

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

### PROGETTO DEFINITIVO

## COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI

### OO CC MINORI

Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare

SCALA:

-

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

I A 7 K 0 0 D 1 0 C L S L 0 1 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P.Luciani 	Dic. 2019	A.Ciayarella 	Dic. 2019	T.Paolotti 	Dic. 2019	L.Berardi Dic. 2019 

File: : IA7K00D10CLSL0100001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	7
3.1	NORMATIVA.....	7
3.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	7
4	UNITÀ DI MISURA.....	8
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	9
5.1	CALCESTRUZZO .....	9
5.1.1	<i>Solettone di fondazione</i> .....	9
5.1.2	<i>Struttura in elevazione (piedritti)</i> .....	10
5.1.3	<i>Soletta in elevazione</i> .....	10
5.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO.....	11
5.3	DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI .....	12
5.4	COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE .....	12
6	PARAMETRI SISMICI .....	13
7	PARAMETRI GEOTECNICI .....	15
8	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA .....	16
9	ANALISI DEI CARICHI .....	17
9.1	CONDIZIONI DI CARICO.....	17
9.1.1	<i>Peso proprio strutturale (PP)</i> .....	17
9.1.2	<i>Carichi permanenti portati (PERM)</i> .....	17
9.1.3	<i>Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX)</i> .....	18
9.1.4	<i>Azioni della falda (SPTW)</i> .....	18
9.1.5	<i>Azioni termiche (TERM)</i> .....	19
9.1.6	<i>Ritiro (RITIRO)</i> .....	19
9.2	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO .....	22
9.2.1	<i>Coefficiente di incremento dinamico</i> .....	22

9.2.2	Larghezza di diffusione .....	22
9.2.3	Treni di carico .....	22
9.3	FRENATURA E AVVIAMENTO (AVV E FREN).....	24
9.4	AZIONE CENTRIFUGA .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
9.5	SPINTA DEL SOVRACCARICO SUL RILEVATO (SPACCSX E SPACCDX) .....	24
9.6	SERPEGGIO (SERP) .....	26
9.7	SOVRACCARICHI ACCIDENTALI SULLA SOLETTA DI FONDAZIONE (ACC_SOLINF) .....	26
9.8	URTO DEI VEICOLI IN SVIO (URTO).....	26
9.9	AZIONI SISMICHE .....	27
10	COMBINAZIONI DI CARICO .....	29
11	CRITERI DI VERIFICA .....	35
11.1	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO.....	35
11.1.1	Sollecitazioni flettenti .....	35
11.1.2	Sollecitazioni taglianti.....	35
11.2	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO .....	37
11.2.1	Verifica a fessurazione.....	37
11.2.2	Verifica delle tensioni.....	37
12	MODELLAZIONE STRUTTURALE .....	38
12.1	CODICE DI CALCOLO .....	38
12.1.1	Interazione terreno-struttura .....	40
13	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI .....	41
13.1	SOLETTA DI COPERTURA.....	42
13.2	SOLETTA DI FONDAZIONE .....	45
13.3	MURI LATERALI.....	48
14	VERIFICHE DI DEFORMAZIONE E VIBRAZIONE.....	56

14.1	INFLESSIONE NEL PIANO VERTICALE DELL'IMPALCATO .....	56
14.2	STATO LIMITE DI COMFORT DEI PASSEGGERI .....	56
15	VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO.....	57
15.1	SOLETTA SUPERIORE – SEZIONE DI MEZZERIA .....	58
15.1.1	<i>Armatura dir. Y</i> .....	58
15.1.2	<i>Armatura dir. X</i> .....	62
15.2	SOLETTA SUPERIORE – SEZIONE DI INCASTRO.....	66
15.2.1	<i>Armatura dir. Y</i> .....	66
15.2.2	<i>Armatura dir. X</i> .....	71
15.3	SOLETTA INFERIORE – SEZIONE DI MEZZERIA .....	75
15.3.1	<i>Armatura dir. Y</i> .....	75
15.3.2	<i>Armatura dir. X</i> .....	79
15.4	SOLETTA INFERIORE – SEZIONE DI INCASTRO .....	84
15.4.1	<i>Armatura dir. Y</i> .....	84
15.4.2	<i>Armatura dir. X</i> .....	88
15.5	PIEDRITTI – SEZIONE DI INCASTRO INFERIORE .....	92
15.6	PIEDRITTI – SEZIONE DI INCASTRO SUPERIORE .....	97
16	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	102
16.1	VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE.....	102
16.2	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	109
17	VALUTAZIONE DELLE INCIDENZE .....	111

## 1 PREMESSA

Il collegamento ferroviario tra la stazione di Brindisi e la futura stazione dell'aeroporto del Salento, interessa le aree a nord e nord-ovest della città, compresa tra l'asse ferroviario e l'aeroporto stesso.

Quest'ultimo ha confermato il ruolo strategico rivestito negli ultimi anni per la Regione Puglia, dato il notevole incremento dei flussi turistici sia nazionali che internazionali.

RFI con la nota prot. RFI-DIN-DIS.AD\LTINC\P\2019\00000270, ha richiesto l'avvio delle attività per la Progettazione Tecnica ed Economica di I e II fase.


La soluzione individuata è la migliore alternativa progettuale risultante da un'analisi multicriteria realizzata all'interno del PFTE di prima fase e consegnato ad RFI con nota AGCCS.BATA.0017480.19.U del12/03/2019.

La stessa soluzione è stata oggetto degli approfondimenti del PFTE di fase II.

Con la nota prot. RFI-DIN-DIS.AD\LTINC\P\2019\00000510, RFI ha richiesto l'avvio delle attività per l'esecuzione delle prestazioni relative alla progettazione definitiva della soluzione individuata.



*Soluzione individuata*

	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL</b> <b>SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A

Nel PFTE di seconda fase, il tracciato era suddiviso in due lotti funzionali corrispondenti alle due fasi realizzative:

- Lotto1: relativo al collegamento a singolo binario tra la Stazione di Brindisi e la nuova Stazione di Brindisi Aeroporto;
- Lotto 2: relativo ai rami di collegamento della nuova linea Brindisi- Brindisi Aeroporto con la linea Taranto-Brindisi e la linea Bari-Lecce.

Nella fase definitiva invece, il progetto è trattato in un unico lotto inclusi i rami di collegamento della nuova linea Brindisi- Brindisi Aeroporto con la linea Taranto-Brindisi, e la linea Bari-Lecce.

Il tracciato di progetto, lungo circa 6+225 km e con una pendenza massima del 20%, si sviluppa sostanzialmente in rilevato basso, attraversando le aree agricole a nord-ovest dell'abitato di Brindisi.

In corrispondenza di due interferenze viarie, in particolare per realizzare lo scavalco della SP42 e della SS379, la livelletta ferroviaria aumenta di quota (circa +7,5 e +10 m rispetto al piano di campagna rispettivamente).

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione è relativa al calcolo del sottovia "SL01", previsto nell'ambito della progettazione definitiva del Collegamento ferroviario dell'aeroporto del Salento con la Stazione di Brindisi ed ubicato al km 1+313.042 della linea ferroviaria.

Il sottovia è costituito da una struttura scatolare realizzata in conglomerato cementizio gettato in opera, di dimensioni interne 11.50 x 5.83m, con soletta di copertura di spessore 1.00m, piedritti di spessore 1.20m e soletta di fondazione di spessore 1.30m. La distanza tra la quota del piano del ferro e l'estradosso della soletta superiore è pari a 1.10 m. La sezione stradale in progetto (categoria F2) è caratterizzata da corsie di larghezza 3.25m, banchine laterali di 1.00m e marciapiedi da 1.50m. La velocità di progetto della linea ferroviaria in oggetto è di 100 km/h.

L'opera, ubicata nel Comune di Brindisi, ricade in zona sismica e sono state pertanto considerate le azioni derivanti dall'analisi sismica, secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/18 e dalla Circolare Applicativa.

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normativa

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le seguenti normative.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- UNI EN 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”;
- UNI EN 1997-1-1 “Progettazione geotecnica – Parte 1:Regole generali”;
- UNI EN 1998-5 “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1 UNI 11104/2016;
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C – Dicembre 2018: Manuale di progettazione delle opere civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – RFI;
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18/11/2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

#### 3.2 Elaborati di riferimento

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l’insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all’opera in esame e riportati in elenco elaborati.

Carpenteria Sottovia-Fondazione e sezioni	1:50	I	A	7	K	0	0	D	1	0	B	Z	S	L	0	1	0	1	0	0	1	A
Carpenteria Sottovia-Copertura	1:100	I	A	7	K	0	0	D	1	0	B	Z	S	L	0	1	0	1	0	0	2	A
Dettagli / Particolari Costruttivi	VARIE	I	A	7	K	0	0	D	1	0	B	Z	S	L	0	1	0	1	0	0	3	A

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo  
della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	8 di 111

Muri - Carpenterie	varie	I	A	7	K	0	0	D	1	0	B	Z	S	L	0	1	0	1	0	0	4	A
Pianta scavi	1:100	I	A	7	K	0	0	D	1	0	P	Z	S	L	0	1	0	1	0	0	1	A

#### 4 UNITÀ DI MISURA

Le unità di misura usate nella presente relazione sono:

- lunghezze [m]
- forze [kN]
- momenti [kNm]
- tensioni [MPa]



## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Calcestruzzo

#### 5.1.1 Solettone di fondazione

Si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza 25/30 ( $R_{ck} \geq 30.00 \text{ N/mm}^2$ ) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)  
 $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 24.9 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a compressione  
 $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico  
 $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione  
 $f_{cd} = a_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione media  
 $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione  
 $f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione di calcolo  
 $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Rara)  
 $\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 13.69 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)  
 $\sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 9.96 \text{ N/mm}^2$

### 5.1.2 Struttura in elevazione (piedritti)

Si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza 32/40 ( $R_{ck} \geq 32.00 \text{ N/mm}^2$ ) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)  
 $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a compressione  
 $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico  
 $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33643 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione  
 $f_{cd} = a_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 18.81 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione media  
 $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.10 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione  
 $f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.60 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione di calcolo  
 $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.45 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Rara)  
 $\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 18.26 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)  
 $\sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 13.28 \text{ N/mm}^2$

### 5.1.3 Soletta in elevazione

Si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza 30/37 ( $R_{ck} \geq 37.00 \text{ N/mm}^2$ ) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)  
 $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$


- Resistenza media a compressione  
 $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \quad \text{N/mm}^2$
- Modulo elastico  
 $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019 \quad \text{N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione  
 $f_{cd} = a_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 17.40 \quad \text{N/mm}^2$
- Resistenza a trazione media  
 $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.94 \quad \text{N/mm}^2$
- Resistenza a trazione  
 $f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.06 \quad \text{N/mm}^2$
- Resistenza a trazione di calcolo  
 $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37 \quad \text{N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Rara)  
 $\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 16.89 \quad \text{N/mm}^2$
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)  
 $\sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 12.28 \quad \text{N/mm}^2$

### Calcestruzzo per magrone

Classe di resistenza = C12/15

### 5.2 Acciaio per cemento armato

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

	<p align="center"><b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL</b>  <b>SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b></p> <p align="center"><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p><b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b></p>	<p>COMMESSA IA7K</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO SL0100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 111</p>

### 5.3 Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Per le opere della presente relazione, in base a quanto prescritto dal Capitolato di Costruzione RFI 2018, si adotta quanto segue:


Fondazione	Classe di esposizione	XC2
Elevazione (piedritti)	Classe di esposizione	XC4
Elevazione soletta	Classe di esposizione	XC3

### 5.4 Copriferro minimo e copriferro nominale

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro, definito come la distanza tra la superficie esterna dell'armatura, inclusi collegamenti e staffe, e la superficie di calcestruzzo più vicina.

In riferimento alla Tabella 2.5.2.2.3.2.-1 del Manuale di Progettazione delle Opere Civili Parte II - Sezione 2, per l'elemento strutturale in esame risulta un copriferro minimo  $c_{min}=40\text{mm}$ .

In considerazione delle condizioni ambientali aggressive per le i piedritti, ai sensi della tab.4.1.III del DM 17.01.2018, il copriferro minimo indicato in tabella è stato aumentato di 10 mm, ottenendo quindi un copriferro nominale pari a  $c_{nom} = 50 \text{ mm}$  per fondazione ed elevazione.

	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A

## 6 PARAMETRI SISMICI

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

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

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

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

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

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

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

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

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico (N.T.C. par. 7.11.6). 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.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NTC par. 7.11.6.2.1 e EC8-5 par.7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo, condizione che comporta il calcolo delle spinte in condizione sismica con l'incremento dinamico di spinta del terreno calcolato secondo la formula di Wood:

$$\Delta P_d = S a_g / g \gamma h_{tot}^2$$

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per le accelerazioni sismiche massime attese al suolo, considerando la componente verticale agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

L'opera ricade nel comune di Brindisi. I corrispondenti valori delle caratteristiche sismiche per lo SLV ( $T_R=712$  anni) sono i seguenti:

$$\text{latitudine} = 40.632727;$$

$$\text{longitudine} = 17.941761;$$

$$a_g = 0.050 \text{ g};$$

$$F_0 = 2.566;$$

$$T_{c^*} = 0.484 \text{ s.}$$

Il sottosuolo su cui insiste l'opera ricade in categoria sismica "C" e categoria topografica "T1". I coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica risultano quindi:

$$S_S = 1.50;$$

$$S_T = 1.0.$$

Risulta quindi:

$$a_{\max} = 0.733 \text{ m/s}^2;$$

$$k_h = 0.075;$$

$$k_v = \pm 0.037.$$

## 7 PARAMETRI GEOTECNICI

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio ha condotto alla definizione dei seguenti valori dei parametri meccanici per i terreni tipo individuati:

Valori caratteristici dei parametri geotecnici di progetto								
		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi'$ (°)	$c'$ (kPa)	$C_u$ (kPa)	$G_0$ (Mpa)	$E_{op}$ (MPa)	$kh=kv$ (m/s)
LS(ms)	Limo marrone scuro	19	25÷26 (1)	0÷10 (1)	10÷15 (1)	35 ÷ 45	9 ÷ 11	1.0E-8 <sup>(1)</sup>
SL/Cal	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche	19	29÷30	0÷6	-	70 ÷ 100 fino a 4.5 m da pc 85 ÷ 110 oltre 4.5 m da pc	18 ÷ 25 fino a 4.5 m da pc 21 ÷ 28 oltre 4.5 m da pc	1.0E-8 (per i raccordi e fino al km 01+800) 1.0E-7÷1.0E-6 (dal km 01+800 fino a fine tracciato)
LS(ga)	Limo sabbioso grigio azzurro	19.5	26÷28	7÷10	50	110 ÷ 150	28÷38	1.0E-7
AL	Argilla limosa grigio azzurra	20	23÷24	15÷20	70-150 (3)	$G_0 = 85 \cdot (\sigma'_{vo}/p_a)^{0.65}$ (assumendo la falda ad 1 m da pc)	(2.5 · G <sub>0</sub> )/10	1.0E-9
Cal	Depositi calcarenitici	20	31 (2)	0	-	n.d.	30 (1)	1.0E-7

$\gamma$  = peso di volume naturale;

$\varphi'$  = angolo di attrito "operativo";

$c'$  = intercetta di coesione "operativa";

$C_u$  = resistenza al taglio non drenata;

$G_0$  = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche. Dove  $G_0 = 85 \cdot (\sigma'_{vo}/p_a)^{0.65}$ ,  $p_a = 100$  kPa

$E_{op}$  = Modulo di young "operativo" per l'analisi dei cedimenti dei rilevati con metodi elastici lineari e non lineari

$k$  = coefficiente di permeabilità

n.d. = non determinato

(1) Valori ipotizzati sulla base della descrizione del materiale in assenza di prove.

(2) In assenza di prove sono stati cautelativamente assunti i parametri di resistenza ottenuti sulla calcarenite fratturata più superficiale

(3) variabile linearmente con la profondità da 21 m a 50 m da pc originale

I parametri geotecnici impiegati per il rilevato ferroviario sono:

$\gamma = 20.00$	kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$\varphi' = 38$	°	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0.00$	kPa	coesione drenata

La falda è posizionate al di sotto del piano di posa della fondazione e non interagisce con l'opera in esame.

## 8 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

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

Spessore medio del ballast + armamento	$H_b =$	0.60m
Spessore rinterro	$H_r =$	0.40m
Spessore massetto impermeabilizzazione	$H_m =$	0.10m
Larghezza totale dello scatolare	$L_{tot} =$	13.90m
Larghezza utile dello scatolare	$L_{int} =$	11.50m
Larghezza mensola di fondazione sinistra	$L_{msx} =$	0.50m
Larghezza mensola di fondazione destra	$L_{mdx} =$	0.50m
Spessore della soletta di copertura	$S_s =$	1.00m
Spessore piedritti	$S_p =$	1.20m
Spessore ritto centrale	$S_{pc} =$	0.00m
Spessore della soletta di fondazione	$S_f =$	1.30m
Altezza libera dello scatolare	$H_{int} =$	5.83m
Altezza totale dello scatolare	$H_{tot} =$	8.13m
Quota falda da intradosso fondazione	$H_w =$	0.00m

L'asse del sottopasso presenta un'inclinazione di 55.46° rispetto all'asse ferroviario.



## 9 ANALISI DEI CARICHI

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

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

calcestruzzo armato:	$\gamma_{c.a.}$	= 25 kN/m <sup>3</sup> ;
sovrastuttura stradale:	$\gamma_{ril}$	= 20 kN/m <sup>2</sup> ;
massicciata + armamento:	$\gamma_b$	= 18 kN/m <sup>3</sup> .

### 9.1 Condizioni di carico

#### 9.1.1 Peso proprio strutturale (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti risulta:

Peso soletta superiore	$P_{ss} = 25.00 \times 1.00 =$	25.00 kN/m <sup>2</sup>
Peso soletta inferiore	$P_{si} = 25.00 \times 1.30 =$	32.50 kN/m <sup>2</sup>
Peso piedritti	$P_p = 25.00 \times 1.20 =$	30.00 kN/m <sup>2</sup>

#### 9.1.2 Carichi permanenti portati (PERM)

##### 9.1.2.1 Soletta superiore

Ballast e armamento	0.60 m	x	18.00 kN/m <sup>3</sup> =	14.40	kN/m <sup>2</sup>
Rinterro	0.40m	x	20.00 kN/m <sup>3</sup> =	8.00	kN/m <sup>2</sup>
Massetto impermeabilizzazione	0.10m	x	25.00 kN/m <sup>3</sup> =	2.50	kN/m <sup>2</sup>

Peso totale permanenti portati sulla soletta superiore:

$$P_{ps} = 21.30 \quad \text{kN/m}^2$$

##### 9.1.2.2 Soletta inferiore

Sulla soletta inferiore sono stati considerati i carichi permanenti relativi alla sovrastuttura stradale:

Spessore medio sovrastuttura stradale	0.75	m
Peso specifico sovrastuttura stradale	20	kN/m <sup>3</sup>

Peso sovrastruttura stradale 15.00 kN/m<sup>2</sup>

### 9.1.3 Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX)

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

$$K_0 = 0.384$$

La pressione del terreno è stata calcolata come:

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

al di sopra della falda

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

al di sotto della falda

per cui risulta quanto segue.

- Pressione estradosso soletta superiore  $P_1 = 8.19 \text{ kN/m}^2$
- Pressione in asse soletta superiore  $P_2 = 12.03 \text{ kN/m}^2$
- Pressione in asse soletta inferiore  $P_3 = 65.68 \text{ kN/m}^2$
- Pressione intradosso soletta inferiore  $P_4 = 70.68 \text{ kN/m}^2$

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

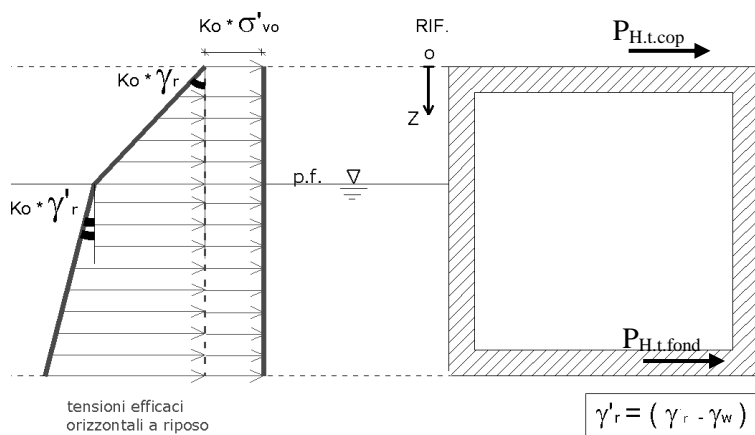
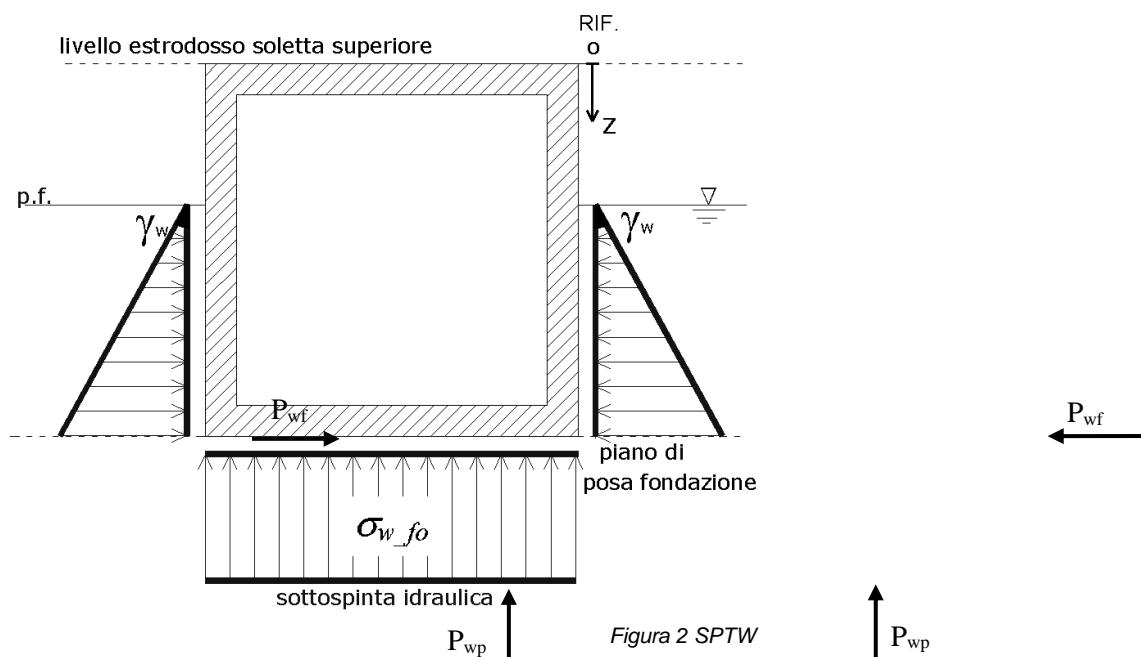


Figura 1 SPTSX

### 9.1.4 Azioni della falda (SPTW)

La falda è posizonata al di sotto del piano di posa della fondazione e non interagisce con l'opera in esame.



### 9.1.5 Azioni termiche (TERM)

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

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

### 9.1.6 Ritiro (RITIRO)

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

Gli effetti del ritiro sono stati valutati a lungo termine, attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'Eurocodice 2 – UNI EN 1992-1-1-2005.

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

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -8.55 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Di seguito i risultati delle analisi.

RITIRO CLS (NTC2018-Parag. 11.2.10.6)

La deformazione totale del ritiro si può esprimere come:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

$\varepsilon_{cs}$  deformata per ritiro

$\varepsilon_{cd}$  deformazione per ritiro per essiccamento

$\varepsilon_{ca}$  deformazione per ritiro autogeno

$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h * \varepsilon_{c0}$  valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento

$R_{ck} = 40$  MPa

$f_{ck} = 33.2$  MPa

$RH = 75\%$  umidità relativa

$\varepsilon_{c0} = -2.68E-04$  valore tabella 11.2.Va

**Tab. 11.2.Va – Valori di  $\varepsilon_{c0}$**

$f_{ck}$	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

$h_0 = 2A_c/u$

$A_c = 1m^2$  area della sezione di cls

$u = 1m$  perimetro della sezione esposta all'aria

$h_0 = 2$  m

$h_0 = 2000$  mm

$k_h = 0.7$  valore tabella 11.2.Vb

**Tab. 11.2.Vb – Valori di  $k_h$**

$h_0$ (mm)	$k_h$
100	1,00
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Tab. 11.2.VI – Valori di  $\phi (\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

$t_0$	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$ mm	$h_0 = 300$ mm	$h_0 \geq 600$ mm
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
$\geq 60$ giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

Tab. 11.2.VII - Valori di  $\phi (\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

$t_0$	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$ mm	$h_0 = 300$ mm	$h_0 \geq 600$ mm
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
$\geq 60$ giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h * \varepsilon_{c0} = -1.88E-04$$

#### 9.1.6.1 Deformazione da ritiro per essiccamento

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds} (t-t_s) * \varepsilon_{cd,\infty}$$

$$\beta_{ds} (t-t_s) = (t-t_s) / [(t-t_s) + 0.04 * h_0^{3/2}]$$

$$(t-t_s) = 25548 \text{ giorni}$$

$$\beta_{ds} (t-t_s) = 0.877163203$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = -0.000164$$

#### 9.1.6.2 Deformazione da ritiro autogeno

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} = -5.80E-05$$

#### 9.1.6.3 Deformazione totale da ritiro

$$\varepsilon_{cs} = -2.46E-04$$

$$a = 1.00E-05$$

$$f = 1.8$$

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -8.55^\circ\text{C}$$

## 9.2 Azioni variabili da traffico

### 9.2.1 Coefficiente di incremento dinamico

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si è fatto riferimento al paragrafo 2.5.1.4.2.5 della specifica RFI DTC SI PS MA IFS 001 C, tenendo conto di quanto riportato nella Tabella 2.5.1.4.2.5.3-1. In particolare, poiché la struttura ha altezza libera  $> 5.0\text{m}$  e luce libera  $> 8.0\text{m}$ , considerando la linea con normale standard manutentivo, vale quanto segue:

Lunghezza del trasverso  $L_{\text{soletta}} = 12.70\text{m}$

Altezza dei piedritti  $H_{\text{int}} = 6.33\text{m}$

Ricoprimento  $h_r = 1.10\text{m}$

Lunghezza media  $L_m = 8.45\text{m}$

Lunghezza caratteristica  $L_\Phi = 10.99$

Coeff. incremento dinamico  $\Phi_3 = 1.28$

In accordo alla normativa tale coefficiente dinamico è stato ridotto in quanto il ricoprimento è superiore ad un metro e risulta pari a **1.27**.

### 9.2.2 Larghezza di diffusione

Il sovraccarico ferroviario è stato distribuito dalla rotaia alla quota del piano medio della soletta di copertura assumendo che detta diffusione avvenga con rapporto 4/1 lungo il ballast, il sub-ballast e il supercompattato, 3/2 nel terreno ed 1/1 nel massetto delle pendenze e nelle strutture in c.a., con un aumento dell'impronta di carico pari a:

$$\Delta_d = 0.93\text{m}$$

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

$$L_d = 2.40 + 2 \Delta_d = 4.26\text{m}$$

### 9.2.3 Treni di carico

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente " $\alpha$ " che deve assumersi come da tabella seguente:

Tabella 1– Coefficiente di adattamento  $\alpha$  Tab. 2.5.1.4.1-1 – Manuale di progettazione delle opere civili

Modello di carico	Coefficiente $\alpha$
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1

### 9.2.3.1 Treno LM71 (ACCM LM71)

#### 9.2.3.1.1 *Carichi verticali sulla soletta superiore*

Il treno LM71 viene schematizzato da 4 assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m e da un carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni per una larghezza illimitata.

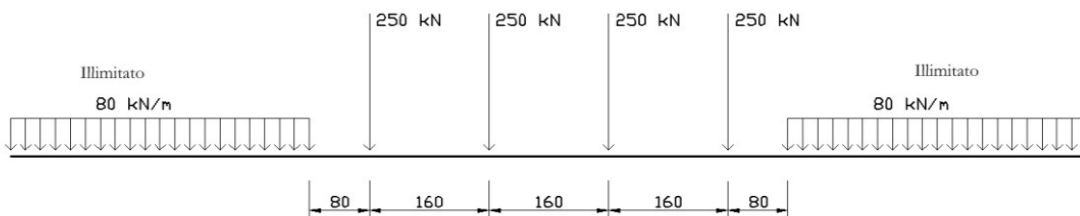


Figure 1 Treno LM71

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

$$L_1 = 0.30 + 2 \times \Delta_d = 2.16\text{m}$$

Poiché la larghezza è maggiore dell'interasse degli assi di 1.6m, le larghezze di diffusione dei singoli assi si sovrappongono. Si assume, a favore di sicurezza, una lunghezza totale di diffusione dei quattro carichi concentrati pari a 6.4m..

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

$$L_1 = 6.40\text{m}.$$

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

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate  $P_{V,Q1.cop}=51.30\text{kN/m}$

Carico ripartito prodotto dal carico distribuito  $P_{V,Q2.cop}=26.27\text{kN/m}$

I carichi del treno LM71 saranno dislocati a cavallo dell'asse di mezzzeria della soletta superiore.

### 9.2.3.2 Treno SW/0- SW2 (ACCM SW2)

#### 9.2.3.2.1 *Carichi verticali sulla soletta superiore*

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

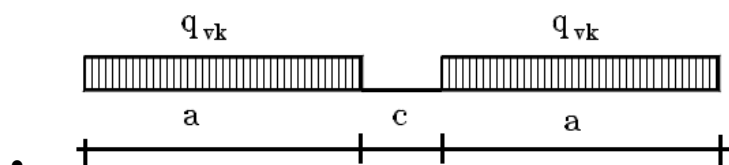


Figura 3 Treno di carico SW

Tipo di carico	Qvk [kN/m]	A [m]	C [m]
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

Per la struttura scatolare in oggetto risulta:

$$q = q_{vk} / L_{d1} \times \phi = 44.77 \quad \text{kN/m}$$

Tali azioni sono inferiori a quelle calcolate per il treno LM71, quindi non saranno considerate.

### 9.2.3.3 Treno scarico

Alcuni scenari di carico prevedono l'impiego del treno scarico, convenzionalmente costituito da un carico uniformemente distribuito pari a 10.00 kN/m. Tale carico non è dimensionante per il manufatto in oggetto.

## 9.3 Frenatura e avviamento (AVV e FREN)

Le forze di frenatura e di avviamento (Treno LM71) agiscono sulla sommità del binario nella direzione longitudinale.

Avviamento  $A_v = 33 \text{ kN/m}$

Carico distribuito su  $L_d$ :

$$q_{Av} = A_v \alpha / L_d = 10.35 \text{ kN/m}$$

Nel modello di calcolo si considera l'azione congruente al treno di carico verticale considerato. La spinta è applicata da sinistra verso destra per massimizzare gli effetti di sbilanciamento della struttura.

### 9.3.1 Azione centrifuga

Nei ponti ferroviari al di sopra dei quali il binario presenta un tracciato in curva deve essere considerata la forza centrifuga agente su tutta l'estensione del tratto in curva. La forza centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1.80m al di sopra del P.F..

Il valore caratteristico della forza centrifuga si determina in accordo con le seguenti espressioni:



$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{v^2}{127 \cdot r} (f \cdot Q_{vk})$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot q_{vk}) = \frac{v^2}{127 \cdot r} (f \cdot q_{vk})$$

dove:

- $Q_{tk}$ - $q_{tk}$  è il valore caratteristico della forza centrifuga, espresso in kN/m;
- $Q_{vk}$ - $q_{vk}$  è il valore caratteristico dei carichi verticali ferroviari, espresso in kN/m;
- $V$  è la velocità di progetto, espressa in km/h;
- $f$  è un fattore di riduzione;
- $r$  è il raggio di curvatura, espresso in m.

L'azione centrifuga viene determinata per i modelli di carico LM71 e SW/2 associando alle grandezze precedentemente indicate quanto contenuto nella tabella 2.5.1.4.3.1-1 del “Manuale di progettazione delle opere civili”.

Si è assunta una velocità  $V$  uguale a 100 km/h, un valore di  $f$  pari ad 1 ed il valore di  $\alpha$  pari a 1.

La forza centrifuga, in accordo con quanto prescritto nel “Manuale di progettazione delle opere civili”, non è stata incrementata dai coefficienti dinamici.

Tabella 2 Parametri per determinazione della forza centrifuga - Tab. 2.5.1.3.1-1 – Manuale di progettazione delle opere civili

Valore di $\alpha$	Massima velocità della linea [Km/h]	Azione centrifuga basata su:				traffico verticale associato
		V	$\alpha$	f		
SW/2	$\geq 100$	100	1	1	1 x 1 x SW/2	$\Phi$ x 1 x SW/2
	$< 100$	V	1	1	1 x 1 x SW/2	
LM71 e SW/0	$> 120$	V	1	f	1 x f x (LM71”+”SW/0)	$\Phi$ x 1 x 1 x (LM71”+”SW/0)
		120	$\alpha$	1	$\alpha$ x 1 x (LM71”+”SW/0)	$\Phi$ x $\alpha$ x 1 x (LM71”+”SW/0)
	$\leq 120$	V	$\alpha$	1	$\alpha$ x 1 x (LM71”+”SW/0)	

AZIONE CENTRIFUGA			
Velocità di progetto	V	100	km/h
Velocità massima di calcolo per modello SW2	$V_{SW2}$	100	km/h
Raggio di curvatura minimo associato alla velocità di progetto	r	600	m
Fattore di riduzione-modello SW2 (Tab. 2.5.1.4.3.1-1)	f	1.00	-

Lunghezza di influenza della parte curva di binario carico sul ponte	Lf	2.88	m
Fattore di riduzione per V>120km/h-modello LM71 (Tab. 2.5.1.4.3.1-1)	f*	1.00	-
Valore caratteristico del traffico verticale associato (SW2)	qvk <sub>SW2</sub>	150.00	kN/m
Valore caratteristico del traffico verticale associato (LM71)	qvk <sub>LM71</sub>	80.00	kN/m
Valore caratteristico del traffico verticale associato (LM71)	Qvk <sub>LM72</sub>	250.00	kN
<b>Azione centrifuga per singolo treno - modello SW2 (min(V;V<sub>sw2</sub>),r)</b>	<b>qtk<sub>SW2</sub></b>	<b>19.69</b>	<b>kN/m</b>
Azione centrifuga per singolo treno - modello LM71 (V;r)	qtk <sub>LM71-V</sub>	11.55	kN/m
<b>Azione centrifuga di progetto per singolo treno - modello LM71</b>	<b>qtk<sub>LM71</sub></b>	<b>11.55</b>	<b>kN/m</b>
Azione centrifuga per singolo treno - modello LM71 (V;r)	Qtk <sub>LM71-V</sub>	36.09	kN
<b>Azione centrifuga di progetto per singolo treno - modello LM71</b>	<b>Qtk<sub>LM71</sub></b>	<b>36.09</b>	<b>kN</b>
Braccio tra baricentro sezione composta e piano del ferro	Hbr	1.88	m
<b>Momento dato dall'azione centrifuga sull'impalcato in corrispondenza del treno SW2</b>	<b>MSW2</b>	<b>72.44</b>	<b>kNm/m</b>
<b>Momento dato dall'azione centrifuga sull'impalcato in corrisp. delle azioni distribuite del treno LM71</b>	<b>MLM71_d</b>	<b>42.50</b>	<b>kNm/m</b>
<b>Momento dato dall'azione centrifuga sull'impalcato in corrisp. delle azioni concentrate del treno LM71</b>	<b>MLM71_c</b>	<b>132.81</b>	<b>kNm</b>

#### 9.4 Spinta del sovraccarico sul rilevato (SPACCSX e SPACCDX)

Si considera la sola spinta dovuta al Treno LM71, in quanto più gravosa per il dimensionamento in oggetto:

Spinta indotta dal carico concentrato  $P_{H,Q.ritti} = (P_{V,Q1.cop} / \Phi) K_0 = 66.06 \text{ kN/m}$

Spinta indotta dal carico distribuito (80kN/m)  $S_{sa,c} = 33.82 \text{ kN/m}$

#### 9.5 Serpeggio (SERP)

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

$$Q_{\perp} = 100 \text{ kN} * \sin(34.54^{\circ}) = 56.70 \text{ kN}$$

Considerando la diffusione del carico (paragrafo 9.2.2), si avrà:

$$q_{serp} = Q_{\perp} / (L_d * L_{tot}) = 0.96 \text{ kN/m}^2.$$


#### 9.6 Sovraccarichi accidentali sulla soletta di fondazione (ACC\_SOLINF)

Si applica un carico uniformemente distribuito pari a 20 kPa.

#### 9.7 Urto dei veicoli in svio (URTO)

Sulla base delle prescrizioni normative (§3.6.3.3.1 – NTC 2018), l'urto di un veicolo stradale su membrature verticali è stato modellato come una forza orizzontale applicata parallelamente alla struttura ad un'altezza di 0,50m al di sopra del piano stradale. L'area di applicazione della forza è pari a 0.25m (in altezza) per il valore più piccolo tra 1.50m e la larghezza della membratura.

L'azione orizzontale equivalente per autostrade e strade extraurbane è di  $F_{dx} = 1000 \text{ kN}$ .

	<p align="center"><b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b></p> <p align="center"><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p><b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b></p>	<p>COMMESSA IA7K</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO SL0100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 27 di 111</p>

Inoltre si considera, non simultaneamente, anche una componente ortogonale al senso di marcia  $F_{dy}=0.5F_{dx}=500\text{kN}$ .

## 9.8 Azioni sismiche

Forze di inerzia

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

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

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

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

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

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

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

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

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

Dove nel caso specifico si assumerà, per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari,  $\psi_{2j} = 0.2$ . Come massa del treno è stato considerato il carico uniformemente distribuito sulla copertura di intensità maggiore tra LM71 e SW/2.

Pertanto avremo che:

Massa associata al peso proprio copertura  $G_1=25.00\text{kN/m}$

Massa associata al carico permanente  $G_2=21.30\text{kN/m}$

Massa treno  $Q_k=51.30\text{kN/m}$

Massa associata al peso proprio piedritti  $G_3=30.00\text{kN/m}$

Massa associata al peso del setto centrale  $G_4=0.00\text{kN/m}$

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

Pressione orizzontale sulla soletta di copertura (pressione orizzontale uniformemente distribuita applicata alla soletta di copertura):

$$F_h = k_h (G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}) = 6.75 \text{ kN/m}^2$$

Pressione orizzontale sui piedritti (pressione orizzontale uniformemente distribuita applicata ai piedritti):

$$F''_h = k_h G_p = 2.25 \text{ kN/m}^2$$

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

Per la forza sismica verticale avremo analogamente (pressione verticale uniformemente distribuita applicata alla soletta di copertura):

Pressione verticale sulla soletta di copertura:

$$F'_v = k_v (G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}) = 3.37 \text{ kN/m}^2$$

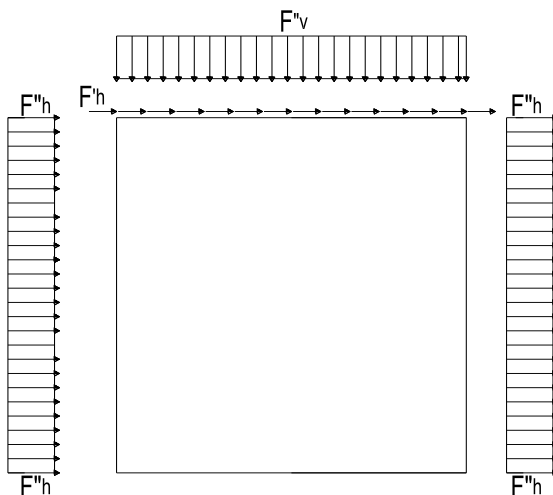


Figure 2 Forze sismiche agenti sulla struttura

### 9.8.1.3 Spinta delle terre in fase sismica (SPSDX e SPSSX)

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2 = 130.97 \text{ kN/m}$$

con risultante applicata ad un'altezza pari ad H/2.

Sisma proveniente da sinistra

Sisma proveniente da destra

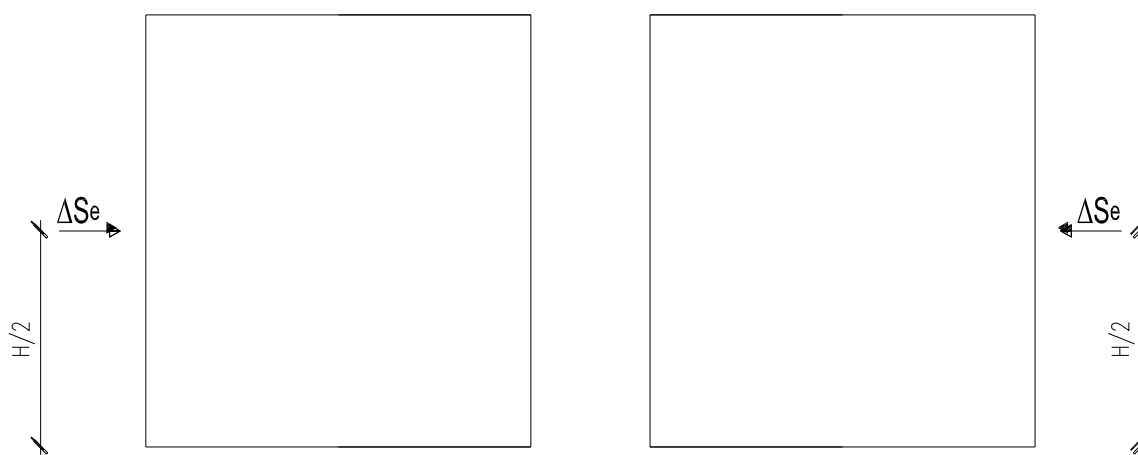


Figure 3 Spinta sismica del terreno secondo la teoria di Wood

Nel modello di calcolo si è applicato il valore della forza sismica per unità di superficie agente su un piedritto, pari a:

$$\Delta S_E = \Delta S_e / H = 13.4 \text{ kN/m}^2$$

## 10 COMBINAZIONI DI CARICO

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

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

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

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

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

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

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

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


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

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

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

Dove:

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

	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A

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

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tabella 5.2.IV – Valutazione dei carichi da traffico (da DM 17/01/2018)

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			COMMENTI
	Gruppo di carico	Carico Verticale (1)	Treno Scarico	Frenatura ed Avviamento	Centrifuga	
Gruppo 1 (2)	1.0	-	0.5 (0.0)	1.0 (0.0)	1.0 (0.0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1.0	0.0	1.0 (0.0)	1.0 (0.0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1.0 (0.5)	-	1.0	0.5 (0.0)	0.5 (0.0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0.8 (0.6; 0.4)	-	0.8 (0.6; 0.4)	0.8 (0.6; 0.4)	0.8 (0.6; 0.4)	fessurazione
			Azione dominante			

(1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

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.

Di seguito viene riportata la Tabella 5.2.III delle NTC18 dove si mostrano i carichi mobili in funzione del numero di binari presenti:

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante <sup>(2)</sup>
		caso a <sup>(1)</sup>	caso b <sup>(1)</sup>	
1	Primo	1,0 (LM 71"+SW/0)	-	1,0 SW/2
2	Primo	1,0 (LM 71"+SW/0)	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71"+SW/0)	-	1,0 (LM 71"+SW/0)
≥3	Primo	1,0 (LM 71"+SW/0)	0,75 (LM 71"+SW/0)	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71"+SW/0)	0,75 (LM 71"+SW/0)	1,0 (LM 71"+SW/0)
	Altri	-	0,75 (LM 71"+SW/0)	-

<sup>(1)</sup> LM71 "+ SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

<sup>(2)</sup> Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Si ripota la Tabella 5.2.V delle NTC18 dei coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico SLU:


Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica (da DM 17/01/2018)

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

(1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

(2) 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.

(3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A

(4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico  $gr$  della Tab. 5.2.IV.

(5) Aliquota di carico da traffico da considerare.

(6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

(7) 1,20 per effetti locali

Si riporta la Tabella 5.2.VI delle NTC18 in cui sono espressi i coefficienti di combinazione delle azioni:

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (da DM 17/01/2018)

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

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	$gr_1$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$gr_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$gr_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

<sup>(1)</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico varranno assunti pari a 0,0.

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


Si riportano di seguito le combinazioni delle azioni maggiormente significative per la determinazione delle sollecitazioni più gravose.

Tabella 3 Combinazioni di carico SLU e ECC







	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A

## 11 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche strutturali condotte sono le seguenti:

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

### 11.1 Verifiche allo stato limite ultimo

#### 11.1.1 Sollecitazioni flettenti

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

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

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


#### 11.1.2 Sollecitazioni taglianti

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

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

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

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b></p> <p align="center"><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p><b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b></p>	<p>COMMESSA IA7K</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO SL0100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 36 di 111</p>

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

dove:

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

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

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

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

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

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2.5$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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


In cui:

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione;

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

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

	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A

Sè interasse tra due armature trasversali consecutive;

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

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

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

## 11.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

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

Tabella 6 Descrizione delle condizioni ambientali (Tab. 4.1.III delle NTC18)

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

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

### 11.2.1 Verifica a fessurazione

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è pari a  $w_l=0.2\text{mm}$  per la combinazione rara.

### 11.2.2 Verifica delle tensioni

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

Calcestruzzo:

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

Acciaio:

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

## 12 MODELLAZIONE STRUTTURALE

### 12.1 Codice di calcolo

L'analisi della struttura scatolare è stata condotta con un programma agli elementi finiti (SAP2000).

Le lastre di cemento armato e le pareti laterali del sottopasso sono state modellate come elementi *plate* con gli effettivi spessori di progetto, posizionati nel piano medio dei rispettivi elementi strutturali. La dimensione della maglia considerata per gli elementi della piastra è dell'ordine di 0.50m e il tipo utilizzato è un elemento quadrilatero. Il modulo elastico del calcestruzzo utilizzato nella modellazione è il modulo a lungo termine, al fine di considerare l'effetto del ritiro.

Il modello consente di introdurre una rappresentazione dettagliata della struttura. Inoltre, la modellazione 3D consente una stima degli effetti derivati dal comportamento scatolare della struttura e dall'allineamento all'asse della rotaia.

La fondazione è schematizzata come una piastra su suolo elastico alla Winkler non reagente a trazione, il calcolo della costante di sottofondo è riportata nel paragrafo 12.1.1.

Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle seguenti figure.



Figure 4 Modello F.E.M struttura

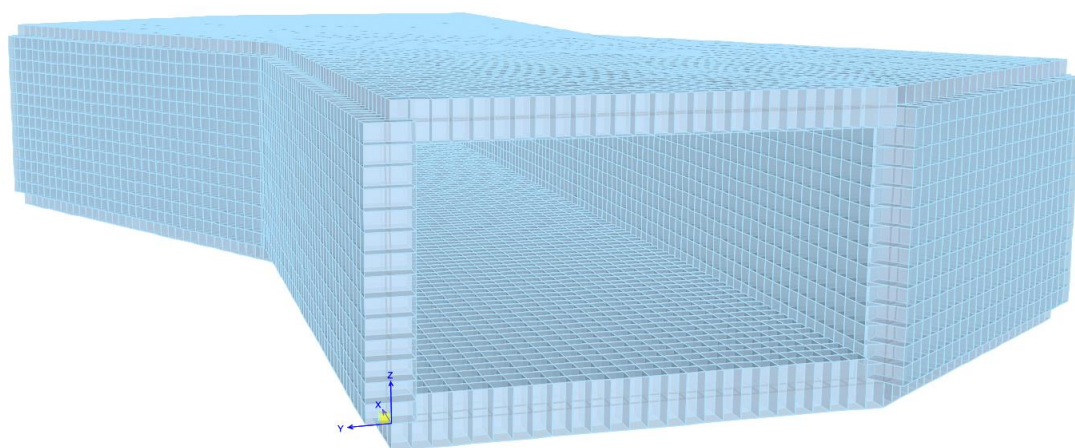


Figure 5 Modello F.E.M. struttura

- Sp. 100cm
- Sp. 120cm
- Sp. 130cm

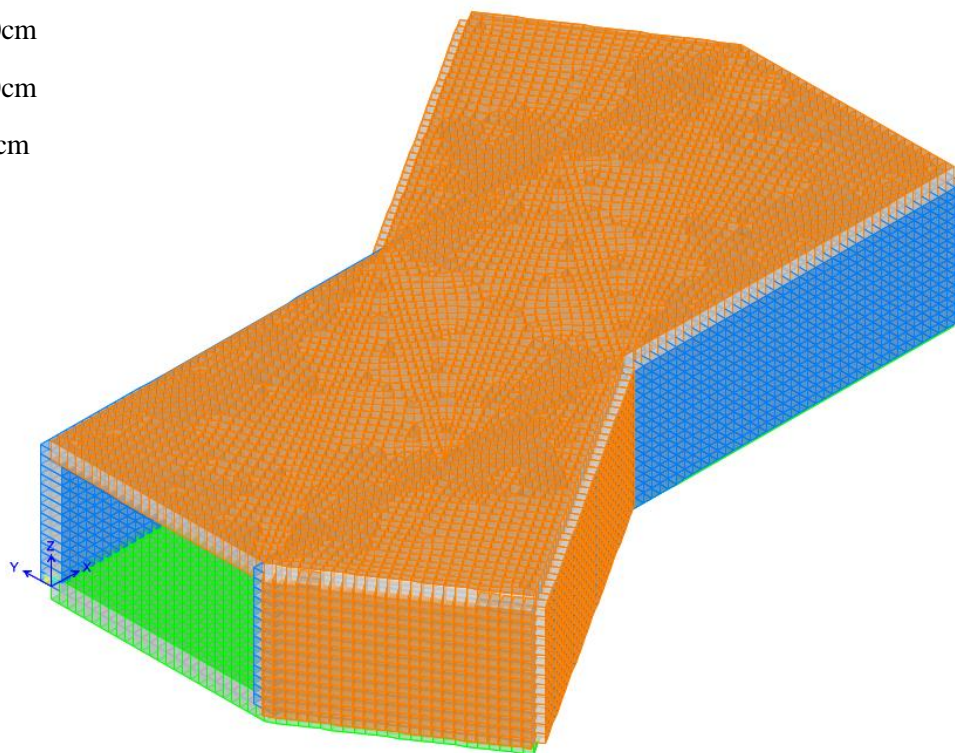


Figure 6 Spessori assegnati nel modello FEM

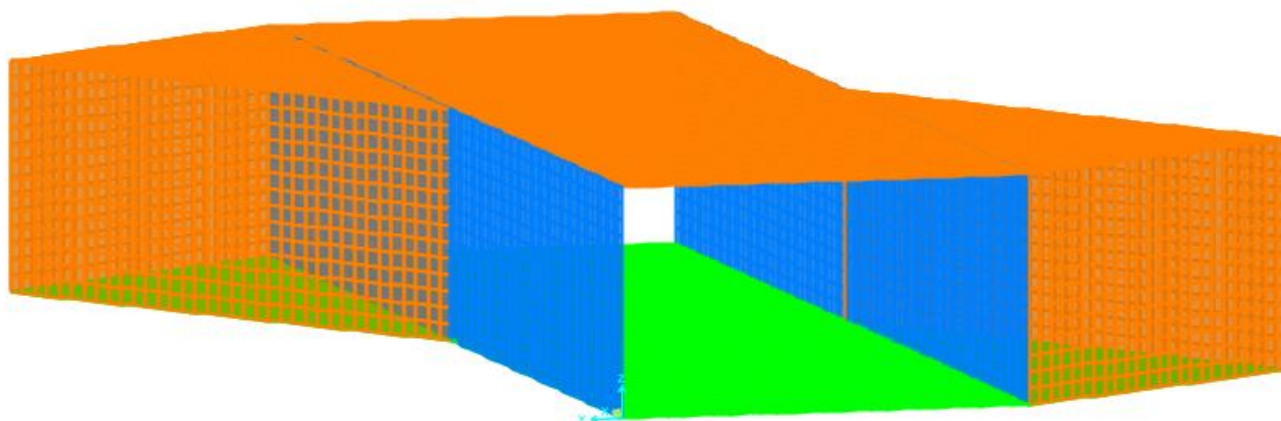


Figure 7 Spessori assegnati nel modello FEM

### 12.1.1 Interazione terreno-struttura

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

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

dove:

E = modulo elastico del terreno;

$\nu$  = coefficiente di Poisson;

b = dimensione trasversale;

h = altezza;

J = inerzia;

$E_c$  = modulo elastico del calcestruzzo della fondazione.

Nel caso in esame  $k_s$  risulta pari a 16463 kN/m<sup>3</sup>.



### 13 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Nelle seguenti immagini sono illustrati i valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni in termini di momento flettente e distribuzione delle forze di taglio.

Il significato dei simboli utilizzati per le solette di copertura e fondazione è di seguito riportato:

M11 momento flettente nel piano YZ (assi globali)

M22 momento flettente nel piano XZ (assi globali)

V13 taglio associato a M11

V23 taglio associato a M22

Il significato dei simboli utilizzati per i muri laterali è invece il seguente:

M11 momento flettente nel piano XY (assi globali)

M22 momento flettente nel piano YZ (assi globali)

V13 taglio associato a M11

V23 taglio associato a M22

### 13.1 Soletta di copertura

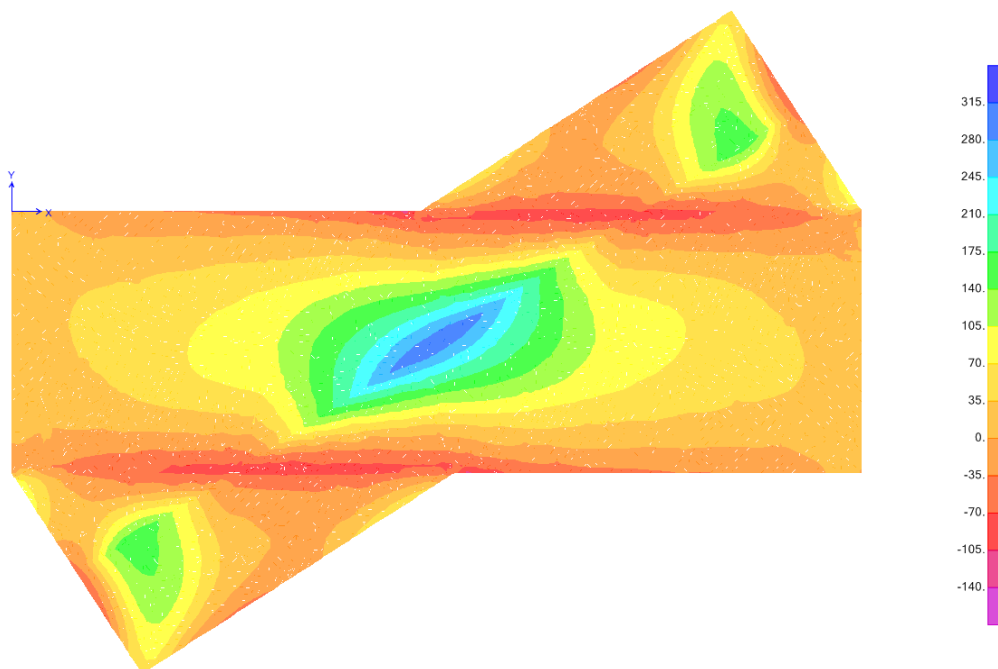


Figure 8 Momento 11-ENV\_SLE

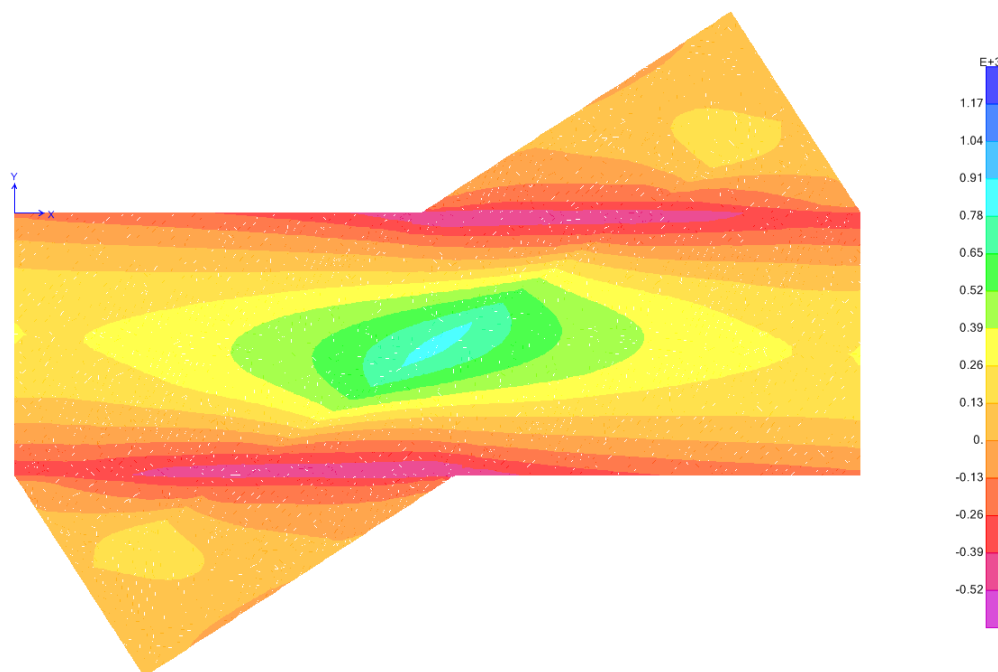


Figure 9 Momento 22 -ENV\_SLE

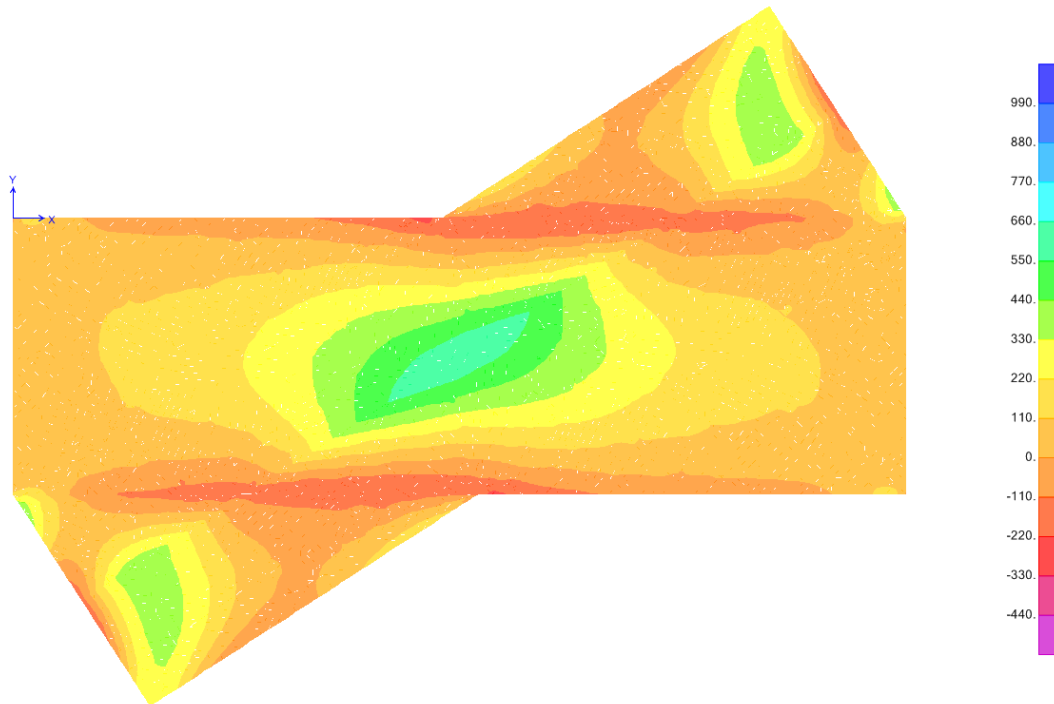


Figure 10 Momento 11\_ENV-SLU/SLV

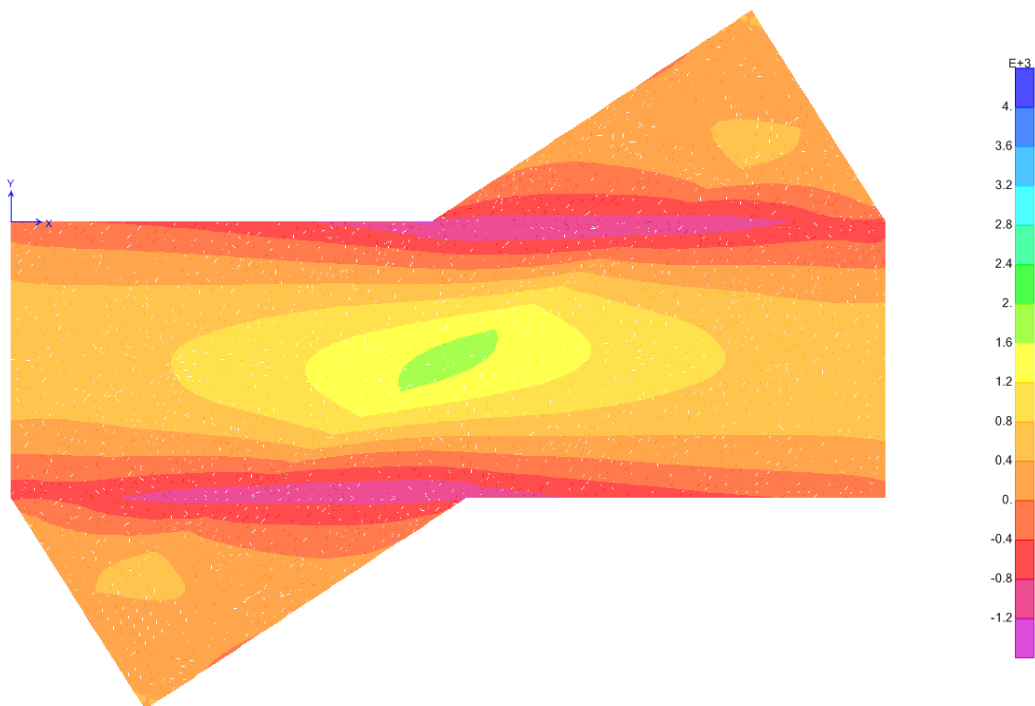


Figure 11 Momento 11\_ENV-SLU/SLV

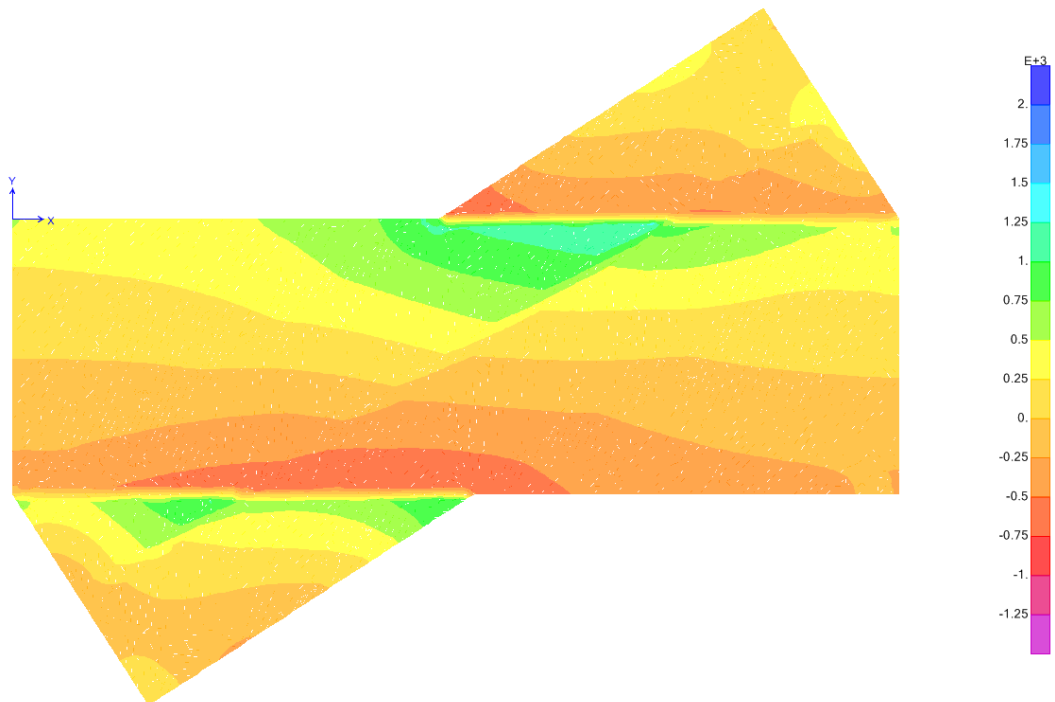


Figure 12 Taglio 23\_ENV-SLU/SLV

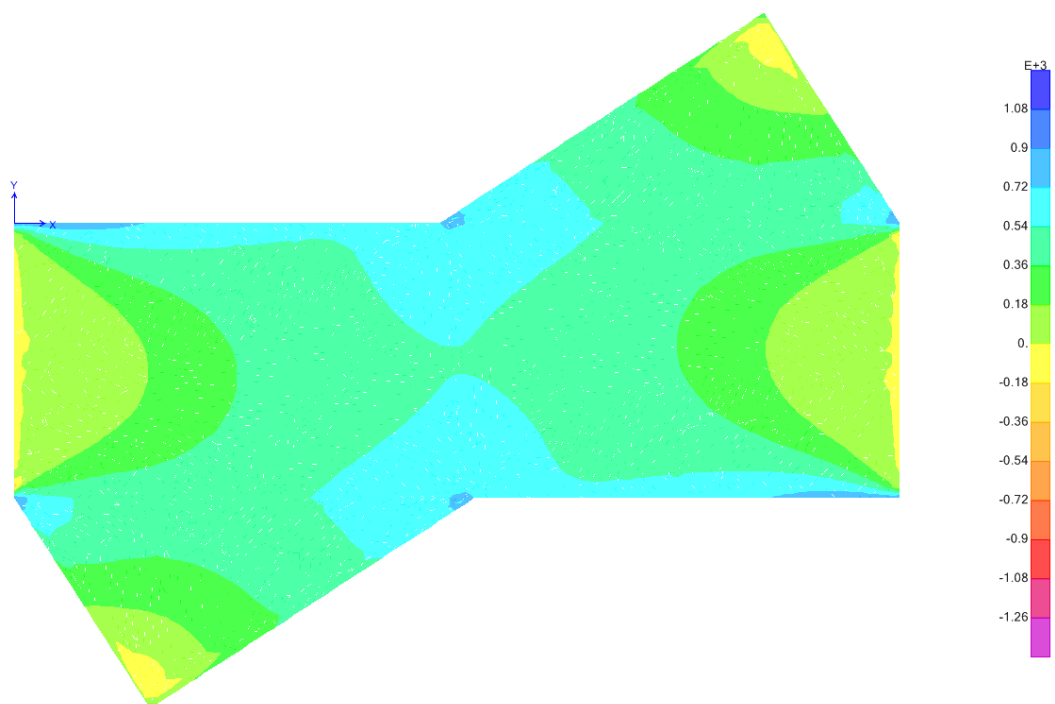


Figure 13 Sforzo assiale in direzione X-TERM

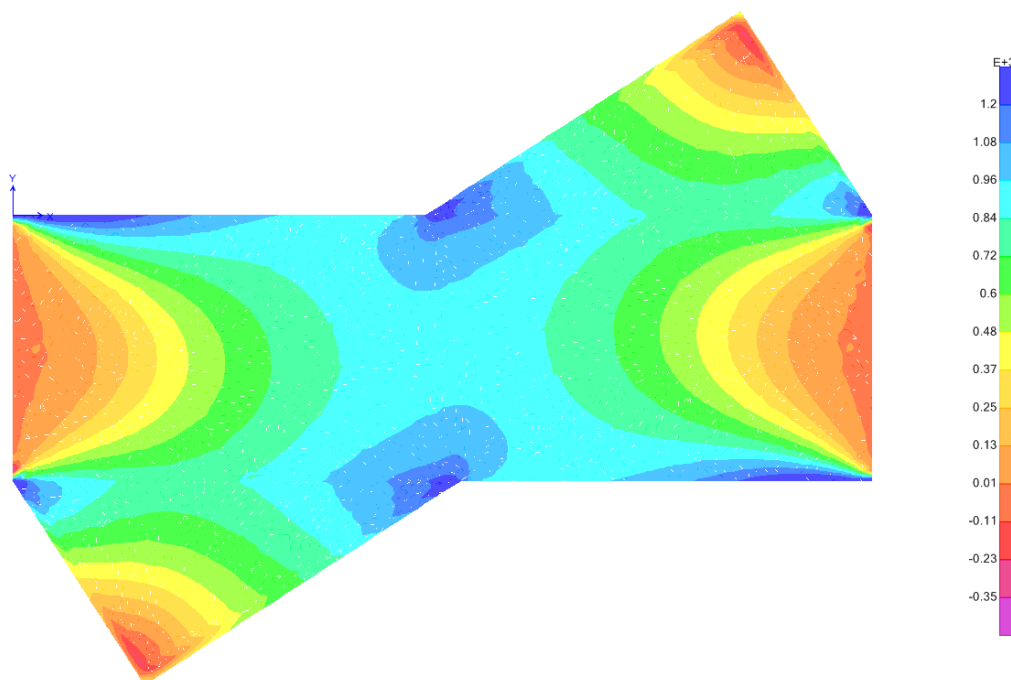


Figure 14 Sforzo assiale in direzione X-RITIRO

### 13.2 Soletta di fondazione

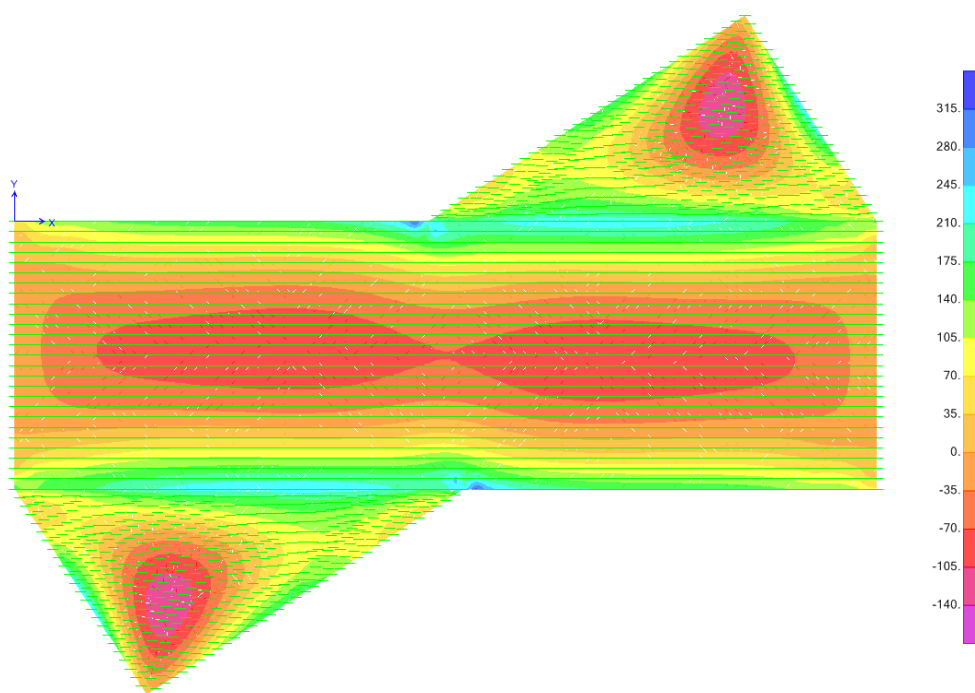


Figure 15 Momento 11-ENV\_SLE

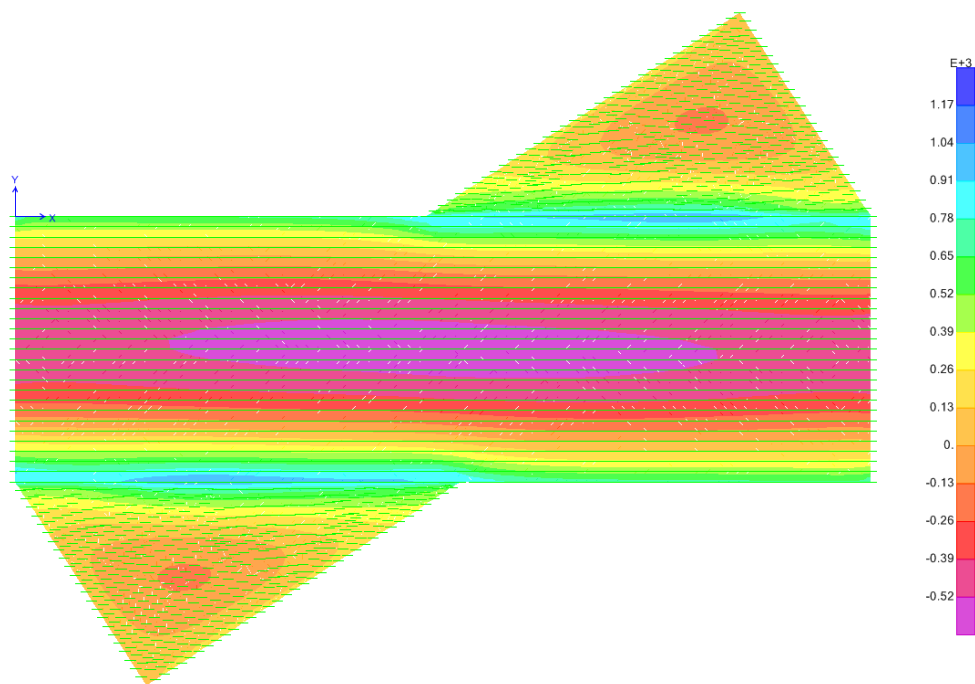


Figure 16 Momento 22 -ENV\_SLE

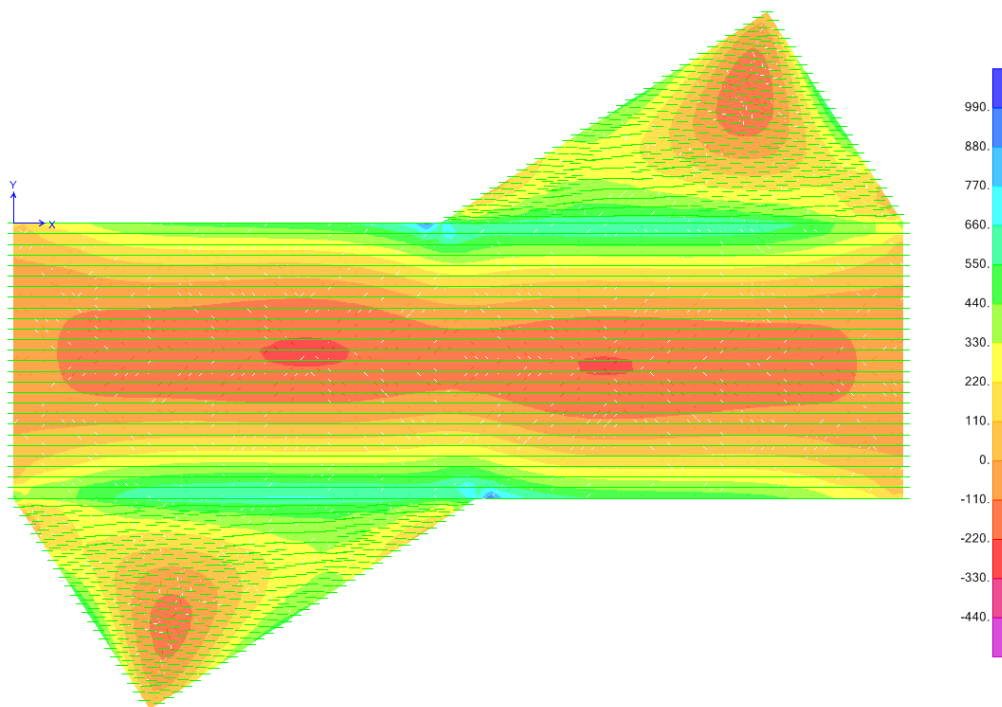


Figure 17 Momento 11\_ENV-SLU/SLV

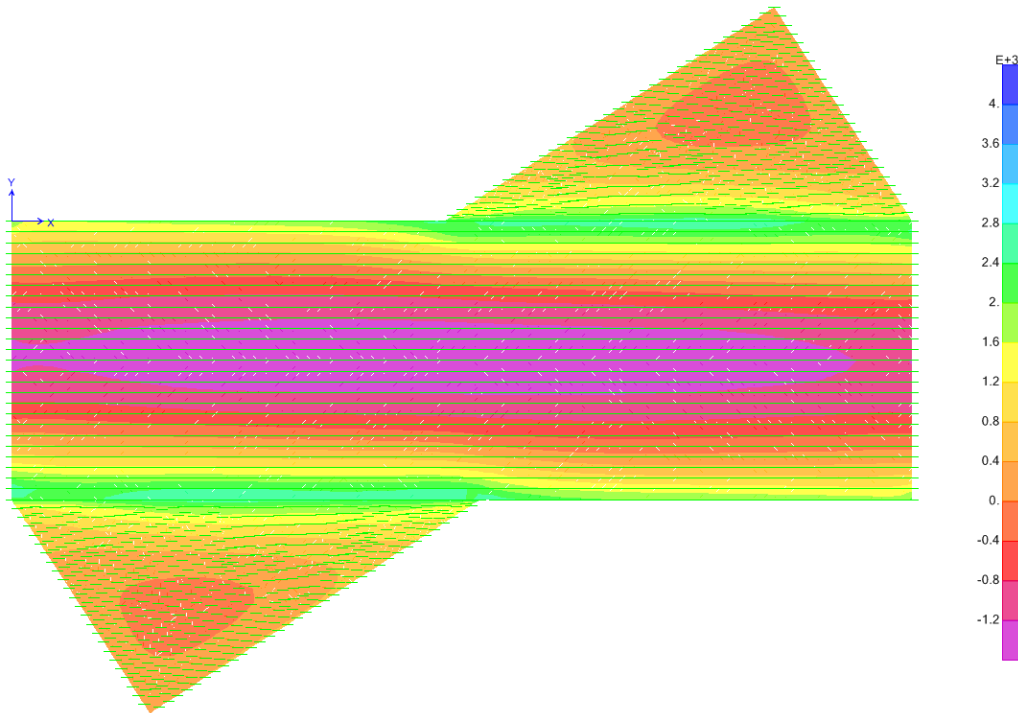


Figure 18 Momento 11\_ENV-SLU/SLV

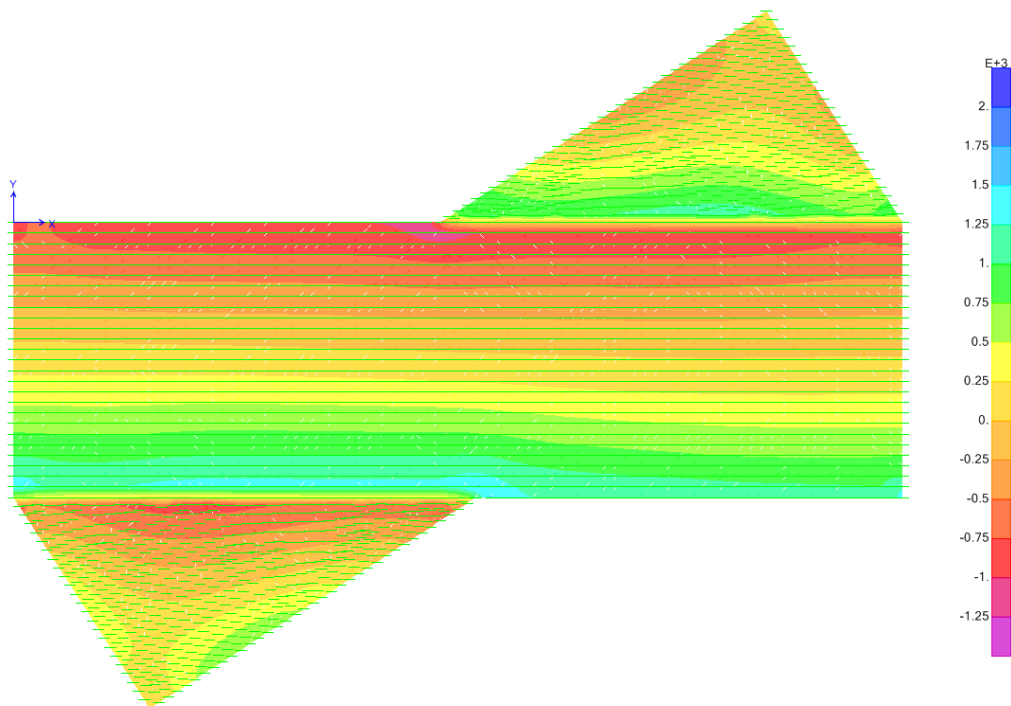


Figure 19 Taglio 23\_ENV-SLU/SLV

### 13.3 Muri laterali

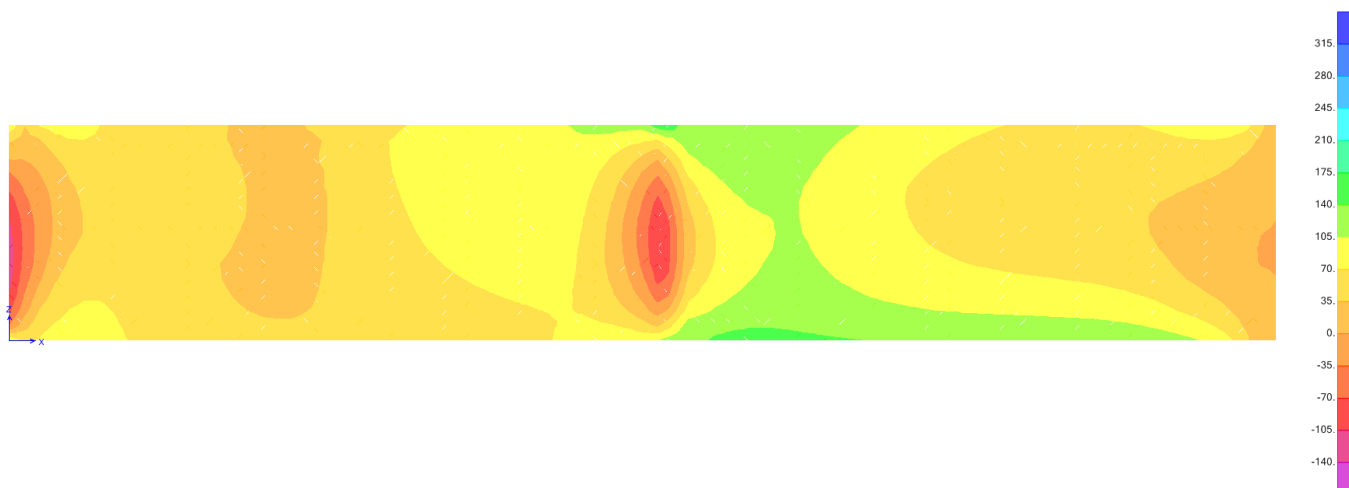


Figure 20 Momento 11\_ENV-SLE

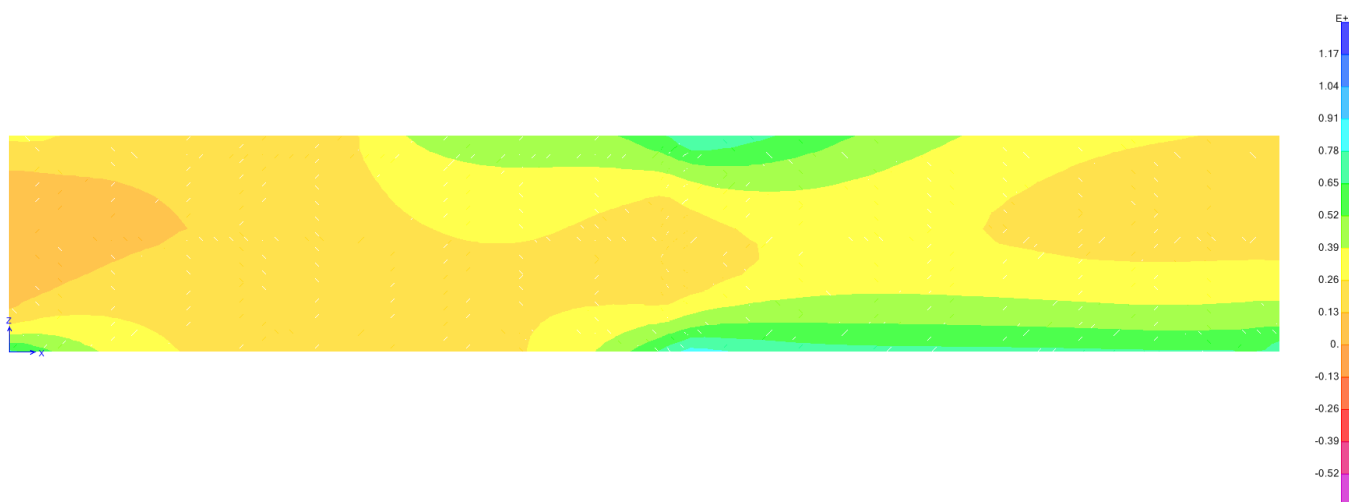


Figure 21 Momento 22\_ENV-SLE



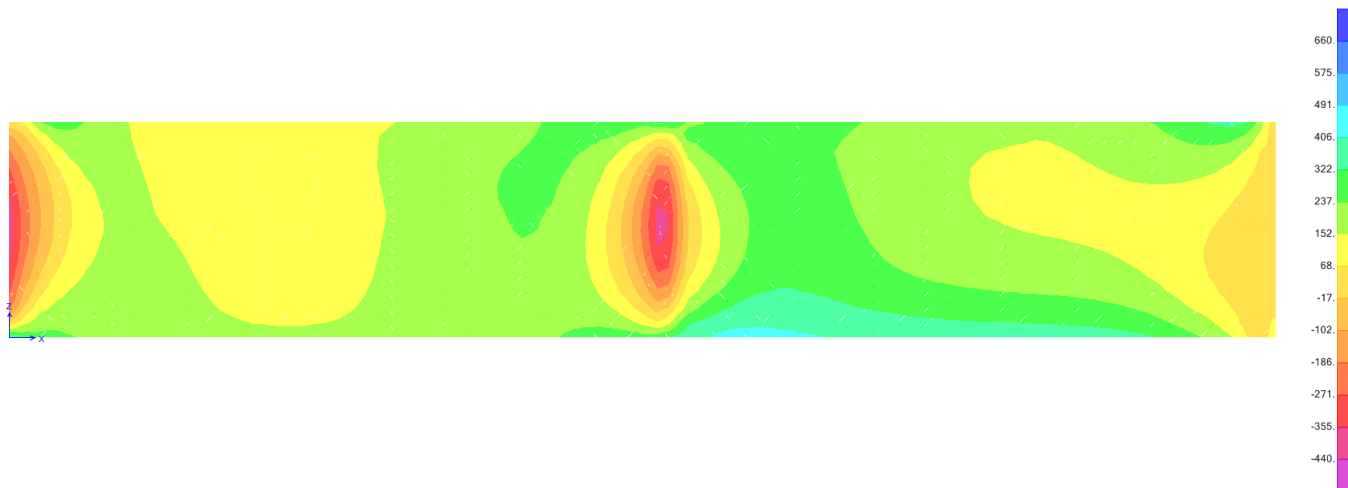


Figure 22 Momento 11\_ENV-SLU/SLV

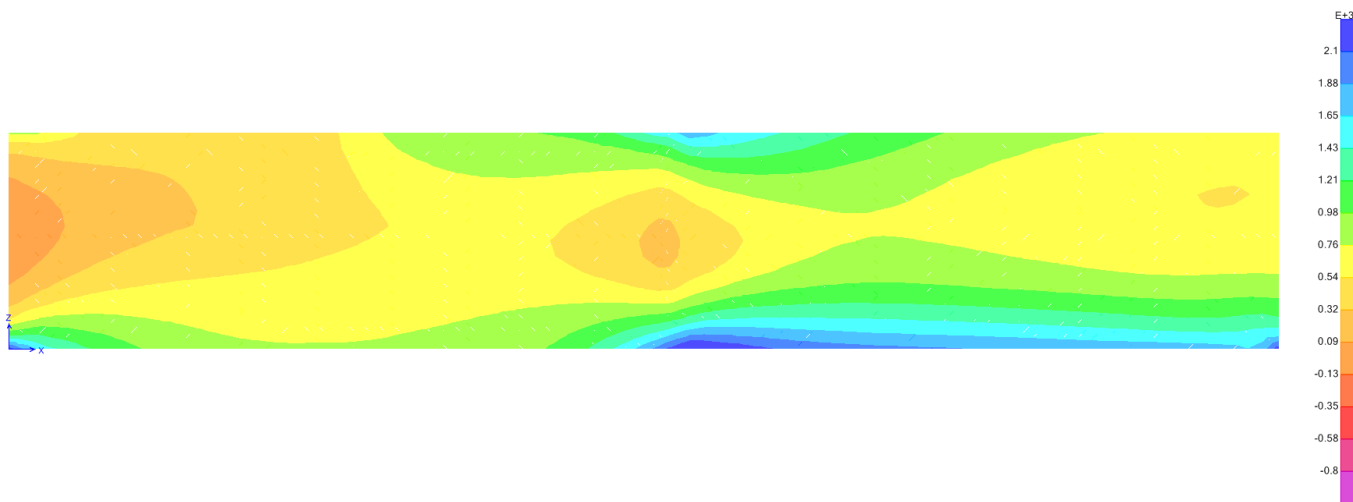


Figure 23 Momento 22\_ENV-SLU/SLV

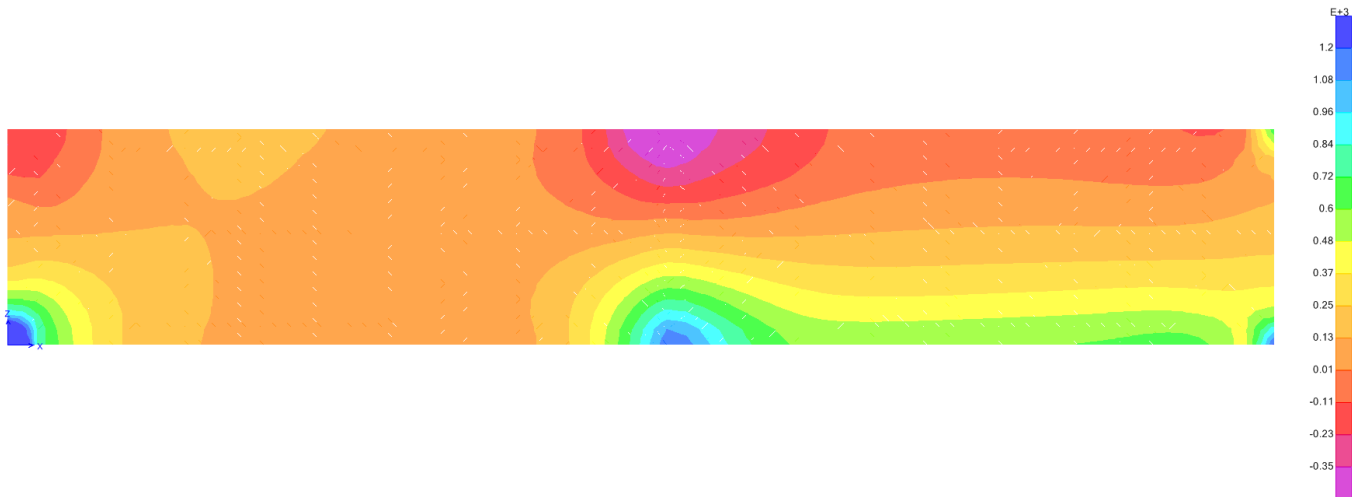


Figure 24 Taglio 23\_ENV-SLU/SLV

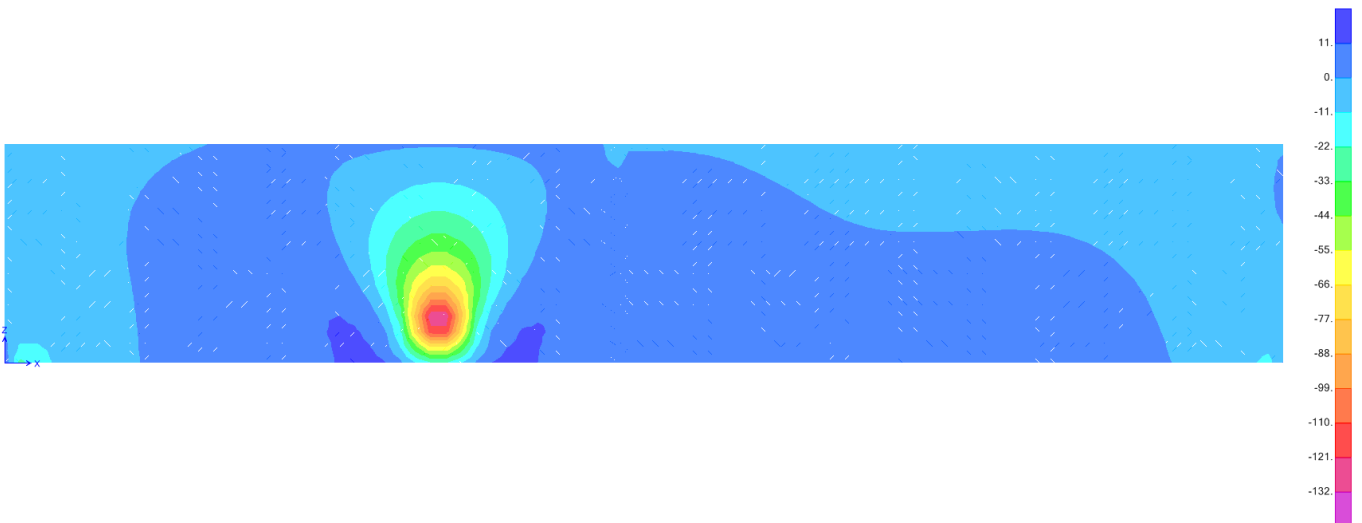


Figure 25 Momento 11\_URTO

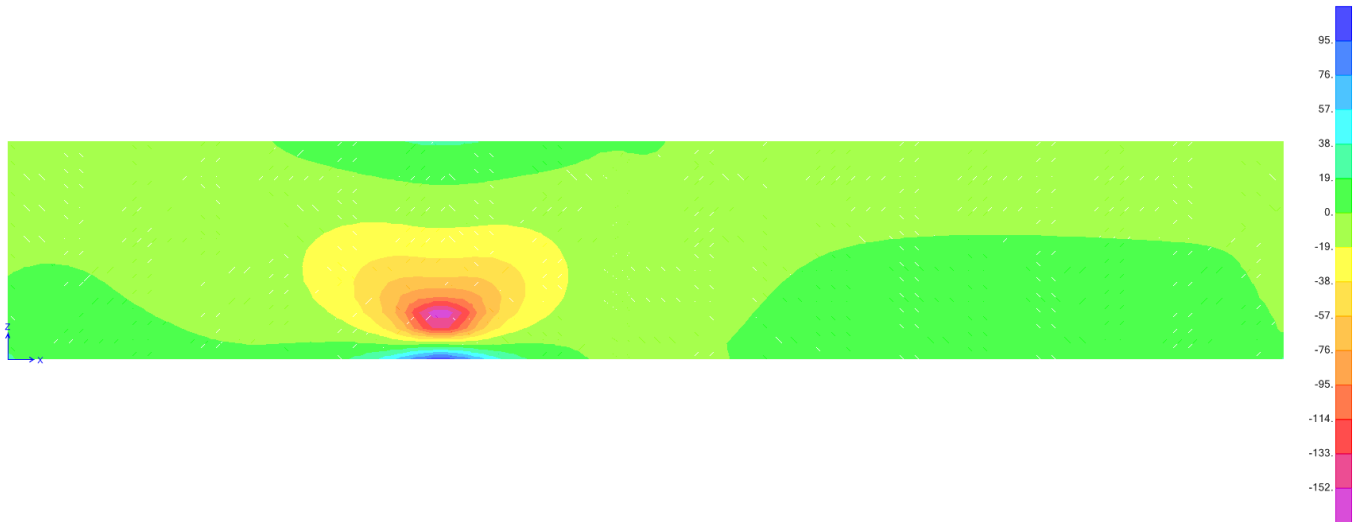


Figure 26 Momento 22\_URTO

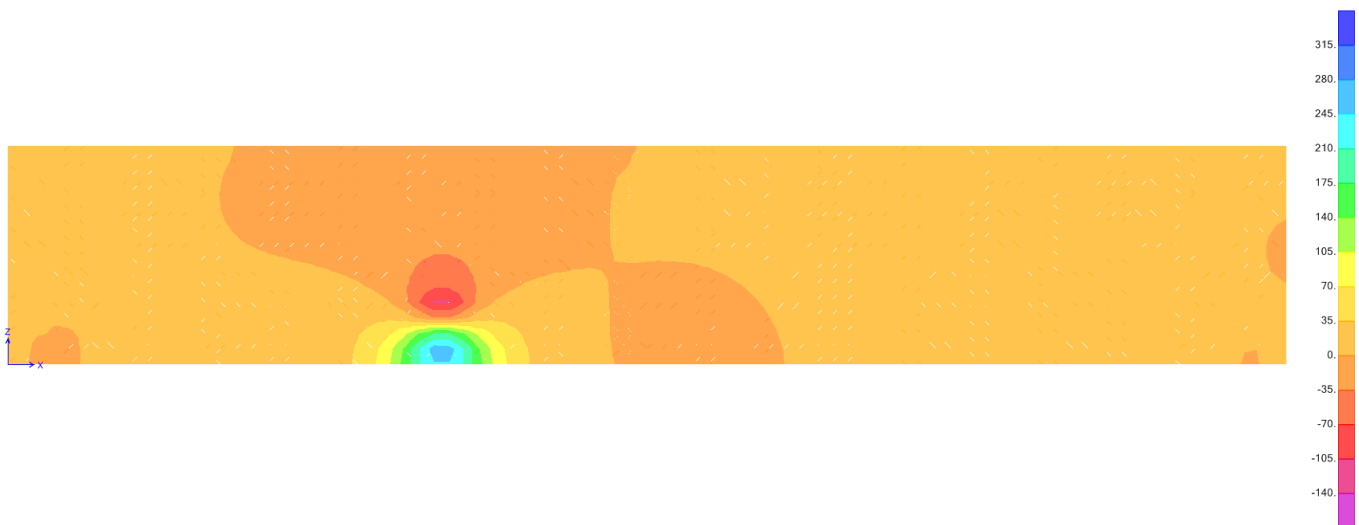


Figure 27 Taglio 23\_URTO

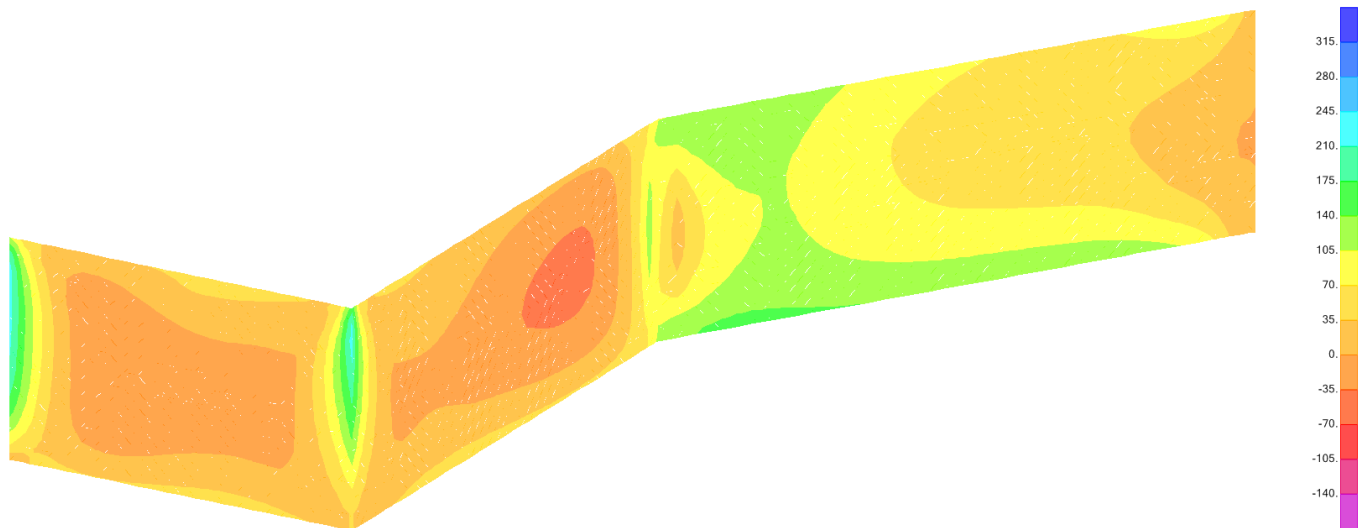


Figure 28 Momento 11\_ENV-SLE

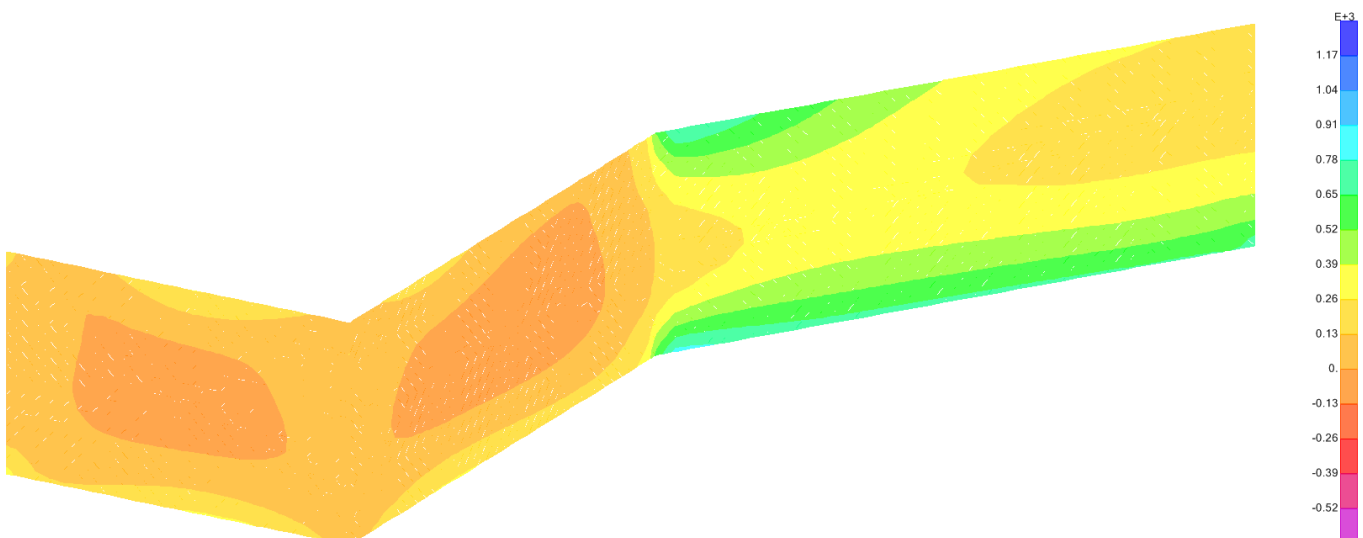


Figure 29 Momento 22\_ENV-SLE

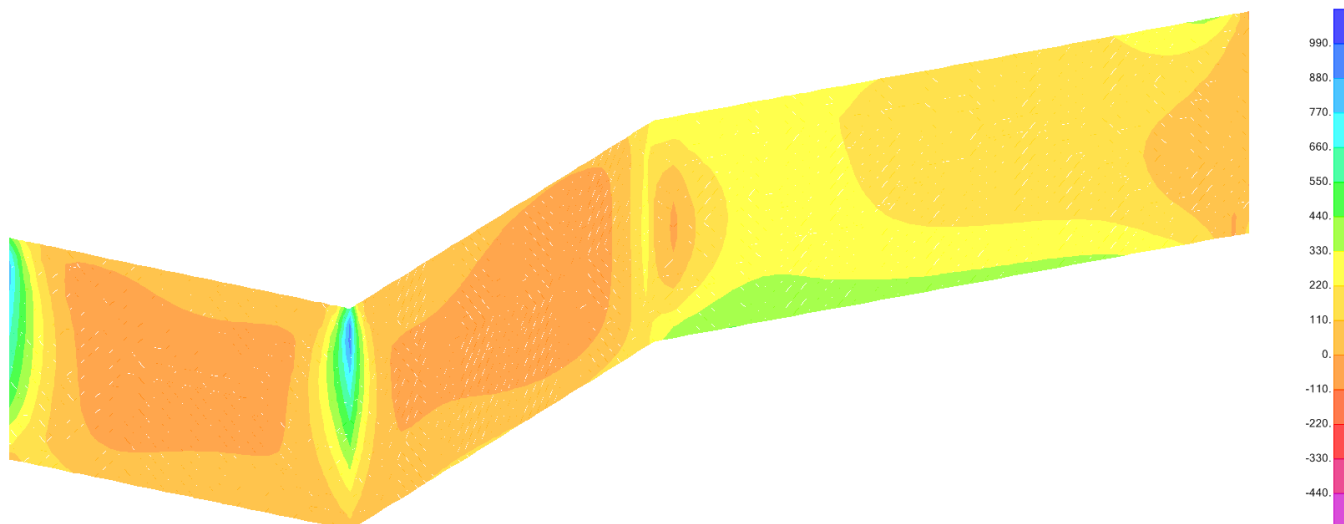


Figure 30 Momento 11\_ENV-SLU/SLV

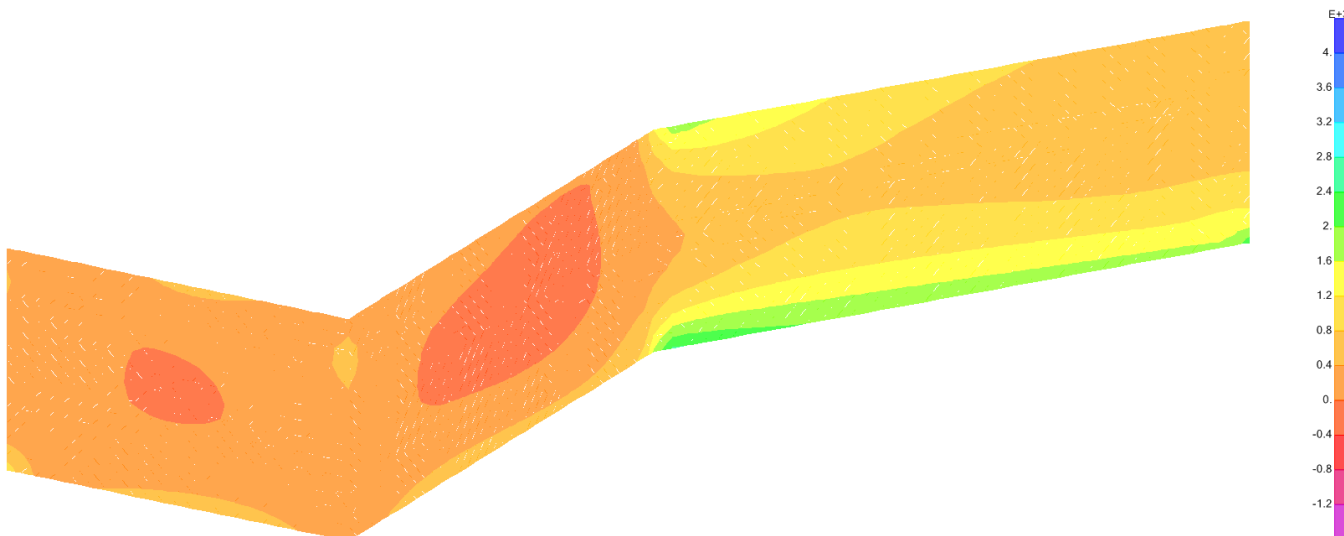


Figure 31 Momento 22\_ENV-SLU/SLV

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo  
della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	54 di 111

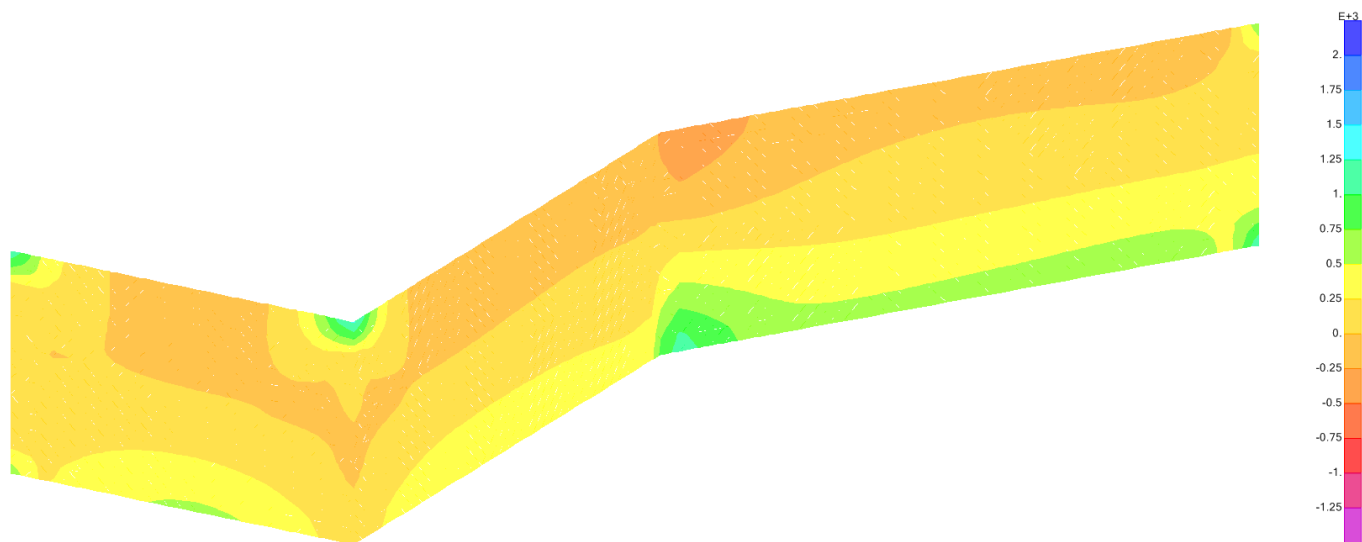


Figure 32 Taglio 23\_ENV-SLU/SLV

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni per tutte le combinazioni di carico relative a tutte le sezioni di verifica.

COP_MEZZ	<b>N</b>	<b>M<sub>trasv</sub></b>	<b>M<sub>long</sub></b>	<b>V<sub>y</sub></b>
	(kN/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kN/m)
ENV_SLU/SLV	-180	1795	670	823
SLE RARA	-140	840	315	-
SLE QP	-43	370	92	-


COP_INC	<b>N</b>	<b>M<sub>trasv</sub></b>	<b>M<sub>long</sub></b>	<b>V<sub>y</sub></b>
	(kN/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kN/m)
ENV_SLU/SLV	-310	-2560	-585	-1335
SLE RARA	-230	-1145	-272	-
SLE QP	-100	-395	-69	-

FOND_MEZZ	<b>N</b>	<b>M<sub>trasv</sub></b>	<b>M<sub>long</sub></b>	<b>V<sub>y</sub></b>
	(kN/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kN/m)
ENV_SLU/SLV	0	-2065	-410	-580
SLE RARA	0	-890	-192	-
SLE QP	0	-680	-145	-

FOND_INC	<b>N</b>	<b>M<sub>trasv</sub></b>	<b>M<sub>long</sub></b>	<b>V<sub>y</sub></b>
	(kN/m)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kN/m)
SLU	0	2700	770	1480
SLE RARA	0	935	250	-
SLE QP	0	620	135	-

PIEDR_PIEDE	<b>N</b>	<b>M<sub>long</sub></b>	<b>V</b>
	(kN/m)	(kNm/m)	(kN/m)
SLU	-1200	1830	1005
SLE RARA	-520	642	-
SLE QP	-425	570	-

PIEDR_TESTA	<b>N</b>	<b>M<sub>long</sub></b>	<b>V</b>
	(kN/m)	(kNm/m)	(kN/m)
SLU	-955	1356	-470
SLE RARA	-445	620	-
SLE QP	-225	510	-

	<b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b>	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO SL0100001	REV. A	FOGLIO 56 di 111

## 14 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE E VIBRAZIONE

### 14.1 Inflessione nel piano verticale dell'impalcato

In base a quanto indicato nel paragrafo 1.7.4.3.4. delle Istruzioni FS, nonché nel D.M. 17.01.18 (paragrafo 5.2.3.2.2), considerando la presenza del treno di carico LM71, incrementato con il corrispondente coefficiente e con il coefficiente  $\alpha$  e gli effetti della variazione di temperatura lineare, l'inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato non deve produrre all'estremità dell'impalcato una variazione angolare maggiore di  $\theta_{amm} = 0.002000$  rad.

Per quanto riguarda le rotazioni attribuibili alla presenza del treno di carico LM71, esse sono valutate sui nodi estremi della soletta superiore e in corrispondenza del piedritto interno, se presente, depurate della rototraslazione rigida della struttura.

Nel caso in esame risulta:

$$\theta_{tot} = 0.000476 \text{ rad} \ll \theta_{amm} = 0.002000 \text{ rad}$$

### 14.2 Stato limite di comfort dei passeggeri

L'inflessione verticale deve calcolarsi in asse al binario, considerando il modello di carico LM71 con il relativo incremento dinamico e con il coefficiente  $\alpha$ .

Freccia limite ammissibile (velocità del treno  $120\text{km/h} < V < 250\text{km/h}$ ):

$$\delta_{lim} = 1/1000 \times L = 11.50 \text{ mm}$$

Freccia massima dell'impalcato prodotta dal treno LM71:

$$\delta_{max} = 2.74 \text{ mm} < \delta_{lim}$$



## 15 VERIFICHE DI RESISTENZA ULTIMA E DI ESERCIZIO

Si riassumono di seguito i risultati delle verifiche allo stato limite ultimo per le sollecitazioni di taglio e flessione, relative all'involuppo delle combinazioni di carico. In particolare si riportano le sollecitazioni massime per tutte le sezioni di verifica e le combinazioni di carico più gravose (minimo coefficiente di sicurezza), sia per la verifica a flessione sia per la verifica a taglio.

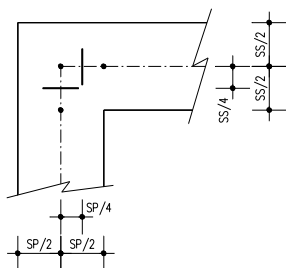
Nelle verifiche della soletta di fondazione, cautelativamente, non si è tenuto in conto del contributo dello sforzo normale.

Le verifiche a flessione in corrispondenza dei nodi tra setti adiacenti sono effettuate rispettivamente:

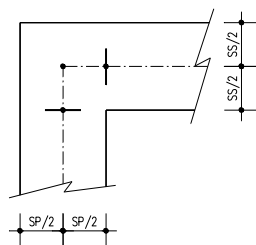
-nella sezione ubicata a metà fra asse piedritto e sezione d'attacco piedritto-soletta nel caso delle verifiche della soletta;

-nella sezione ubicata a metà fra asse soletta e sezione d'attacco del piedritto nel caso delle verifiche del piedritto.

Le verifiche a fessurazione e a taglio sono eseguite nelle sezioni di attacco soletta-piedritto.



VERIFICHE A FLESSIONE



VERIFICHE A FESSURAZIONE E TAGLIO

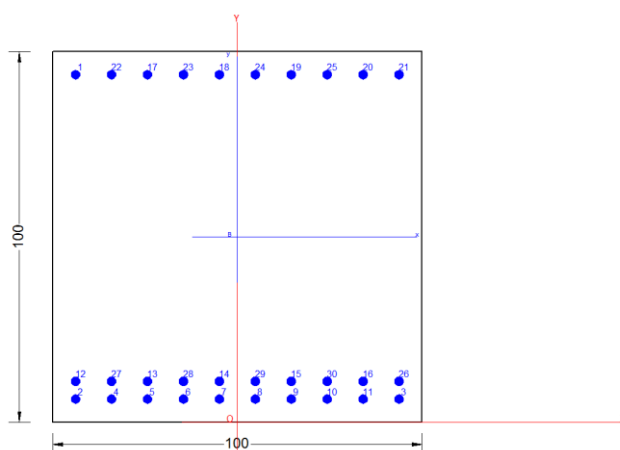
I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite, applicando il combinato D.M.17.01.2018 con l'UNI EN 1992 (Eurocodice 2).

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

Elemento	Sezione	Dimensioni [cm]		Flessione		
		B	H	Lato terra	Lato interno	
SOLETTA SUP.	INCASTRO	100	x	100	15Ø24	10Ø24
	MEZZERIA				10Ø24	20Ø24
PIEDRITTI	TESTA	100	x	120	10Ø24	10Ø24
	PIEDE				10Ø24	10Ø24
SOLETTA INF.	INCASTRO	100	x	130	10Ø24	20Ø24
	MEZZERIA				15Ø24	10Ø24

## 15.1 Soletta superiore – sezione di mezzeria

### 15.1.1 Armatura dir. Y



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37		
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30	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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C30/37

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	100.0

2	50.0	100.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	93.8	24
2	-43.8	6.2	24
3	43.8	6.2	24
4	-34.1	6.2	24
5	-24.3	6.2	24
6	-14.6	6.2	24
7	-4.9	6.2	24
8	4.9	6.2	24
9	14.6	6.2	24
10	24.3	6.2	24
11	34.1	6.2	24
12	-43.8	11.0	24
13	-24.3	11.0	24
14	-4.9	11.0	24
15	14.6	11.0	24
16	34.1	11.0	24
17	-24.3	93.8	24
18	-4.9	93.8	24
19	14.6	93.8	24
20	34.1	93.8	24
21	43.8	93.8	24
22	-34.1	93.8	24
23	-14.6	93.8	24
24	4.9	93.8	24
25	24.3	93.8	24
26	43.8	11.0	24
27	-34.1	11.0	24
28	-14.6	11.0	24
29	4.9	11.0	24
30	24.3	11.0	24

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	180.00	1795.00	0.00	0.00	0.00

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	60 di 111

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	140.00	840.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	43.00	370.00 (738.49)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.4 cm

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	180.00	1795.00	0.00	180.12	3101.25	0.00	1.73	90.5(16.8)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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.)

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	61 di 111

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.151	50.0	100.0	0.00197	34.1	93.8	-0.01966	-43.8	6.2

**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	0.000246943	-0.021194345	0.151	0.700

**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 conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max   Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min            Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min   Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.69	-50.0	100.0	-112.0	34.1	6.2	2150	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  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
e1                Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2                Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1                = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt                = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2                = 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 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max            Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk                Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess.          Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
My fess.          Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00062	0	0.500	24.0	50	0.00034 (0.00034)	267	0.090 (990.00)	745.61	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.05	-50.0	100.0	-50.2	34.1	6.2	2150	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	-0.00028	0	0.500	24.0	50	0.00015 (0.00015)	267	0.040 (0.20)	738.49	0.00

**COMBINAZIONI SLU-VERIFICA A TAGLIO**

**SEZIONE**

bw =	100	cm
h =	100	cm
c =	8.2	cm
d =	h-c	= 91.8 cm

**MATERIALI**

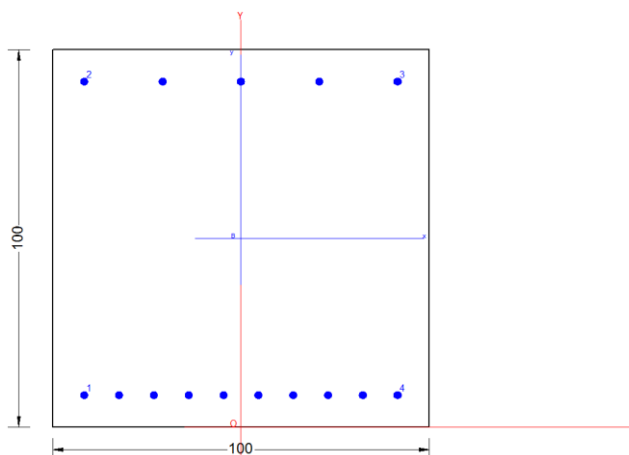
fywd =	391.30	MPa
Rck =	37	MPa
gc =	1.5	
fck =	0.83xRck	= 30.71 MPa
fcd =	0.85xfck/gc	= 17.40 MPa

**ARMATURE A TAGLIO**

øst =	14	
braccia	= 5	
øst2 =	0	
braccia	= 0	
passo	= 40	cm
(Asw / s)	= 19.242	cm <sup>2</sup> / m
a =	90	° (90° staffe verticali)

VRsd =	1555.23	(KN)
VRcd =	2505.94	(KN)
VRd =	1555	(KN) min(VRsd, VRcd)

**15.1.2 Armatura dir.X**



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	63 di 111

Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	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 CONGLOMERATO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
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	-41.6	8.4	20
2	-41.6	91.6	20
3	41.6	91.6	20
4	41.6	8.4	20

**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	2	3	3	20
2	1	4	8	20

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	64 di 111

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	670.00	0.00	0.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	315.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	92.00 (564.09)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
--------	-----	---	----	----	-------	--------	--------	----------	---------



1 S 0.00 670.00 0.00 0.00 1080.05 0.00 1.61 31.4(15.3)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.095	-50.0	100.0	0.00011	-41.6	91.6	-0.03344	-41.6	8.4

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

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000403248	-0.036824768	0.095	0.700

**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 conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.81	-50.0	100.0	-119.9	4.6	8.4	2097	31.4

**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]  
 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 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	66 di 111

sr max      Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk          Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm}) [(7.8)EC2 \text{ e } (C4.1.7)NTC]$ . 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	-0.00067	0	0.500	20.0	74	0.00036 (0.00036)	479	0.172 (990.00)	564.09	0.00

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

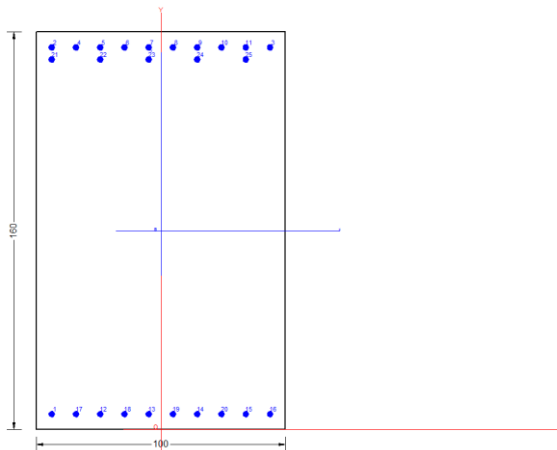
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.82	-50.0	100.0	-35.0	-32.4	8.4	2097	31.4

**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	-0.00020	0	0.500	20.0	74	0.00011 (0.00011)	479	0.050 (0.20)	564.09	0.00

## 15.2 Soletta superiore – sezione di incastro

### 15.2.1 Armatura dir. Y



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	160.0
2	50.0	160.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	6.2	24
2	-43.8	153.8	24
3	43.8	153.8	24
4	-34.1	153.8	24
5	-24.3	153.8	24
6	-14.6	153.8	24
7	-4.9	153.8	24
8	4.9	153.8	24
9	14.6	153.8	24
10	24.3	153.8	24
11	34.1	153.8	24
12	-24.3	6.2	24
13	-4.9	6.2	24
14	14.6	6.2	24
15	34.1	6.2	24
16	43.8	6.2	24
17	-34.1	6.2	24
18	-14.6	6.2	24
19	4.9	6.2	24
20	24.3	6.2	24
21	-43.8	149.0	24
22	-24.3	149.0	24
23	-4.9	149.0	24
24	14.6	149.0	24
25	34.1	149.0	24

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	310.00	-2560.00	0.00	0.00	0.00

**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 princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	230.00	-1145.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	100.00	-395.00 (-1709.69)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	2.4 cm

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

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	69 di 111

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	310.00	-2560.00	0.00	310.20	-4128.35	7.59	1.61	67.9(26.8)

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.077	-50.0	0.0	0.00167	-43.8	6.2	-0.04172	43.8	153.8

**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	-0.000002822	-0.000292321	0.003358908	0.077	0.700

**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 conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.30	-50.0	0.0	-108.9	43.8	153.8	2196	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
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]

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	70 di 111

sr max Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 wk Massima distanza tra le fessure [mm]  
 Mx fess. Apertura fessure in mm calcolata =  $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 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	-0.00058	0	0.500	24.0	50	0.00033 (0.00033)	302	0.099 (990.00)	-1681.48	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.15	-50.0	0.0	-36.2	43.8	153.8	2187	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	-0.00019	0	0.500	24.0	50	0.00011 (0.00011)	302	0.033 (0.20)	-1709.69	0.00

**COMBINAZIONI SLU-VERIFICA A TAGLIO**

**SEZIONE**

bw =	100	cm
h =	160	cm
c =	8.2	cm
d =	h-c	= 151.8 cm

**MATERIALI**

fywd =	391.30	MPa
Rck =	37	MPa
gc =	1.5	
fck =	0.83xRck =	30.71 MPa
fcd =	0.85xfck/gc =	17.40 MPa

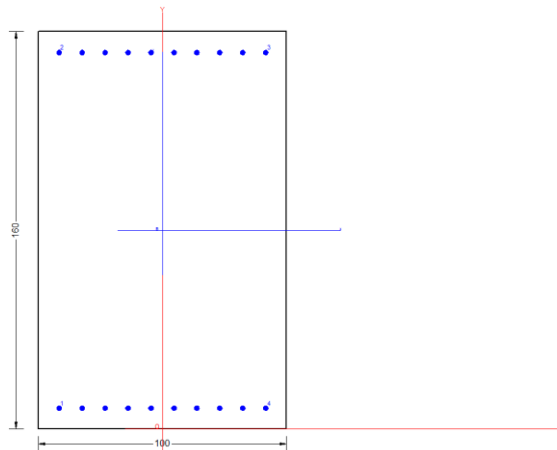
**ARMATURE A TAGLIO**

øst =	14	
braccia	=	5
øst2 =	0	
braccia	=	0
passo	=	40 cm
(Asw / s)	=	19.242 cm <sup>2</sup> / m
a =	90	° (90° staffe verticali)

VRsd =	2571.73	(KN)
VRcd =	4126.15	(KN)
VRd =	2572	(KN)

min(VRsd, VRcd)

### 15.2.2 Armatura dir. X



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	160.0
3	50.0	160.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	8.4	20
2	-41.6	151.6	20
3	41.6	151.6	20
4	41.6	8.4	20

#### 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	2	3	8	20
2	1	4	8	20

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

	N	Mx	My	Vy	Vx
N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-585.00	0.00	0.00	0.00

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

	N	Mx	My
N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-272.00	0.00

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

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



N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-69.00 (-1412.48)	0.00 (0.00)

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Tesa	Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-585.00	0.00	0.00	-1817.46	0.00	3.11	31.4(25.4)

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.057	-50.0	0.0	0.00008	-41.6	8.4	-0.05830	-41.6	151.6

### 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	-0.000407679	0.003500000	0.057	0.700

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	74 di 111

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.03	-50.0	0.0	-61.1	32.4	151.6	2097	31.4

**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; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ 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 = $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(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	-0.00033	0	0.500	20.0	74	0.00018 (0.00018)	479	0.088 (990.00)	-1412.48	0.00

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

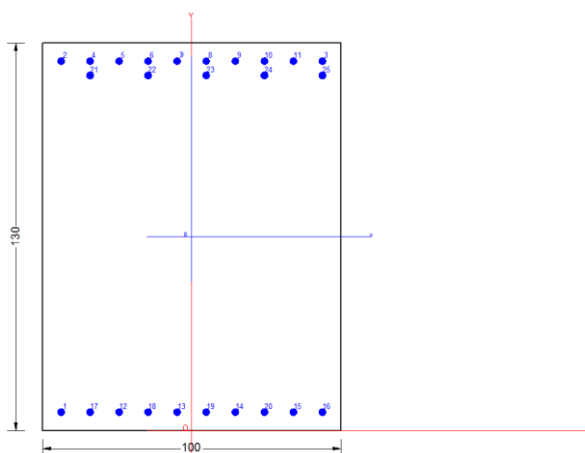
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.26	-50.0	0.0	-15.5	32.4	151.6	2097	31.4

**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	-0.00008	0	0.500	20.0	74	0.00005 (0.00005)	479	0.022 (0.20)	-1412.48	0.00

## 15.3 Soletta inferiore – sezione di mezzzeria

### 15.3.1 Armatura dir.Y



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	130.0

2	50.0	130.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	6.2	24
2	-43.8	123.8	24
3	43.8	123.8	24
4	-34.1	123.8	24
5	-24.3	123.8	24
6	-14.6	123.8	24
7	-4.9	123.8	24
8	4.9	123.8	24
9	14.6	123.8	24
10	24.3	123.8	24
11	34.1	123.8	24
12	-24.3	6.2	24
13	-4.9	6.2	24
14	14.6	6.2	24
15	34.1	6.2	24
16	43.8	6.2	24
17	-34.1	6.2	24
18	-14.6	6.2	24
19	4.9	6.2	24
20	24.3	6.2	24
21	-34.1	119.0	24
22	-14.6	119.0	24
23	4.9	119.0	24
24	24.3	119.0	24
25	43.8	119.0	24

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-2065.00	0.00	0.00	0.00

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	77 di 111

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-890.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-680.00 (-956.98)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.4 cm

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-2065.00	0.00	0.00	-3099.75	-9.37	1.50	67.9(18.4)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.095	50.0	0.0	0.00164	43.8	6.2	-0.03347	-43.8	123.8

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000002910	-0.000296440	0.003354481	0.095	0.700

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.48	50.0	0.0	-121.8	-43.8	123.8	2193	67.9

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00065	0	0.500	24.0	50	0.00037 (0.00037)	302	0.110 (990.00)	-956.98	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.66	50.0	0.0	-93.0	-43.8	123.8	2193	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	-0.00050	0	0.500	24.0	50	0.00028 (0.00028)	302	0.084 (0.20)	-956.98	0.00

### COMBINAZIONI SLU-VERIFICA A TAGLIO

#### SEZIONE

bw = 100 cm  
h = 130 cm  
c = 8.2 cm  
d = h-c = 121.8 cm

#### MATERIALI

fywd = 391.30 MPa  
Rck = 30 MPa  
gc = 1.5  
fck = 0.83xRck = 24.9 MPa  
fcd = 0.85xfck/gc = 14.11 MPa

#### ARMATURE A TAGLIO

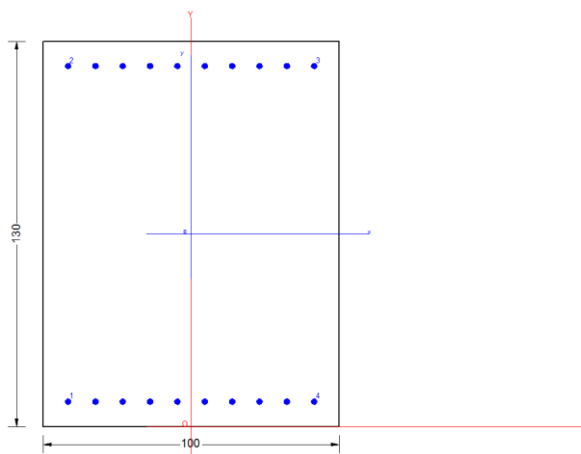
øst = 14  
braccia = 2.5  
øst2 = 0  
braccia = 0  
passo = 40 cm  
(Asw / s) = 9.621 cm<sup>2</sup> / m  
a = 90 ° (90° staffe verticali)

#### TAGLIO AGENTE

VEd = 580 (KN)

VRsd = 1031.74 (KN)  
VRcd = 3289.04 (KN)  
VRd = 1032 (KN) min(VRsd, VRcd) > VEd VERIFICA SODDISFATTA

### 15.3.2 Armatura dir.X



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	80 di 111

Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	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 CONGLOMERATO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

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	-41.6	8.4	20
2	-41.6	121.6	20
3	41.6	121.6	20
4	41.6	8.4	20

**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	2	3	8	20
2	1	4	8	20

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia



**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	81 di 111

My	con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia				
Vy	con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-410.00	0.00	0.00	0.00

**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 princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-192.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-145.00 (-839.98)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-410.00	0.00	0.00	-1439.65	0.00	3.51	31.4(18.0)

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.075	-50.0	0.0	0.00029	-41.6	8.4	-0.04301	-41.6	121.6

### 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	-0.000382501	0.003500000	0.075	0.700

### 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 conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.02	50.0	0.0	-54.2	32.4	121.6	2097	31.4

### 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 $f_{ctm}$ Esito della verifica
e1	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 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]

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo  
della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	83 di 111

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	-0.00030	0	0.500	20.0	74	0.00016 (0.00016)	479	0.078 (990.00)	-839.98	0.00

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

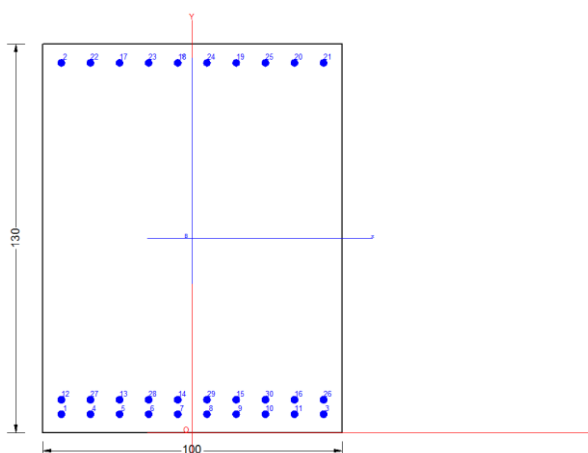
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.77	50.0	0.0	-40.9	32.4	121.6	2097	31.4

**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	-0.00022	0	0.500	20.0	74	0.00012 (0.00012)	479	0.059 (0.20)	-839.98	0.00

## 15.4 Soletta inferiore – sezione di incastro

### 15.4.1 Armatura dir. Y



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30		
	Resist. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30	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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	130.0

2	50.0	130.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	6.2	24
2	-43.8	123.6	24
3	43.8	6.2	24
4	-34.1	6.2	24
5	-24.3	6.2	24
6	-14.6	6.2	24
7	-4.9	6.2	24
8	4.9	6.2	24
9	14.6	6.2	24
10	24.3	6.2	24
11	34.1	6.2	24
12	-43.8	11.0	24
13	-24.3	11.0	24
14	-4.9	11.0	24
15	14.6	11.0	24
16	34.1	11.0	24
17	-24.3	123.6	24
18	-4.9	123.6	24
19	14.6	123.6	24
20	34.1	123.6	24
21	43.8	123.6	24
22	-34.1	123.6	24
23	-14.6	123.6	24
24	4.9	123.6	24
25	24.3	123.6	24
26	43.8	11.0	24
27	-34.1	11.0	24
28	-14.6	11.0	24
29	4.9	11.0	24
30	24.3	11.0	24

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	2700.00	0.00	0.00	0.00

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

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	86 di 111

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	935.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	620.00 (1017.94)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.4 cm

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	2700.00	0.00	0.00	4070.98	0.00	1.51	90.5(18.3)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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.)

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	87 di 111

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.125	-50.0	130.0	0.00205	-43.8	123.6	-0.02456	43.8	6.2

**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	0.000226687	-0.025969344	0.125	0.700

**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 conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max   Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min            Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min   Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.24	50.0	130.0	-97.4	-34.1	6.2	2150	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  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
e1                Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2                Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1                = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt                = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2                = 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 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max            Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk                Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
Mx fess.          Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
My fess.          Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00052	0	0.500	24.0	50	0.00029 (0.00029)	267	0.078 (990.00)	1017.94	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.15	50.0	130.0	-64.6	-34.1	6.2	2150	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	0.500	24.0	50	0.00019 (0.00019)	267	0.052 (0.20)	1017.94	0.00

**COMBINAZIONI SLU-VERIFICA A TAGLIO**

SEZIONE

bw =	100	cm
h =	130	cm
c =	8.2	cm
d =	h-c	= 121.8 cm

MATERIALI

fywd =	391.30	MPa
Rck =	30	MPa
gc =	1.5	
fck =	0.83xRck =	24.9 MPa
fcd =	0.85xfck/gc =	14.11 MPa

ARMATURE A TAGLIO

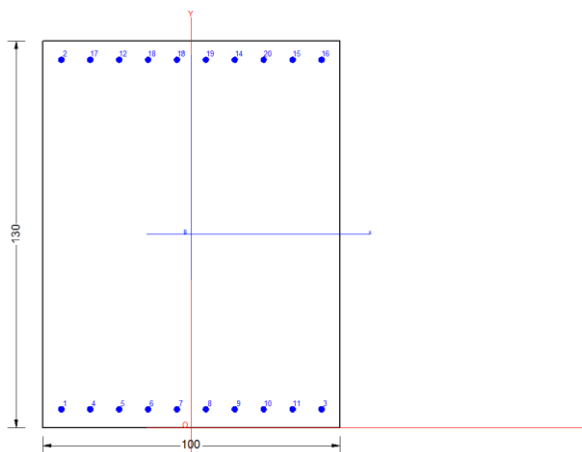
øst =	14	
braccia	=	5
øst2 =	0	
braccia	=	0
passo	=	40 cm
(Asw / s)	=	19.242 cm <sup>2</sup> / m
a =	90	° (90° staffe verticali)

TAGLIO AGENTE VEd = 1480 (KN)

VRsd =	2063.48	(KN)
VRcd =	2666.79	(KN)
VRd =	2063	(KN)

min(VRsd, VRcd) > VEd VERIFICA SODDISFATTA

**15.4.2 Armatura dir. X**



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO - Classe:

C25/30



Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	130.0
2	50.0	130.0
3	50.0	0.0
4	-50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	6.2	20
2	-43.8	123.6	20
3	43.8	6.2	20
4	-34.1	6.2	20
5	-24.3	6.2	20
6	-14.6	6.2	20
7	-4.9	6.2	20
8	4.9	6.2	20
9	14.6	6.2	20
10	24.3	6.2	20
11	34.1	6.2	20
12	-24.3	123.6	20
13	-4.9	123.6	20
14	14.6	123.6	20
15	34.1	123.6	20
16	43.8	123.6	20
17	-34.1	123.6	20
18	-14.6	123.6	20

19	4.9	123.6	20
20	24.3	123.6	20

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	770.00	0.00	0.00	0.00

#### 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 princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	250.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	135.00 (849.06)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.7 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	91 di 111

My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	770.00	0.00	0.00	1471.27	0.00	1.91	31.4(18.3)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.062	-50.0	130.0	0.00056	-43.8	123.6	-0.05329	43.8	6.2

**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	0.000458745	-0.056136805	0.062	0.700

**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 conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.27	50.0	130.0	-69.0	-34.1	6.2	1550	31.4

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

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
 Ver. Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	92 di 111

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	Coprifero [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00037	0	0.500	20.0	52	0.00021 (0.00021)	345	0.071 (990.00)	849.06	0.00

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

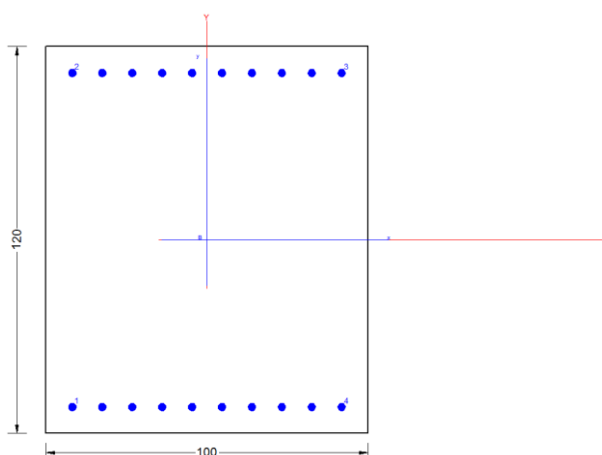
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.69	50.0	130.0	-37.2	-34.1	6.2	1550	31.4

**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	-0.00020	0	0.500	20.0	52	0.00011 (0.00011)	345	0.038 (0.20)	849.06	0.00

**15.5 Piedritti – sezione di incastro inferiore**

L'armatura longitudinale è formata da Ø24/10 sia superiori sia inferiori, mentre l'armatura minima di ripartizione consiste in barre Ø20/10.



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 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:	3.100 MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 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 CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-60.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	-60.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.8	-51.8	24
2	-41.8	51.8	24
3	41.8	51.8	24
4	41.8	-51.8	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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	94 di 111

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1200.00	1830.00	0.00	0.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	520.00	642.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	425.00	330.00 (1312.75)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.9 cm

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

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	95 di 111

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	1200.00	1830.00	0.00	1200.30	2512.99	0.00	1.37	45.2(21.5)

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

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.111	50.0	60.0	0.00119	41.8	51.8	-0.02798	-41.8	-51.8

**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	0.000281599	-0.013395919	0.111	0.700

**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 conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.50	-50.0	60.0	-88.4	32.5	-51.8	2050	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
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]

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	96 di 111

sr max Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 wk Massima distanza tra le fessure [mm]  
 Mx fess. Apertura fessure in mm calcolata =  $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 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	-0.00049	0	0.500	24.0	70	0.00027 (0.00027)	423 0.112 (990.00)	1140.02	0.00	

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.82	50.0	60.0	-32.3	32.5	-51.8	2050	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	-0.00018	0	0.500	24.0	70	0.00010 (0.00010)	423 0.041 (0.20)	1312.75	0.00	

**COMBINAZIONI SLU-VERIFICA A TAGLIO**

**SEZIONE**

bw =	100	cm
h =	120	cm
c =	8.2	cm
d =	h-c	= 111.8 cm

**MATERIALI**

fywd =	391.30	MPa
Rck =	40	MPa
gc =	1.5	
fck =	0.83xRck =	33.20 MPa
fcd =	0.85xfck/gc =	18.81 MPa

**ARMATURE A TAGLIO**

øst =	14	
braccia	=	5
øst2 =	0	
braccia	=	0
passo	=	40 cm
(Asw / s)	=	19.242 cm <sup>2</sup> / m
a =	90	° (90° staffe verticali)

TAGLIO AGENTE VEd = 1005 (KN)

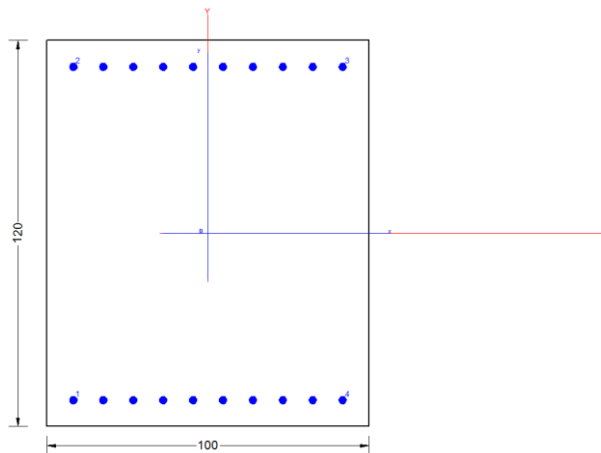
VRsd =	1894.07	(KN)
VRcd =	3019.00	(KN)
<b>VRd =</b>	<b>1894</b>	<b>(KN)</b>

min(VRsd, VRcd) > VEd VERIFICA SODDISFATTA



## 15.6 Piedritti – sezione di incastro superiore

L'armatura longitudinale è formata da Ø24/10 sia superiori sia inferiori, mentre l'armatura minima di ripartizione consiste in barre Ø20/10.



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 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:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 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 β1*β2 :	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice: X [cm] Y [cm]

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	98 di 111

1	-50.0	-60.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	-60.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.8	-51.8	24
2	-41.8	51.8	24
3	41.8	51.8	24
4	41.8	-51.8	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**

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	955.00	1356.00	0.00	0.00	0.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	445.00	620.00	0.00

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

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	99 di 111

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	225.00	510.00 (1034.94)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.9 cm

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	955.00	1356.00	0.00	955.02	2388.03	0.00	1.76	45.2(21.5)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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
1	0.00350	0.105	50.0	60.0	0.00105	41.8	51.8	-0.02997	-41.8	-51.8

**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.
--------	---	---	---	-----	--------

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	100 di 111

1 0.000000000 0.000299386 -0.014463190 0.105 0.700

**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 conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf 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	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.36	-50.0	60.0	-90.5	32.5	-51.8	2050	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 = 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; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ 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 = $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(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	-0.00050	0	0.500	24.0	70	0.00027 (0.00027)	423	0.115 (990.00)	1111.79	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.71	50.0	60.0	-87.6	23.2	-51.8	2050	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	-0.00049	0	0.500	24.0	70	0.00026 (0.00026)	423	0.111 (0.20)	1034.94	0.00

**COMBINAZIONI SLU-VERIFICA A TAGLIO**

SEZIONE

bw =	100	cm
h =	120	cm
c =	8.2	cm

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo**  
**della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	101 di 111

$$d = h - c = 111.8 \text{ cm}$$

**MATERIALI**

$$f_{ywd} = 391.30 \text{ MPa}$$

$$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$g_c = 1.5$$

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 33.20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 0.85 \times f_{ck} / g_c = 18.81 \text{ MPa}$$

**ARMATURE A TAGLIO**

$$\phi_{st} = 14$$

$$\text{braccia} = 2.5$$

$$\phi_{st2} = 0$$

$$\text{braccia} = 0$$

$$\text{passo} = 40 \text{ cm}$$

$$(A_{sw} / s) = 9.621 \text{ cm}^2 / \text{m}$$


$$a = 90^\circ \text{ (90}^\circ \text{ staffe verticali)}$$

$$\text{TAGLIO AGENTE} \quad V_{Ed} = 1005 \text{ (KN)}$$

$$V_{Rsd} = 947.03 \text{ (KN)}$$

$$V_{Rcd} = 3019.00 \text{ (KN)}$$

$$V_{Rd} = 947 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) > V_{Ed} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</b></p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p><b>Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare</b></p>	<p>COMMESSA IA7K</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO SL0100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 102 di 111</p>

## 16 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 16.1 Verifica della capacità portante

La verifica a capacità portante del complesso fondazione – terreno è stata effettuata applicando la combinazione (A1+M1+R3) dell'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I delle NTC2018. I coefficienti  $\gamma_R$  sono riportati nella seguente tabella 6.4.I delle NTC18):

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

La pressione limite puo' essere calcolata in base alla formula generale di Brinch Hansen (1970):

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

(valida in condizioni drenate)

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c^* \cdot d_c^* \cdot i_c^* \cdot s_c^* \cdot b_c^* \cdot g_c^* + q$$

(valida in condizioni non drenate)

essendo

$N_q, N_c, N_{\gamma}$  i fattori di capacità portante in condizioni drenate;

$N_c^*$  il fattore di capacità portante in condizioni non drenate;

$s_{\gamma}, s_q, s_c$  i fattori di forma della fondazione;

$i_{\gamma}, i_q, i_c$  i fattori correttivi per l'inclinazione del carico;

$b_{\gamma}, b_q, b_c$  i fattori correttivi per l'inclinazione della base della fondazione;

$g_{\gamma}, g_q, g_c$  i fattori correttivi per l'inclinazione del piano campagna;

$d_{\gamma}, d_q, d_c$  i fattori correttivi per la profondità del piano di posa;

$d_c^*, i_c^*, s_c^*, b_c^*, g_c^*$  i fattori correttivi corrispondenti rispettivamente a quanto sopra esposto ma validi in condizioni non drenate.

In condizioni drenate valgono le seguenti espressioni:

**Sottovia SP42 – Relazione tecnico descrittiva e di calcolo della struttura scatolare**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D10CL	SL0100001	A	103 di 111

$$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi' / 2) * e^{(\pi * \text{tg} \phi')}$$

$$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi'$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) * \text{tg} \phi'$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{N + B' \cdot c \cdot \text{cotg} \phi'} \right]^{m+1}$$

$$i_q = i_c = \left[ 1 - \frac{H}{N + B' \cdot c \cdot \text{cotg} \phi'} \right]^m$$

$$d_q = 1 + 2 \text{tg} \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \frac{D}{B'} \quad \text{per } D/B' \leq 1$$

$$d_q = 1 + 2 \text{tg} \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \text{arctg} \left( \frac{D}{B'} \right) \quad \text{per } D/B' > 1$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \text{tg} \phi'}$$

$$s_q = 1 + (B / 2) \text{tg} \phi'$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4B/4$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q B}{NcL}$$

$$g_\gamma = g_q = (1 - 0.5 \text{tg} \beta)^5$$

$$g_c = 1 - \beta^2 / 147^\circ$$

$$b_q = e^{(-2.7 \text{tg} \phi')}$$

$$b_\gamma = e^{(-2.7 \text{tg} \phi')}$$

ove  $\beta + \eta \leq 90^\circ$  e  $\beta \leq \phi$

In condizioni non drenate i fattori hanno le seguenti espressioni:

$$N_c^* = (2 + \pi)$$

$$s_c^* = 0.2 + \frac{B}{L}$$

$$i_c^* = \left[ 1 - \frac{mH}{B'cuNc} \right] m$$

$$d_c^* = 0.4 + \frac{D}{B} \quad \text{per } D/B \leq 1$$

$$d_c^* = 0.4 + \frac{tg^{\wedge}-1D}{B} \quad \text{per } D/B > 1$$

$$g_c^* = \beta^{\circ}/147^{\circ}$$

$$b_c^* = \eta^{\circ}/147^{\circ}$$

Si sono indicate con:

$q = \gamma^* D$  = pressione verticale totale agente alla quota di imposta della fondazione;

$B'$  = larghezza efficace equivalente della fondazione;

$\gamma$  = peso di volume naturale del terreno;

$c_u$  = coesione non drenata;

$D$  = affondamento della fondazione;

$H$  = carico orizzontale agente.

Per valutare gli effetti dell'eccentricità è necessario inserire nell'equazione della capacità due dimensioni  $L'$  e  $B'$  ridotte secondo le:

$$L' = L - 2e_x$$

$$B' = B - 2e_y$$

dove  $B$  e  $L$  sono le reali dimensioni della fondazione e  $e_x$  e  $e_y$  sono le eccentricità.

Si riporta di seguito la verifica per la condizione più gravosa.

L'azione complessiva trasmessa al terreno dalla fondazione nella condizione più gravosa è pari a circa 180650kN (ENV\_SLV/SLU) globalmente per la struttura in esame.



**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 ( $e_B = M_b/N$ )

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

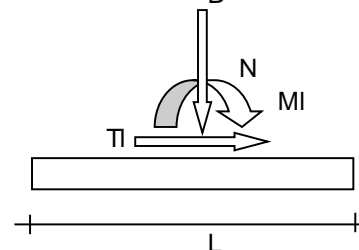
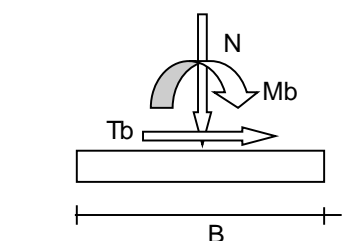
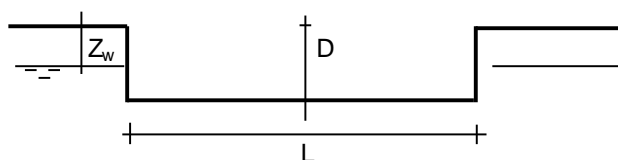
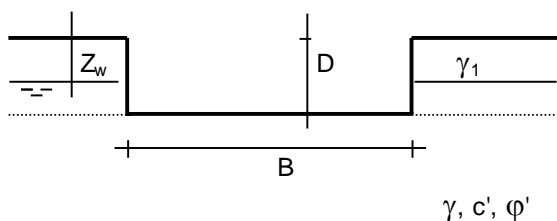
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

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

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze	
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo						
A1+M1+R3	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Definiti dal Progettista	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>2.30</b>	<b>1.10</b>



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 13.90 (m)  
L = 41.10 (m)  
D = 8.00 (m)

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	88366.00		88366.00
Mb [kNm]	0.00		0.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	998.00		998.00
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	998.00	0.00	998.00

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$c' = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Valori di progetto*

$$c' = 0.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 10.00 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 13.90 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 41.10 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 152.00 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 10.44 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

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

$$N_q = 10.66$$

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

$$N_c = 20.72$$

$$N_y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_y = 10.88$$

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

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

$$s_c = 1.17$$

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

$$s_q = 1.16$$

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

$$s_\gamma = 0.86$$

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

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 1.75 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 1.25 \quad m = 1.75 \quad (-)$$

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

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

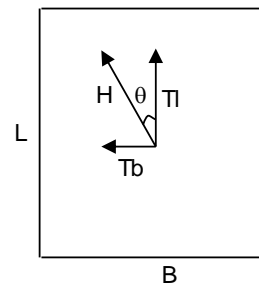
$$i_q = 0.98$$

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

$$i_c = 0.98$$

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

$$i_\gamma = 0.97$$



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

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

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

$$d_q = 1.18$$

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

$$d_c = 1.20$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

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

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

$$b_q = \qquad 1.00$$

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

$$b_c = \qquad 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = \qquad 1.00$$

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

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

$$g_q = \qquad 1.00$$

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

$$g_c = \qquad 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = \qquad 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = \qquad 2829.86 \qquad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = \qquad 154.68 \qquad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

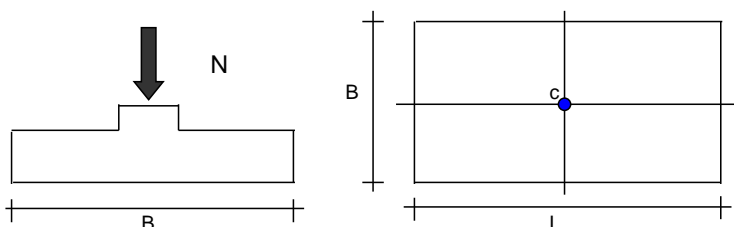
$$q_{lim} / \gamma_R = \qquad 1230.37 \qquad \geq \qquad q = \qquad 154.68 \qquad (\text{kN/m}^2)$$

## 16.2 Valutazione dei cedimenti

Si esibisce di seguito il calcolo dei cedimenti in fondazione dell'opera in esame.

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE RETTANGOLARE

#### LAVORO:



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

$$\Delta\sigma_{zi} = (q/2\pi) * (\tan^{-1}((L/2)(B/2)/(zR_3)) + ((L/2)(B/2)z)/R_3(1/R_1^2 + 1/R_2^2))$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (q/2\pi) * (\tan^{-1}((L/2)(B/2)/(zR_3)) - ((L/2)(B/2)z)/R_3R_1^2)$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (q/2\pi) * (\tan^{-1}((L/2)(B/2)/(zR_3)) - ((L/2)(B/2)z)/R_3R_2^2)$$

$$R_1 = ((L/2)^2 + z^2)^{0.5}$$

$$R_2 = ((B/2)^2 + z^2)^{0.5}$$

$$R_3 = ((L/2)^2 + (B/2)^2 + z^2)^{0.5}$$

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

**DATI DI INPUT:**

B = 13.90 (m) (Larghezza della Fondazione)

L = 41.75 (m) (Lunghezza della Fondazione)

N = 69314 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 119.44 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/(B\*L)))

ns = 3 (-) (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	LS(m,s)	1.00	0.0	1.0	1.0	10000	0.20	0.72
2	SL/Cal	3.50	1.0	4.5	1.0	20000	0.20	1.35
3	LS(ga)	10.50	4.5	15.0	1.0	90000	0.20	0.78
-			0.0	0.0	1.0			-
-			0.0	0.0	1.0			-
-			0.0	0.0	1.0			-

$$\delta_{ctot} = 2.85 \text{ (cm)}$$

Il cedimento totale risulta essere pari a **2,85cm**.

Di seguito si forniscono le tabelle di sintesi del calcolo effettuato.

z	Δz <sub>i</sub>	Terreno	R1	R2	R3	Δσ <sub>zi</sub>	Δσ <sub>xi</sub>	Δσ <sub>yi</sub>	E	v	δ <sub>i</sub>	Σ δ <sub>i</sub>
(m)	(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)	(cm)

0.00	1.0	1							10000	0.20		
1.00	1.0	1	20.88	6.97	22.01	113.73	107.42	102.83	10000	0.20	0.72	0.72
2.00	1.0	2	20.93	7.11	22.05	103.46	21.30	18.02	20000	0.20	0.48	1.19
3.00	1.0	2	21.02	7.39	22.14	95.52	16.76	11.76	20000	0.20	0.45	1.64
4.00	1.0	2	21.17	7.78	22.28	89.47	13.28	7.09	20000	0.20	0.43	2.07
5.00	1.0	3	21.35	8.28	22.46	84.43	10.62	3.77	90000	0.20	0.09	2.16
6.00	1.0	3	21.59	8.86	22.68	79.85	8.58	1.50	90000	0.20	0.09	2.25
7.00	1.0	3	21.86	9.52	22.94	75.48	6.97	-0.02	90000	0.20	0.08	2.33
8.00	1.0	3	22.18	10.23	23.24	71.26	5.69	-1.02	90000	0.20	0.08	2.41
9.00	1.0	3	22.54	10.98	23.59	67.20	4.64	-1.64	90000	0.20	0.07	2.48
10.00	1.0	3	22.94	11.77	23.96	63.33	3.79	-2.03	90000	0.20	0.07	2.55
11.00	1.0	3	23.37	12.59	24.38	59.67	3.07	-2.24	90000	0.20	0.07	2.62
12.00	1.0	3	23.83	13.44	24.83	56.22	2.48	-2.35	90000	0.20	0.06	2.68
13.00	1.0	3	24.33	14.30	25.30	52.99	1.98	-2.37	90000	0.20	0.06	2.74
14.00	1.0	3	24.86	15.18	25.81	49.97	1.57	-2.35	90000	0.20	0.06	2.80
15.00	1.0	3	25.42	16.08	26.35	47.14	1.22	-2.30	90000	0.20	0.05	2.85

17 **VALUTAZIONE DELLE INCIDENZE**

Si riportano, di seguito, i risultati ottenuti dalla valutazione delle incidenze degli elementi che costituiscono il sottovia.

Elemento	Incidenza Kg/mc	Incidenza Kg/mc	Incidenza Kg/mc	Incidenza Kg/mc
	Principale	Ripartizione	Totale	Totale Adottata
SOLETTA SUP.	<b>113</b>	<b>26</b>	<b>139</b>	<b>140</b>
PIEDRITTI	<b>74</b>	<b>31</b>	<b>105</b>	<b>110</b>
SOLETTA INF.	<b>112</b>	<b>34</b>	<b>146</b>	<b>150</b>