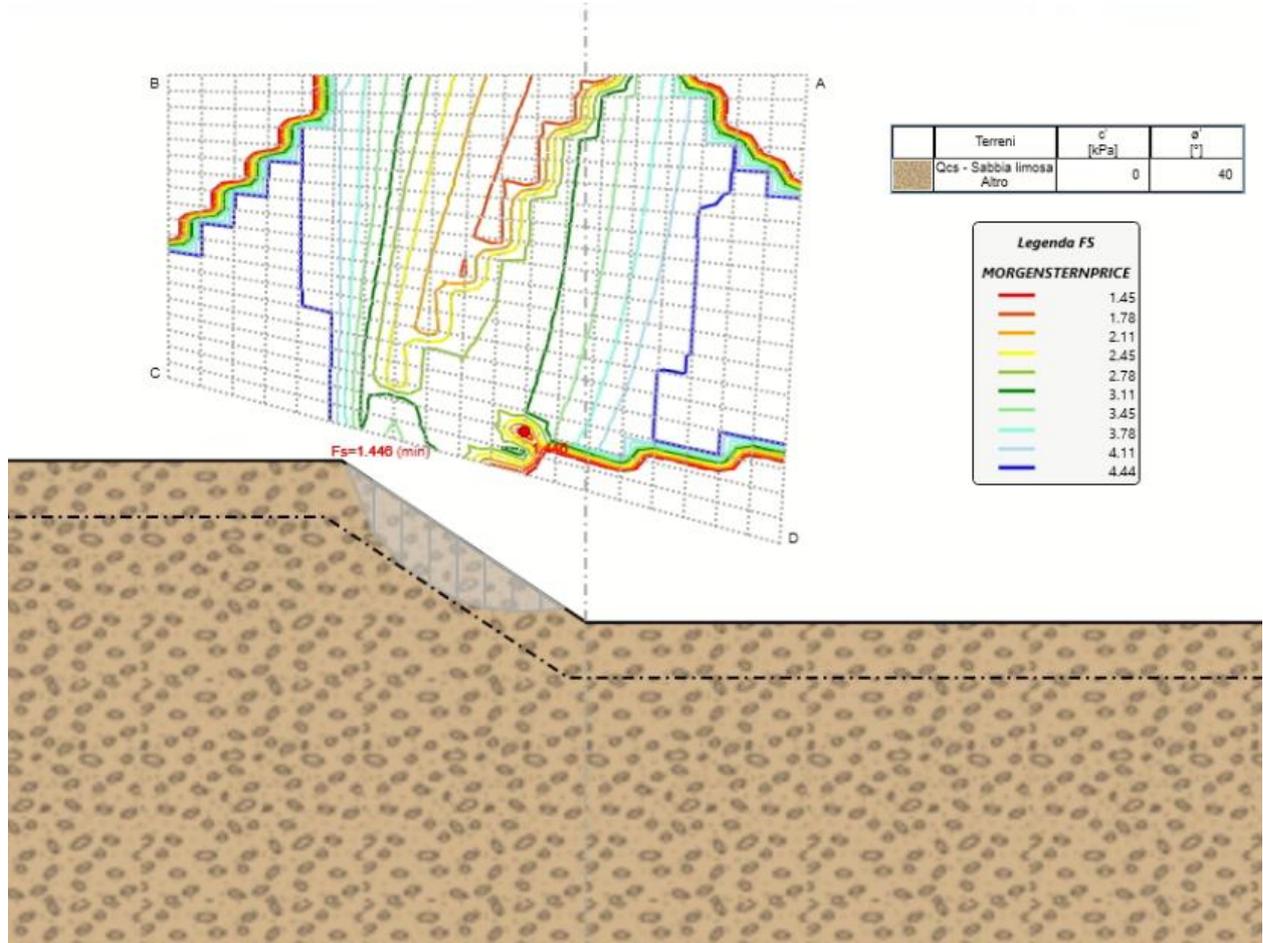


Figura 3: Verifica di stabilità globale in condizioni statiche.