

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO

TRATTA CESANO VIGNA DI VALLE

Tombini idraulici scatolari

Relazione di calcolo tombini scatolari ferroviari - Opere definitive

SCALA:

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

NR1J 01 D 29 CL IN0000 004 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	F. Serrau	10-2018	P. Di Nucci	10-2018	T. Paoletti	10-2018	F. Serrau Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Roma-Viterbo Arduini Provincia di Roma
B	Revisione	F. Serrau	05-2020	M. Monda	05-2020	T. Paoletti	05-2020	
		<i>F. Serrau</i>		<i>M. Monda</i>		<i>T. Paoletti</i>		

File: NR1J01D29CLIN000004B.DOC

n. Elab.: 278

## INDICE

1	PREMESSA .....	7
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	10
4	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	11
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	12
5.1	DATI GENERALI.....	12
5.2	CARATTERISTICHE TECNICHE.....	12
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	14
6.1	CRITERI DI PROGETTAZIONE TIPOLOGICA.....	14
7	CRITERI PROGETTUALI .....	15
7.1	VITA NOMINALE .....	15
7.2	CLASSE D'USO .....	15
7.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA .....	16
7.4	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	16
8	COMBINAZIONI DI CARICO .....	22
9	TOMBINO MODELLO 1: 2.00 X 1.50 M.....	26
9.1	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....	26
9.1.1	<i>Treni di carico</i> .....	31
9.1.2	<i>Spinta del terreno indotta dai treni di carico</i> .....	33
9.1.3	<i>Avviamento e frenatura</i> .....	35
9.1.4	<i>Serpeggio e centrifuga</i> .....	36
9.1.5	<i>Ritiro differenziale della soletta di copertura</i> .....	37
9.1.6	<i>Azione Termica</i> .....	39
9.2	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....	42

9.3	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	46
9.3.1	<i>Verifica soletta inferiore.....</i>	47
9.3.2	<i>Verifica soletta superiore .....</i>	51
9.3.3	<i>Verifica piedritti.....</i>	55
<b>9.4</b>	<b>TABELLA RIEPILOGATIVA INCIDENZA FERRI.....</b>	<b>60</b>
9.5	VERIFICA DEI CEDIMENTI A LUNGO TERMINE .....	60
9.6	VERIFICA DEI CEDIMENTI A BREVE TERMINE.....	62
<b>9.7</b>	<b>VERIFICA DI PORTANZA .....</b>	<b>63</b>
10	TOMBINO MODELLO 2: 2.00 X 2.00 M.....	70
10.1	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....	70
10.1.1	<i>Treni di carico.....</i>	75
10.1.2	<i>Spinta del terreno indotta dai treni di carico .....</i>	77
10.1.3	<i>Avviamento e frenatura .....</i>	79
10.1.4	<i>Serpeggio e centrifuga.....</i>	80
10.1.5	<i>Ritiro differenziale della soletta di copertura .....</i>	80
10.1.6	<i>Azione Termica .....</i>	83
10.2	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....	86
10.3	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	90
10.3.1	<i>Verifica soletta inferiore.....</i>	91
10.3.2	<i>Verifica soletta superiore .....</i>	95
10.3.3	<i>Verifica piedritti.....</i>	99
<b>10.4</b>	<b>TABELLA RIEPILOGATIVA INCIDENZA FERRI.....</b>	<b>104</b>
10.5	VERIFICA DEI CEDIMENTI A LUNGO TERMINE .....	105
10.6	VERIFICA DEI CEDIMENTI A BREVE TERMINE.....	106
<b>10.7</b>	<b>VERIFICA DI PORTANZA .....</b>	<b>107</b>
11	TOMBINO MODELLO 3: 2.50 X 1.20 M.....	113

<b>11.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....</b>	<b>113</b>
	<i>11.1.1 Treni di carico.....</i>	<i>118</i>
	<i>11.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico .....</i>	<i>120</i>
	<i>11.1.3 Avviamento e frenatura .....</i>	<i>122</i>
	<i>11.1.4 Serpeggio e centrifuga.....</i>	<i>123</i>
	<i>11.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura .....</i>	<i>123</i>
	<i>11.1.6 Azione Termica .....</i>	<i>126</i>
<b>11.2</b>	<b>DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....</b>	<b>129</b>
<b>11.3</b>	<b>VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....</b>	<b>133</b>
<b>11.4</b>	<b>VERIFICA SOLETTA INFERIORE .....</b>	<b>134</b>
	<i>11.4.1 Verifica soletta superiore .....</i>	<i>138</i>
	<i>11.4.2 Verifica piedritti.....</i>	<i>142</i>
<b>11.5</b>	<b>TABELLA RIEPILOGATIVA INCIDENZA FERRI.....</b>	<b>147</b>
<b>11.6</b>	<b>VERIFICA DEI CEDIMENTI A LUNGO TERMINE .....</b>	<b>148</b>
<b>11.7</b>	<b>VERIFICA DEI CEDIMENTI A BREVE TERMINE .....</b>	<b>150</b>
<b>11.1</b>	<b>VERIFICA DI PORTANZA .....</b>	<b>151</b>
<b>12</b>	<b>TOMBINO MODELLO 4: 4.00 X 2.00 M.....</b>	<b>156</b>
<b>12.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....</b>	<b>156</b>
	<i>12.1.1 Treni di carico.....</i>	<i>161</i>
	<i>12.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico .....</i>	<i>163</i>
	<i>12.1.3 Avviamento e frenatura .....</i>	<i>165</i>
	<i>12.1.4 Serpeggio e centrifuga.....</i>	<i>166</i>
	<i>12.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura .....</i>	<i>167</i>
	<i>12.1.6 Azione Termica .....</i>	<i>169</i>
<b>12.2</b>	<b>DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....</b>	<b>172</b>
<b>12.3</b>	<b>VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....</b>	<b>176</b>

12.3.1	Verifica soletta inferiore.....	177
12.3.2	Verifica soletta superiore .....	181
12.3.3	Verifica piedritti.....	185
<b>12.4</b>	<b>TABELLA RIEPILOGATIVA INCIDENZA FERRI.....</b>	<b>190</b>
12.5	VERIFICA DEI CEDIMENTI A LUNGO TERMINE .....	191
12.6	VERIFICA DEI CEDIMENTI A BREVE TERMINE.....	193
<b>12.7</b>	<b>VERIFICA DI PORTANZA .....</b>	<b>194</b>
13	TOMBINO MODELLO 5: 3.00 X 3.00 M.....	199
<b>13.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....</b>	<b>199</b>
13.1.1	Treni di carico.....	204
13.1.2	Spinta del terreno indotta dai treni di carico .....	206
13.1.3	Avviamento e frenatura .....	208
13.1.4	Serpeggio e centrifuga.....	209
13.1.5	Ritiro differenziale della soletta di copertura .....	210
13.1.6	Azione Termica .....	212
13.2	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI.....	215
13.3	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.....	219
13.3.1	Verifica soletta inferiore.....	220
13.3.2	Verifica soletta superiore .....	224
13.3.3	Verifica piedritti.....	228
<b>13.4</b>	<b>TABELLA RIEPILOGATIVA INCIDENZA FERRI.....</b>	<b>233</b>
13.5	VERIFICA DEI CEDIMENTI A LUNGO TERMINE .....	234
13.6	VERIFICA DEI CEDIMENTI A BREVE TERMINE.....	236
<b>13.7</b>	<b>VERIFICA DI PORTANZA .....</b>	<b>237</b>
14	TOMBINO MODELLO 6: 3.00 X 4.00 M.....	242
<b>14.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....</b>	<b>242</b>

14.1.1	<i>Treni di carico</i>	247
14.1.2	<i>Spinta del terreno indotta dai treni di carico</i>	249
14.1.3	<i>Avviamento e frenatura</i>	251
14.1.4	<i>Serpeggio e centrifuga</i>	252
14.1.5	<i>Ritiro differenziale della soletta di copertura</i>	253
14.1.6	<i>Azione Termica</i>	255
14.2	DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI	258
14.3	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.	262
14.3.1	<i>Verifica soletta inferiore</i>	263
14.3.2	<i>Verifica soletta superiore</i>	267
14.3.3	<i>Verifica piedritti</i>	271
14.4	<b>TABELLA RIEPILOGATIVA INCIDENZA FERRI</b>	276
14.5	VERIFICA DEI CEDIMENTI A LUNGO TERMINE	277
14.6	VERIFICA DEI CEDIMENTI A BREVE TERMINE	279
14.7	VERIFICA DI PORTANZA	280

## 1 PREMESSA

Il progetto di raddoppio della tratta Cesano – Vigna di Valle, sulla linea ferroviaria Roma – Viterbo, costituisce la prima fase funzionale del più esteso intervento di raddoppio tra Cesano e Bracciano, previsto dal recente Accordo Quadro tra Regione Lazio e RFI del 22/02/2018.

Complessivamente il progetto prevede la realizzazione dei tombini riassunti schematicamente nella seguente tabella:

**Tabella Tombini**

Opera	Pk [km]	Esistente [m]	Sezioni [-]		Dimensioni axbxc [m]	h_in	h_Ou	L canna [m]	imed	Quota PF [m]	Ricoprimento [m]	Svilupp
IN01	28+441	0.9x1.30	Scatolare	ferroviario	2.00x1.50x0.4	154.07	153.90	16.500	0.005	157.19	1.205	
IN03	29+265	1.00x2.00	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	154.53	154.45	16.500	0.003	158.33	1.340	
IN04	29+553	0.8x0.5	Circolare	ferroviario	DN1500	156.80	156.70	15.500	0.006	160.11	1.460	
IN06B	-	STRADALE	Scatolare	stradali	4.00x2.70x0.5	164.30	164.10	28.400		167.71	0.310	
IN07	30+870	1.02x0.7	Scatolare	ferroviario	2.50x1.20x0.4	163.85	163.75	15.500	0.005	166.57	1.170	
IN09	31+620	---	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	172.25	172.00	18.000	0.013	176.51	1.885	
IN11	32+272	1.00x1.10	Scatolare	ferroviario	2.00x1.50x0.4	182.55	182.50	14.200	0.005	185.71	1.185	
IN12	32+685	3.00x1.35	Scatolare	ferroviario	4.00x2.00x0.5	185.20	184.65	17.000	0.009	188.65	1.225	
IN14	34+545	0.80x1.10	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	208.67	208.50	17.300	0.011	212.38	1.295	
IN15	34+758	STRADALE	Scatolare	stradali	3.00x2.00x0.5	210.70	210.54	15.500	0.010	213.94	0.820	
IN16	35+009	0.80x0.80	Circolare	ferroviario	DN1500	215.68	215.50	18.000	0.010	219.48	1.990	
IN17	35+507	2.00x1.60	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	223.18	223.05	18.000	0.007	226.96	1.345	
IN18	35+780	1.00x1.93	Scatolare	ferroviario	2.00x1.50x0.4	226.33	226.28	18.000	0.006	229.41	1.105	
IN19	36+016	STRADALE	Scatolare	stradali	2.00x2.00x0.5	223.84	223.70	12.000		226.51	0.240	
IN20	36+243	1.00x1.46	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	228.20	228.00	21.200	0.011	232.18	1.580	
IN23	36+835	---	Scatolare	ferroviario	3.00x4.00x0.5	233.53	233.32	18.400	0.012	240.65	2.725	
IN24	37+054	---	Scatolare	ferroviario	3.00x3.00x0.5	237.05	236.71	22.600	0.015	243.93	3.550	
IN25	37+767	---	Scatolare	ferroviario	3.00x3.00x0.5	241.95	241.55	44.900	0.009	252.27	7.020	
NV06	39+015	STRADALE	Scatolare	stradali	1.60x1.00x0.4	245.100				247.020	0.520	

Tabella 1: numerazione tombini idraulici

Per la realizzazione dei summenzionati tombini si utilizzeranno le metodologie costruttive dove:

Opera	Pk [km]	Esistente [m]	Sezioni [-]		Dimensioni axbxc [m]	Modalità di esecuzione	Angolo Tombino-Binario	Ubicazione rispetto al tombino esistente	Modello geotecnico	TIPO
IN01	28+441	0.9x1.30	Scatolare	ferroviario	2.00x1.50x0.4	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	1	1
IN03	29+265	1.00x2.00	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	2a	1
IN04	29+553	0.8x0.5	Circolare	ferroviario	DN1500					
IN06B	-	STRADALE	Scatolare	stradali	4.00x2.70x0.5					
IN07	30+870	1.02x0.7	Scatolare	ferroviario	2.50x1.20x0.4	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	FUORI ASSE	3	1
IN09	31+620	---	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	IN VARIANTE	90°	IN VARIANTE	3	4
IN11	32+272	1.00x1.10	Scatolare	ferroviario	2.00x1.50x0.4	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	4	1
IN12	32+685	3.00x1.35	Scatolare	ferroviario	4.00x2.00x0.5	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	4	1
IN14	34+545	0.80x1.10	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	5	1
IN15	34+758	STRADALE	Scatolare	stradali	3.00x2.00x0.5					
IN16	35+009	0.80x0.80	Circolare	ferroviario	DN1500	IN VARIANTE	75°	IN VARIANTE	6	4
IN17	35+507	2.00x1.60	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	6	1
IN18	35+780	1.00x1.93	Scatolare	ferroviario	2.00x1.50x0.4	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	6	1
IN19	36+016	STRADALE	Scatolare	stradali	2.00x2.00x0.5					
IN20	36+243	1.00x1.46	Scatolare	ferroviario	2.00x2.00x0.5	In asse - Per fasi - Tubo provvisorio	90°	IN ASSE	7	1
IN23	36+835	---	Scatolare	ferroviario	3.00x4.00x0.5	IN VARIANTE	90°	IN VARIANTE	7	4
IN24	37+054	---	Scatolare	ferroviario	3.00x3.00x0.5	IN VARIANTE	90°	IN VARIANTE	7	4
IN25	37+767	---	Scatolare	ferroviario	3.00x3.00x0.5	IN VARIANTE	45°	IN VARIANTE	8	4
NV06	39+015	STRADALE	Scatolare	stradali	1.60x1.00x0.4					

- al tipo 1 corrispondono tombini in asse, realizzati per fasi, con l'ausilio di collettore provvisorio (vedasi elaborati grafici per ulteriori dettagli);
- nel tipo 4 sono ascrivibili tombini "in variante" ossia da realizzare nelle tratte ferroviarie in cui il tracciato di progetto si discosta dal tracciato esistente;

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche per i soli tombini idraulici scatolari.

## 2            **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- ✓ Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni»
- ✓ «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- ✓ Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 B – Manuale di Progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 2. Ponti e strutture, e relativi allegati (A, B, C)
- ✓ Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 B – Manuale di Progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 3. Corpo stradale, e relativi allegati (A, B, C, D, E)
- ✓ Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni»
- ✓ Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- ✓ Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- ✓ UNI EN 1998-1:2013 – Strutture in zone sismiche – parte 1: generale ed edifici.
- ✓ UNI EN 1998-2:2011 – Strutture in zone sismiche –parte 2: ponti.
- ✓ UNI EN 1992-1-1: EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- ✓ DECRETO 31 luglio 2012 Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici.

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Vengono presi a riferimento tutti gli elaborati grafici progettuali di pertinenza.

TOMBINI IDRAULICI																					
Tipologico tombino circolare ferroviario	Varie	N	R	1	J	0	1	D	2	9	B	Z	I	D	0	0	0	2	0	0	7
Tipologico tombino scatolare ferroviario	Varie	N	R	1	J	0	1	D	2	9	B	Z	I	D	0	0	0	2	0	0	8
Tipologico tombino circolare stradale	Varie	N	R	1	J	0	1	D	2	9	B	Z	I	D	0	0	0	2	0	0	9
Tombini ferroviari - Fasi costruttive 1/2 - Tombini con ricoprimento < 2.5m	Varie	N	R	1	J	0	1	D	2	9	B	Z	I	N	0	0	0	0	0	0	1
Relazione di calcolo tombino circolare ferroviario	-	N	R	1	J	0	1	D	2	9	C	L	I	N	0	0	0	0	0	0	3
Relazione di calcolo tombino scatolare ferroviario - Opere definitive	-	N	R	1	J	0	1	D	2	9	C	L	I	N	0	0	0	0	0	0	4

## 4 UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

### unità di misura principali

<b>N</b>	(Newton)	unità di forza
<b>m</b>	(metro)	unità di lunghezza
<b>kg</b>	(kilogrammo-massa)	unità di massa
<b>s</b>	(secondo)	unità di tempo

### unità di misura derivate

<b>kN</b>	(kiloNewton)	$10^3$ N
<b>MN</b>	(megaNewton)	$10^6$ N
<b>kgf</b>	(kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b>	(centimetro)	$10^{-2}$ m
<b>mm</b>	(millimetro)	$10^{-3}$ m
<b>Pa</b>	(Pascal)	1 N/m <sup>2</sup>
<b>kPa</b>	(kiloPascal)	$10^3$ N/m <sup>2</sup>
<b>MPa</b>	(megaPascal)	$10^6$ N/m <sup>2</sup>
<b>N/m<sup>3</sup></b>	(peso specifico)	
<b>g</b>	(accelerazione di gravità)	~9.81 m/s <sup>2</sup>

### corrispondenze notevoli

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ kN/m}^3 \sim 100 \text{ kgf/m}^3$$

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$	(gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	(sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\tau$	(tau)	tensione tangenziale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\epsilon$	(epsilon)	deformazione	(m/m - adimensionale)
$\varphi$	(fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Dati generali

L'opera è in calcestruzzo cementizio armato.

Le caratteristiche dei materiali previsti dal progetto sono le seguenti:

- Calcestruzzo  
Si prevede solo l'impiego di calcestruzzo gettato in opera.
- Armature lente in barre  
Si utilizza acciaio tipo B450C.

### 5.2 Caratteristiche tecniche

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 del D.M. 17 gennaio 2018. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi del D.M. citato.

#### CALCESTRUZZO STRUTTURE SCATOLARI C30/37

$R_{ck} =$	37	<b>Mpa</b>	Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica del calcestruzzo a 28 gg
$f_{ck} =$	30	<b>Mpa</b>	Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo a 28 gg
$f_{cm} =$	38	<b>Mpa</b>	Valore medio della resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo
$f_{ctm} =$	2.9	<b>Mpa</b>	Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo
$f_{ctm} =$	3.48		Valore medio della resistenza a trazione per flessione del calcestruzzo
$f_{ctk,0,05} =$	2.0	<b>Mpa</b>	Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo (frattile del 5%)
$f_{ctk,0,95} =$	3.8	<b>Mpa</b>	Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo (frattile del 95%)
$E_{cm,t0} =$	33000	<b>Mpa</b>	Modulo di elasticità secante del calcestruzzo
$E_{cm,t\infty} =$		<b>Mpa</b>	Modulo di elasticità secante del calcestruzzo atempo infinito
$\epsilon_{c1} =$	2.2	%	Deformazione di contrazione del calcestruzzo alla tensione di picco
$\epsilon_{cu1} =$	3.5	%	Deformazione ultima di contrazione del calcestruzzo
$\epsilon_{c2} =$	2.0	%	Deformazione di contrazione del calcestruzzo alla tensione di picco
$\epsilon_{cu2} =$	3.5	%	Deformazione ultima di contrazione del calcestruzzo
$n =$	2.00		
$\epsilon_{c3} =$	1.8	%	Deformazione di contrazione del calcestruzzo alla tensione di picco
$\epsilon_{cu3} =$	3.5	%	Deformazione ultima di contrazione del calcestruzzo

Classe di esposizione XA1

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	13 di 284

Acciaio per ca

<b>TIPO</b>	<b>B450 C</b>	<b>Mpa</b>	Tipo di acciaio
$f_{yk} =$	450	<b>Mpa</b>	Tensione Caratteristica di Snervamento
$f_{tk} =$	540	<b>Mpa</b>	Tensione Caratteristica di Rottura
Verifiche agli SLU			
$\gamma_s =$	1.15		Coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio
$f_{yd} =$	391.30	<b>Mpa</b>	Resistenza di calcolo a Trazione dell'Acciaio
Verifiche agli SLE			
$\sigma_s =$	360	<b>Mpa</b>	Massima tensione nel l'acciaio in Esercizio

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 6.1 Criteri di progettazione tipologica

In accordo alla modellazione geotecnica effettuata lungo la tratta ferroviaria oggetto di studio, il terreno di fondazione su cui poggiano i tombini è classificabile come:

- Limo sabbioso debolmente argilloso (modelli geotecnici 1, 4 e 7);
- Depositi vulcanici debolmente addensato con inclusi litici eterogenei (modello geotecnico 2);
- limo sabbioso (modelli geotecnici 3 e 9);
- Sabbia limosa/limo sabbioso (modelli geotecnici 5 e 6);
- Limo argilloso mediamente addensato con sabbia (modello geotecnico 8).

Le unità geotecniche succitate presentano parametri molto simili per cui, nei calcoli strutturali e geotecnici, sarà possibile far riferimento ad una singola unità di terreno contraddistinta dai valori più sfavorevoli dei parametri geotecnici.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri di tale unità e del ricoprimento (rilevato ferroviario):

Strato	Descrizione	Peso di volume $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	Modulo Eu (MPa)
1	Ricoprimento	20.00	38.00	0.00	0.00	-	-
2	Fondazione - Limo sabbioso	16.00	26.00	0.00	50.00	15.00	45.00

Ai fini del dimensionamento strutturale verrà svolto un calcolo per ogni sezione tipo considerando la situazione più sfavorevole anche per quanto riguarda i carichi (permanenti e accidentali) gravanti sulla struttura.

Nel caso in cui per la medesima tipologia di tombino si hanno ricoprimenti diversi, dovrà essere considerato:

- il carico permanente non strutturale (dovuto al peso del terreno e del rilevato) calcolato considerando il ricoprimento massimo, che rappresenta la situazione più svantaggiosa in quanto genera un carico verticale maggiore ed inoltre al ricoprimento massimo corrisponde un'azione inerziale maggiore (valido per i modelli di calcolo n°1-2-5);
- l'effetto dei carichi da traffico valutato per il valore di ricoprimento minimo in modo da massimizzare i suoi effetti sulla struttura.

sezione tipo n°	TIPOLOGIA	N° modello	B/ø [m]	H [m]	qtà	ricoprimento max [m]	ricoprimento min [m]
1	Tombini rettangolare	1	2.00	1.50	3	1.205	1.105
1-4	Tombini rettangolari	2	2.00	2.00	5	1.885	1.295
1	Tombino rettangolare	3	2.50	1.20	1	1.17	1.17
1	Tombino rettangolare	4	4.00	2.00	1	1.225	1.225
4	Tombini rettangolari	5	3.00	3.00	2	7.02	3.55
4	Tombini rettangolari	6	3.00	4.00	1	2.725	2.725

Ad ogni sezione corrisponde un modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento e la verifica dei tombini.

Nel presente documento, come accennato, si affronta il solo calcolo strutturale dei tombini scatolari.

## 7 CRITERI PROGETTUALI

### 7.1 Vita Nominale

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I.

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale $V_N$ [Anni] <sup>(2)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V < 250$ Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V \geq 250$ km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(2)</sup>
(1) – La stessa $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprighiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

Tab. 2.5.1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione:

- 2) Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari, per cui si considera vita nominale **75 anni**.

### 7.2 Classe d'uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso:

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Il coefficiente d'uso è pari a: **1.00.**

### 7.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Pertanto:

$$V_R = 75 \times 1.0 = \mathbf{75 \text{ anni}}$$

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

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

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R = 712$

### 7.4 Valutazione dell'azione sismica

Le opere in oggetto sono progettate per una vita nominale  $V_N = 75 \text{ anni}$  ed una classe d'uso II a cui corrisponde un coefficiente d'uso  $C_U = 1.0$ .

L'azione sismica di progetto è definita per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Il periodo di ritorno di quest'ultima - in funzione della vita utile, della classe d'uso, del tipo di costruzione e dello stato limite di riferimento (prima definiti) - è di 712 anni.

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ .

$a_g \rightarrow$  accelerazione massima al sito;

$F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^* \rightarrow$  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 tracciato oggetto di studio ha una lunghezza di circa 12 km. Dal punto di vista della caratterizzazione sismica è stato suddiviso in due tratte:

- Tratto 1: dalla pk 27 +769 alla pk 34+500
- Tratto 2: dalla pk 34+500 alla pk 39+497

All'interno dei tratti sono state individuate tre categorie di sottosuolo:

- Categoria di sottosuolo B a cui corrisponde un valore di  $S_s$  pari a 1.20
- Categoria di sottosuolo C a cui corrisponde un valore di  $S_s$  pari a 1.50
- Categoria di sottosuolo E a cui corrisponde un valore di  $S_s$  pari a 1.60

Per tutti i tipi tombino, a favore di sicurezza si decide di considerare la categoria di sottosuolo la quella E.

In accordo con quanto riportato nella Relazione Geotecnica Generale che specifica la caratterizzazione sismica di tutta la linea, il valore dell'accelerazione  $a_g$  risulta essere molto simile lungo tutta la tratta per cui, a vantaggio di sicurezza si sceglie di considerare nei modelli di calcolo il valore maggiore valutato in corrispondenza del comune di Anguillara Sabazia. E che risulta essere pari a:

$$a_g=0.074 \text{ g}$$

Per la categoria di sottosuolo la categoria E a cui è associato un valore di  $S_s$  pari a 1.60.

Utilizzando il foglio di calcolo del ministero si riporta di seguito la procedura per la valutazione dei parametri sismici che come precedentemente spiegato verrà considerata in corrispondenza del comune di Anguillara Sabazia per una categoria di sottosuolo E.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATTITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

**Elaborazioni grafiche**

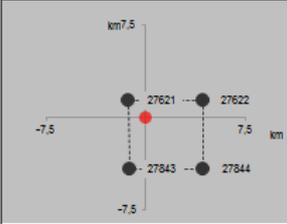
Grafici spettri di risposta >

Variabilità dei parametri >

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri >

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**

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

**Interpolazione**



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

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 1: Fase 1, individuazione della pericolosità del sito

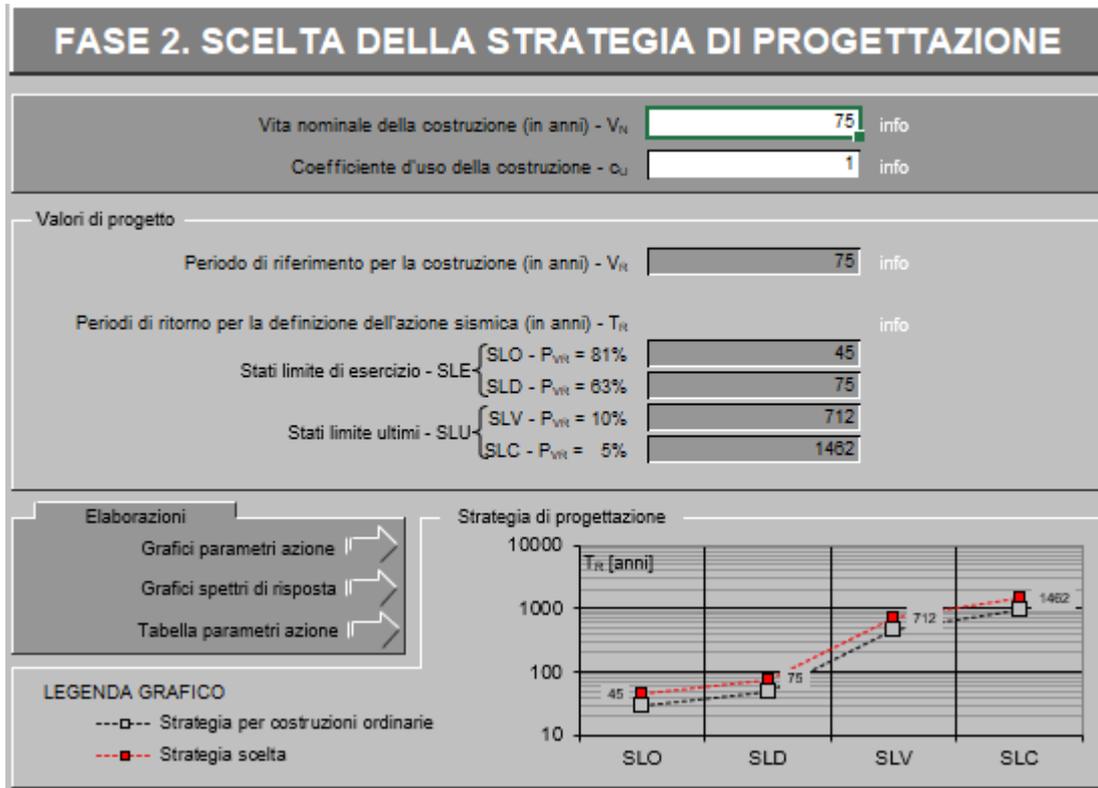


Figura 2: Fase 2, scelta della strategia di progettazione

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0,038	2,654	0,252
SLD	75	0,044	2,669	0,276
SLV	712	0,074	2,941	0,351
SLC	1462	0,086	3,020	0,384

Figura 3: Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato \$LV\$**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,074 g
$F_0$	2,941
$T_C$	0,351 s
$S_s$	1,800
$C_C$	1,747
$S_T$	1,000
q	1,000

**Parametri dipendenti**

S	1,800
$\eta$	1,000
$T_B$	0,205 s
$T_C$	0,814 s
$T_D$	1,898 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	$S_e$ [g]
0,000	0,119
0,205	0,350
0,814	0,350
0,875	0,319
0,738	0,292
0,797	0,270
0,859	0,250
0,920	0,234
0,981	0,219
1,042	0,206
1,103	0,195
1,164	0,185
1,225	0,178
1,286	0,167
1,348	0,160
1,409	0,153
1,470	0,146
1,531	0,140
1,592	0,135
1,653	0,130
1,714	0,125
1,775	0,121
1,837	0,117
1,898	0,113
1,998	0,102
2,098	0,093
2,198	0,084
2,298	0,077
2,398	0,071
2,498	0,065
2,599	0,060
2,699	0,056
2,799	0,052
2,899	0,049
2,999	0,045
3,099	0,042
3,199	0,040
3,299	0,037
3,399	0,035
3,499	0,033
3,600	0,031
3,700	0,030
3,800	0,028
3,900	0,027
4,000	0,026

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Figura 4: Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo SLV

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera

utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. Si assume un fattore di struttura  $q=1$ .

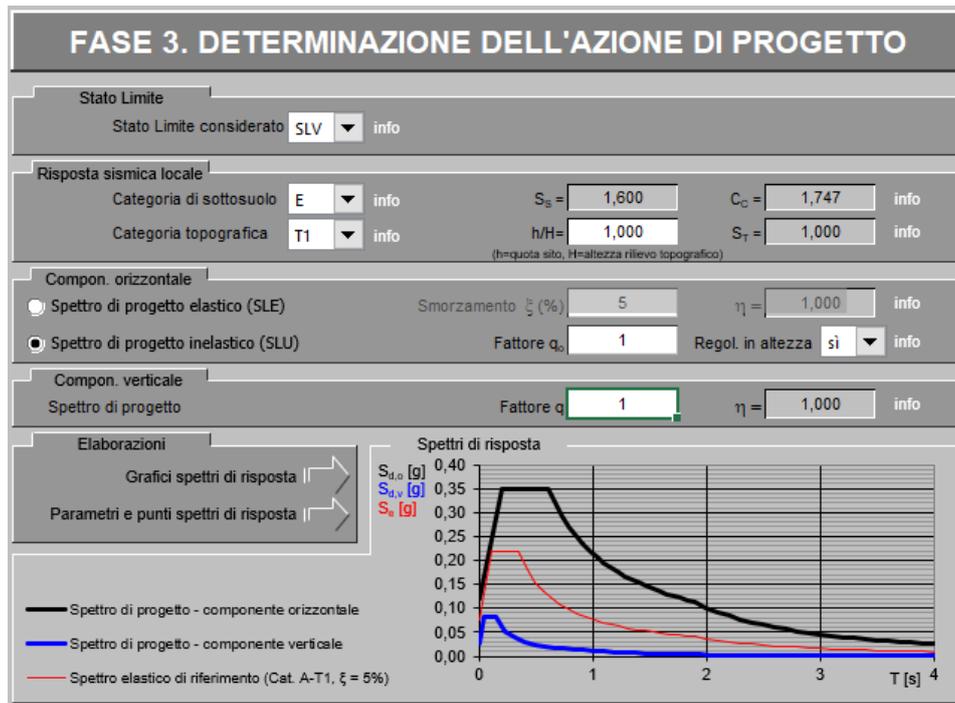


Figura 5: Determinazione dell'azione di progetto

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovraspinta sismica è calcolata con la teoria di **Wood**, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad  $H/2$ .

$$\Delta P_d = a_{\max} (\%) \gamma H^2$$

Nelle analisi sismiche si assume il convoglio di progetto relativo ai carri con assi da 250 kN ed interasse costante ripartito al livello dell'asse della soletta superiore e incrementato del coefficiente di adattamento e del coefficiente dinamico.

Non si considerano associate al convoglio azioni di frenatura in quanto l'azione sismica è in direzione ortogonale alla canna del sottopasso. Si considera quindi il carico **LM71** con un **coefficiente di partecipazione 0.20**.

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

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

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

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

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

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

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

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

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

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

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

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

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

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

**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.

(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

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

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente  $\psi_2 = 0.2$  (punto 3.2.4 del DM 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

**Tabella 1 – Riepilogo condizioni di carico**

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

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

**Tabella 2 - Combinazioni di carico**

COMB	DEAD	STS	STD	RIT	$\Delta T$	PERM	FALDA	TRM	TRV	SAS	SAD	TRAF	AVV	$E_H$	$E_V$
n° 1 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	-	-	-	-	-	-		-	-
n° 2 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	-								
n° 3 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50									
n° 04 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35	-	-	-	-	-		-	-

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NR1J 01 D 29 CL IN0000 004 B 25 di 284

COMB	DEAD	STS	STD	RIT	$\Delta T$	PERM	FALDA	TRM	TRV	SAS	SAD	TRAF	AVV	E <sub>H</sub>	E <sub>V</sub>
n° 05 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	1.50	1.50	1.35								
n° 06 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	1.50	1.50	1.35								
n° 07 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45	-	1.45	-	-
n° 08 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45		1.45		
n° 09 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	1.45		1.45		
n° 10 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45	-	-
n° 11 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45		
n° 12 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	-	1.45	1.45	1.45	1.01	1.45		
n° 13 SLU-STR	1.35	1.35	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 14 SLU-STR	1.35	1.35	1.00	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 15 SLU-STR	1.35	1.00	1.35	1.20	0.90	1.50	1.35	1.45	-	1.45	-	1.01	1.45	-	-
n° 16 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
n° 17 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	-0.30
n° 18 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	0.30
n° 19 SLU - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-	0.20	-	0.20	-	-	0.20	1.00	-0.30
GEO	1.00	1.30	1.00	1.00	0.60	1.30	1.00	1.25	-	1.25	-	-	1.25	-	-
GEO - SISMICA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.20		0.20			0.20	1.00	0.30
SLE - Q.P.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.00	-	0.00	-	-	0.00	-	-
SLE - Frequente	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.80	-	0.80	-	-	0.80	-	-
SLE - Rara	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-	1.00	-	-

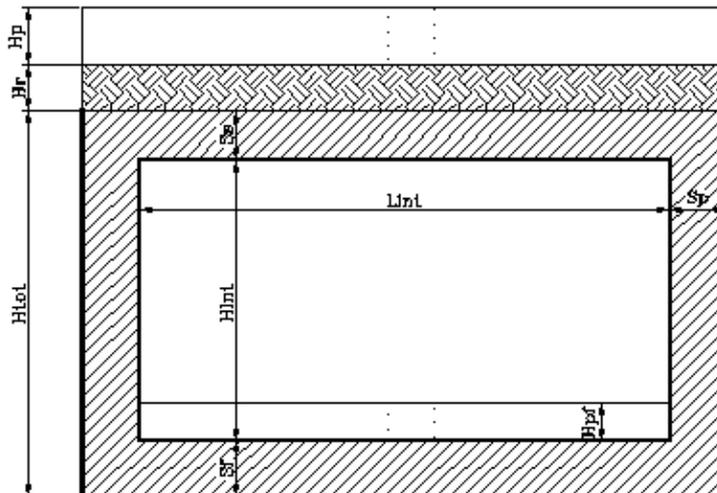
## 9 TOMBINO MODELLO 1: 2.00 X 1.50 M

### 9.1 Analisi dei carichi di progetto

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 2.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 1.50$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.40$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.40$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.40$  m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

### Geometria



DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	2.80	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	2.00	m
larghezza interasse	$L_a$	2.40	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.40	m
spessore piedritti	$S_p$	0.40	m
spessore fondazione	$S_f$	0.40	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	2.30	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	1.50	m
			m
spessore ballast	$H_{psup}$	0.80	m
ricoprimento	$H_{Rsup}$	0.31	m
spessore pacchetto interno	$H_{pinf}$	0.00	m
spessore ricoprimento interno	$H_{Rinf}$	0.00	m

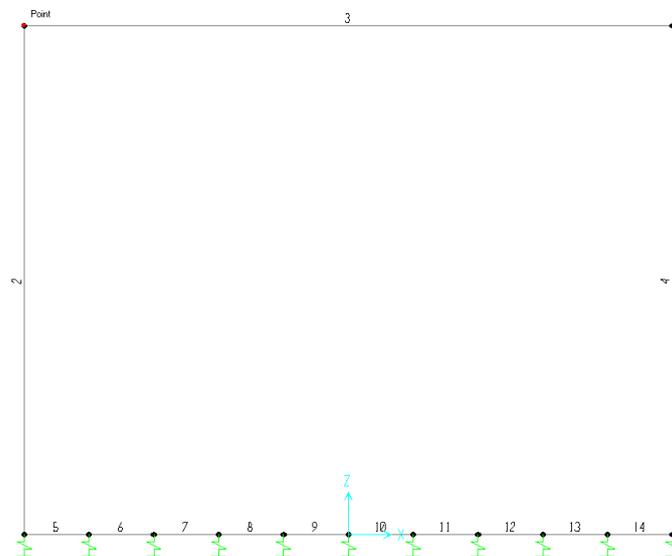
### Modello di calcolo

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

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

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

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazioni aste e nodi*

### *Valutazione della rigidità delle molle*

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

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

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

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

E =	15000	kN/m <sup>2</sup>
n =	0.3	
B =	2.8	m
L =	20.0	m
L/B =	7.14	
$c_t$ =	1.90	
$K_w$ =	3094	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 3000 kN/m<sup>3</sup>.

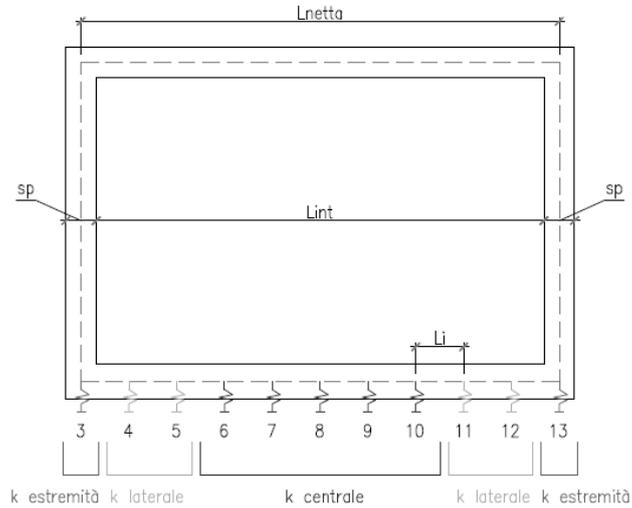
Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 3000$  kN/mc in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

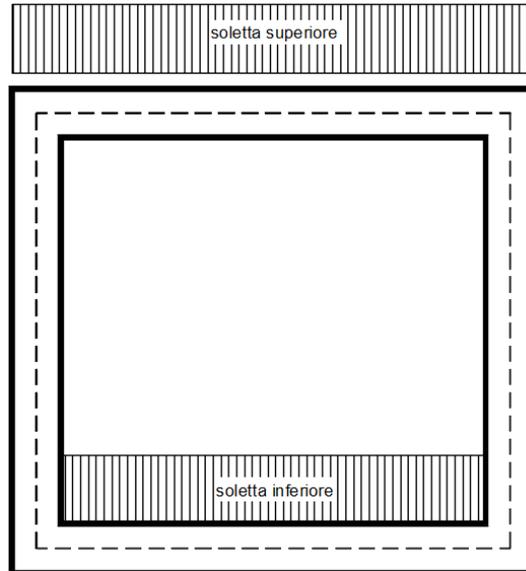
Molle laterali  $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$  [kN/m]



## Analisi dei carichi

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

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	10.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>10.00 kN/m</b>
	- Peso Ballast	14.40 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 31 cm	6.20 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>20.60 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	10.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>10.00 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	10.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>10.00 kN/m</b>



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 4.12 kN.

### *Spinta in presenza di falda*

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

$$u = \gamma_w \cdot z$$

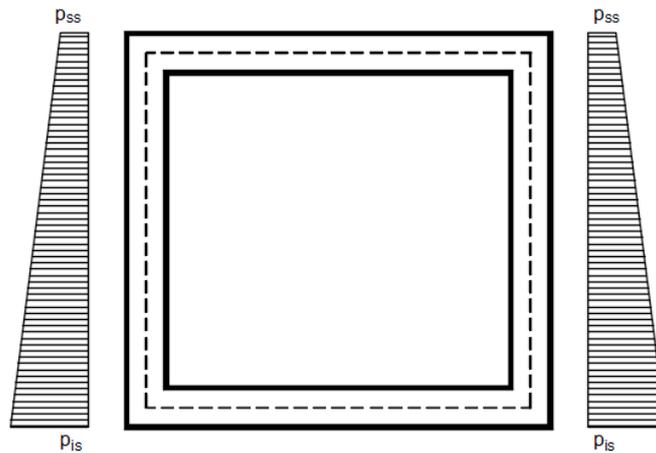
L'opera non è interessata dalla falda.

### Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_o = 1 - \sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_o = 0.38$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = 10.1 \text{ kN/m}$$

$$p_{is} = p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 24.7 \text{ kN/m}$$

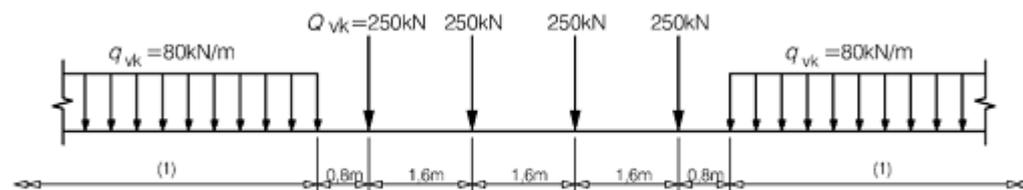


Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 1.86 kN ed inferiore con valore pari a 5.09 kN.

#### 9.1.1 Treni di carico

La ripartizione dei carichi è effettuata considerando lo spessore minimo di ricoprimento sull'opera pari a 1.01m così da massimizzare il carico accidentale

##### 9.1.1.1 Treno di carico LM71



Key  
(1) No limitation

Fig. 1 –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

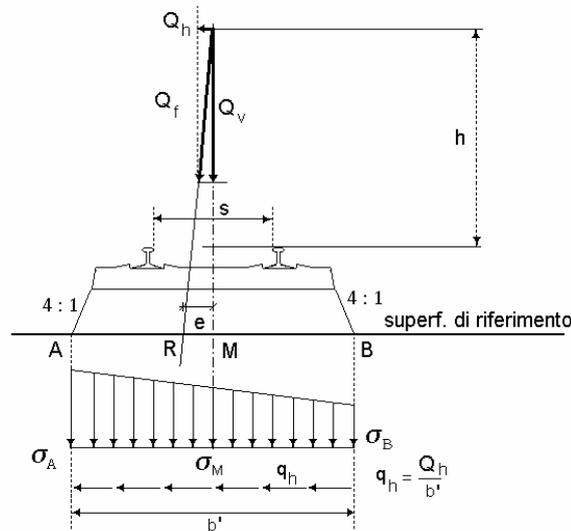
$\alpha$  = coefficiente di adattamento = 1.10

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al “Manuale di Progettazione delle Opere Civili”  
Considerando un ridotto standard manutentivo si ha (tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 punto 5.4):

$$\Phi_3 = 1.35$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all’angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all’interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all’asse binario risulta pari a:

$$L_{\text{trassv}} = 2.4 + [0.35/4 + H_{\text{rsup}} \cdot \tan(38^\circ) + S_3/2] \cdot 2 = 3.30 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{\text{long}} = 5.70$  m.

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{\text{trassv}} \cdot L_{\text{long}}) = 78.83 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

$$= 80 * 1.1 * \bar{\Phi}_3 / L_{\text{trasv}} = 35.97 \text{ kN/m}^2$$

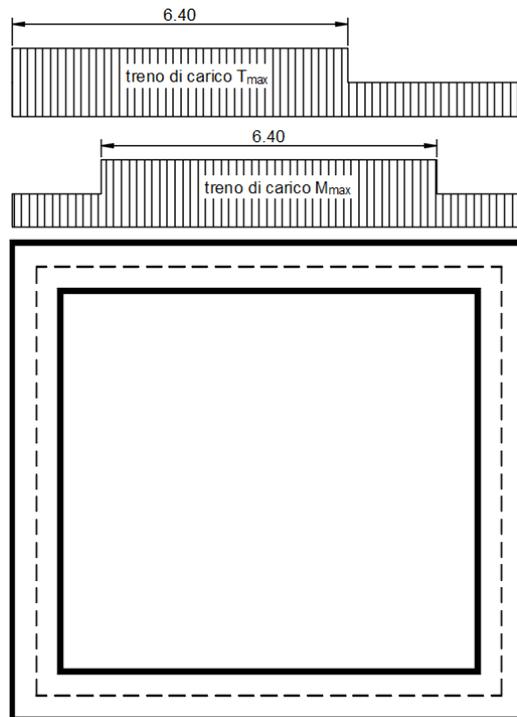
**Treni di carico SW/2**

$$Q_{\text{sw}/2} = 150 * 1.0 * \bar{\Phi}_3 / L_{\text{trasv}} = 61.31 \text{ kN/m}^2$$

**Treni di carico SW/0**

$$Q_{\text{sw}/0} = 133 * 1.1 * \bar{\Phi}_3 / L_{\text{trasv}} = 59.79 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti, per la dimensione dell'opera le due condizioni sono coincidenti.



Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 15.77 kN.

**9.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico**

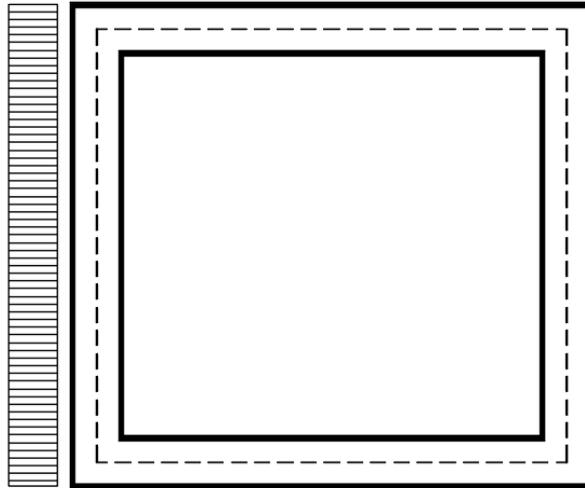
Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 28.16 \text{ kN/m}^2$$

La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

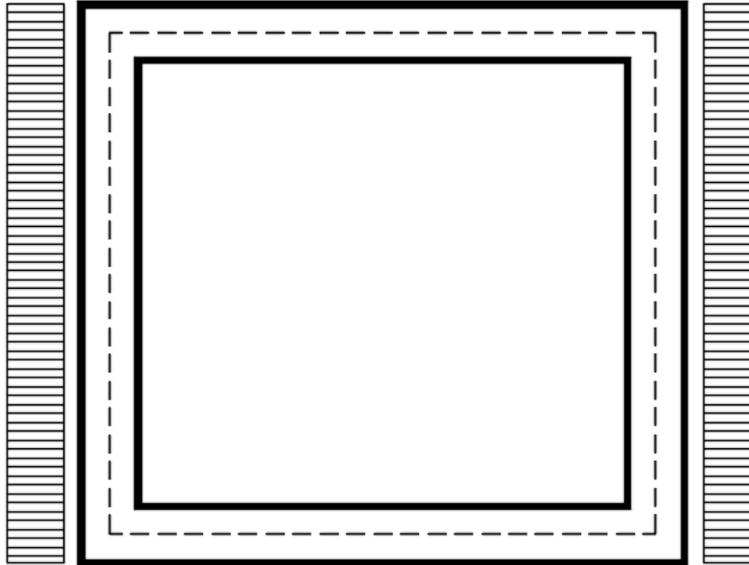
- a) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 5.63 kN ed inferiore con valore pari a 5.63 kN.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<i>Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari</i>	COMMESSA <b>NR1J</b>	LOTTO <b>01 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 004</b>	REV. <b>B</b>

b) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 5.63 kN ed inferiore con valore pari a 5.63 kN.

### 9.1.3 Avviamento e frenatura

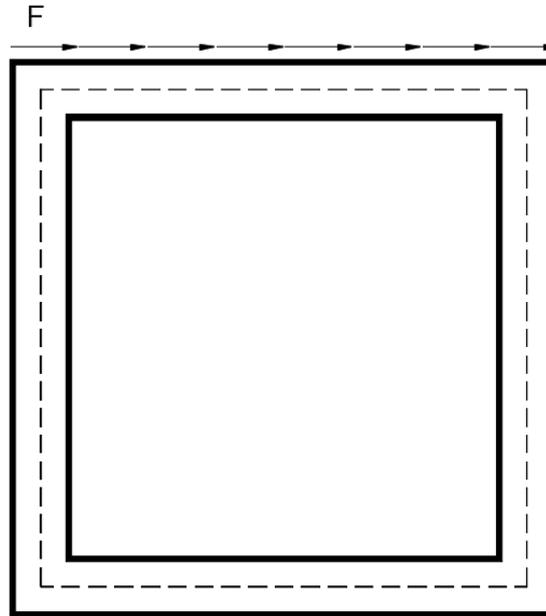
avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[m] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[m] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 10.5 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 2.10 kN.

#### **9.1.4 Serpeggio e centrifuga**

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

### 9.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura

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

#### Clis a t=0

$R_{ck}$	=	37	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	38.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33019	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

#### Tempo e ambiente

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	800	mm	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c$	=	400000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

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

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.982$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 131.52 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \right] \alpha_2 = 1.246 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.932 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.980 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.700 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del cls}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.649 \text{ coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 6.19 \text{ coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\alpha = 1 \text{ coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)}$$

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatorari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	38 di 284

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

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

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.951 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11072916 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000341 \text{ deformazioni di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000289 \text{ deformazioni al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.965785$$

$K_b =$

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

Valori di  $k_b$

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

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

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000428 \text{ deformazione di base}$$

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

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

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6 \text{ coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)}$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11 \text{ coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000052 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

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

$$\varepsilon_{ca,00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000052$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<i>Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari</i>	COMMESSA <b>NR1J</b>	LOTTO <b>01 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 004</b>	REV. <b>B</b>

### 9.1.6 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C.

#### Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

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

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.074$  g.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$S_s = 1.600$       Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$           Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1 * 0.074 \text{ g} = 0.118 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.118$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.059$$

### Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma * (H_{\text{tot}}) = 5.45 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 1.18 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 6.63 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

$$\text{Totale} = 1.18 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 1.73 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 2.44 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.18 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 5.36 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 1.33 kN ed inferiore con valore pari a 1.33 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.24 kN ed inferiore con valore pari a 0.24 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 0.59 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.87 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

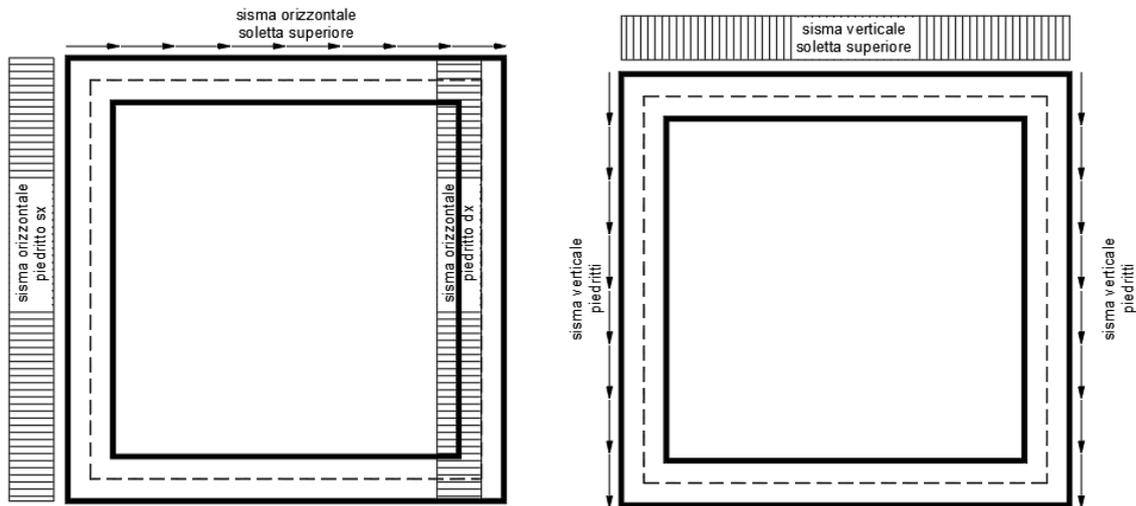
$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 1.22 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 0.59 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 2.68 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.54 kN.

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



### Spinta sismica terreno

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2 = 12.53 \text{ kN/m}$$

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

## 9.2 Diagrammi delle sollecitazioni

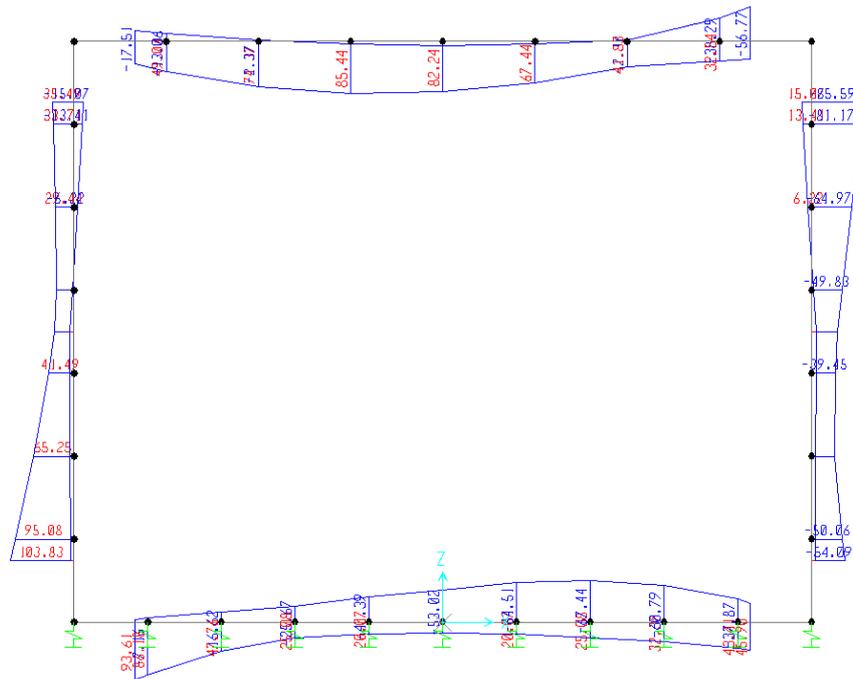


Fig. 2 – Involuppo momenti flettenti SLU

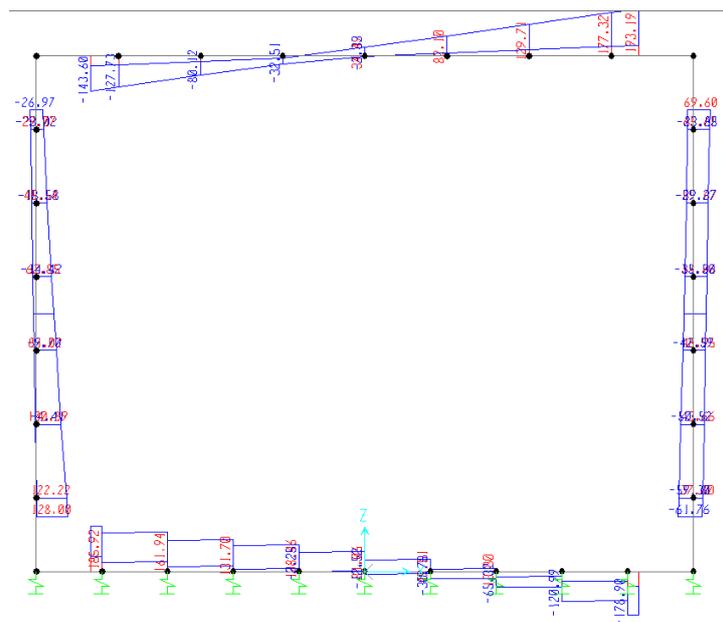


Fig. 3 – Involuppo sforzi taglienti SLU

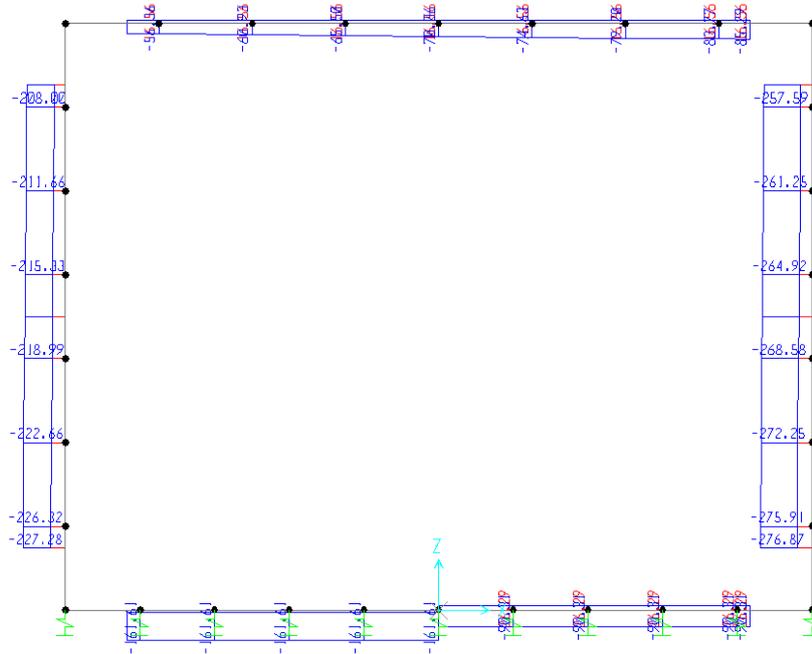


Fig. 4 – Involuppo azioni assiali SLU

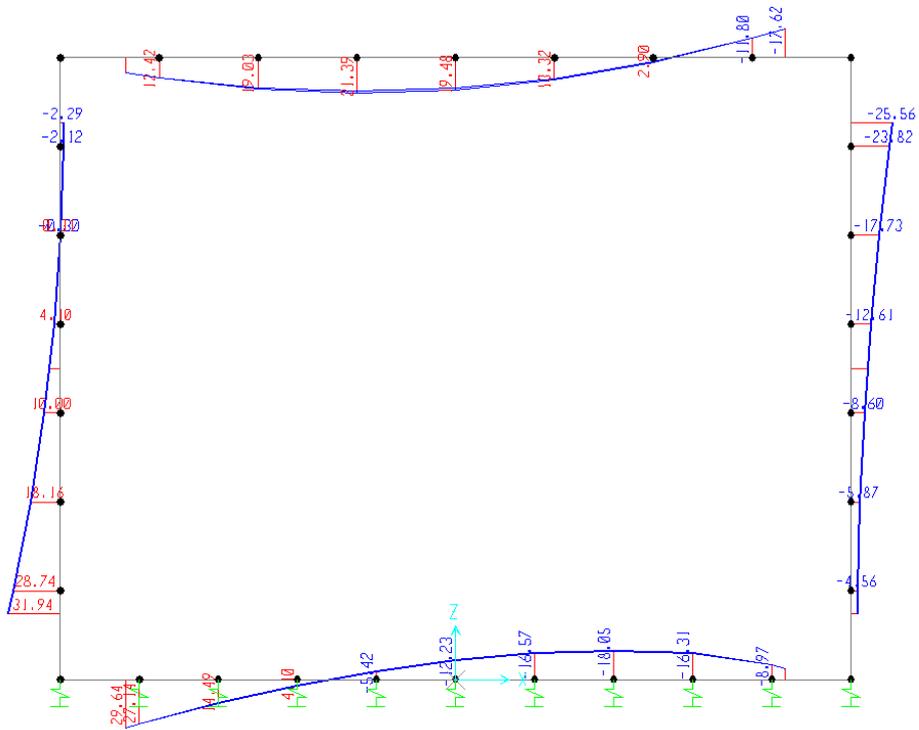


Fig. 5 – Involuppo momenti flettenti SLV

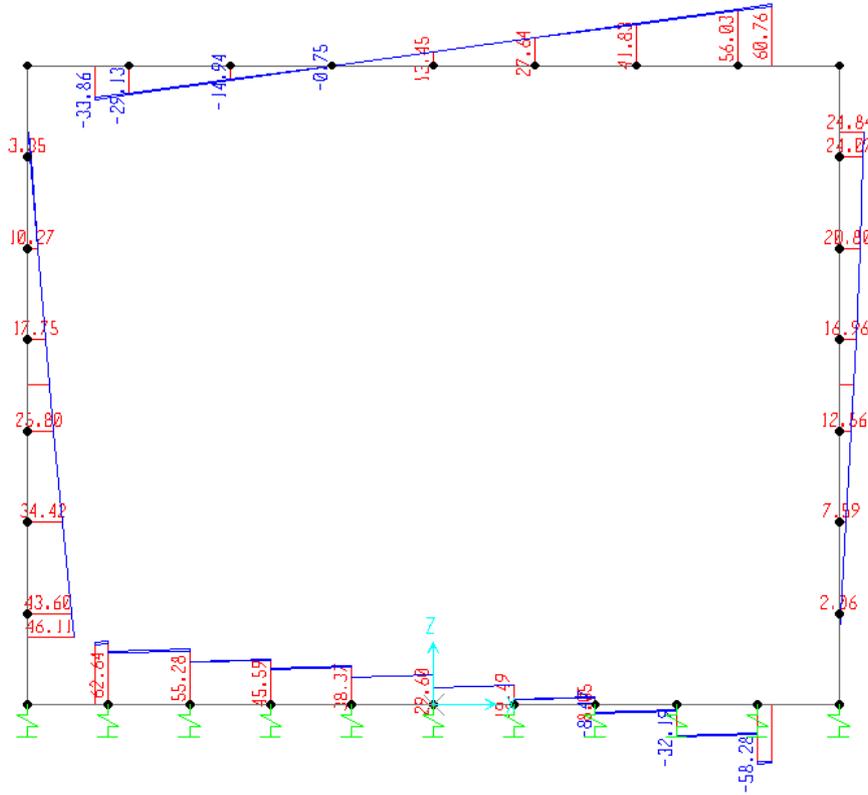


Fig. 6 – Inviluppo sforzi taglianti SLV

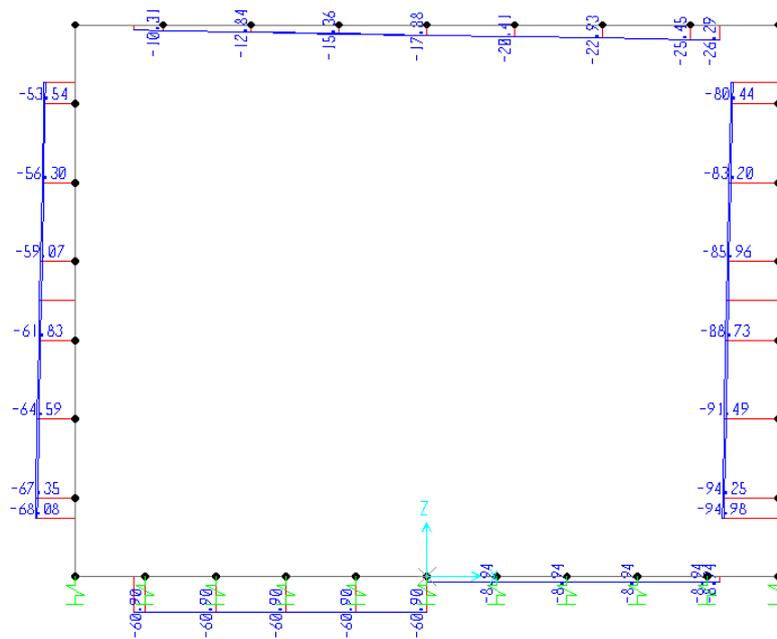


Fig. 7 – Inviluppo azioni assiali SLV

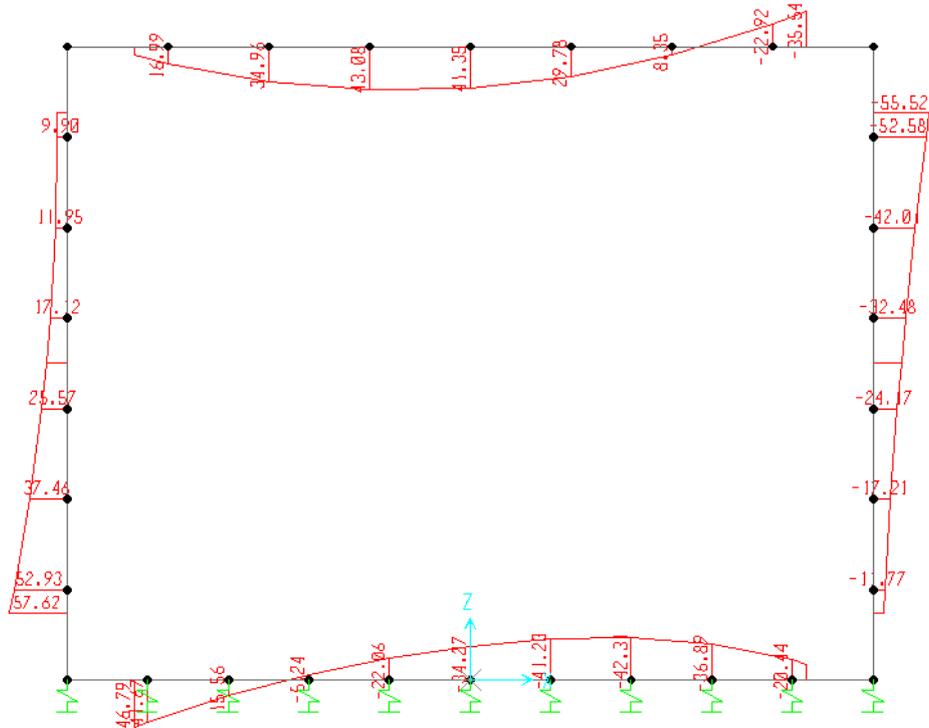


Fig. 8 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

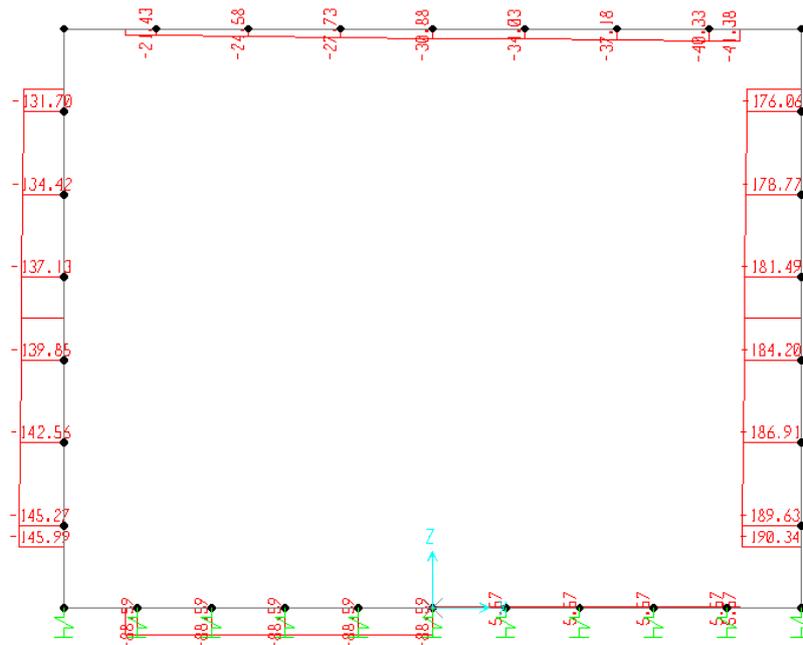


Fig. 9 – Involuppo azioni assiali SLE rara

### 9.3 Verifica delle sezioni in c.a.

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

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

SLU STR-SLV				
Elemento strutturale	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$I_{max}$ (kN)
soletta inferiore	SLU14-STR2	156.42	93.61	185.92
	SLU14-STR	-26.29	-67.44	-
soletta superiore	SLU13-STR	65.02	-56.77	193.19
	SLU14-STR2	14.25	85.44	-
piedritti	SLU02-STR2	59.83	-15.07	128.00
	SLU14-STR2	207.89	103.83	128.00
	SLU14-STR	256.62	85.59	69.60
	SLU03-STR2	59.83	-15.07	69.60

Elemento strutturale	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	106.03	63.36	soletta inferiore	92.36	54.25	soletta inferiore	55.72	31.08
	-5.58	-42.31		2.50	-33.48		22.35	-12.95
soletta superiore	41.39	-35.54	soletta superiore	34.15	-27.65	soletta superiore	16.82	-8.11
	10.29	59.65		8.70	51.84		0.19	33.31
piedritti	130.99	-3.21	piedritti	113.36	-2.54	piedritti	60.47	-3.78
	145.99	70.71		128.36	60.60		75.47	33.53
	175.34	55.52		148.84	44.88		84.34	24.13
	190.34	10.60		163.84	12.07		69.34	5.35

### 9.3.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 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	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	32.0	14
3	42.0	32.0	14
4	42.0	8.0	14

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.                      Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	48 di 284

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	14
2	2	3	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	156.42	93.61	185.92
2	-26.29	-67.44	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	106.03	63.36	0.00
2	-5.58	-42.31	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	92.36	54.25 (98.22)	0.00 (0.00)
2	2.50	-33.48 (-87.41)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	55.72	31.08 (98.89)	0.00 (0.00)
2	22.35	-12.95 (-98.39)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	156.42	93.61	156.60	211.86	2.26	30.8(12.0)
2	S	-26.29	-67.44	-26.35	-188.02	2.79	30.8(12.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	40.0	-0.00059	-42.0	32.0	-0.01287	-42.0	8.0
2	0.00350	-50.0	0.0	-0.00094	-42.0	8.0	-0.01427	42.0	32.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000511565	-0.016962585	----	----
2	0.000000000	-0.000555402	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil. [cm <sup>2</sup> /m]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	50 di 284

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	185.92	877.45	254.68	37.3  29.3	100.0	2.500	1.023	6.5	8.9(0.0)
2	S	0.00	1252.87	102.62	37.5  29.5	100.0	1.000	1.000	0.0	8.9(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	4.20	-50.0	40.0	-109.8	-42.0	8.0	945	15.4
2	S	2.82	-50.0	0.0	-98.7	32.7	32.0	995	15.4

### 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 fctm

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]  
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	-0.00077	0	0.500	14.0	73	0.00033 (0.00033)	394	0.130 (0.20)	98.00	0.00
2	S	-0.00067	0	0.500	14.0	73	0.00030 (0.00030)	402	0.119 (0.20)	-86.21	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	3.59	-50.0	40.0	-93.5	-42.0	8.0	945	15.4
2	S	2.23	-50.0	0.0	-75.8	32.7	32.0	995	15.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-------------	--------	----	---------	---------

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	51 di 284

1	S	-0.00065	0	0.500	14.0	73	0.00028 (0.00028)	394	0.111 (0.20)	98.22	0.00
2	S	-0.00052	0	0.500	14.0	73	0.00023 (0.00023)	402	0.091 (0.20)	-87.41	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	2.06	-50.0	40.0	-52.7	-32.7	8.0	945	15.4
2	S	0.86	-50.0	0.0	-22.2	32.7	32.0	945	15.4

#### 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	-0.00037	0	0.500	14.0	73	0.00016 (0.00016)	394	0.062 (0.20)	98.89	0.00
2	S	-0.00015	0	0.500	14.0	73	0.00007 (0.00007)	394	0.026 (0.20)	-98.39	0.00

Si adottano spille  $8\varnothing 12/m^2$

### 9.3.2 Verifica soletta superiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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 $\beta 1 * \beta 2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$ :	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	52 di 284

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	32.0	14
3	42.0	32.0	14
4	42.0	8.0	14

#### 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	14
2	2	3	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	65.02	-56.77	193.19
2	14.25	85.44	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	41.39	-35.54	0.00
2	10.29	59.65	0.00

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	53 di 284

N°Comb.	N	Mx	My
1	34.15	-27.65 (-94.85)	0.00 (0.00)
2	8.70	51.84 (87.97)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	16.82	-8.11 (-101.07)	0.00 (0.00)
2	0.19	33.31 (87.01)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	65.02	-56.77	65.11	-199.97	3.52	30.8(12.0)
2	S	14.25	85.44	14.13	193.31	2.26	30.8(12.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00077	-42.0	8.0	-0.01357	42.0	32.0
2	0.00350	-50.0	40.0	-0.00087	-42.0	32.0	-0.01396	-42.0	8.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000533418	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000545776	-0.018331039	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	193.19	869.24	260.26	37.4   29.4	100.0	2.500	1.010	6.7	9.1(0.0)
2	S	0.00	1253.60	104.32	37.4   29.4	100.0	1.000	1.002	0.0	9.1(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	2.36	-50.0	0.0	-67.5	32.7	32.0	945	15.4
2	S	3.98	-50.0	40.0	-133.0	-42.0	8.0	995	15.4

### 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]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	55 di 284

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	-0.00047	0	0.500	14.0	73	0.00020 (0.00020)	394	0.080 (0.20)	-94.36	0.00
2	S	-0.00091	0	0.500	14.0	73	0.00040 (0.00040)	402	0.160 (0.20)	88.00	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	1.84	-50.0	0.0	-51.9	32.7	32.0	945	15.4
2	S	3.46	-50.0	40.0	-115.7	-42.0	8.0	995	15.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00036	0	0.500	14.0	73	0.00016 (0.00016)	394	0.061 (0.20)	-94.85	0.00
2	S	-0.00079	0	0.500	14.0	73	0.00035 (0.00035)	402	0.140 (0.20)	87.97	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	0.53	-50.0	0.0	-13.0	32.7	32.0	945	15.4
2	S	2.22	-50.0	40.0	-76.2	-32.7	8.0	995	15.4

**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	-0.00009	0	0.500	14.0	73	0.00004 (0.00004)	394	0.015 (0.20)	-101.07	0.00
2	S	-0.00052	0	0.500	14.0	73	0.00023 (0.00023)	402	0.092 (0.20)	87.01	0.00

Si adottano spille 9Ø12/mq

**9.3.3 Verifica piedritti**

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	56 di 284

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:	337.50	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	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	32.0	14
3	42.0	32.0	14
4	42.0	8.0	14

#### 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	14
2	1	4	8	14

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

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

N° Comb.	N	Mx	Vy
1	59.83	-15.07	128.00
2	207.89	103.83	128.00
3	256.62	85.59	69.60
4	59.83	-15.07	69.60

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	130.99	-3.21	0.00
2	145.99	70.71	0.00
3	175.34	55.52	0.00
4	190.34	10.60	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	113.36	-2.54 (-94.85)	0.00 (0.00)
2	128.36	60.60 (99.57)	0.00 (0.00)
3	148.84	44.88 (109.44)	0.00 (0.00)
4	163.84	12.07 (724.60)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	60.47	-3.78 (-101.07)	0.00 (0.00)
2	75.47	33.53 (100.57)	0.00 (0.00)
3	84.34	24.13 (111.08)	0.00 (0.00)
4	69.34	5.35 (542.31)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	59.83	-15.07	59.73	-123.69	8.34	23.1(12.0)
2	S	207.89	103.83	208.18	217.50	2.08	23.1(12.0)
3	S	256.62	85.59	256.68	223.99	2.59	23.1(12.0)
4	S	59.83	-15.07	59.73	-123.69	8.34	23.1(12.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00138	-42.0	8.0	-0.01604	42.0	32.0
2	0.00350	-50.0	40.0	-0.00070	-42.0	32.0	-0.01329	-42.0	8.0
3	0.00350	-50.0	40.0	-0.00057	-42.0	32.0	-0.01278	-42.0	8.0
4	0.00350	-50.0	0.0	-0.00138	-42.0	8.0	-0.01604	42.0	32.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000610556	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000524573	-0.017482910	----	----
3	0.000000000	0.000508833	-0.016853317	----	----
4	0.000000000	-0.000610556	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	128.00	878.38	174.94	37.7  29.7	100.0	2.500	1.009	4.4	6.0(0.0)
2	S	128.00	885.99	172.73	37.3  29.3	100.0	2.500	1.031	4.5	6.0(0.0)
3	S	69.60	889.64	172.24	37.2  29.2	100.0	2.500	1.038	2.4	6.0(0.0)
4	S	69.60	878.38	174.94	37.7  29.7	100.0	2.500	1.009	2.4	6.0(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	0.40	-50.0	0.0	3.6	21.0	32.0	---	---
2	S	4.81	-50.0	40.0	-112.8	-42.0	8.0	895	15.4
3	S	3.72	-50.0	40.0	-70.0	-42.0	8.0	845	15.4
4	S	0.83	-50.0	40.0	3.2	-42.0	8.0	---	---

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

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm 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	-0.00047	0	---	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-94.36	0.00
2	S	-0.00080	0	0.500	14.0	73	0.00034 (0.00034)	387	0.131 (0.20)	99.17	0.00
3	S	-0.00051	0	0.500	14.0	73	0.00021 (0.00021)	379	0.080 (0.20)	108.02	0.00
4	S	0.00000	0.00000	---	---	---	---	---	0.000 (0.20)	0.00	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	0.33	-50.0	0.0	3.2	21.0	32.0	---	---
2	S	4.12	-50.0	40.0	-95.7	-42.0	8.0	895	15.4
3	S	3.00	-50.0	40.0	-54.5	-42.0	8.0	845	15.4
4	S	0.82	-50.0	40.0	1.8	-42.0	8.0	0	0.0

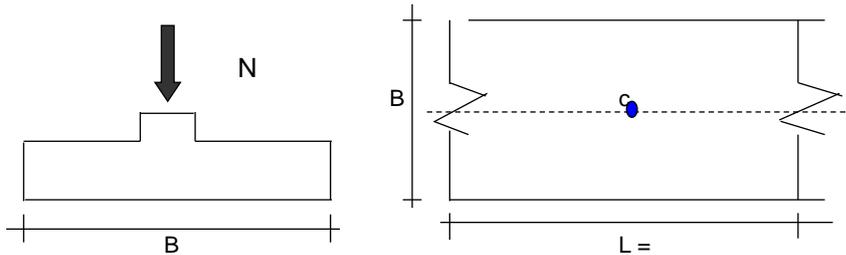
**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00036	0	---	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-94.85	0.00
2	S	-0.00068	0	0.500	14.0	73	0.00029 (0.00029)	387	0.111 (0.20)	99.57	0.00
3	S	-0.00040	0	0.500	14.0	73	0.00016 (0.00016)	379	0.062 (0.20)	109.44	0.00
4	S	0.00000	0	0.500	14.0	73	0.00016 (0.00016)	0	0.001 (0.20)	724.60	0.00



**CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME**

**LAVORO:**



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

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

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

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

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

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

**DATI DI INPUT:**

B = 2.80 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 143.68 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 51.31 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

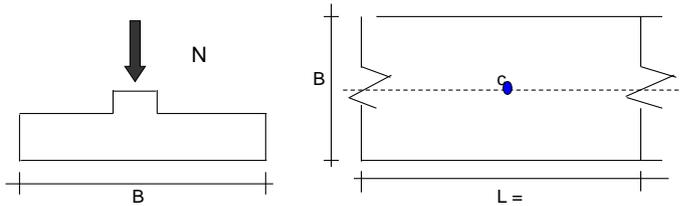
Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	ν	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		8.00	0.0	8.0	1.0	15000	0.30	1.14
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 1.14 \text{ (cm)}$$

## 9.6 Verifica dei cedimenti a breve termine

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) * (v\alpha)$$

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

$$\delta_{\text{tot}} = \Sigma\delta_i = \Sigma(((\Delta\sigma_z - v(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y))\Delta z)/E_i)$$

#### DATI DI INPUT:

B = 2.80 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 143.68 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 51.31 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		8.00	0.0	8.0	1.0	45000	0.30	0.38
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 0.38 \text{ (cm)}$$

Per l'andamento dei cedimenti nel tempo vedasi "Relazione di Calcolo Rilevati ferroviari" NR1J01D29CLGE0005001B.

## 9.7 Verifica di portanza

### 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  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

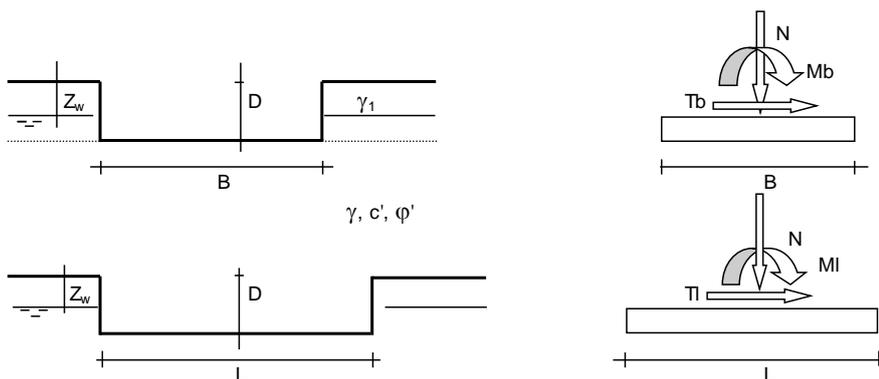
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

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

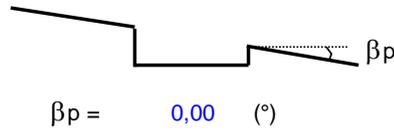
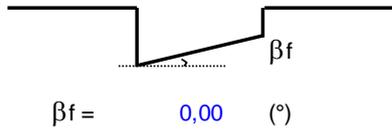
#### coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	○	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80
	SISMA	○	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80
	A1+M1+R3	○	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30
	SISMA	○	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30
Tensioni Ammissibili	○	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista	●	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 2,80 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 3,41 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	520,35		520,35
Mb [kNm]	0,00		0,00
MI [kNm]	0,00		0,00
Tb [kN]	0,00		0,00
TI [kN]	0,00		0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 0,00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 26,00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 0,00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 26,00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 25,00$  (m)

$e_B = 0,00$  (m)  
 $e_L = 0,00$  (m)

$B^* = 2,80$  (m)  
 $L^* = 1,00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 54,56$  (kN/mq)

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

$\gamma = 16,00$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 11,85$

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

$N_c = 22,25$

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

$N_\gamma = 12,54$

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

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

$$s_c = 1,19$$

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

$$s_q = 1,17$$

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

$$s_\gamma = 0,86$$

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

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,74 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,26 \quad m = 1,74 \quad (-)$$

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

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

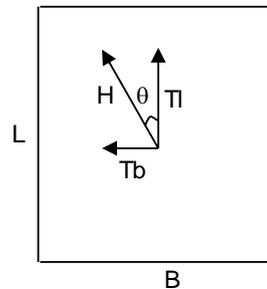
$$i_q = 1,00$$

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

$$i_c = 1,00$$

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

$$i_\gamma = 1,00$$



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

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

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

$$d_q = 1,40$$

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

$$d_c = 1,43$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

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

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

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

$$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1145,79 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 185,84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 498,17 \geq q = 185,84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni totali**

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

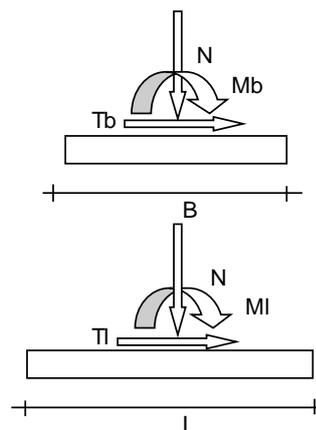
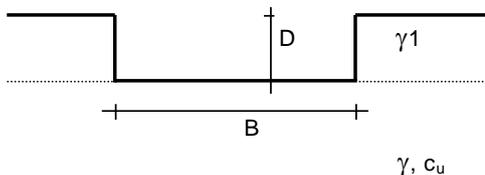
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

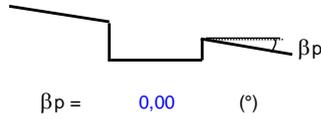
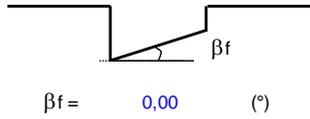
**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno	resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M2+R2	○	1,00	1,30	1,40	1,80
	SISMA	○	1,00	1,00	1,40	1,80
	A1+M1+R3	○	1,30	1,50	1,00	2,30
	SISMA	○	1,00	1,00	1,00	2,30
Tensioni Ammissibili	○	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista	●	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 2,80 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 3,41 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	520,35	0,00	520,35
Mb [kNm]	0,00	0,00	0,00
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	0,00	0,00	0,00
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

Valore caratteristico di resistenza del terreno

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

$e_B = 0,00$  (m)  
 $e_L = 0,00$  (m)

Valore di progetto

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

$B^* = 2,80$  (m)  
 $L^* = 1,00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 54,56$  (kN/mq)

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

$\gamma = 16,00$  (kN/mc)

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$N_c = 2 + \pi$

$N_c = 5,14$

**s\_c : fattori di forma**

$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$

$s_c = 1,07$

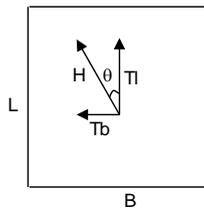
**i\_c : fattore di inclinazione del carico**

$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,74$

$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,26$

$\theta = \arctg(T_b/TI) = 90,00$  (°)

$m = 1,74$



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

$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$

$i_c = 1,00$

**d<sub>c</sub> : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1,51$$

**b<sub>c</sub> : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2))$$

$$\beta_f + \beta_p = 0,00$$

$$\beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1,00$$

**g<sub>c</sub> : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2))$$

$$\beta_f + \beta_p = 0,00$$

$$\beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1,00$$

***Carico limite unitario***

$$q_{lim} = 471,51 \quad (\text{kN/m}^2)$$

***Pressione massima agente***

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

$$q = 185,84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 205 \geq q = 185,84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

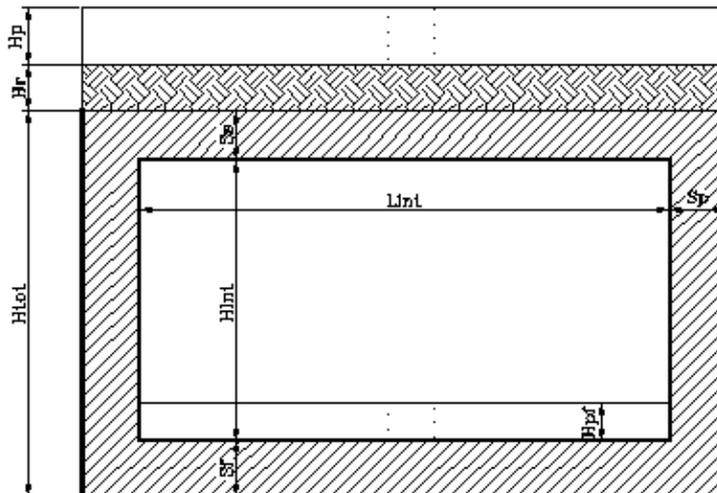
## 10 TOMBINO MODELLO 2: 2.00 X 2.00 M

### 10.1 Analisi dei carichi di progetto

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 2.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 2.00$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.50$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.50$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.50$  m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

### Geometria



#### DATI GEOMETRICI

Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	3.00	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	2.00	m
larghezza interasse	$L_a$	2.50	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.50	m
spessore piedritti	$S_p$	0.50	m
spessore fondazione	$S_f$	0.50	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	3.00	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	2.00	m
			m
spessore ballast	$H_{p_{sup}}$	0.80	m
ricoprimento	$H_{R_{sup}}$	1.09	m
spessore pacchetto interno	$H_{p_{inf}}$	0.00	m
spessore ricoprimento interno	$H_{R_{inf}}$	0.00	m

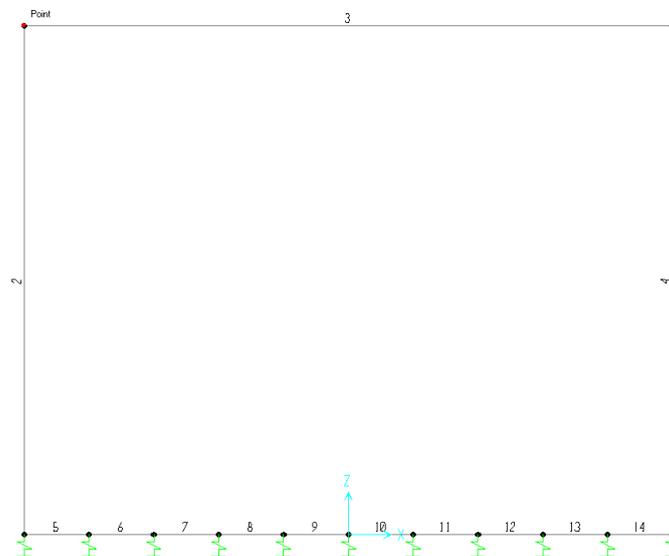
### Modello di calcolo

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

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

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

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazioni aste e nodi*

### Valutazione della rigidità delle molle

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

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

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

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

E =	15000	kN/m <sup>2</sup>
$\nu$ =	0.3	
B =	3.0	m
L =	18.0	m
L/B =	6.00	
$c_t$ =	1.81	
$K_w$ =	3036	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 3000 kN/m<sup>3</sup>.

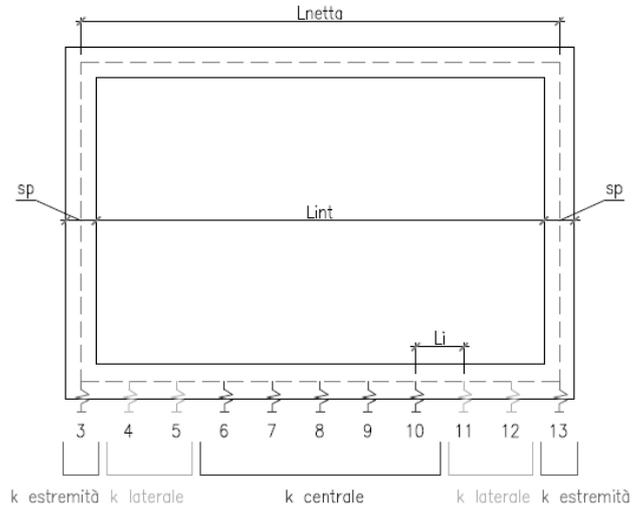
Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di “linear spring” pari a  $K = 3000$  kN/mc in funzione dell’interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

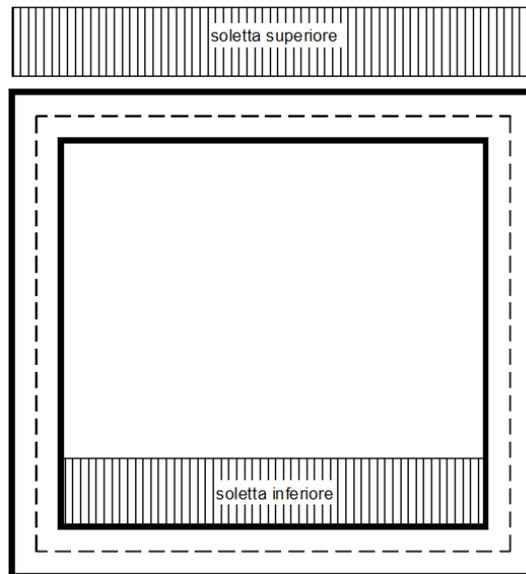
Molle laterali  $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$  [kN/m]



## Analisi dei carichi

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

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso Ballast	14.40 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 108.5 cm	21.70 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>36.10 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	<b>- Totale</b>	<b>12.50 kN/m</b>



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 9.03 kN.

### *Spinta in presenza di falda*

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

$$u = \gamma_w \cdot z$$

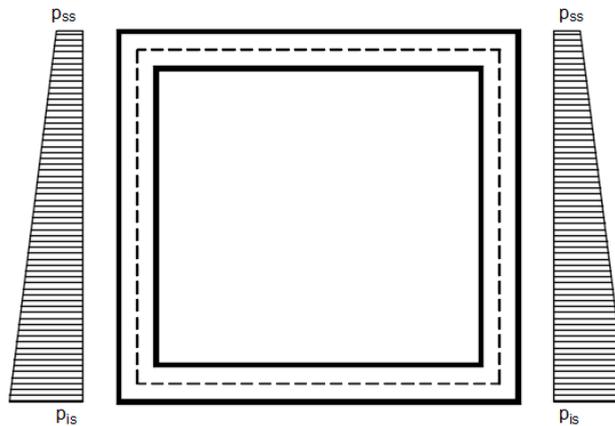
L'opera non è interessata dalla falda.

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

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_o=1-\sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_o=0.38$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = 16.4 \text{ kN/m}$$

$$p_{is} = p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 35.6 \text{ kN/m}$$

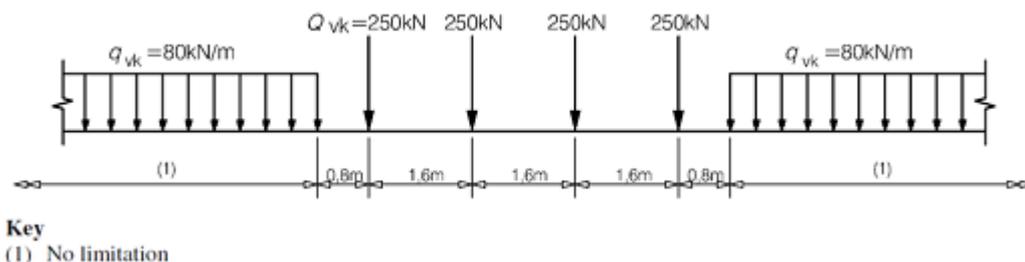


Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 3.86 kN ed inferiore con valore pari a 9.15 kN.

**10.1.1 Treni di carico**

La ripartizione dei carichi è effettuata considerando lo spessore minimo di ricoprimento sull'opera pari a 1.30m così da massimizzare il carico accidentale

10.1.1.1 Treno di carico LM71



**Fig. 10** –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

$\alpha =$  coefficiente di adattamento = 1.10

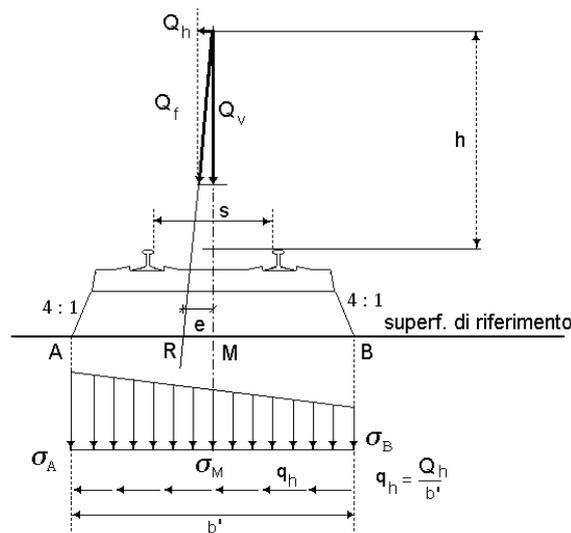
Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al "Manuale di Progettazione delle Opere Civili"

Considerando un ridotto standard manutentivo si ha (tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 punto 5.4):

$$\Phi_3 = 1.35$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_{\text{trasy}} = 2.4 + [0.35/4 + H_{\text{rsup}} \cdot \tan(38^\circ) + S_3/2] \cdot 2 = 3.85 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{\text{long}} = 6.25$  m.

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{\text{trasy}} \cdot L_{\text{long}}) = 61.75 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

$$= 80 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / L_{\text{trasy}} = 30.87 \text{ kN/m}^2$$

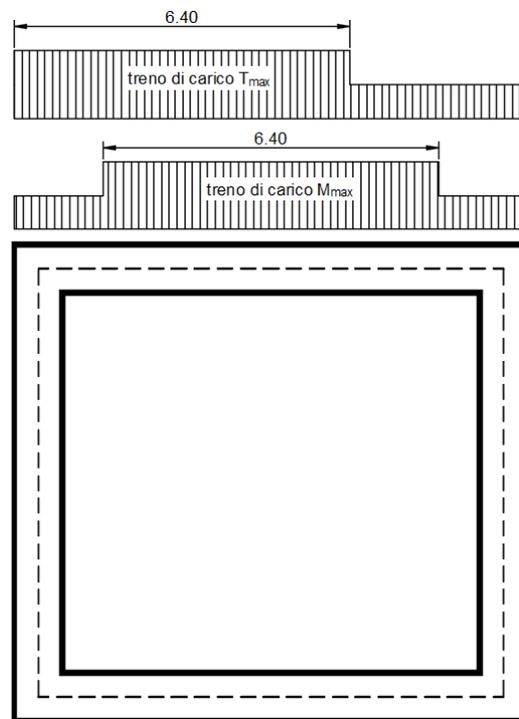
### Treni di carico SW/2

$$Q_{sw/2} = 150 * 1.0 * \Phi_3 / L_{trasv} = 52.62 \text{ kN/m}^2$$

### Treni di carico SW/0

$$Q_{sw/0} = 133 * 1.1 * \Phi_3 / L_{trasv} = 51.32 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti, per la dimensione dell'opera le due condizioni sono coincidenti.



Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 15.44 kN.

### 10.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico

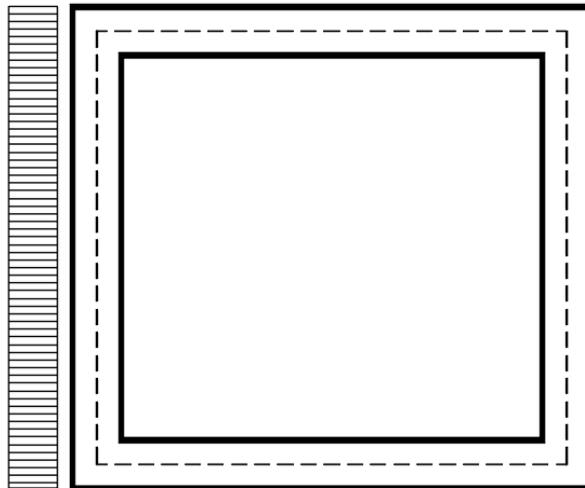
Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 18.69 \text{ kN/m}^2$$

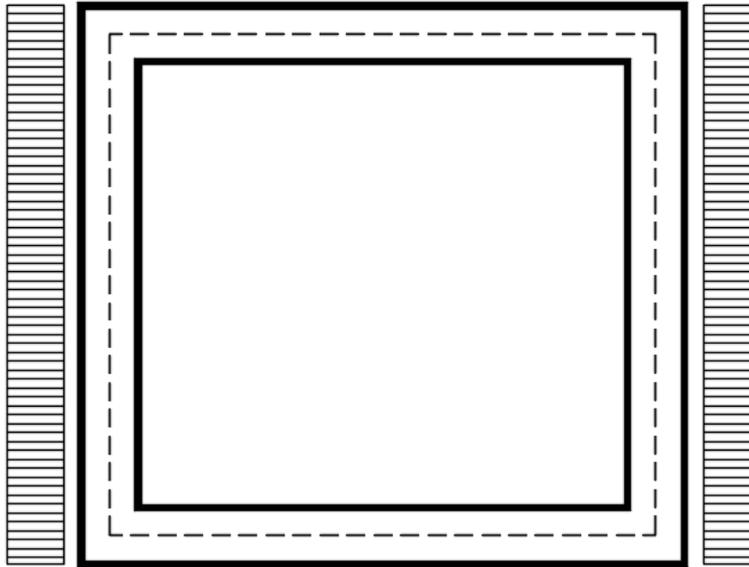
La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

c) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 4.67 kN ed inferiore con valore pari a 4.67 kN.

d) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 4.67 kN ed inferiore con valore pari a 4.67 kN.

### 10.1.3 Avviamento e frenatura

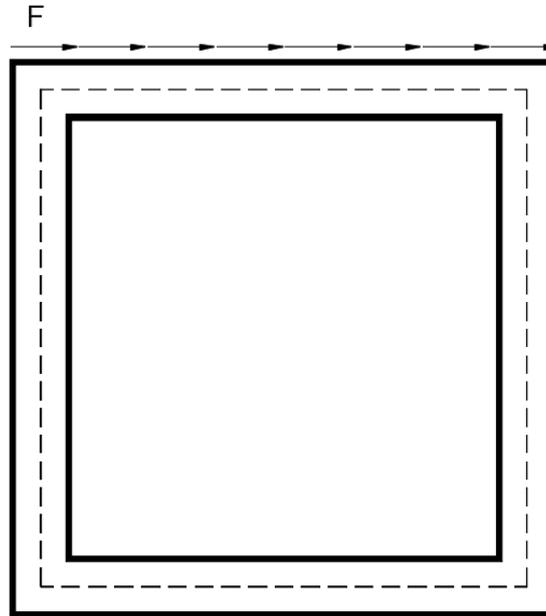
avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[m] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[m] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 7.6 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 1.90 kN.

#### **10.1.4 Serpeggio e centrifuga**

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

#### **10.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura**

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	81 di 284

**Cls a t=0**

$R_{ck}$	=	37	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	38.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33019	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

**Tempo e ambiente**

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	1000	mm	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c$	=	500000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

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

$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) =$	1.982	
$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$	131.52	coeff nominale di viscosità
$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 =$	1.228	coeff che tiene conto dell'umidità
$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.932	coeff per la resistenza del cls
$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.980	coeff per la resistenza del cls
$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$	2.700	coeff che tiene conto della resistenza del cls
$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$	0.649	coeff per l'evoluzione della viscosità nel tempo
$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$	6.19	coeff per la variabilità della viscosità nel tempo
$\alpha =$	1	coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)

Relazione di calcolo Tombini idraulici scotolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	82 di 284

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

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \quad \text{coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.951 \quad \text{coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11072916 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000337 \quad \text{deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000285 \quad \text{deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.952825$$

$K_b =$

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

Valori di  $k_b$

$h_0$	$k_b$
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥500	0.70

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

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000428 \quad \text{deformazione di base}$$

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

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

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)}$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000052 \quad \text{deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

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

$$\varepsilon_{ca00} = 2.5(f_{ct} - 10)10^{-6} = 0.000052$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<i>Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari</i>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 004	REV. B	FOGLIO 83 di 284

### 10.1.6 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C.

#### Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

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

$k_v = \pm 0.5 * k_h$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.074$  g.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$S_s = 1.600$       Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$       Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1 * 0.074 \text{ g} = 0.118 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.118$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.059$$

### Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma * (H_{\text{tot}}) = 7.10 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 8.58 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

$$\text{Totale} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 1.15 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 4.27 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 6.91 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 2.15 kN ed inferiore con valore pari a 2.15 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.37 kN ed inferiore con valore pari a 0.37 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.58 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

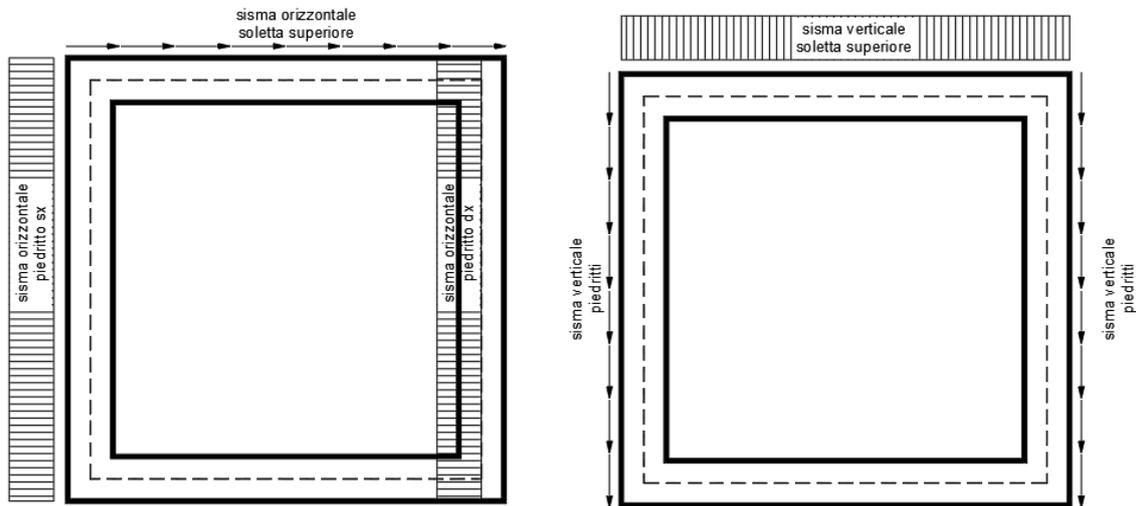
$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 2.14 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 3.45 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.86 kN.

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



### Spinta sismica terreno

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2 = 21.31 \text{ kN/m}$$

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

## 10.2 Diagrammi delle sollecitazioni

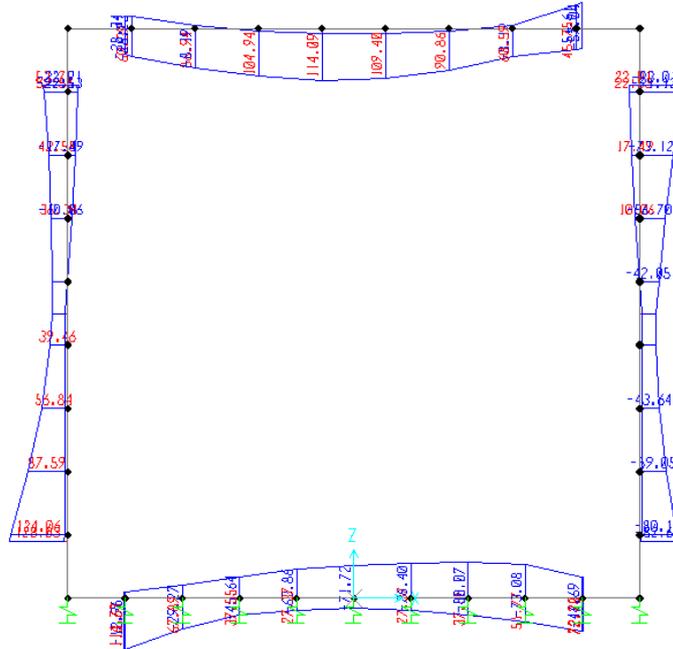


Fig. 11 – Involucro momenti flettenti SLU

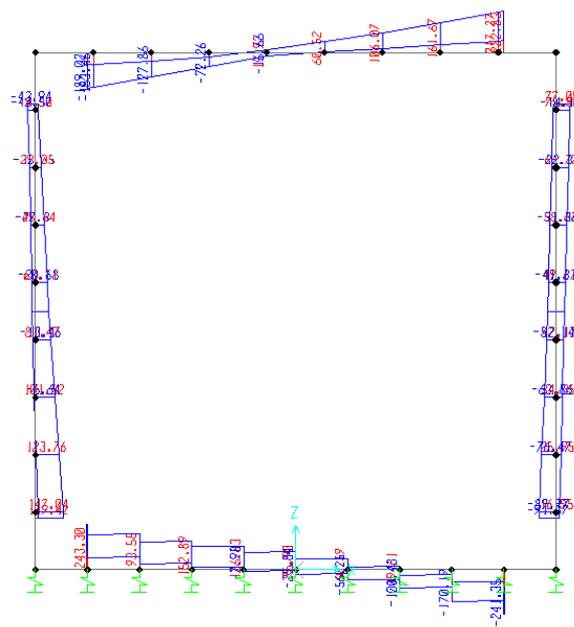


Fig. 12 – Involucro sforzi taglienti SLU

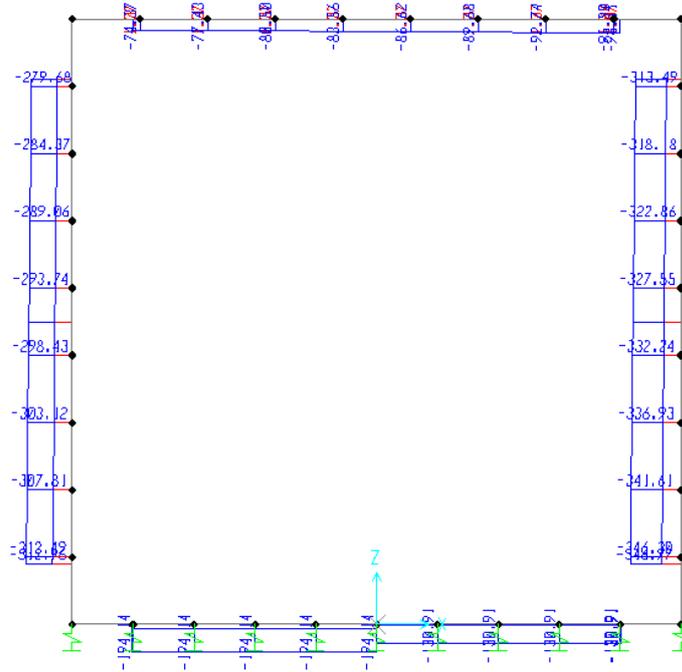


Fig. 13 – Involuppo azioni assiali SLU

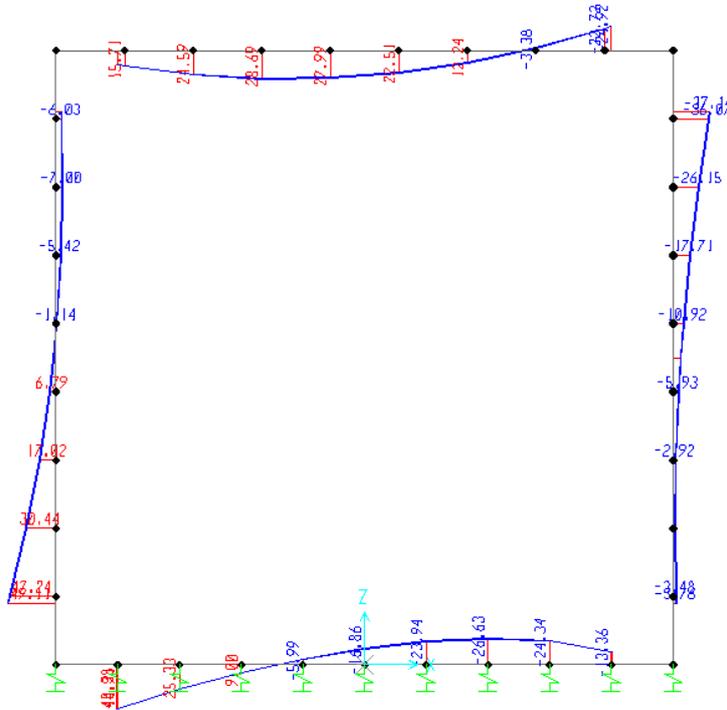


Fig. 14 – Involuppo momenti flettenti SLV

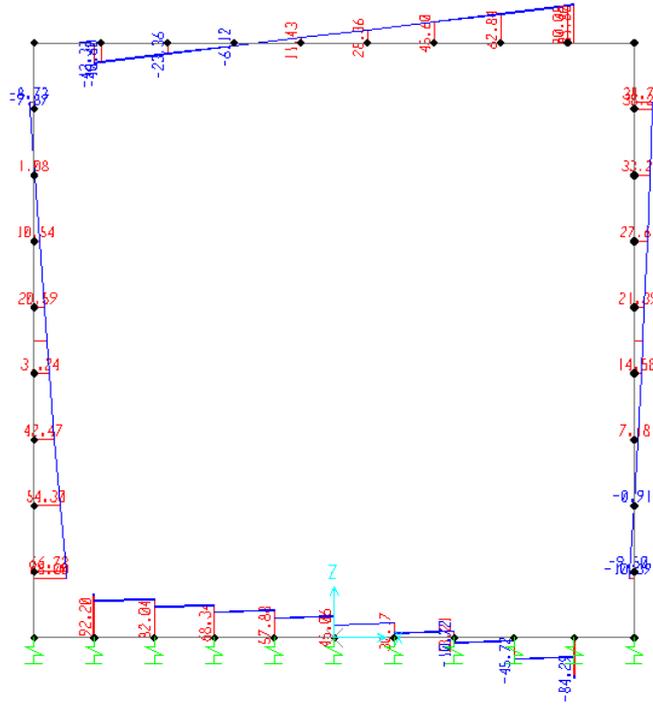


Fig. 15 – Involuppo sforzi taglienti SLV

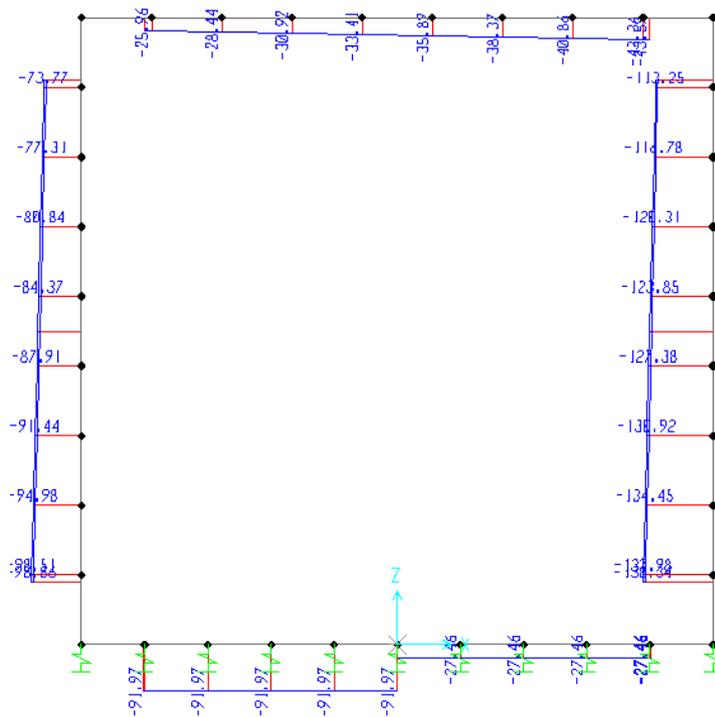


Fig. 16 – Involuppo azioni assiali SLV

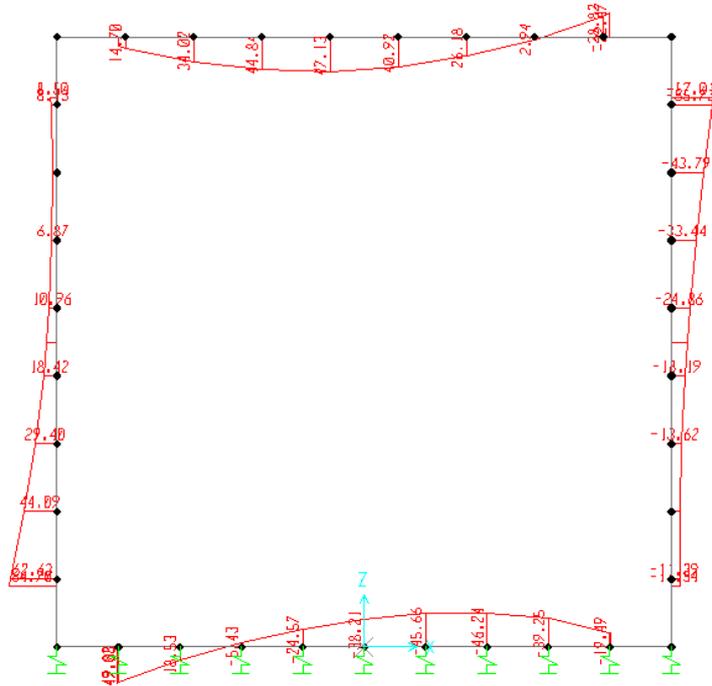


Fig. 17 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

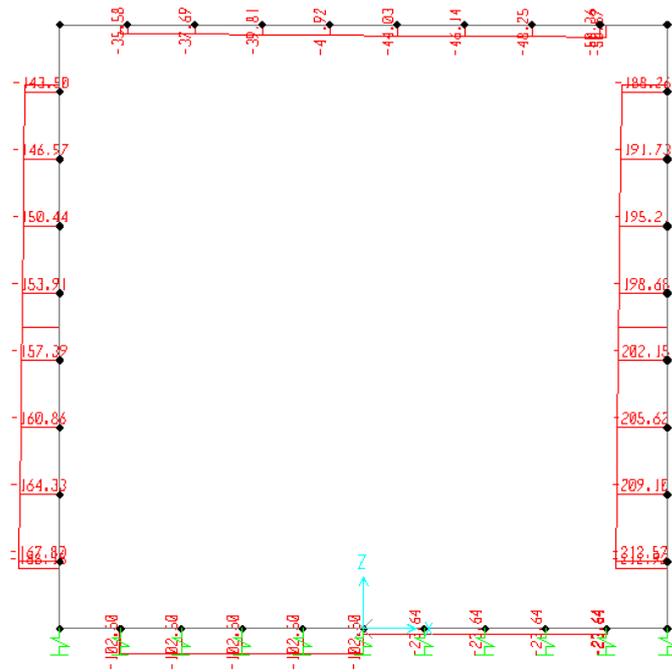


Fig. 18 – Involuppo azioni assiali SLE rara

### 10.3 Verifica delle sezioni in c.a.

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

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

SLU STR-SLV				
Elemento strutturale	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$I_{max}$ (kN)
soletta inferiore	SLU14-STR2	236.39	128.03	243.30
	SLU14-STR	279.07	-93.01	-
soletta superiore	SLU13-STR	80.37	-57.04	222.83
	SLU11-STR2	51.19	114.09	-
piedritti	SLU02-STR2	100.78	-22.91	149.42
	SLU14-STR2	236.39	128.03	149.42
	SLU14-STR	279.07	93.01	91.37
	SLU03-STR2	100.78	-22.91	91.37

Elemento strutturale	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	168.15	84.11	soletta inferiore	154.10	73.72	soletta inferiore	111.95	47.41
	187.92	-57.01		164.91	-46.65		120.91	-36.78
soletta superiore	50.57	-32.47	soletta superiore	44.41	-24.97	soletta superiore	30.79	-8.56
	22.49	71.44		21.30	63.73		12.87	46.69
piedritti	143.15	-10.95	piedritti	129.10	-8.37	piedritti	87.30	-5.49
	168.15	84.11		154.10	73.72		111.95	47.41
	187.92	57.01		164.91	46.65		120.91	36.78
	209.10	11.30		186.09	12.66		99.73	2.92

### 10.3.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	42.0	14
3	42.0	42.0	14
4	42.0	8.0	14

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.                      Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	92 di 284

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	14
2	2	3	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	236.39	128.03	243.30
2	279.07	-93.01	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	168.15	84.11	0.00
2	187.92	-57.01	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	154.10	73.72 (166.22)	0.00 (0.00)
2	164.91	-46.65 (-195.92)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	111.95	47.41 (171.08)	0.00 (0.00)
2	120.91	-36.78 (-190.10)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	236.39	128.03	236.17	294.23	2.30	30.8(15.0)
2	S	279.07	-93.01	278.96	-301.90	3.25	30.8(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	50.0	-0.00045	-42.0	42.0	-0.01723	-42.0	8.0
2	0.00350	-50.0	0.0	-0.00037	-42.0	8.0	-0.01681	42.0	42.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000493516	-0.021175778	----	----
2	0.000000000	-0.000483526	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm <sup>2</sup> /m]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	94 di 284

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	243.30	1179.81	262.01	47.2  39.2	100.0	2.500	1.028	6.4	6.8(0.0)
2	S	0.00	1716.51	104.65	47.1  39.1	100.0	1.000	1.033	0.0	6.8(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	3.51	-50.0	50.0	-91.3	-42.0	8.0	1145	15.4
2	S	2.30	-50.0	0.0	-41.1	32.7	42.0	1045	15.4

### 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 fctm

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]  
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	-0.00059	0	0.500	14.0	73	0.00027 (0.00027)	425	0.116 (0.20)	164.64	0.00
2	S	-0.00028	0	0.500	14.0	73	0.00012 (0.00012)	410	0.051 (0.20)	-190.30	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	3.07	-50.0	50.0	-78.0	-42.0	8.0	1145	15.4
2	S	1.87	-50.0	0.0	-30.8	32.7	42.0	995	15.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-------------	--------	----	---------	---------

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	95 di 284

1	S	-0.00051	0	0.500	14.0	73	0.00023 (0.00023)	425	0.099 (0.20)	166.22	0.00
2	S	-0.00021	0	0.500	14.0	73	0.00009 (0.00009)	402	0.037 (0.20)	-195.92	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	1.96	-50.0	50.0	-46.4	-32.7	8.0	1095	15.4
2	S	1.48	-50.0	0.0	-26.6	32.7	42.0	1045	15.4

#### 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	-0.00030	0	0.500	14.0	73	0.00014 (0.00014)	417	0.058 (0.20)	171.08	0.00
2	S	-0.00018	0	0.500	14.0	73	0.00008 (0.00008)	410	0.033 (0.20)	-190.10	0.00

Si adottano spille 9Ø10/m<sup>2</sup>

### 10.3.2 Verifica soletta superiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 MPa

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	96 di 284

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

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	42.0	14
3	42.0	42.0	14
4	42.0	8.0	14

#### 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	14
2	2	3	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	80.37	-57.04	222.83
2	51.19	114.09	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	50.57	-32.47	0.00
2	22.49	71.44	0.00

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	97 di 284

N°Comb.	N	Mx	My
1	44.41	-24.97 (-160.95)	0.00 (0.00)
2	21.30	63.73 (140.35)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	30.79	-8.56 (-197.43)	0.00 (0.00)
2	12.87	46.69 (139.63)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	80.37	-57.04	80.18	-266.17	4.67	30.8(15.0)
2	S	51.19	114.09	51.12	260.93	2.29	30.8(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00074	-42.0	8.0	-0.01875	42.0	42.0
2	0.00350	-50.0	50.0	-0.00079	-42.0	42.0	-0.01905	-42.0	8.0

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	98 di 284

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	-0.000529715	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000536836	-0.023341820	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = Vy ortogonale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	222.83	1164.48	246.53	47.4  39.4	100.0	2.500	1.009	5.8	6.4(0.0)
2	S	0.00	1684.25	98.70	47.4  39.4	100.0	1.000	1.006	0.0	6.4(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	1.36	-50.0	0.0	-39.6	32.7	42.0	1195	15.4
2	S	3.01	-50.0	50.0	-115.4	-23.3	8.0	1245	15.4

### 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]  
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]

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	99 di 284

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	-0.00026	0	0.500	14.0	73	0.00012 (0.00012)	433	0.051 (0.20)	-157.41	0.00
2	S	-0.00073	0	0.500	14.0	73	0.00035 (0.00035)	441	0.153 (0.20)	140.11	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	1.05	-50.0	0.0	-28.8	32.7	42.0	1145	15.4
2	S	2.69	-50.0	50.0	-102.5	-23.3	8.0	1245	15.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00019	0	0.500	14.0	73	0.00009 (0.00009)	425	0.037 (0.20)	-160.95	0.00
2	S	-0.00065	0	0.500	14.0	73	0.00031 (0.00031)	441	0.136 (0.20)	140.35	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	0.34	-50.0	0.0	-5.5	32.7	42.0	995	15.4
2	S	1.97	-50.0	50.0	-76.0	-42.0	8.0	1295	15.4

**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	-0.00004	0	0.500	14.0	73	0.00002 (0.00002)	402	0.007 (0.20)	-197.43	0.00
2	S	-0.00048	0	0.500	14.0	73	0.00023 (0.00023)	448	0.102 (0.20)	139.63	0.00

Si adottano spille 9Ø10/mq

**10.3.3 Verifica piedritti**

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	100 di 284

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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	42.0	14
3	42.0	42.0	14
4	42.0	8.0	14

#### 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	14
2	1	4	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	100.78	-22.91	149.42
2	236.39	128.03	149.42

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	101 di 284

3	279.07	93.01	91.37
4	100.78	-22.91	91.37

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	143.15	-10.95	0.00
2	168.15	84.11	0.00
3	187.92	57.01	0.00
4	209.10	11.30	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	129.10	-8.37 (-160.95)	0.00 (0.00)
2	154.10	73.72 (162.52)	0.00 (0.00)
3	164.91	46.65 (190.09)	0.00 (0.00)
4	186.09	12.66 (724.60)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	87.30	-5.49 (-197.43)	0.00 (0.00)
2	111.95	47.41 (167.07)	0.00 (0.00)
3	120.91	36.78 (184.72)	0.00 (0.00)
4	99.73	2.92 (542.31)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	102 di 284

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	100.78	-22.91	100.49	-164.20	7.32	23.1(15.0)
2	S	236.39	128.03	236.31	293.32	2.28	23.1(15.0)
3	S	279.07	93.01	279.12	301.18	3.20	23.1(15.0)
4	S	100.78	-22.91	100.49	-164.20	7.32	23.1(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00130	-42.0	8.0	-0.02171	42.0	42.0
2	0.00350	-50.0	50.0	-0.00062	-42.0	42.0	-0.01813	-42.0	8.0
3	0.00350	-50.0	50.0	-0.00051	-42.0	42.0	-0.01758	-42.0	8.0
4	0.00350	-50.0	0.0	-0.00130	-42.0	8.0	-0.02171	42.0	42.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000600136	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000515077	-0.022253854	----	----
3	0.000000000	0.000501824	-0.021591184	----	----
4	0.000000000	-0.000600136	0.003500000	----	----

#### VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
--------	-----	-----	-----	-----	-------	----	-----	-----	-----	-------

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	103 di 284

1	S	149.42	1176.44	233.60	47.7	39.7	100.0	2.500	1.012	3.9	6.0(0.0)
2	S	149.42	1183.39	231.33	47.3	39.3	100.0	2.500	1.028	3.9	6.0(0.0)
3	S	91.37	1187.00	230.90	47.2	39.2	100.0	2.500	1.033	2.4	6.0(0.0)
4	S	91.37	1176.44	233.60	47.7	39.7	100.0	2.500	1.012	2.4	6.0(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	0.49	-50.0	0.0	1.6	21.0	42.0	----	----
2	S	3.65	-50.0	50.0	-91.0	-42.0	8.0	1145	15.4
3	S	2.40	-50.0	50.0	-41.3	-42.0	8.0	995	15.4
4	S	0.66	-50.0	50.0	3.2	-42.0	8.0	----	----

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

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$ 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]
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	-0.00026	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-157.41	0.00
2	S	-0.00059	0	0.500	14.0	73	0.00027 (0.00027)	425	0.116 (0.20)	161.05	0.00
3	S	-0.00028	0	0.500	14.0	73	0.00012 (0.00012)	402	0.050 (0.20)	184.90	0.00
4	S	0.00000	0.00000	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	0.00	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	0.41	-50.0	0.0	1.8	21.0	42.0	----	----
2	S	3.19	-50.0	50.0	-77.8	-42.0	8.0	1145	15.4
3	S	1.95	-50.0	50.0	-31.0	-32.7	8.0	995	15.4
4	S	0.64	-50.0	50.0	2.3	-42.0	8.0	----	----

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	104 di 284

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00019	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-160.95	0.00
2	S	-0.00051	0	0.500	14.0	73	0.00023 (0.00023)	425	0.099 (0.20)	162.52	0.00
3	S	-0.00021	0	0.500	14.0	73	0.00009 (0.00009)	402	0.037 (0.20)	190.09	0.00
4	S	0.00000	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	724.60	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	0.27	-50.0	0.0	1.3	21.0	42.0	----	----
2	S	2.04	-50.0	50.0	-46.3	-42.0	8.0	1095	15.4
3	S	1.55	-50.0	50.0	-26.7	-42.0	8.0	995	15.4
4	S	0.26	-50.0	50.0	2.1	-42.0	8.0	----	----

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00004	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-197.43	0.00
2	S	-0.00030	0	0.500	14.0	73	0.00014 (0.00014)	417	0.058 (0.20)	167.07	0.00
3	S	-0.00018	0	0.500	14.0	73	0.00008 (0.00008)	402	0.032 (0.20)	184.72	0.00
4	S	0.00000	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	542.31	0.00

Si adottano spille 8Ø10/mq

### 10.4 Tabella riepilogativa incidenza ferri

	Inc. Armature [kg/mc]
Soletta inf.	80
Soletta sup.	80
Piedritto	65

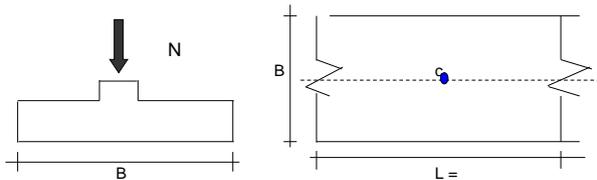
(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

## 10.5 Verifica dei cedimenti a lungo termine

Peso	3	x	3	=	9.00 mq					
	2	x	2	=	-4.00 mq					
					5.00 mq					
					Peso	125 kN	x	1	SLE	125.00 kN
Ballast	0.8	x	3	x	18	43.2 kN				
Ricoprimeri	1.09	x	3	x	20	65.4 kN				
						108.6 kN	x	1		108.60 kN
										233.60 kN

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

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

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

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

#### DATI DI INPUT:

B = 3.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 233.60 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 77.87 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

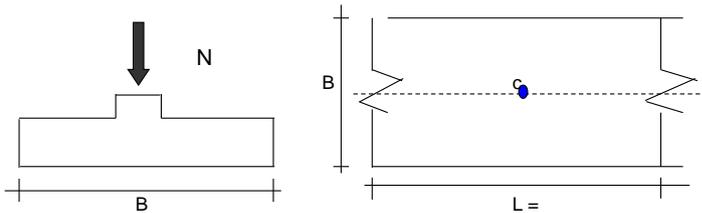
Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		10.00	0.0	10.0	1.0	15000	0.30	1.99
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 1.99 \text{ (cm)}$$

## 10.6 Verifica dei cedimenti a breve termine

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) * (v\alpha)$$

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

$$\delta_{\text{tot}} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - v_i(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \Delta z_i / E_i)$$

#### DATI DI INPUT:

B = 3.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 233.60 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 77.87 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		10.00	0.0	10.0	1.0	45000	0.30	0.66
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 0.66 \text{ (cm)}$$

Per l'andamento dei cedimenti nel tempo vedasi "Relazione di Calcolo Rilevati ferroviari" NR1J01D29CLGE0005001B.

## 10.7 Verifica di portanza

### 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  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

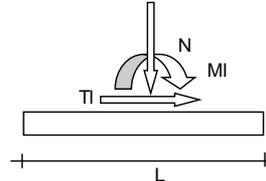
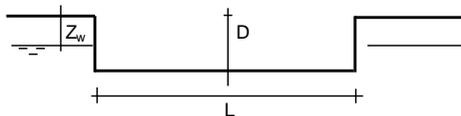
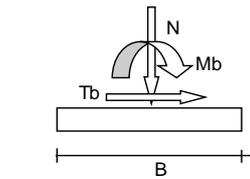
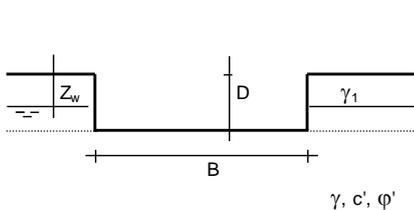
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

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

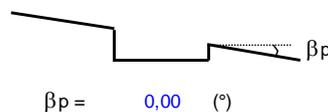
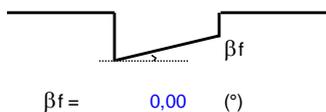
#### coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze			
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr		
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
	A2+M2+R2	○	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	1,00
	SISMA	○	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80	1,00
	A1+M1+R3	○	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	1,10
	SISMA	○	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili	○	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	
Definiti dal Progettista	●	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 3,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 4,89 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	590,24		590,24
Mb [kNm]	0,00		0,00
MI [kNm]	0,00		0,00
Tb [kN]	0,00		0,00
TI [kN]	0,00		0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 0,00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 26,00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 0,00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 26,00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 25,00$  (m)

$e_B = 0,00$  (m)  
 $e_L = 0,00$  (m)

$B^* = 3,00$  (m)  
 $L^* = 1,00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 78,24$  (kN/mq)

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

$\gamma = 16,00$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 11,85$

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

$N_c = 22,25$

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

$N_\gamma = 12,54$

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

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

$s_c = 1,18$

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

$s_q = 1,16$

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

$s_\gamma = 0,87$

Relazione di calcolo Tombini idraulici scotolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	109 di 284

**$i_x, i_y$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,75 \quad \theta = \arctg(Tb/\Pi) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,25 \quad m = 1,75 \quad (-)$$

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

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme e m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

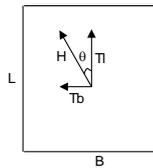
$$i_q = 1,00$$

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

$$i_c = 1,00$$

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

$$i_y = 1,00$$



**$d_x, d_y$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

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

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

$$d_x = 1,42$$

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

$$d_c = 1,46$$

$$d_y = 1$$

$$d_y = 1,00$$

**$b_x, b_y$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_t \tan\varphi')^2 \quad \beta_t + \beta_p = 0,00 \quad \beta_t + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = 1,00$$

**$g_x, g_y$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_t + \beta_p = 0,00 \quad \beta_t + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1619,41 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 196,75 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 704,09 \geq q = 196,75 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni totali**

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

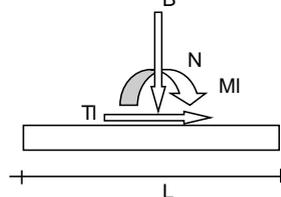
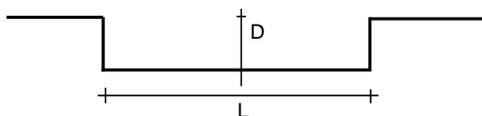
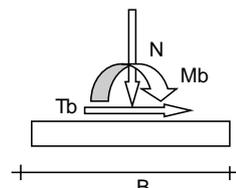
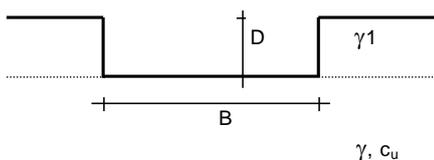
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno	resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	1,00	1,30	1,40	1,80	1,00
	SISMA	1,00	1,00	1,40	1,80	1,00
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	2,30	1,10
	SISMA	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	
Definiti dal Progettista	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 3,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 4,89 (m)



$\beta_f = 0,00$  (°)



$\beta_p = 0,00$  (°)

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	590,24	0,00	590,24
Mb [kNm]	0,00	0,00	0,00
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	0,00	0,00	0,00
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Peso unità di volume del terreno

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \\ \gamma &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \end{aligned}$$

Valore caratteristico di resistenza del terreno

$$c_u = 50,00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0,00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0,00 \quad (\text{m})$$

Valore di progetto

$$c_u = 50,00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 3,00 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1,00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 78,24 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**$N_c$  : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5,14$$

**$s_c$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1,07$$

**$i_c$  : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,75$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,25$$

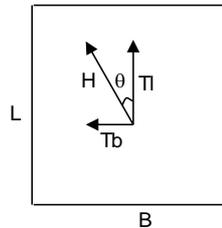
$$\theta = \arctg(T_b/TI) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m = 1,75$$

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

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 1,00$$



*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	112 di 284

**$d_c$  : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1,55$$

**$b_c$  : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1,00$$

**$g_c$  : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 502,50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 196,75 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 218,48 \geq q = 196,75 \quad (\text{kN/m}^2)$$

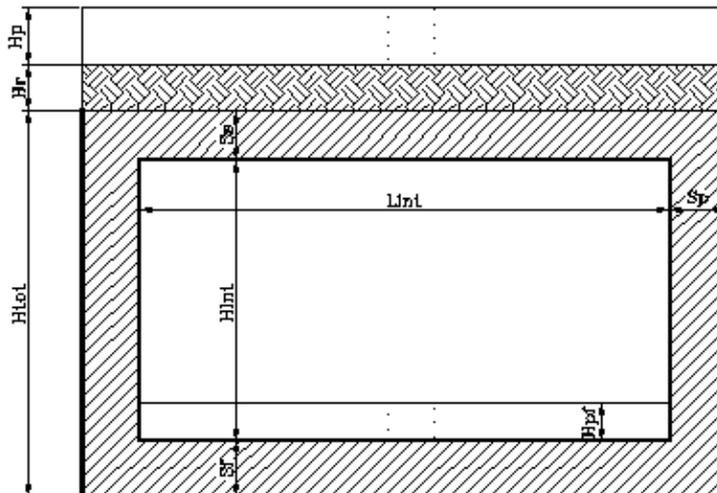
## 11 TOMBINO MODELLO 3: 2.50 X 1.20 M

### 11.1 Analisi dei carichi di progetto

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 2.50$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 1.20$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.40$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.40$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.40$  m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

### Geometria



DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	3.30	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	2.50	m
larghezza interasse	$L_a$	2.90	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.40	m
spessore piedritti	$S_p$	0.40	m
spessore fondazione	$S_f$	0.40	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	2.00	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	1.20	m
			m
spessore ballast	$H_{psup}$	0.80	m
ricoprimento	$H_{Rsup}$	0.37	m
spessore pacchetto interno	$H_{pinf}$	0.00	m
spessore ricoprimento interno	$H_{Rinf}$	0.00	m

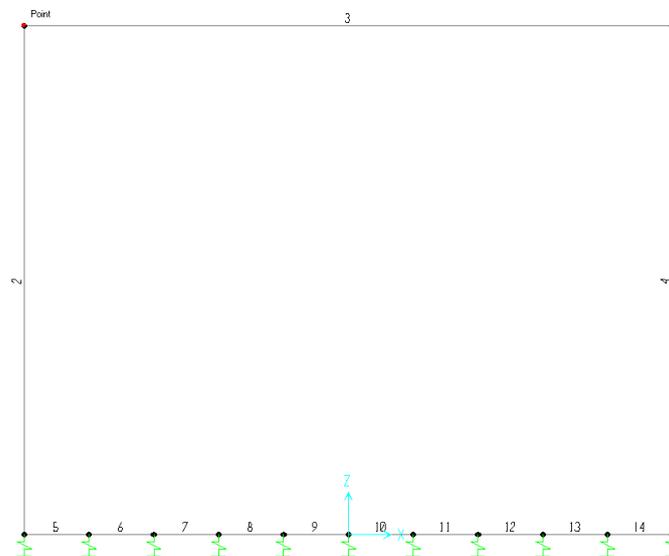
### Modello di calcolo

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

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

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

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazioni aste e nodi*

### Valutazione della rigidità delle molle

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

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

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

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

E =	15000	kN/m <sup>2</sup>
$\nu$ =	0.3	
B =	3.3	m
L =	15.0	m
L/B =	4.55	
$c_t$ =	1.66	
$K_w$ =	3006	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 3000 kN/m<sup>3</sup>.

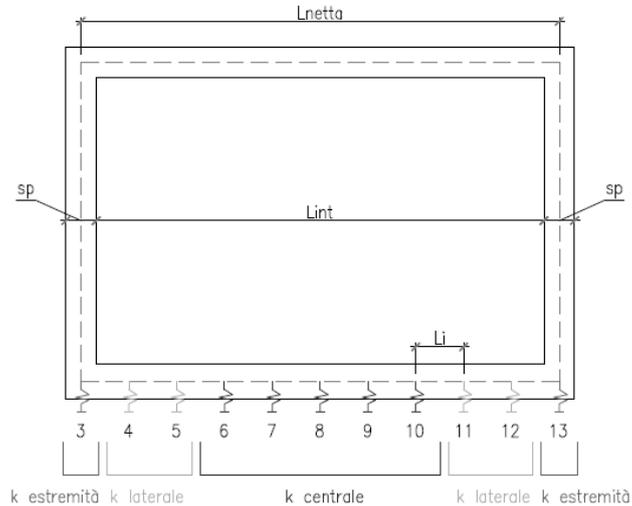
Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 3000$  kN/mc in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

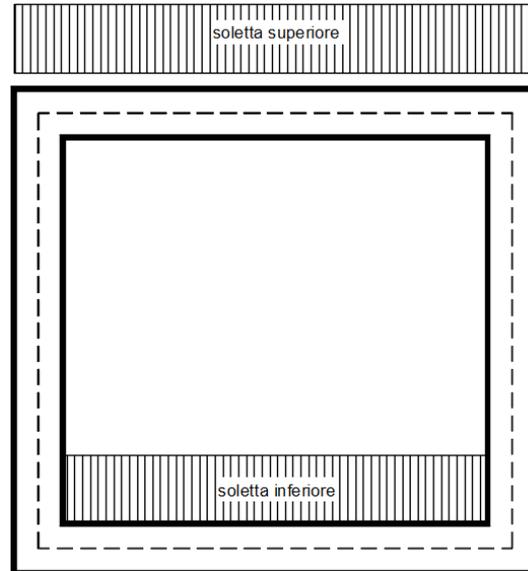
Molle laterali  $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$  [kN/m]



## Analisi dei carichi

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

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	10.00 kN/m
	- Totale	<b>10.00 kN/m</b>
	- Peso Ballast	14.40 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 37 cm	7.40 kN/m
	- Totale	<b>21.80 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	10.00 kN/m
	- Totale	<b>10.00 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	- Totale	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	10.00 kN/m
	- Totale	<b>10.00 kN/m</b>



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 4.36 kN.

### ***Spinta in presenza di falda***

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

$$u = \gamma_w \cdot z$$

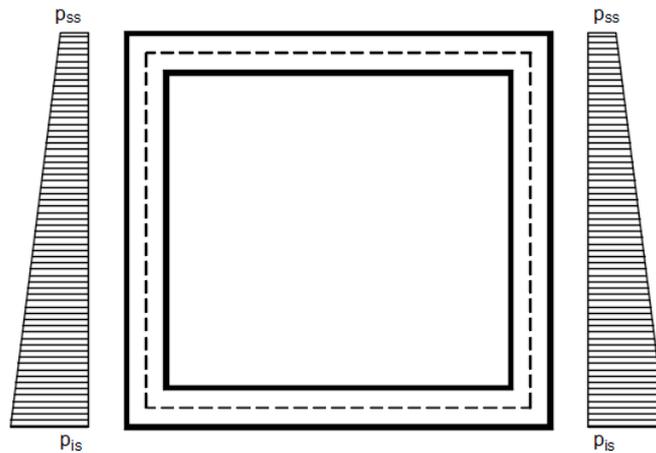
L'opera non è interessata dalla falda.

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

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0=1-\sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0=0.38$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_0 * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = 10.5 \text{ kN/m}$$

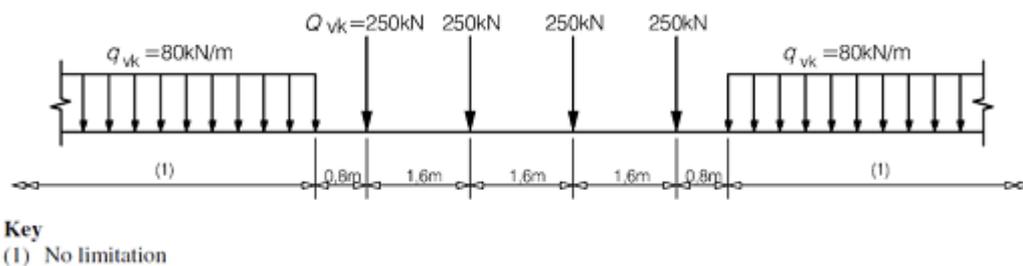
$$p_{is} = p_{ss} + K_0 * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 22.8 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 1.95 kN ed inferiore con valore pari a 4.72 kN.

**11.1.1 Treni di carico**

11.1.1.1 Treno di carico LM71



**Fig. 19** –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

$\alpha =$  coefficiente di adattamento = 1.10

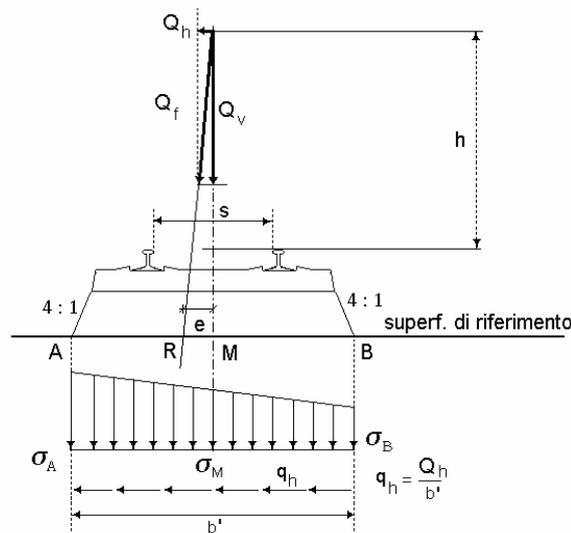
Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al "Manuale di Progettazione delle Opere Civili"

Considerando un ridotto standard manutentivo si ha (tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 punto 5.4):

$$\Phi_3 = 1.35$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_{\text{trasy}} = 2.4 + [0.35/4 + H_{\text{rsup}} \cdot \tan(38^\circ) + S_3/2] \cdot 2 = 3.55 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{\text{long}} = 5.95$  m.

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{\text{trasy}} \cdot L_{\text{long}}) = 70.21 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

$$= 80 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / L_{\text{trasy}} = 33.44 \text{ kN/m}^2$$

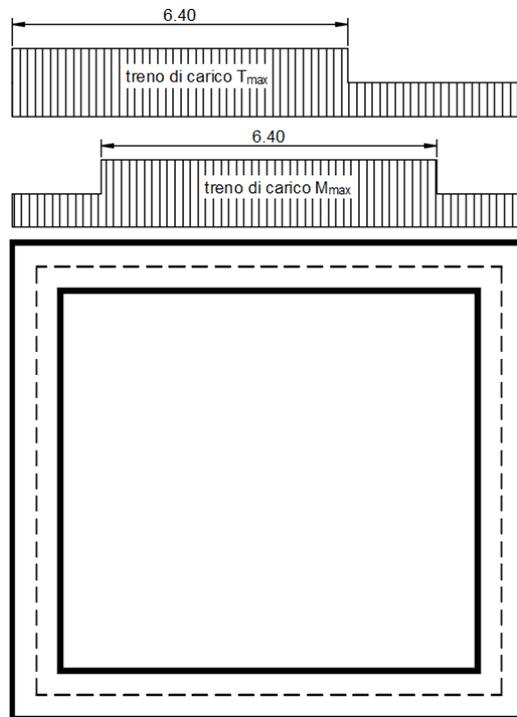
**Treni di carico SW/2**

$$Q_{sw/2} = 150 * 1.0 * \Phi_3 / L_{trasv} = 56.99 \text{ kN/m}^2$$

**Treni di carico SW/0**

$$Q_{sw/0} = 133 * 1.1 * \Phi_3 / L_{trasv} = 55.59 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti, per la dimensione dell'opera le due condizioni sono coincidenti.



Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 14.04 kN.

**11.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico**

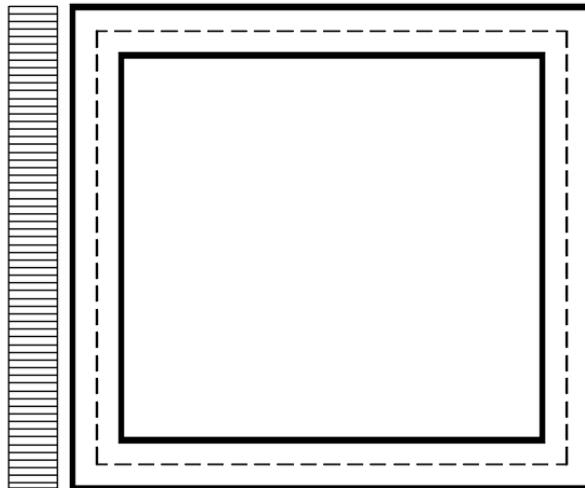
Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 26.98 \text{ kN/m}^2$$

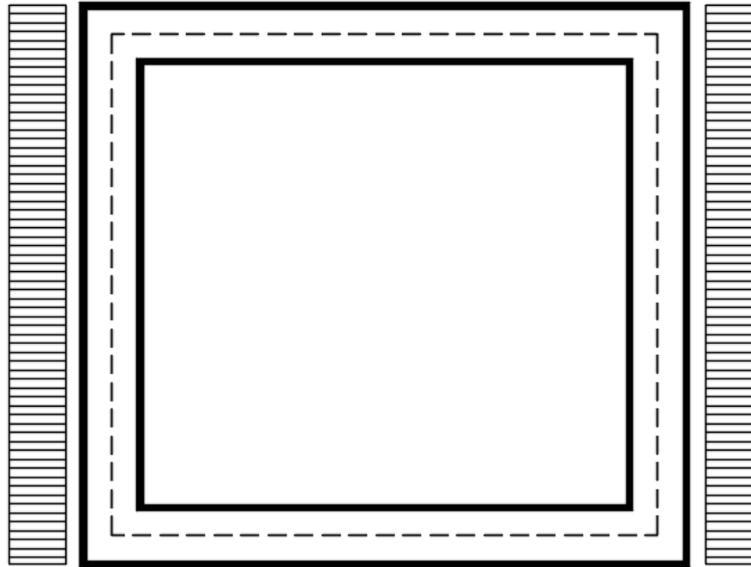
La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

e) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 5.40 kN ed inferiore con valore pari a 5.40 kN.

f) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 5.40 kN ed inferiore con valore pari a 5.40 kN.

### 11.1.3 Avviamento e frenatura

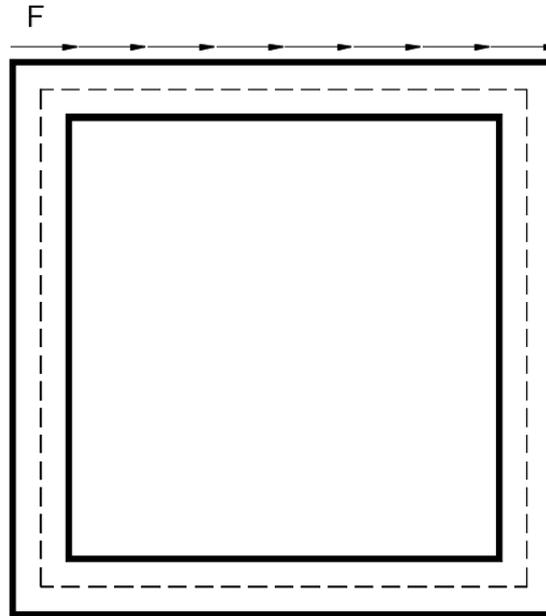
avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[m] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[m] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 10.2 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 2.04 kN.

#### ***11.1.4 Serpeggio e centrifuga***

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

#### ***11.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura***

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	124 di 284

**ClS a t=0**

$R_{ck}$	=	37	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	38.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33019	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

**Tempo e ambiente**

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	800	mm	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c$	=	400000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

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

$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) =$	1.982	
$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$	131.52	coeff nominale di viscosità
$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 =$	1.246	coeff che tiene conto dell'umidità
$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.932	coeff per la resistenza del cls
$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.980	coeff per la resistenza del cls
$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$	2.700	coeff che tiene conto della resistenza del cls
$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$	0.649	coeff per l'evoluzione della viscosità nel tempo
$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$	6.19	coeff per la variabilità della viscosità nel tempo
$\alpha =$	1	coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)

Relazione di calcolo Tombini idraulici scotalari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	125 di 284

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

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

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35\text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35\text{MPa} \end{cases} = 0.951 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11072916 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{ca}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000341 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{ca,0} = 0.000289 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.965785$$

$K_b =$

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

Valori di  $k_b$

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

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

$$\varepsilon_{ca,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000428 \text{ deformazione di base}$$

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

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

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6 \text{ coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)}$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11 \text{ coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,0} = 0.000052 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

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

$$\varepsilon_{ca,0} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000052$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{ritiro} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>NR1J</b>	LOTTO <b>01 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>126 di 284</b>

### 11.1.6 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C.

#### Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

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

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.074$  g.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$S_s = 1.600$       Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$           Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1 * 0.074 \text{ g} = 0.118 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.118$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.059$$

### Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma * (H_{\text{tot}}) = 4.74 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 1.18 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 5.92 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

$$\text{Totale} = 1.18 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 1.66 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 2.58 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.18 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 5.43 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 1.18 kN ed inferiore con valore pari a 1.18 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.24 kN ed inferiore con valore pari a 0.24 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 0.59 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.83 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

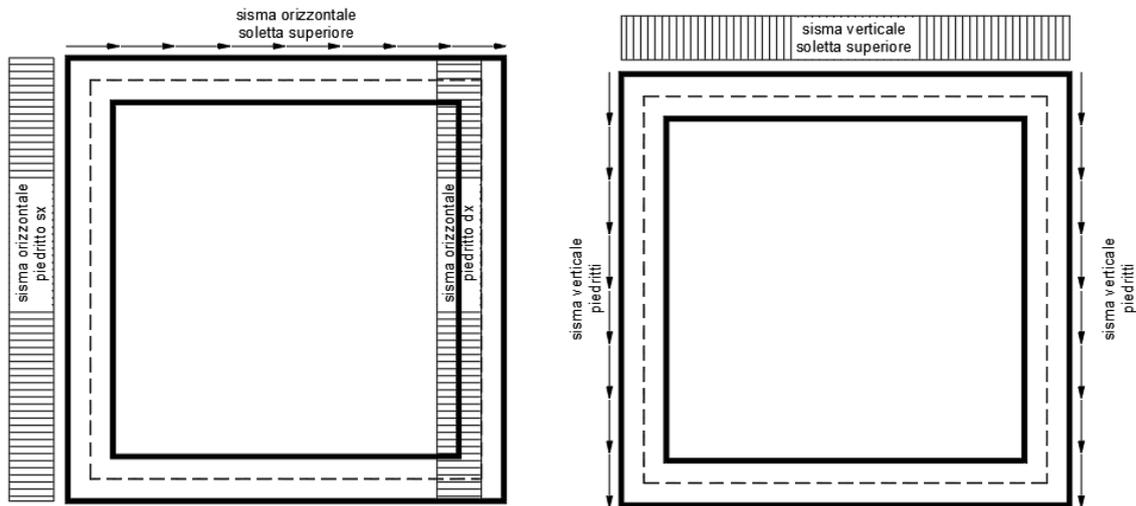
$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 1.29 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 0.59 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 2.71 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.54 kN.

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



### Spinta sismica terreno

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2 = 9.47 \text{ kN/m}$$

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

## 11.2 Diagrammi delle sollecitazioni

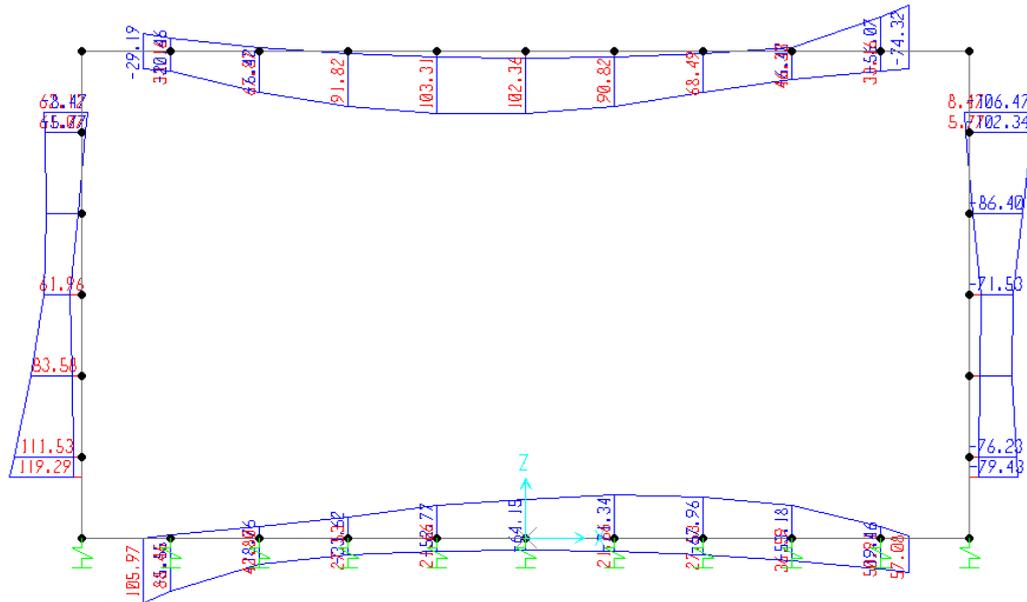


Fig. 20 – Involucro momenti flettenti SLU

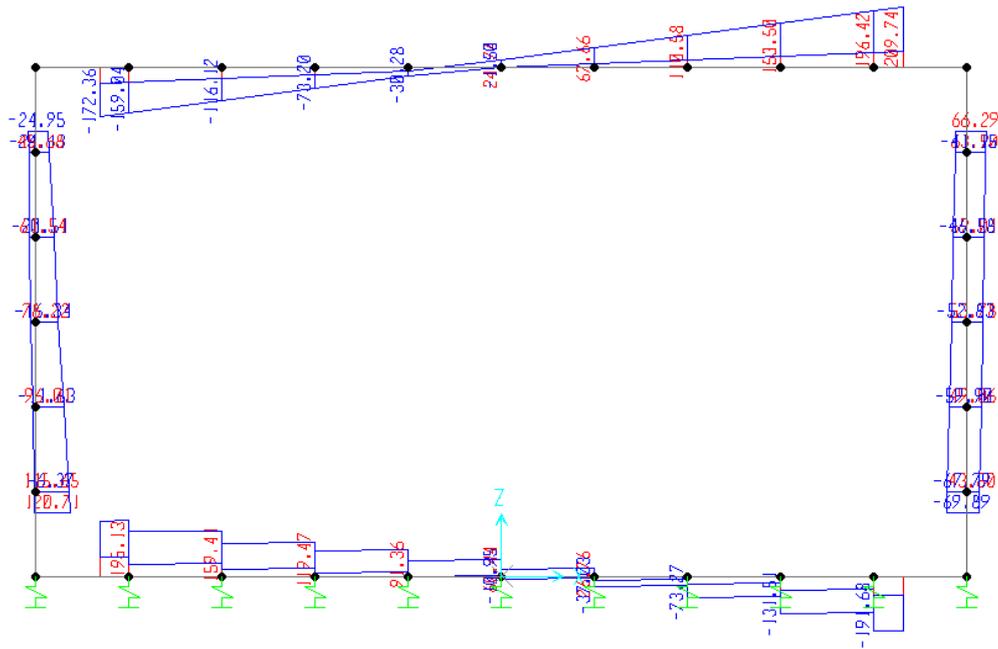


Fig. 21 – Involucro sforzi taglienti SLU

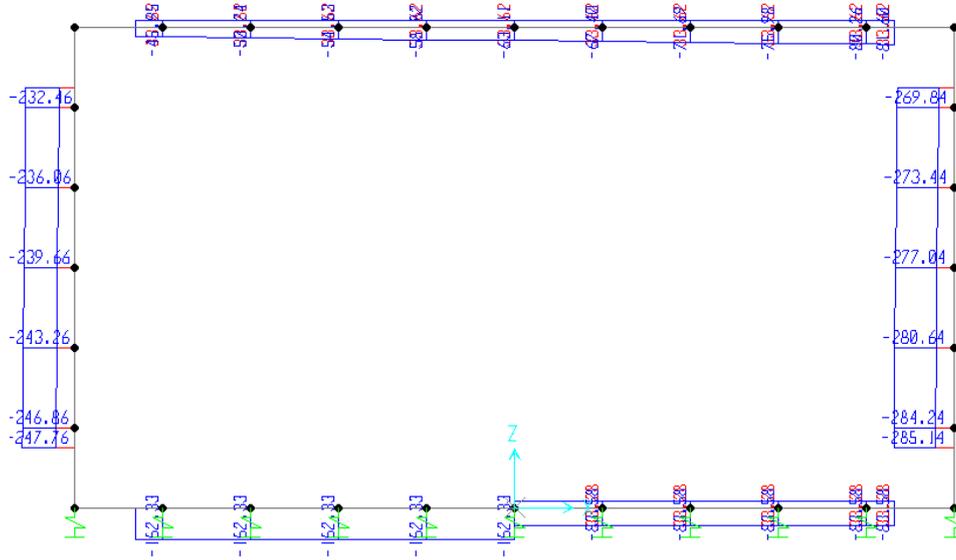


Fig. 22 – Inviluppo azioni assiali SLU

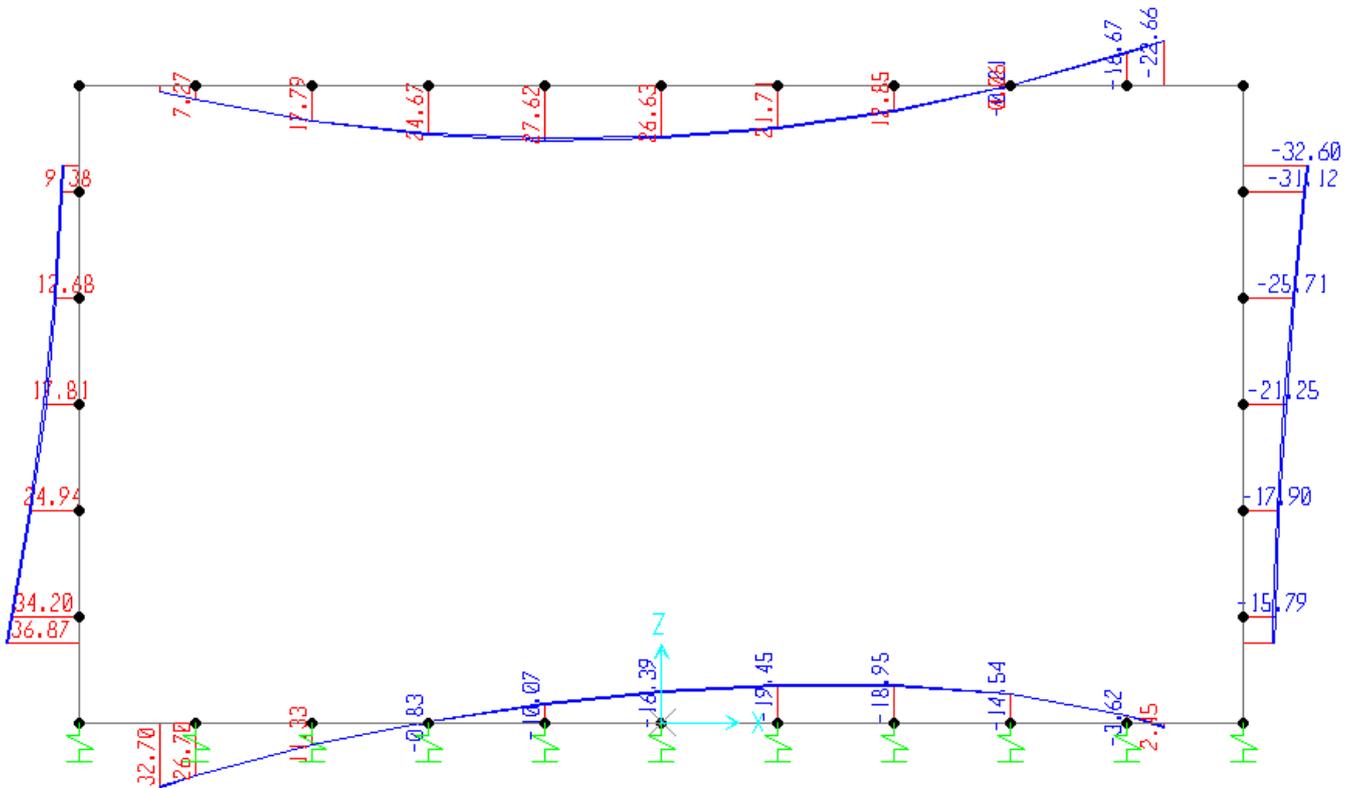


Fig. 23 – Inviluppo momenti flettenti SLV

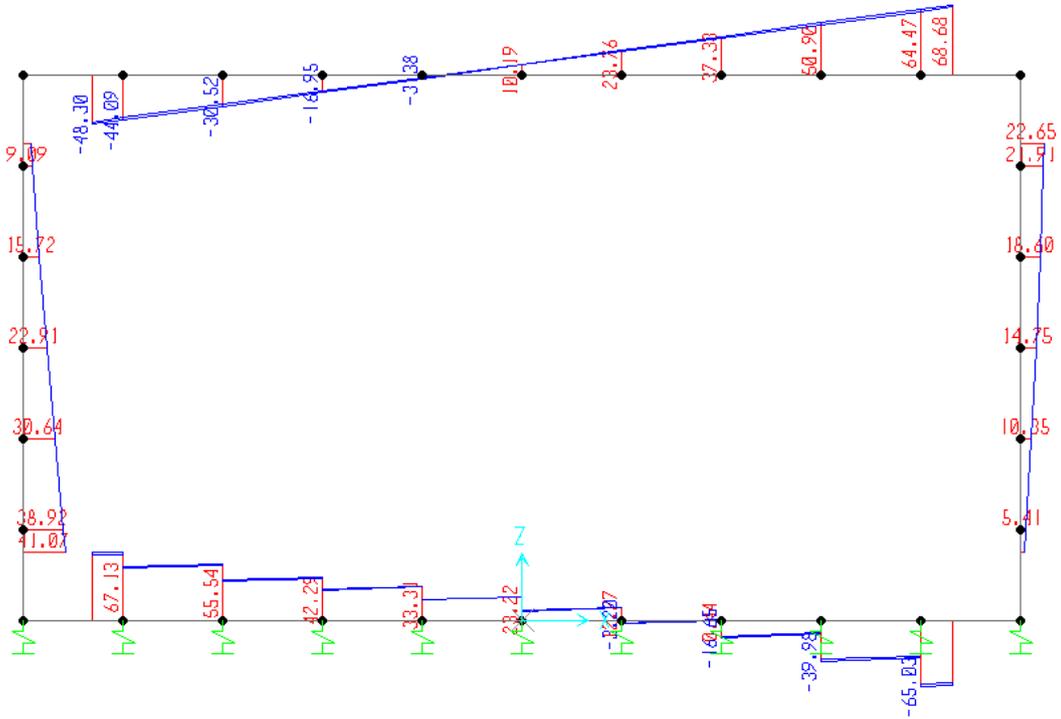


Fig. 24 – Inviluppo sforzi taglienti SLV

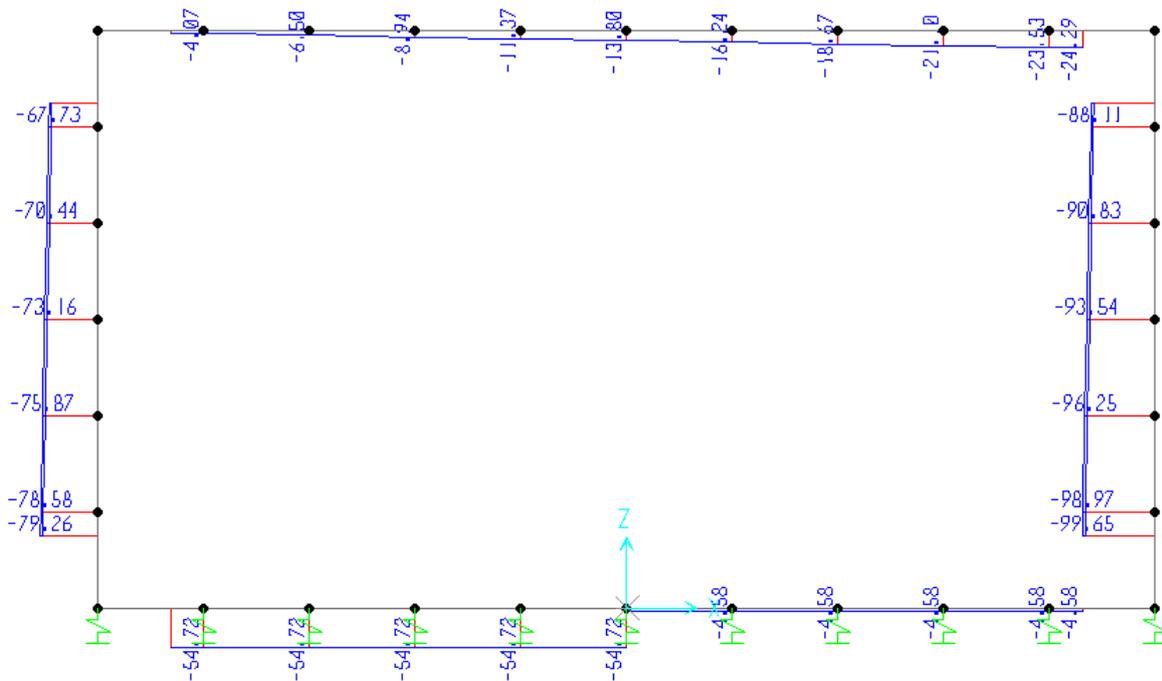


Fig. 25 – Inviluppo azioni assiali SLV

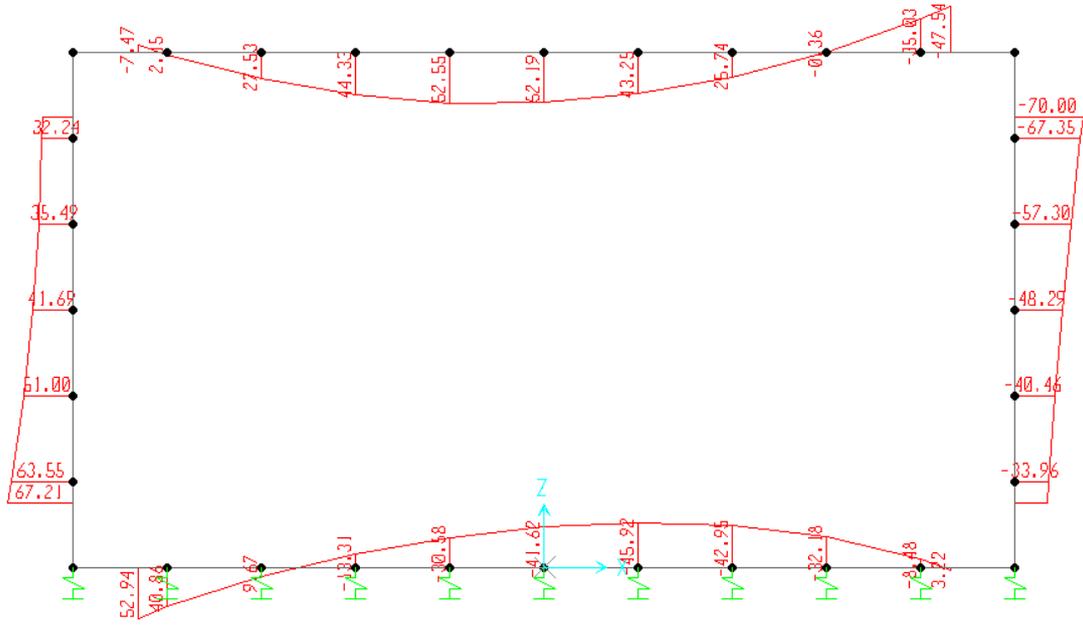


Fig. 26 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

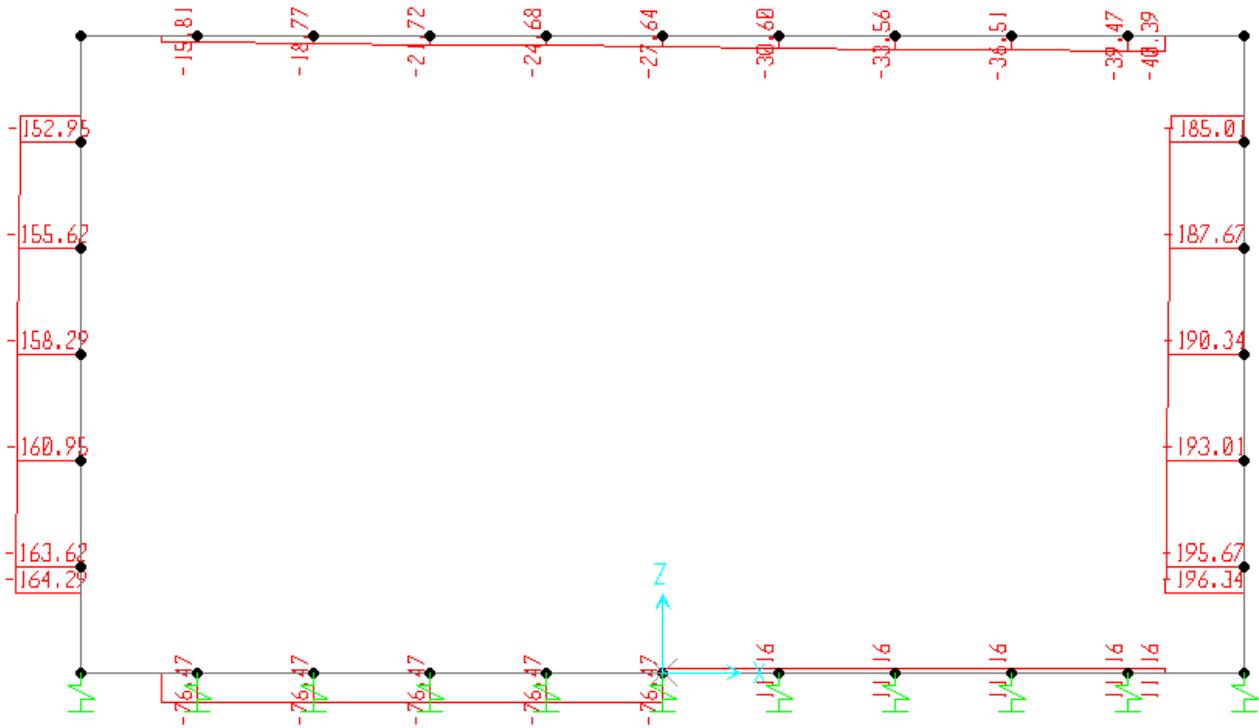


Fig. 27 – Involuppo azioni assiali SLE rara

### 11.3 Verifica delle sezioni in c.a.

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

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

SLU STR-SLV				
Elemento strutturale	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$I_{max}$ (kN)
soletta inferiore	SLU14-STR2	148.10	105.97	195.13
	SLU14-STR	-33.28	-71.34	-
soletta superiore	SLU13-STR	64.76	-74.32	209.74
	SLU14-STR2	0.24	103.31	-
piedritti	SLU02-STR2	74.73	-8.47	120.71
	SLU14-STR2	235.67	119.29	120.71
	SLU14-STR	268.94	106.47	69.89
	SLU03-STR2	74.73	-8.47	69.89

Elemento strutturale	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	101.58	73.03	soletta inferiore	88.85	63.23	soletta inferiore	56.96	38.84
	-11.16	-45.92		-2.17	-37.20		36.04	-16.10
soletta superiore	40.39	-47.54	soletta superiore	32.22	-37.77	soletta superiore	13.98	-13.48
	-0.43	72.61		-1.27	63.71		-9.49	43.05
piedritti	152.29	16.84	piedritti	132.32	14.57	piedritti	72.43	4.00
	164.29	82.30		144.32	71.24		84.43	41.83
	184.34	70.00		157.97	57.60		90.84	34.90
	196.34	32.57		169.97	30.95		78.84	11.62

## 11.4 Verifica soletta inferiore

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 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	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	32.0	14
3	42.0	32.0	14
4	42.0	8.0	14

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen.                      Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	135 di 284

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	14
2	2	3	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	148.10	105.97	195.13
2	-33.28	-71.34	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	101.58	73.03	0.00
2	-11.16	-45.92	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	88.85	63.23 (96.05)	0.00 (0.00)
2	-2.17	-37.20 (-86.64)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	56.96	38.84 (96.49)	0.00 (0.00)
2	36.04	-16.10 (-102.38)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	148.10	105.97	147.82	210.72	1.99	30.8(12.0)
2	S	-33.28	-71.34	-33.53	-187.08	2.62	30.8(12.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	40.0	-0.00061	-42.0	32.0	-0.01293	-42.0	8.0
2	0.00350	-50.0	0.0	-0.00096	-42.0	8.0	-0.01433	42.0	32.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000513516	-0.017040634	----	----
2	0.000000000	-0.000557093	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	137 di 284

Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	195.13	876.71	266.57	37.3  29.3	100.0	2.500	1.022	6.8	9.3(0.0)
2	S	0.00	1253.20	107.40	37.5  29.5	100.0	1.000	1.000	0.0	9.3(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	4.85	-50.0	40.0	-133.3	-42.0	8.0	945	15.4
2	S	3.06	-50.0	0.0	-108.9	32.7	32.0	995	15.4

**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 fctm  
 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	-0.00092	0	0.500	14.0	73	0.00040 (0.00040)	394	0.158 (0.20)	95.95	0.00
2	S	-0.00074	0	0.500	14.0	73	0.00033 (0.00033)	402	0.131 (0.20)	-85.58	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	4.20	-50.0	40.0	-115.1	-42.0	8.0	945	15.4
2	S	2.48	-50.0	0.0	-85.9	32.7	32.0	995	15.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-------------	--------	----	---------	---------

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	138 di 284

1	S	-0.00080	0	0.500	14.0	73	0.00035 (0.00035)	394	0.136 (0.20)	96.05	0.00
2	S	-0.00058	0	0.500	14.0	73	0.00026 (0.00026)	402	0.104 (0.20)	-86.64	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	2.58	-50.0	40.0	-69.9	-42.0	8.0	945	15.4
2	S	1.06	-50.0	0.0	-25.0	32.7	32.0	895	15.4

#### 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	-0.00049	0	0.500	14.0	73	0.00021 (0.00021)	394	0.083 (0.20)	96.49	0.00
2	S	-0.00018	0	0.500	14.0	73	0.00008 (0.00008)	387	0.029 (0.20)	-102.38	0.00

Si adottano spille 9Ø12/m<sup>2</sup>

#### 11.4.1 Verifica soletta superiore

##### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 MPa

##### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	139 di 284

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.8	8.2	16
2	-41.8	31.8	16
3	41.8	31.8	16
4	41.8	8.2	16

#### 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	16
2	2	3	8	16

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	64.76	-74.32	209.74
2	0.00	103.31	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	40.39	-47.54	0.00
2	-0.43	72.61	0.00

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	140 di 284

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	32.22	-37.77 (-94.94)	0.00 (0.00)
2	-1.27	63.71 (89.39)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	13.98	-13.48 (-96.20)	0.00 (0.00)
2	-9.49	43.05 (88.21)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	64.76	-74.32	64.61	-245.32	3.30	40.2(12.0)
2	S	0.00	103.31	0.00	237.17	2.30	40.2(12.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00040	-41.8	8.2	-0.01163	41.8	31.8
2	0.00350	-50.0	40.0	-0.00050	-41.8	31.8	-0.01201	-41.8	8.2

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

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	141 di 284

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	-0.000475716	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000487631	-0.016005236		

### VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	209.74	853.87	283.79	37.1   28.9	100.0	2.500	1.010	7.4	10.1(0.0)
2	S	0.00	1229.48	113.80	37.1   28.9	100.0	1.000	1.000	0.0	10.1(0.0)

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

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	2.86	-50.0	0.0	-75.0	32.5	31.8	950	20.1
2	S	4.36	-50.0	40.0	-130.4	-41.8	8.2	1000	20.1

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

Ver.            La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
e1            Esito della verifica  
e2            Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1            Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt            = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2            = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3            = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4            = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø            Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf            Coprifero [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	142 di 284

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	-0.00053	0	0.500	16.0	74	0.00022 (0.00022)	380	0.085 (0.20)	-94.92	0.00
2	S	-0.00090	0	0.500	16.0	74	0.00039 (0.00039)	387	0.151 (0.20)	89.48	0.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	2.28	-50.0	0.0	-59.5	32.5	31.8	950	20.1
2	S	3.83	-50.0	40.0	-114.6	-41.8	8.2	1000	20.1

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00042	0	0.500	16.0	74	0.00018 (0.00018)	380	0.068 (0.20)	-94.94	0.00
2	S	-0.00079	0	0.500	16.0	74	0.00034 (0.00034)	387	0.133 (0.20)	89.39	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	0.81	-50.0	0.0	-20.6	32.5	31.8	950	20.1
2	S	2.58	-50.0	40.0	-79.7	-32.5	8.2	1000	20.1

#### 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	-0.00015	0	0.500	16.0	74	0.00006 (0.00006)	380	0.024 (0.20)	-96.20	0.00
2	S	-0.00055	0	0.500	16.0	74	0.00024 (0.00024)	387	0.092 (0.20)	88.21	0.00

Si adottano spille 9Ø12/mq

### 11.4.2 Verifica piedritti

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	143 di 284

Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	165.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
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 $\beta_1*\beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$ :	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 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	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	14
2	-42.0	32.0	14
3	42.0	32.0	14
4	42.0	8.0	14

#### 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	14
2	1	4	8	14

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
---------	---	----	----

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	144 di 284

1	74.73	-8.47	120.71
2	235.67	119.29	120.71
3	268.94	106.47	69.89
4	74.73	-8.47	69.89

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	152.29	16.84	0.00
2	164.29	82.30	0.00
3	184.34	70.00	0.00
4	196.34	32.57	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	132.32	14.57 (209.31)	0.00 (0.00)
2	144.32	71.24 (98.88)	0.00 (0.00)
3	157.97	57.60 (104.48)	0.00 (0.00)
4	169.97	30.95 (133.47)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	72.43	4.00 (-96.20)	0.00 (0.00)
2	84.43	41.83 (98.82)	0.00 (0.00)
3	90.84	34.90 (103.34)	0.00 (0.00)
4	78.84	11.62 (153.50)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	145 di 284

As Totale Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	74.73	-8.47	75.02	-125.70	15.44	23.1(12.0)
2	S	235.67	119.29	235.88	221.21	1.85	23.1(12.0)
3	S	268.94	106.47	268.81	225.62	2.11	23.1(12.0)
4	S	74.73	-8.47	75.02	-125.70	15.44	23.1(12.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00135	-42.0	8.0	-0.01591	42.0	32.0
2	0.00350	-50.0	40.0	-0.00062	-42.0	32.0	-0.01299	-42.0	8.0
3	0.00350	-50.0	40.0	-0.00054	-42.0	32.0	-0.01266	-42.0	8.0
4	0.00350	-50.0	0.0	-0.00135	-42.0	8.0	-0.01591	42.0	32.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000606524	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000515207	-0.017108276	----	----
3	0.000000000	0.000505061	-0.016702423	----	----
4	0.000000000	-0.000606524	0.003500000	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

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

ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	120.71	879.84	174.85	37.7 29.7	100.0	2.500	1.011	4.2	6.0(0.0)
2	S	120.71	888.03	172.44	37.3 29.3	100.0	2.500	1.035	4.2	6.0(0.0)
3	S	69.89	890.57	172.12	37.2 29.2	100.0	2.500	1.040	2.4	6.0(0.0)
4	S	69.89	879.84	174.85	37.7 29.7	100.0	2.500	1.011	2.4	6.0(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	1.03	-50.0	40.0	-2.0	-42.0	8.0	795	15.4
2	S	5.60	-50.0	40.0	-133.1	-42.0	8.0	895	15.4
3	S	4.73	-50.0	40.0	-99.3	-42.0	8.0	895	15.4
4	S	2.05	-50.0	40.0	-17.6	-42.0	8.0	845	15.4

### 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 fctm
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 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	-0.00003	0	0.500	14.0	73	0.00001 (0.00001)	371	0.002 (0.20)	208.05	0.00
2	S	-0.00094	0	0.500	14.0	73	0.00040 (0.00040)	387	0.154 (0.20)	98.66	0.00
3	S	-0.00071	0	0.500	14.0	73	0.00030 (0.00030)	387	0.115 (0.20)	103.58	0.00
4	S	-0.00015	0	0.500	14.0	73	0.00005 (0.00005)	379	0.020 (0.20)	141.11	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	0.89	-50.0	40.0	-1.6	-42.0	8.0	795	15.4
2	S	4.84	-50.0	40.0	-114.5	-42.0	8.0	895	15.4
3	S	3.89	-50.0	40.0	-79.8	-42.0	8.0	895	15.4

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	147 di 284

4 S 1.97 -50.0 40.0 -20.2 -42.0 8.0 895 15.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00003	0	0.500	14.0	73	0.00000 (0.00000)	371	0.002 (0.20)	209.31	0.00
2	S	-0.00081	0	0.500	14.0	73	0.00034 (0.00034)	387	0.133 (0.20)	98.88	0.00
3	S	-0.00057	0	0.500	14.0	73	0.00024 (0.00024)	387	0.092 (0.20)	104.48	0.00
4	S	-0.00016	0	0.500	14.0	73	0.00006 (0.00006)	387	0.023 (0.20)	133.47	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	0.31	-50.0	40.0	1.2	-42.0	8.0	---	---
2	S	2.84	-50.0	40.0	-67.3	-32.7	8.0	895	15.4
3	S	2.36	-50.0	40.0	-49.8	-42.0	8.0	895	15.4
4	S	0.72	-50.0	40.0	-4.7	-42.0	8.0	895	15.4

**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	-0.00015	0	---	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-96.20	0.00
2	S	-0.00047	0	0.500	14.0	73	0.00020 (0.00020)	387	0.078 (0.20)	98.82	0.00
3	S	-0.00036	0	0.500	14.0	73	0.00015 (0.00015)	387	0.058 (0.20)	103.34	0.00
4	S	-0.00004	0	0.500	14.0	73	0.00001 (0.00001)	387	0.005 (0.20)	153.50	0.00

Si adottano spille 8Ø10/mq

**11.5 Tabella riepilogativa incidenza ferri**

	Inc. Armature [kg/mc]
Soletta inf.	105
Soletta sup.	130
Piedritto	75

(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

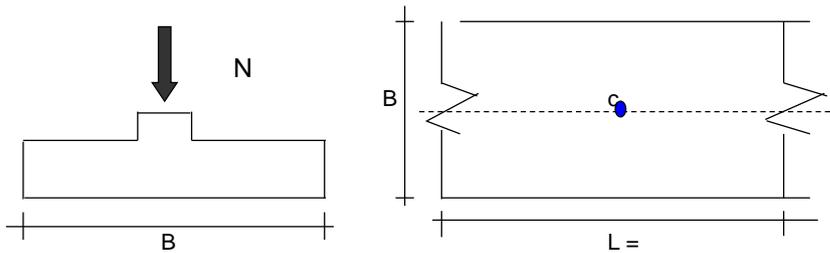
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	148 di 284

### 11.6 Verifica dei cedimenti a lungo termine

Peso	3.3	x	2 =	6.60 mq					
	2.5	x	1.2 =	-3.00 mq					
				<u>3.60 mq</u>					
				Peso	90 kN	x	$\gamma$ 1	SLE	90.00 kN
Ballast	0.8	x	3.3 x	18	47.52 kN				
Ricoprimento	0.37	x	3.3 x	20	<u>24.42 kN</u>				
					71.94 kN	x	1		71.94 kN
									<u>161.94 kN</u>

**CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME**

**LAVORO:**



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

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

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

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) * (v\alpha)$$

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

$$\delta_{\text{tot}} = \sum \delta_i = \sum (((\Delta\sigma_z - v(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \Delta z_i / E_i)$$

**DATI DI INPUT:**

B = 3.30 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 161.94 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 49.07 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

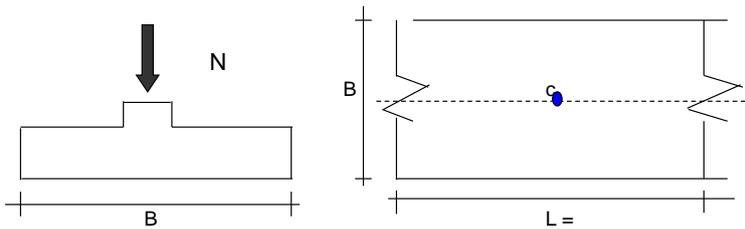
Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		8.00	0.0	8.0	1.0	15000	0.30	1.18
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 1.18 \text{ (cm)}$$

## 11.7 Verifica dei cedimenti a breve termine

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

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

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

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

#### DATI DI INPUT:

B = 3.30 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 161.94 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 49.07 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		8.00	0.0	8.0	1.0	45000	0.30	0.39
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{ctot} = 0.39 \text{ (cm)}$$

Per l'andamento dei cedimenti nel tempo vedasi "Relazione di Calcolo Rilevati ferroviari" NR1J01D29CLGE0005001B.

## 11.1 Verifica di portanza

### 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  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

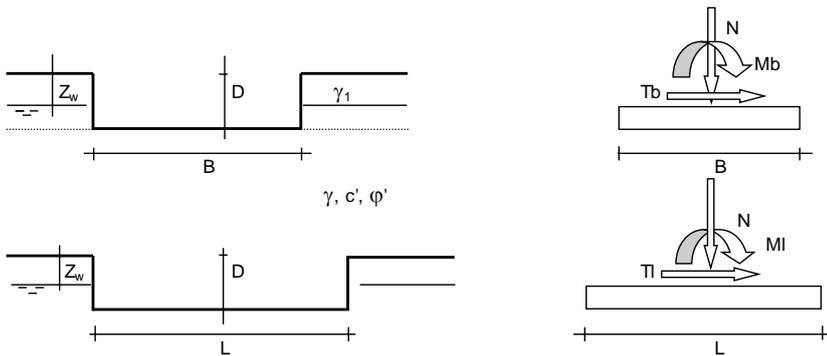
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = 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	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	1,00
	SISMA	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80	1,00
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	1,10
	SISMA	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili		1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista		1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 3,30 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 3,17 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	562,13		562,13
Mb [kNm]	0,00		0,00
Ml [kNm]	0,00		0,00
Tb [kN]	0,00		0,00
Tl [kN]	0,00		0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

*Peso unità di volume del terreno*

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \\ \gamma &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \end{aligned}$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$\begin{aligned} c' &= 0,00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 26,00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

*Valori di progetto*

$$\begin{aligned} c' &= 0,00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 26,00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 25,00 \quad (\text{m})$$

$$\begin{aligned} e_B &= 0,00 \quad (\text{m}) \\ e_L &= 0,00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^* &= 3,30 \quad (\text{m}) \\ L^* &= 1,00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 50,72 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

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

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

$$N_q = 11,85$$

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

$$N_c = 22,25$$

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

$$N_\gamma = 12,54$$

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

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

$$s_c = 1,16$$

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

$$s_q = 1,15$$

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

$$s_\gamma = 0,88$$

**$i_c, i_q, i_y$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,77 \quad \theta = \arctg(Tb/Tl) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,23 \quad m = 1,77 \quad (-)$$

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

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme e m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

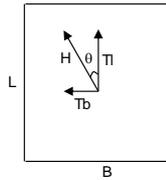
$$i_q = 1,00$$

$$i_c = i_q \cdot (1 - i_q)/(Nq - 1)$$

$$i_c = 1,00$$

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

$$i_y = 1,00$$



**$d_c, d_q, d_y$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

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

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

$$d_q = 1,39$$

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

$$d_c = 1,43$$

$$d_y = 1$$

$$d_y = 1,00$$

**$b_c, b_q, b_y$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_l \tan\varphi')^2 \quad \beta_l + \beta_p = 0,00 \quad \beta_l + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_y = b_q$$

$$b_y = 1,00$$

**$g_c, g_q, g_y$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_l + \beta_p = 0,00 \quad \beta_l + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_y = g_q$$

$$g_y = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1046,91 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 170,34 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 455,18 \geq q = 170,34 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni totali**

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

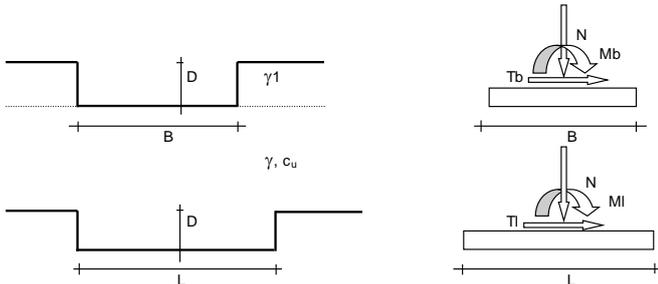
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze	
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo						
A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
A2+M2+R2	1,00	1,30	1,40	1,80	1,00	
SISMA	1,00	1,00	1,40	1,80	1,00	
A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	2,30	1,10	
SISMA	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	
Tensioni Ammissibili	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	
Definiti dal Progettista	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 3,30 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 3,17 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	562,13	0,00	562,13
Mb [kNm]	0,00	0,00	0,00
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	0,00	0,00	0,00
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

Valore caratteristico di resistenza del terreno

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

Valore di progetto

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

$e_B = 0,00$  (m)

$B^* = 3,30$  (m)

$e_L = 0,00$  (m)

$L^* = 1,00$  (m)

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 50,72 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**N<sub>c</sub>** : coefficiente di capacità portante

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5,14$$

**s<sub>c</sub>** : fattori di forma

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1,06$$

**i<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,77$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,23$$

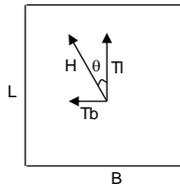
$$\theta = \arctg(Tb/\Pi) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m = 1,77$$

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme e m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 1,00$$



**d<sub>c</sub>** : fattore di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_c = 1 + 0,4 D / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$$

$$d_c = 1,51$$

**b<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione base della fondazione

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1,00$$

**g<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione piano di campagna

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 461,24 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 170,34 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 200,54 \geq q = 170,34 \quad (\text{kN/m}^2)$$

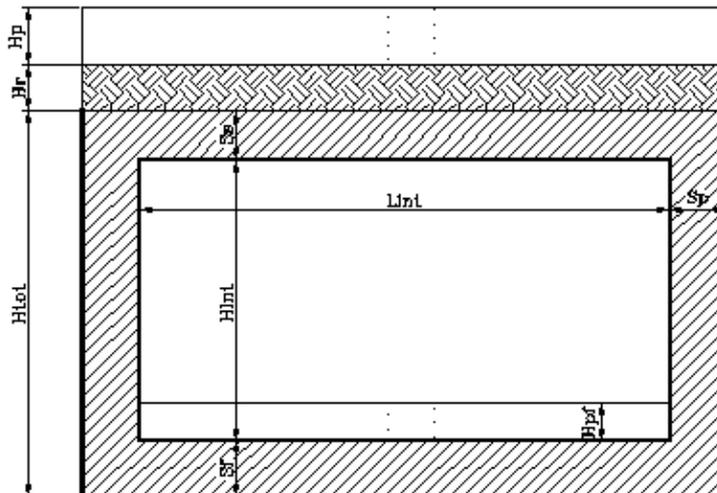
## 12 TOMBINO MODELLO 4: 4.00 X 2.00 M

### 12.1 Analisi dei carichi di progetto

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 4.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 2.00$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.50$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.50$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.50$  m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

### Geometria



#### DATI GEOMETRICI

Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	5.00	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	4.00	m
larghezza interasse	$L_a$	4.50	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.50	m
spessore piedritti	$S_p$	0.50	m
spessore fondazione	$S_f$	0.50	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	3.00	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	2.00	m
			m
spessore ballast	$H_{psup}$	0.80	m
ricoprimento	$H_{Rsup}$	0.43	m
spessore pacchetto interno	$H_{pinf}$	0.00	m
spessore ricoprimento interno	$H_{Rinf}$	0.00	m

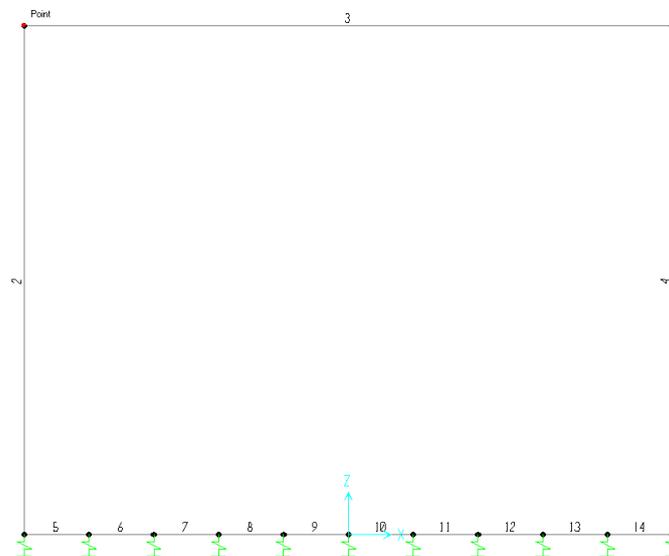
### Modello di calcolo

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

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

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

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazioni aste e nodi*

### Valutazione della rigidità delle molle

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

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

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

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

E =	15000	kN/m <sup>2</sup>
$\nu$ =	0.3	
B =	5.0	m
L =	20.0	m
L/B =	4.00	
$c_t$ =	1.59	
$K_w$ =	2069	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 2000 kN/m<sup>3</sup>.

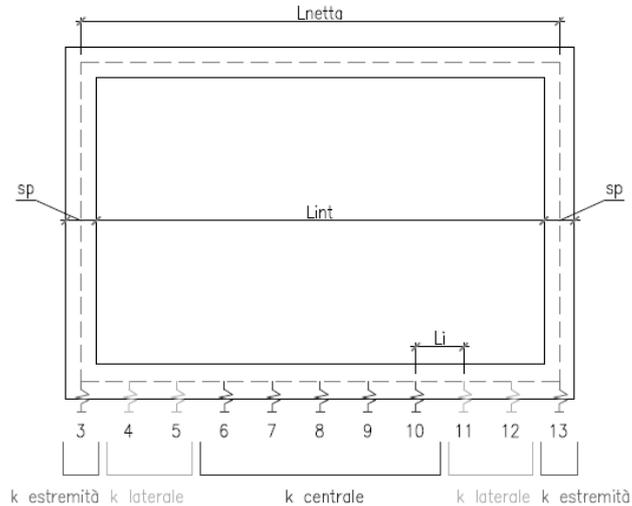
Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 2000$  kN/mc in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

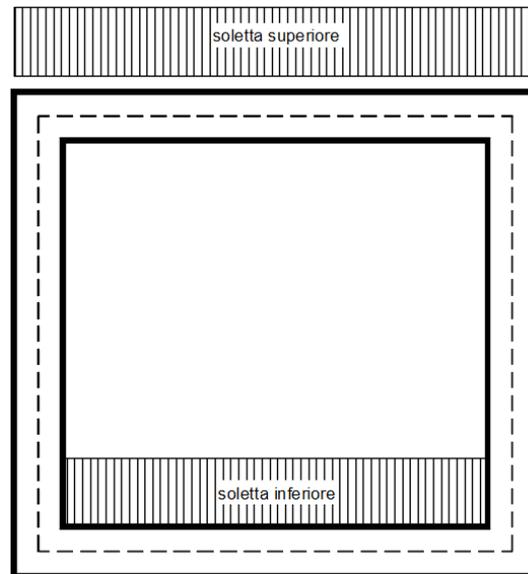
Molle laterali  $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$  [kN/m]



## Analisi dei carichi

### Peso proprio della struttura e carichi permanenti portati

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso Ballast	14.40 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 42.5 cm	8.50 kN/m
	- Totale	<b>22.90 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	- Totale	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 5.73 kN.

### *Spinta in presenza di falda*

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

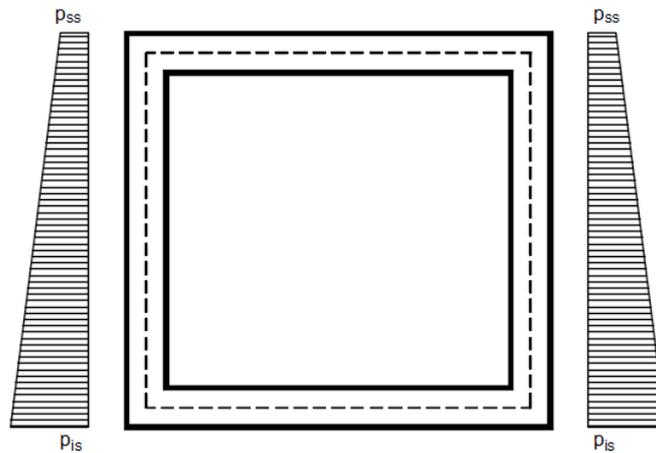
$$u = \gamma_w \cdot z$$

L'opera non è interessata dalla falda.

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

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_o=1-\sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_o=0.38$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

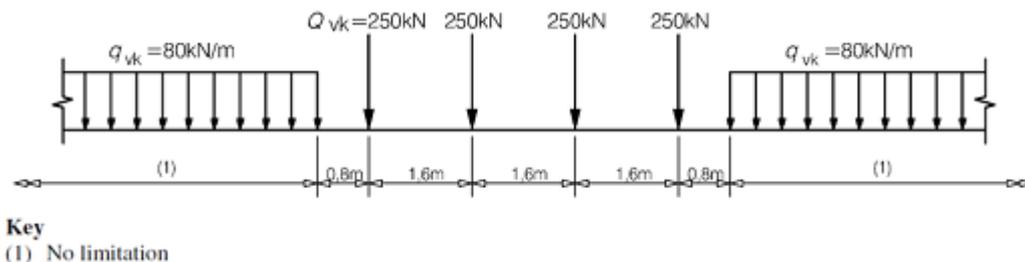
$$\begin{aligned}
 p_{ss} &= K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = & 11.3 \text{ kN/m} \\
 p_{is} &= p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = & 30.6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 2.59 kN ed inferiore con valore pari a 7.88 kN.

**12.1.1 Treni di carico**

12.1.1.1 Treno di carico LM71



**Fig. 28** –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

$\alpha =$  coefficiente di adattamento = 1.10

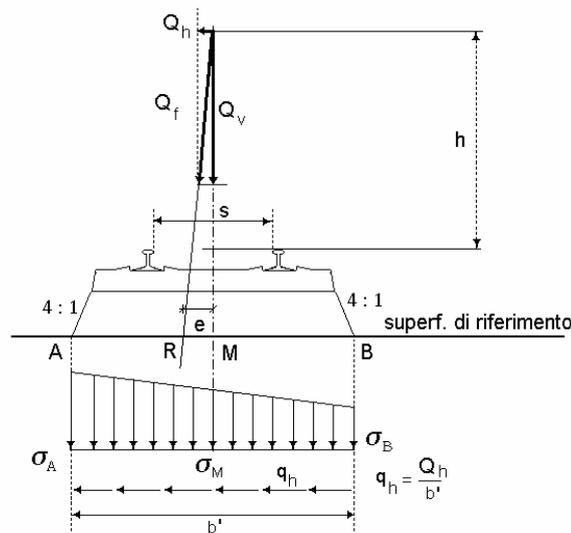
Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al "Manuale di Progettazione delle Opere Civili"

Considerando un ridotto standard manutentivo si ha (tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 punto 5.4):

$$\Phi_3 = 1.35$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_{\text{trasy}} = 2.4 + [0.35/4 + H_{\text{rsup}} \cdot \tan(38^\circ) + S_3/2] \cdot 2 = 3.74 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{\text{long}} = 6.14$  m.

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{\text{trasy}} \cdot L_{\text{long}}) = 64.69 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

$$= 80 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / L_{\text{trasy}} = 31.77 \text{ kN/m}^2$$

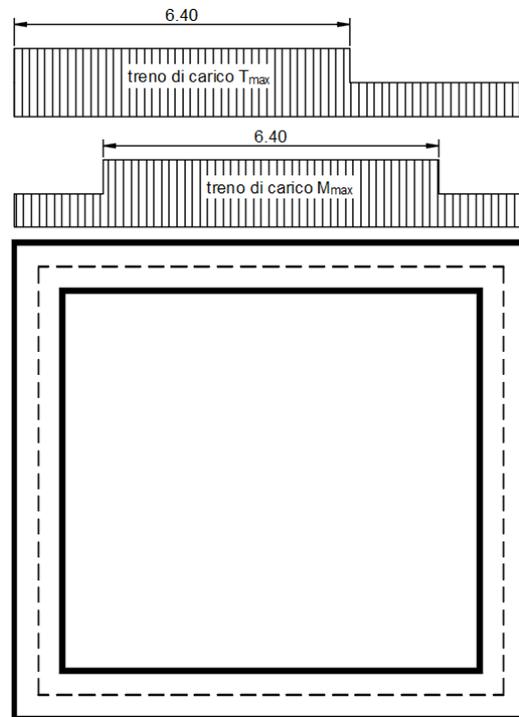
**Treni di carico SW/2**

$$Q_{sw/2} = 150 * 1.0 * \Phi_3 / L_{trasv} = 54.16 \text{ kN/m}^2$$

**Treni di carico SW/0**

$$Q_{sw/0} = 133 * 1.1 * \Phi_3 / L_{trasv} = 52.82 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti, per la dimensione dell'opera le due condizioni sono coincidenti.



Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 16.17 kN.

**12.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico**

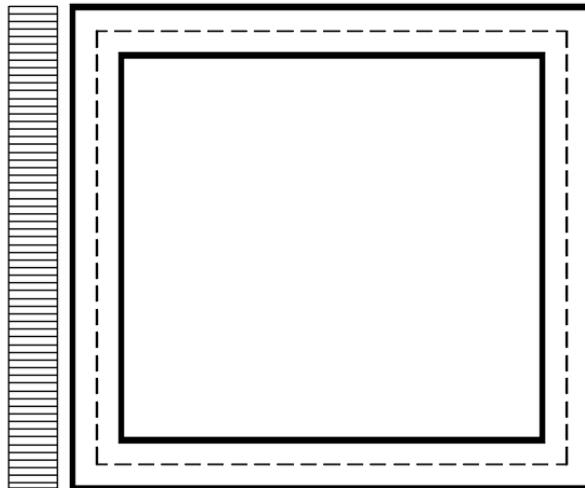
Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 24.86 \text{ kN/m}^2$$

La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

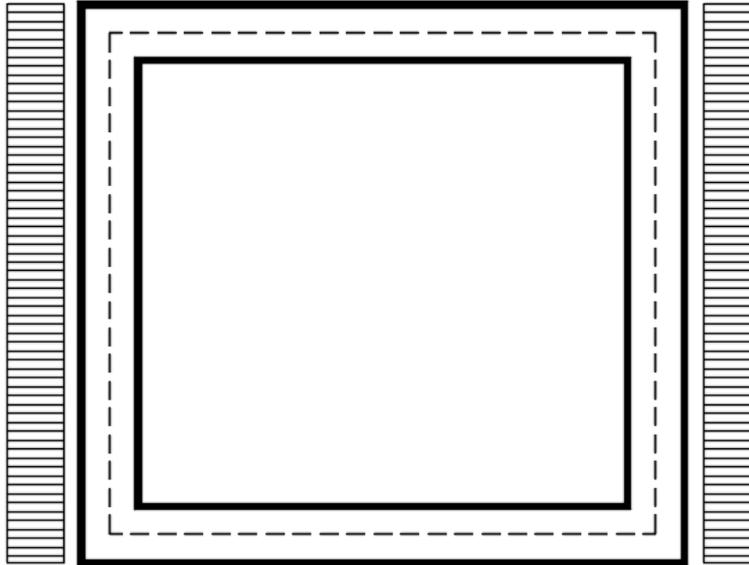
g) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 6.22 kN ed inferiore con valore pari a 6.22 kN.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<i>Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari</i>	COMMESSA <b>NR1J</b>	LOTTO <b>01 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 004</b>	REV. <b>B</b>

h) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 6.22 kN ed inferiore con valore pari a 6.22 kN.

### 12.1.3 Avviamento e frenatura

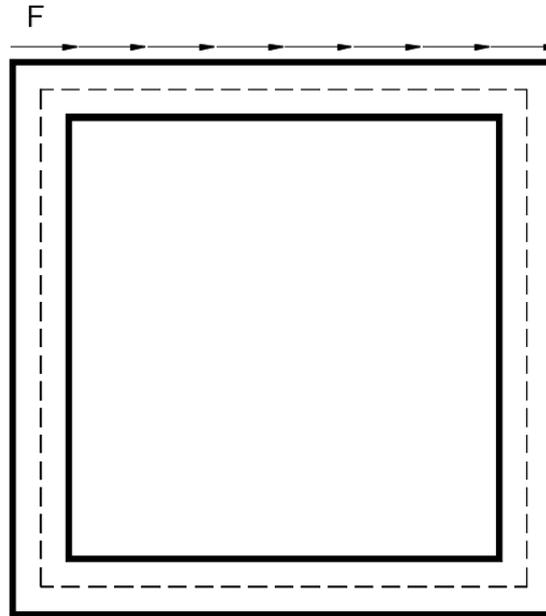
avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[\text{m}] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[\text{m}] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[\text{m}]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 9.7 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 2.43 kN.

#### ***12.1.4 Serpeggio e centrifuga***

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

### 12.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura

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

#### Clc a t=0

$R_{ck}$	=	37	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	38.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33019	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

#### Tempo e ambiente

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	1000	mm	dimensione fittizia dell'elemento di clc
$A_c$	=	500000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

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

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.982$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 131.52 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \right] \alpha_2 = 1.228 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.932 \text{ coeff per la resistenza del clc}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.980 \text{ coeff per la resistenza del clc}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.700 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del clc}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.649 \text{ coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 6.19 \text{ coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\alpha = 1 \text{ coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)}$$

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	168 di 284

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{u_3} = 0.984 \quad \text{coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \quad \text{coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.951 \quad \text{coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11072916 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{ca}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000337 \quad \text{deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_B \varepsilon_{ca,0} = 0.000285 \quad \text{deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.952825$$

$K_B =$

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

Valori di  $K_B$

$h_0$	$K_B$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

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

$$\varepsilon_{ca,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000428 \quad \text{deformazione di base}$$

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

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

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)}$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000052 \quad \text{deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

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

$$\varepsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000052$$

Variatione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

### 12.1.6 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C.

#### Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

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

$k_v = \pm 0.5 * k_h$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.074$  g.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$S_s = 1.600$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$  Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1 * 0.074 \text{ g} = 0.118 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.118$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.059$$

### Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma * (H_{\text{tot}}) = 7.10 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 8.58 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

$$\text{Totale} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 1.53 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 2.71 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 5.72 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 2.15 kN ed inferiore con valore pari a 2.15 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.37 kN ed inferiore con valore pari a 0.37 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.77 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

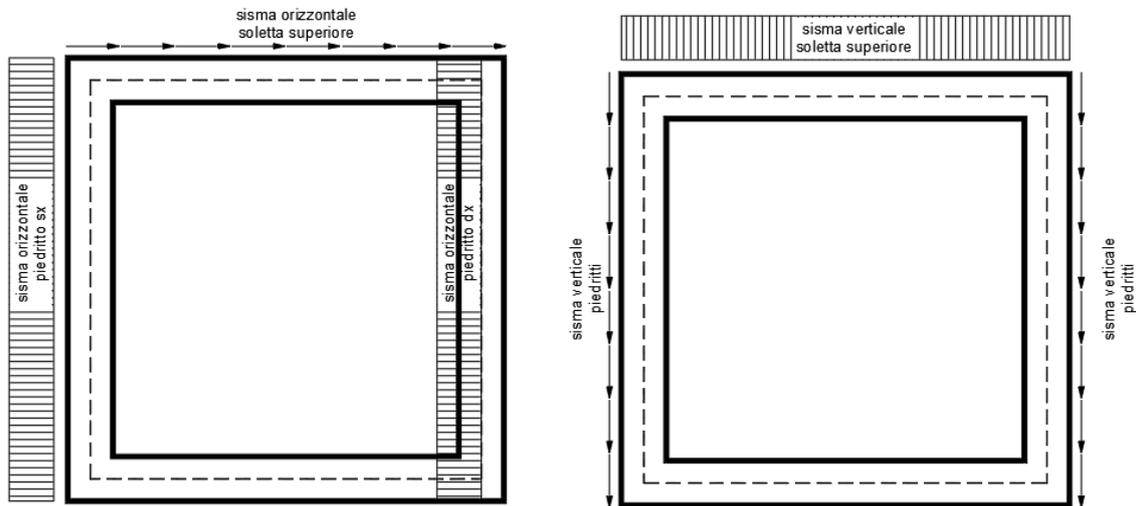
$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 1.36 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 2.86 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 0.72 kN.

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



### Spinta sismica terreno

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2 = 21.31 \text{ kN/m}$$

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

## 12.2 Diagrammi delle sollecitazioni

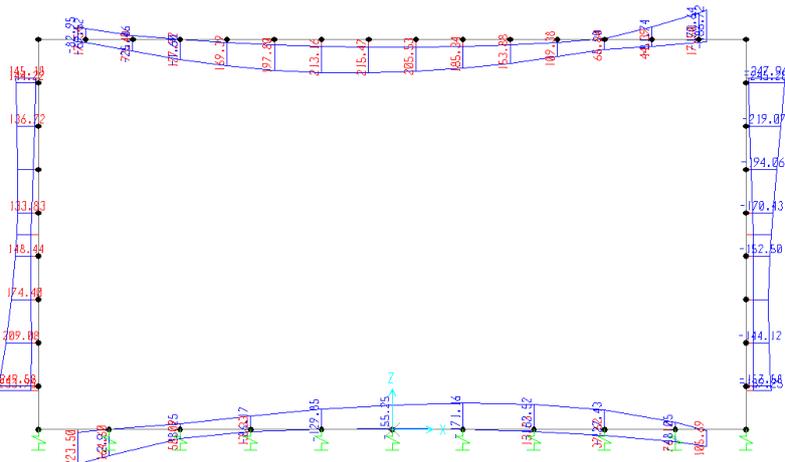


Fig. 29 – Involucro momenti flettenti SLU

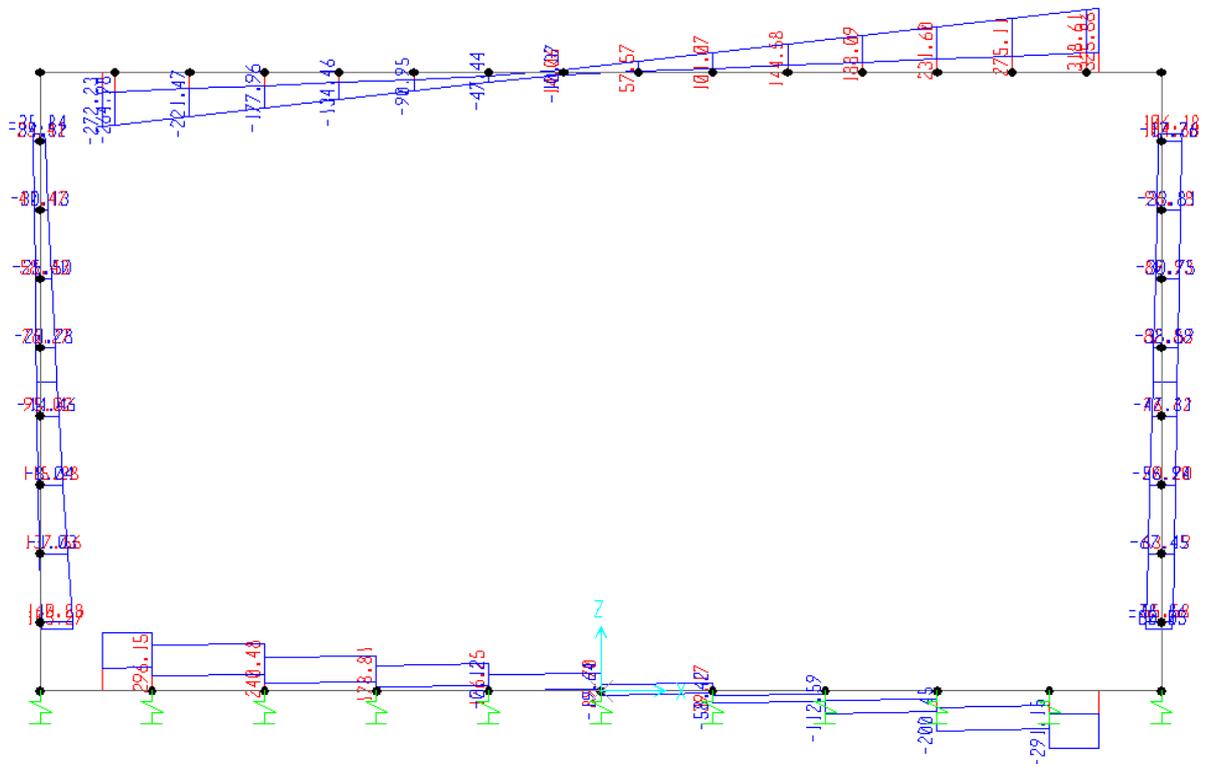


Fig. 30 – Involucro sforzi taglianti SLU

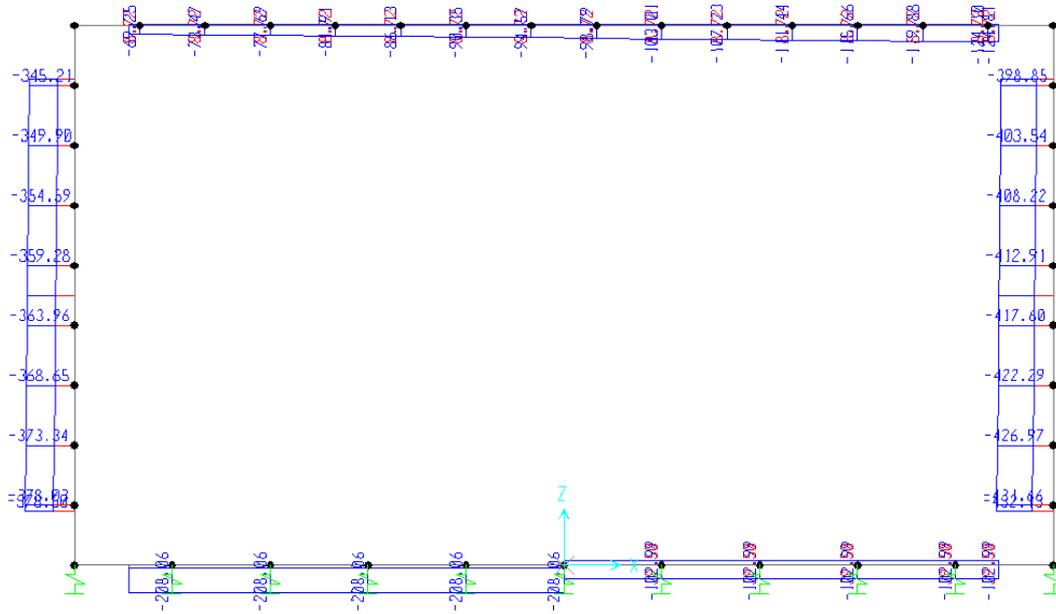


Fig. 31 – Involuppo azioni assiali SLU

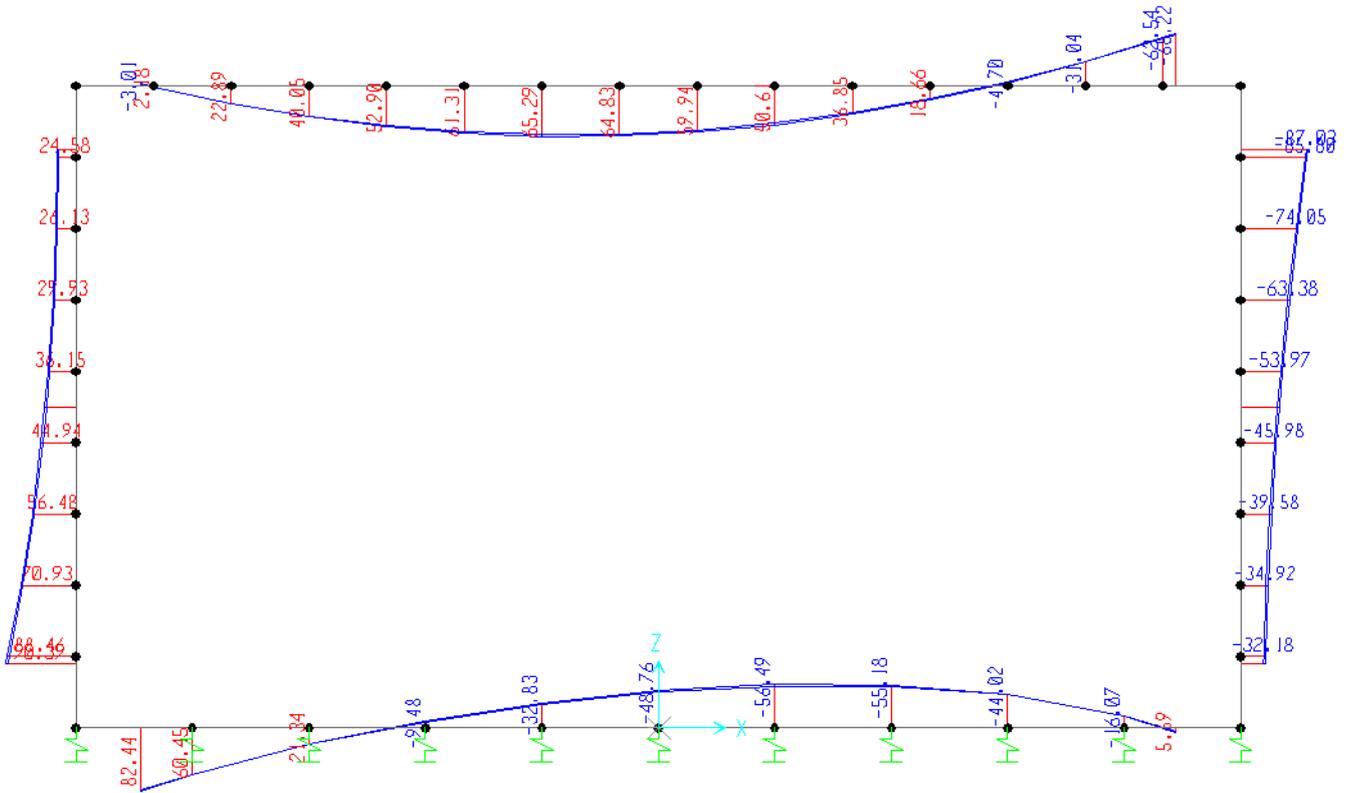


Fig. 32 – Involuppo momenti flettenti SLV

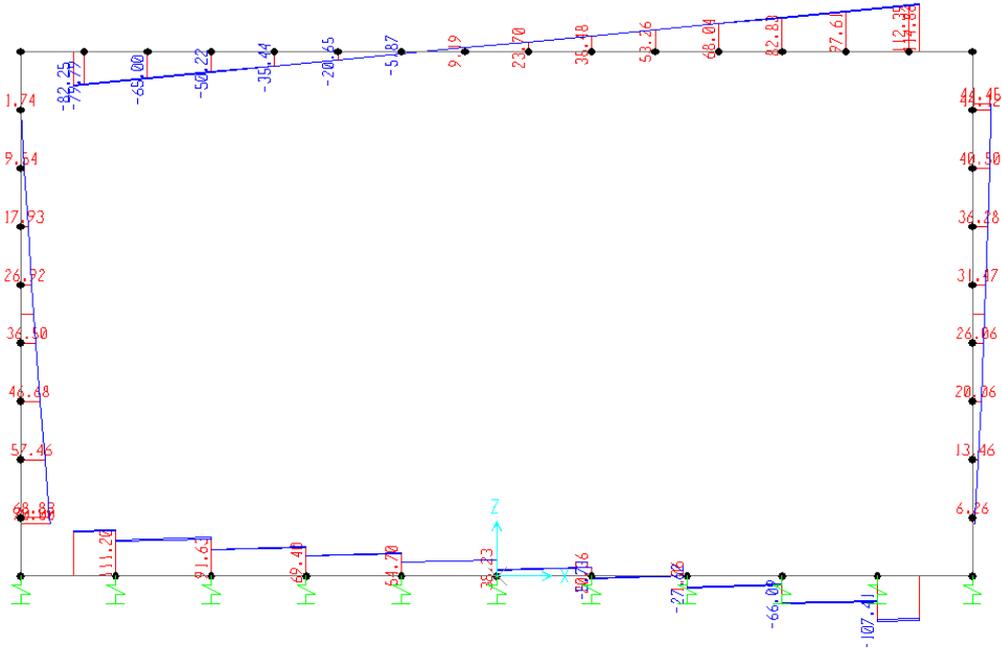


Fig. 33 – Involuppo sforzi taglianti SLV

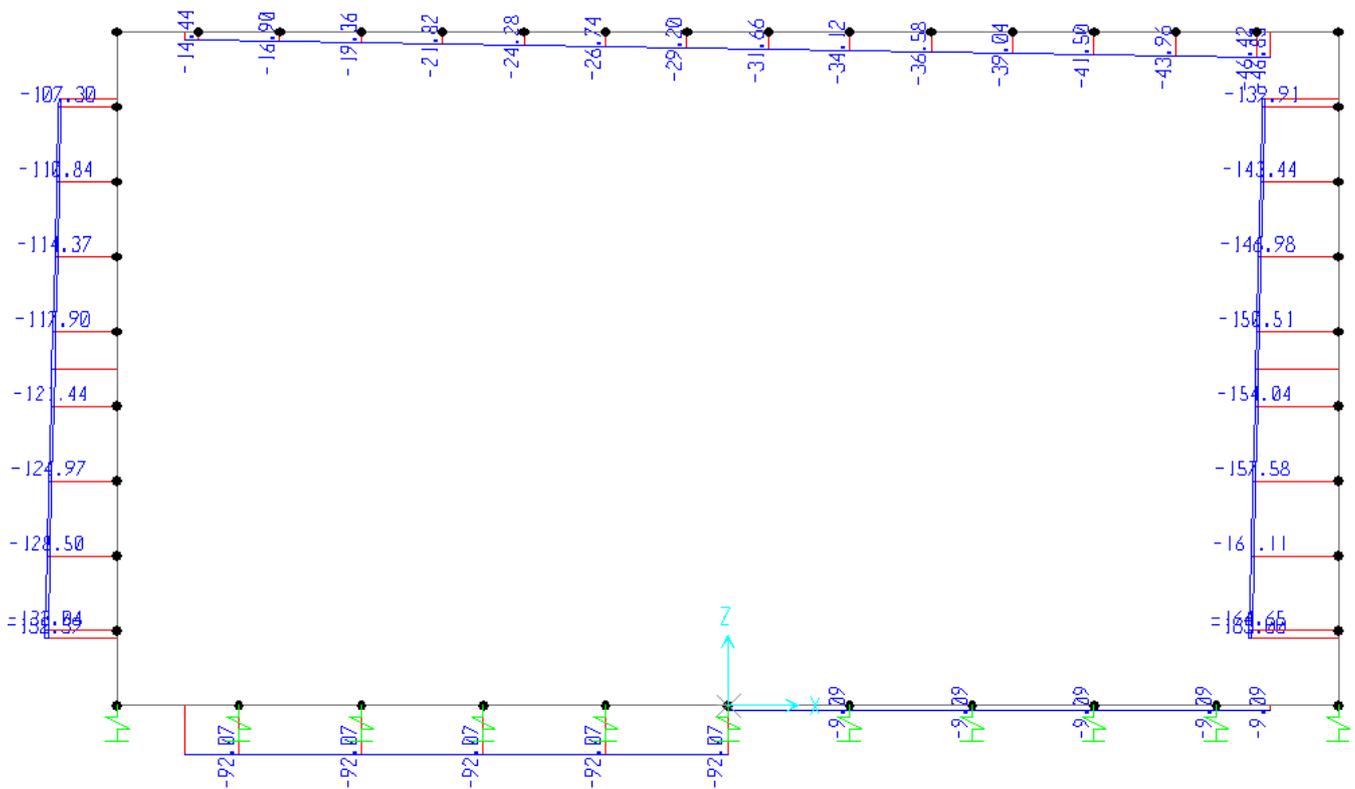


Fig. 34 – Involuppo azioni assiali SLV

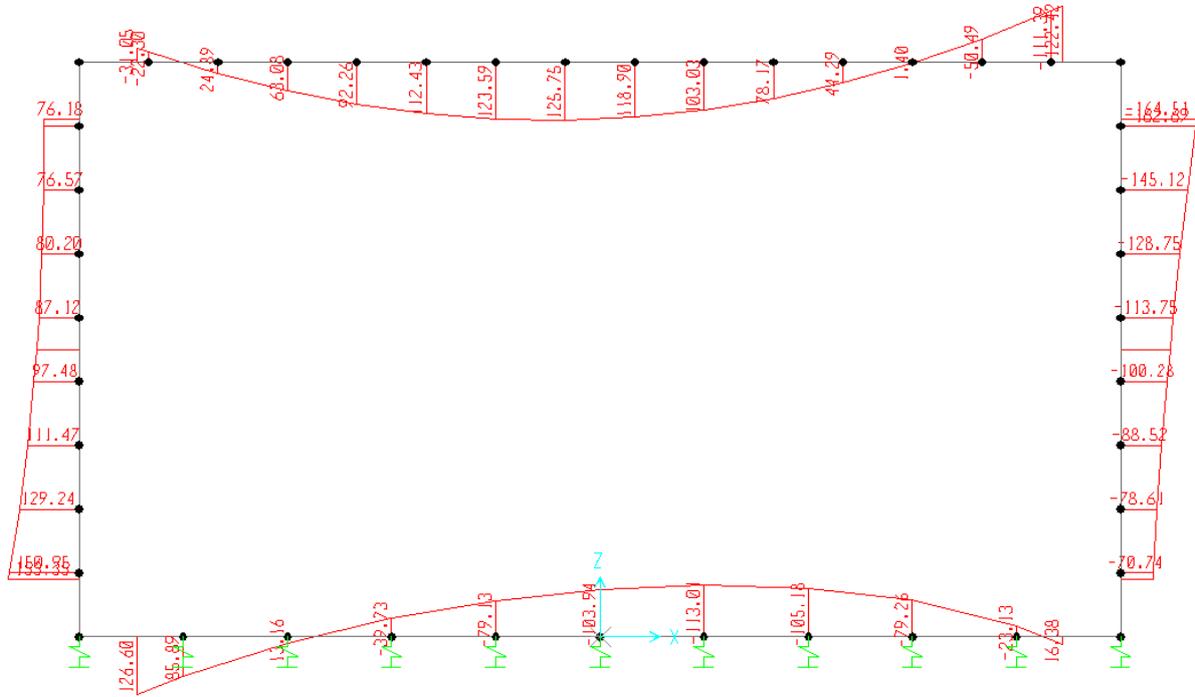


Fig. 35 – Inviluppo momenti flettenti SLE rara

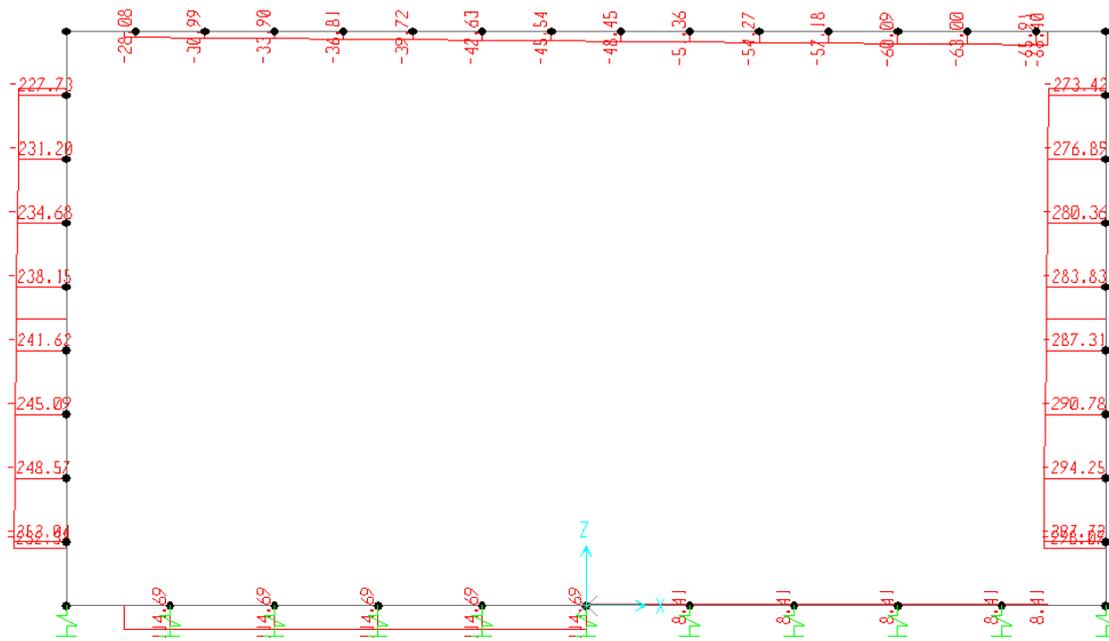


Fig. 36 – Inviluppo azioni assiali SLE rara

### 12.3 Verifica delle sezioni in c.a.

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

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

SLU STR-SLV				
Elemento strutturale	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$I_{max}$ (kN)
soletta inferiore	SLU14-STR2	199.76	223.50	296.15
	SLU14-STR	-39.50	-171.16	-
soletta superiore	SLU13-STR	102.72	-186.72	325.86
	SLU14-STR2	35.72	215.47	-
piedritti	SLU17-SIS2	102.14	5.96	163.27
	SLU14-STR2	360.50	253.96	163.27
	SLU14-STR	398.38	247.96	106.18
	SLU03-STR2	125.38	17.64	106.18

Elemento strutturale	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	134.26	151.08	soletta inferiore	117.93	130.30	soletta inferiore	73.84	74.07
	-8.41	-113.01		3.15	-95.15		57.54	-48.28
soletta superiore	66.40	-122.42	soletta superiore	55.81	-101.13	soletta superiore	28.96	-43.36
	25.98	150.14		22.83	131.81		8.49	82.91
piedritti	227.39	56.68	piedritti	199.61	51.18	piedritti	116.28	29.81
	252.39	172.98		224.61	149.74		141.28	84.94
	273.07	164.51		236.16	138.09		150.42	68.29
	298.07	70.07		261.16	66.76		132.71	45.33



*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	178 di 284

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	20
2	2	3	8	20

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	199.76	223.50	296.15
2	-39.50	-171.16	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	134.26	151.08	0.00
2	-8.41	-113.01	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	117.93	130.30 (163.96)	0.00 (0.00)
2	3.15	-95.15 (-151.40)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	73.84	74.07 (165.40)	0.00 (0.00)
2	57.54	-48.28 (-168.56)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	199.76	223.50	199.51	499.04	2.23	62.8(15.0)
2	S	-39.50	-171.16	-39.31	-458.46	2.68	62.8(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	50.0	0.00028	-41.6	41.6	-0.01247	-41.6	8.4
2	0.00350	-50.0	0.0	0.00003	-41.6	8.4	-0.01366	41.6	41.6

### 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	0.000383780	-0.015688999	----	----
2	0.000000000	-0.000412551	0.003500000	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
bw	I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce. Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore $L/d_{max}$ con $L=lungh.legat.proietta-$

ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	296.15	1138.53	358.88	46.4  38.0	100.0	2.500	1.024	8.0	9.7(0.0)
2	S	0.00	1623.78	144.52	46.6  38.2	100.0	1.000	1.000	0.0	9.7(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	4.73	-50.0	50.0	-112.4	-32.4	8.4	1150	31.4
2	S	3.45	-50.0	0.0	-101.1	32.4	41.6	1200	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 fctm
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00075	0	0.500	20.0	74	0.00034 (0.00034)	376	0.127 (0.20)	163.70	0.00
2	S	-0.00066	0	0.500	20.0	74	0.00030 (0.00030)	381	0.116 (0.20)	-149.98	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	4.08	-50.0	50.0	-96.6	-32.4	8.4	1150	31.4
2	S	2.92	-50.0	0.0	-83.5	32.4	41.6	1200	31.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00064	0	0.500	20.0	74	0.00029 (0.00029)	376	0.109 (0.20)	163.96	0.00
2	S	-0.00055	0	0.500	20.0	74	0.00025 (0.00025)	381	0.096 (0.20)	-151.40	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	2.32	-50.0	50.0	-53.9	-32.4	8.4	1100	31.4
2	S	1.52	-50.0	0.0	-33.7	32.4	41.6	1100	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	-0.00036	0	0.500	20.0	74	0.00016 (0.00016)	371	0.060 (0.20)	165.40	0.00
2	S	-0.00023	0	0.500	20.0	74	0.00010 (0.00010)	371	0.037 (0.20)	-168.56	0.00

Si adottano spille  $9\text{Ø}12/\text{m}^2$

### 12.3.2 Verifica soletta superiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
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	41.6	20
3	41.6	41.6	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	1	4	8	20
2	2	3	8	20

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	102.72	-186.72	325.86
2	35.72	215.47	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	66.40	-122.42	0.00
2	25.98	150.14	0.00

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	183 di 284

N°Comb.	N	Mx	My
1	55.81	-101.13 (-158.63)	0.00 (0.00)
2	22.83	131.81 (153.29)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	28.96	-43.36 (-160.34)	0.00 (0.00)
2	8.49	82.91 (152.33)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	102.72	-186.72	102.64	-482.63	2.58	62.8(15.0)
2	S	35.72	215.47	35.49	471.22	2.19	62.8(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	0.00018	-41.6	8.4	-0.01294	41.6	41.6
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00011	-41.6	41.6	-0.01328	-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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	184 di 284

C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000395218	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000403260	-0.016663006	----	----

## VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = Vy ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	325.86	1128.96	425.31	46.5  38.1	100.0	2.500	1.012	8.8	11.4(0.0)
2	S	0.00	1627.26	170.44	46.5  38.1	100.0	1.000	1.004	0.0	11.4(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	3.80	-50.0	0.0	-97.6	32.4	41.6	1150	31.4
2	S	4.62	-50.0	50.0	-128.4	-32.4	8.4	1200	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 fctm
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
	Massima distanza tra le fessure [mm]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	185 di 284

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	-0.00064	0	0.500	20.0	74	0.00029 (0.00029)	376	0.110 (0.20)	-158.49	0.00
2	S	-0.00084	0	0.500	20.0	74	0.00039 (0.00039)	381	0.147 (0.20)	153.28	0.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	3.14	-50.0	0.0	-80.5	32.4	41.6	1150	31.4
2	S	4.06	-50.0	50.0	-112.7	-41.6	8.4	1200	31.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00053	0	0.500	20.0	74	0.00024 (0.00024)	376	0.091 (0.20)	-158.63	0.00
2	S	-0.00074	0	0.500	20.0	74	0.00034 (0.00034)	381	0.129 (0.20)	153.29	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	1.35	-50.0	0.0	-33.7	32.4	41.6	1150	31.4
2	S	2.55	-50.0	50.0	-71.8	-32.4	8.4	1200	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	0.00010 (0.00010)	376	0.038 (0.20)	-160.34	0.00
2	S	-0.00047	0	0.500	20.0	74	0.00022 (0.00022)	381	0.082 (0.20)	152.33	0.00

Si adottano spille 11Ø12/mq

### 12.3.3 Verifica piedritti

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	186 di 284

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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
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	41.6	20
3	41.6	41.6	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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
---------	---	----	----

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	187 di 284

1	102.14	5.96	163.27
2	360.50	253.96	163.27
3	398.38	247.96	106.18
4	125.38	17.64	106.18

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	227.39	56.68	0.00
2	252.39	172.98	0.00
3	273.07	164.51	0.00
4	298.07	70.07	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	199.61	51.18 (216.41)	0.00 (0.00)
2	224.61	149.74 (167.81)	0.00 (0.00)
3	236.16	138.09 (171.17)	0.00 (0.00)
4	261.16	66.76 (216.72)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	116.28	29.81 (216.43)	0.00 (0.00)
2	141.28	84.94 (170.41)	0.00 (0.00)
3	150.42	68.29 (179.62)	0.00 (0.00)
4	132.71	45.33 (193.68)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	188 di 284

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	102.14	5.96	102.41	482.87	69.45	47.1(15.0)
2	S	360.50	253.96	360.30	526.28	2.06	47.1(15.0)
3	S	398.38	247.96	398.17	532.54	2.13	47.1(15.0)
4	S	125.38	17.64	125.26	486.78	25.85	47.1(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	50.0	0.00026	-41.6	41.6	-0.01254	-41.6	8.4
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00061	-41.6	41.6	-0.01082	-41.6	8.4
3	0.00350	-50.0	50.0	0.00065	-41.6	41.6	-0.01059	-41.6	8.4
4	0.00350	-50.0	50.0	0.00029	-41.6	41.6	-0.01237	-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	0.000385578	-0.015778908	----	----
2	0.000000000	0.000344320	-0.013716012	----	----
3	0.000000000	0.000338726	-0.013436297	----	----
4	0.000000000	0.000381582	-0.015579112	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Ved Taglio di progetto [kN] = Vy ortogonale all'asse neutro  
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallele. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
--------	-----	-----	-----	-----	-------	----	-----	-----	-----	-------

1	S	163.27	1126.26	280.76	46.4	38.0	100.0	2.500	1.012	4.4	7.6(0.0)
2	S	163.27	1146.79	277.54	45.9	37.5	100.0	2.500	1.042	4.4	7.6(0.0)
3	S	106.18	1149.64	277.04	45.9	37.5	100.0	2.500	1.047	2.9	7.6(0.0)
4	S	106.18	1128.17	280.47	46.3	37.9	100.0	2.500	1.015	2.9	7.6(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	1.98	-50.0	50.0	-18.5	-41.6	8.4	900	31.4
2	S	5.88	-50.0	50.0	-113.7	-23.1	8.4	1050	31.4
3	S	5.62	-50.0	50.0	-103.3	-32.4	8.4	1050	31.4
4	S	2.45	-50.0	50.0	-21.1	-32.4	8.4	850	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]
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	-0.00014	0	0.500	20.0	74	0.00006 (0.00006)	349	0.019 (0.20)	219.37	0.00
2	S	-0.00077	0	0.500	20.0	74	0.00034 (0.00034)	365	0.125 (0.20)	167.17	0.00
3	S	-0.00071	0	0.500	20.0	74	0.00031 (0.00031)	365	0.113 (0.20)	170.36	0.00
4	S	-0.00016	0	0.500	20.0	74	0.00006 (0.00006)	344	0.022 (0.20)	226.06	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	1.79	-50.0	50.0	-17.3	-32.4	8.4	900	31.4
2	S	5.10	-50.0	50.0	-97.5	-32.4	8.4	1050	31.4
3	S	4.72	-50.0	50.0	-85.7	-41.6	8.4	1050	31.4
4	S	2.33	-50.0	50.0	-22.5	-32.4	8.4	900	31.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00013	0	0.500	20.0	74	0.00005 (0.00005) 349	0.018 (0.20)	216.41	0.00
2	S	-0.00066	0	0.500	20.0	74	0.00029 (0.00029) 365	0.107 (0.20)	167.81	0.00
3	S	-0.00059	0	0.500	20.0	74	0.00026 (0.00026) 365	0.094 (0.20)	171.17	0.00
4	S	-0.00017	0	0.500	20.0	74	0.00007 (0.00007) 349	0.024 (0.20)	216.72	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	1.04	-50.0	50.0	-10.1	-41.6	8.4	900	31.4
2	S	2.90	-50.0	50.0	-53.3	-32.4	8.4	1050	31.4
3	S	2.35	-50.0	50.0	-37.7	-41.6	8.4	1000	31.4
4	S	1.57	-50.0	50.0	-20.7	-41.6	8.4	950	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	0.00003 (0.00003) 349	0.011 (0.20)	216.43	0.00
2	S	-0.00036	0	0.500	20.0	74	0.00016 (0.00016) 365	0.058 (0.20)	170.41	0.00
3	S	-0.00026	0	0.500	20.0	74	0.00011 (0.00011) 360	0.041 (0.20)	179.62	0.00
4	S	-0.00015	0	0.500	20.0	74	0.00006 (0.00006) 354	0.022 (0.20)	193.68	0.00

Si adottano spille 10Ø10/mq

**12.4 Tabella riepilogativa incidenza ferri**

	Inc. Armature [kg/mc]
Soletta inf.	155
Soletta sup.	155
Piedritto	120

(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

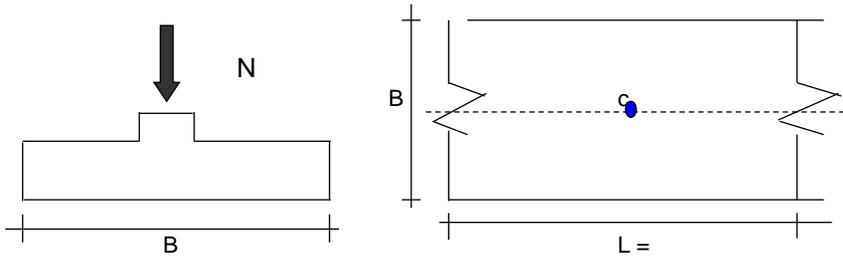
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	191 di 284

### 12.5 Verifica dei cedimenti a lungo termine

Peso	5	x	3 =	15.00 mq					
	4	x	2 =	-8.00 mq					
				<u>7.00 mq</u>					
				Peso	175 kN	x	$\gamma$	SLE	
							1	175.00 kN	
Ballast	0.8	x	5 x	18	72 kN				
Ricoprimento	0.43	x	5 x	20	43 kN				
					<u>115 kN</u>	x	1	115.00 kN	
								<u>290.00 kN</u>	

**CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME**

**LAVORO:**



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

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

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

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) * (v\alpha)$$

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

$$\delta_{\text{tot}} = \Sigma \delta_i = \Sigma(((\Delta\sigma_z - v_i(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y))\Delta z_i / E_i)$$

**DATI DI INPUT:**

B = 5.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 290.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 58.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

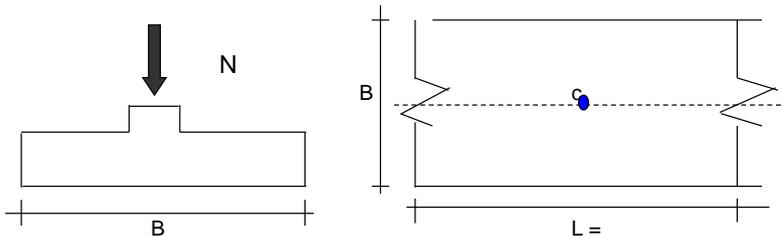
Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		11.00	0.0	11.0	1.0	15000	0.30	2.01
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 2.01 \text{ (cm)}$$

## 12.6 Verifica dei cedimenti a breve termine

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

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

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

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

#### DATI DI INPUT:

B = 5.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 290.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 58.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		11.00	0.0	11.0	1.0	45000	0.30	0.67
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{ctot} = 0.67 \text{ (cm)}$$

## 12.7 Verifica di portanza

### 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 ( $e_B = M_b/N$ )

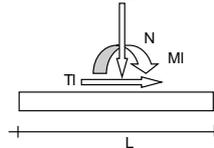
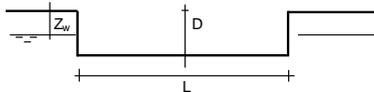
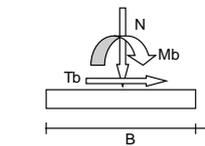
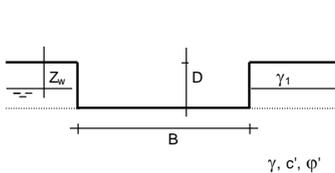
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = M_l/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

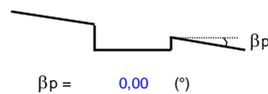
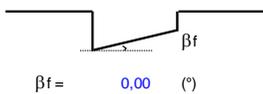
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

Metodo di calcolo		coefficienti parziali					
		azioni		proprietà del terreno		resistenze	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	1,00
	SISMA	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80	1,00
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	1,10
	SISMA	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili		1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista		1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 5,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 4,23 (m)



#### AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	871,38		871,38
M <sub>b</sub> [kNm]	0,00		0,00
M <sub>l</sub> [kNm]	0,00		0,00
T <sub>b</sub> [kN]	0,00		0,00
T <sub>l</sub> [kN]	0,00		0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	195 di 284

Peso unità di volume del terreno

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \\ \gamma &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \end{aligned}$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$$\begin{aligned} c' &= 0,00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 26,00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

Valori di progetto

$$\begin{aligned} c' &= 0,00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 26,00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

Profondità della falda

$$Z_w = 25,00 \quad (\text{m})$$

$$\begin{aligned} e_B &= 0,00 \quad (\text{m}) \\ e_L &= 0,00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^* &= 5,00 \quad (\text{m}) \\ L^* &= 1,00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 67,68 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc, Nq, N $\gamma$**  : coefficienti di capacità portante

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

$$N_q = 11,85$$

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

$$N_c = 22,25$$

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

$$N_\gamma = 12,54$$

**S<sub>c</sub>, S<sub>q</sub>, S <sub>$\gamma$</sub>**  : fattori di forma

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

$$s_c = 1,11$$

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

$$s_q = 1,10$$

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

$$s_\gamma = 0,92$$

**i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i <sub>$\gamma$</sub>**  : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,83 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,17 \quad m = 1,83 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B^* \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m \quad (m=2 \text{ nel caso di fondazione nastriforme e } m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta) \text{ in tutti gli altri casi)}$$

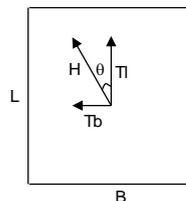
$$i_q = 1,00$$

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

$$i_c = 1,00$$

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

$$i_\gamma = 1,00$$



*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	196 di 284

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

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

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

$$d_q = 1,41$$

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

$$d_c = 1,45$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

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

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

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

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1335,53 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 174,28 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 580,66 \geq q = 174,28 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni totali**

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

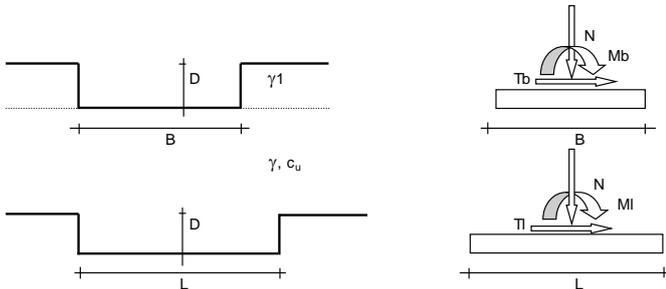
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

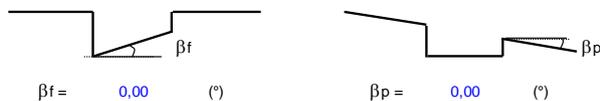
**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze	
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo						
A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
A2+M2+R2	1,00	1,30	1,40	1,80	1,00	
SISMA	1,00	1,00	1,40	1,80	1,00	
A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	2,30	1,10	
SISMA	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	
Tensioni Ammissibili	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	
Definiti dal Progettista	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 5,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 4,23 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	871,38	0,00	871,38
Mb [kNm]	0,00	0,00	0,00
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	0,00	0,00	0,00
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

Valore caratteristico di resistenza del terreno

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

Valore di progetto

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

$e_B = 0,00$  (m)       $B^* = 5,00$  (m)  
 $e_L = 0,00$  (m)       $L^* = 1,00$  (m)

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	198 di 284

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 67,68 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**N<sub>c</sub>** : coefficiente di capacità portante

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5,14$$

**s<sub>c</sub>** : fattori di forma

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1,04$$

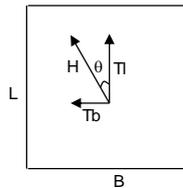
**i<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,83$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,17$$

$$\theta = \arctg(Tb/Tl) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m = 1,83$$



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

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 1,00$$

**d<sub>c</sub>** : fattore di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_c = 1 + 0,4 D / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$$

$$d_c = 1,54$$

**b<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione base della fondazione

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1,00$$

**g<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione piano di campagna

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 478,08 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 174,28 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 207,86 \geq q = 174,28 \quad (\text{kN/m}^2)$$

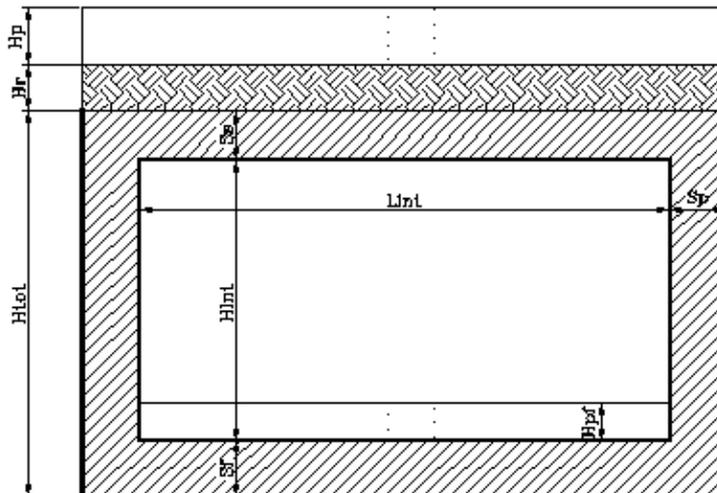
### 13 TOMBINO MODELLO 5: 3.00 X 3.00 M

#### 13.1 Analisi dei carichi di progetto

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 3.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 3.00$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.50$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.50$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.50$  m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

#### Geometria



DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	4.00	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	3.00	m
larghezza interasse	$L_a$	3.50	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.50	m
spessore piedritti	$S_p$	0.50	m
spessore fondazione	$S_f$	0.50	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	4.00	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	3.00	m
			m
spessore ballast	$H_{p_{sup}}$	0.80	m
ricoprimento	$H_{R_{sup}}$	6.22	m
spessore pacchetto interno	$H_{p_{inf}}$	0.00	m
spessore ricoprimento interno	$H_{R_{inf}}$	0.00	m

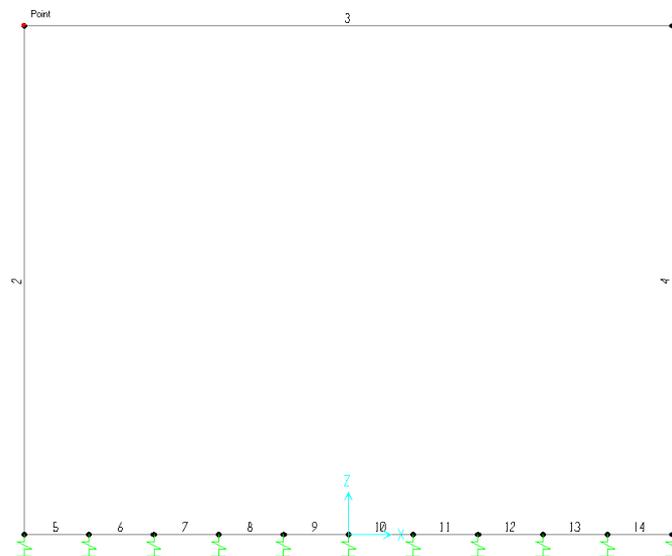
## Modello di calcolo

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

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

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

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazioni aste e nodi*

## Valutazione della rigidità delle molle

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

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

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

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

E =	15000	kN/m <sup>2</sup>
n =	0.3	
B =	4.0	m
L =	20.0	m
L/B =	5.00	
$c_t$ =	1.71	
$K_w$ =	2406	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 2400 kN/m<sup>3</sup>.

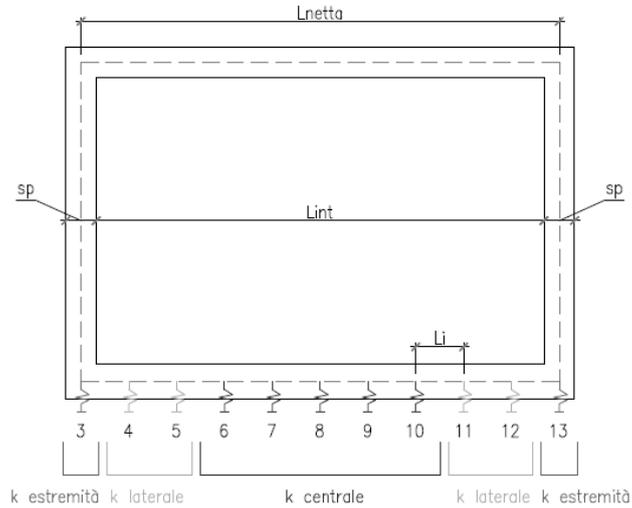
Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 2400$  kN/mc in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

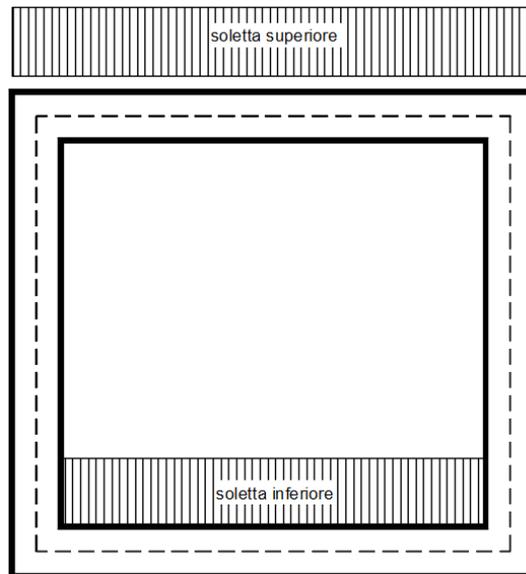
Molle laterali  $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$  [kN/m]



## Analisi dei carichi

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

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso Ballast	14.40 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 622 cm	124.40 kN/m
	- Totale	<b>138.80 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	- Totale	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 34.70 kN.

### *Spinta in presenza di falda*

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

$$u = \gamma_w \cdot z$$

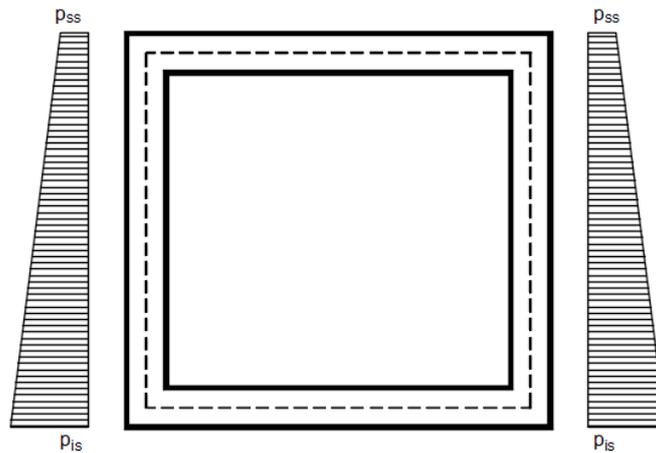
L'opera non è interessata dalla falda.

### Spinta sulle pareti dovuta al terreno ed al sovraccarico permanente

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_o=1-\sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_o=0.38$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

$$p_{ss} = K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = 55.9 \text{ kN/m}$$

$$p_{is} = p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = 82.8 \text{ kN/m}$$

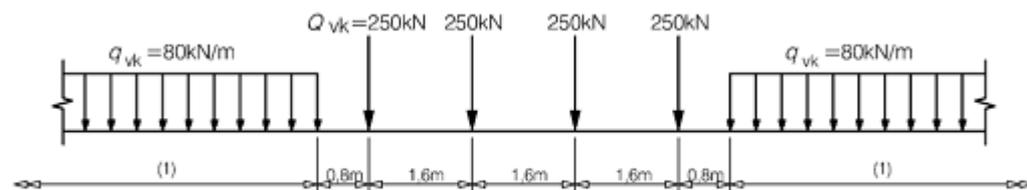


Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 13.73 kN ed inferiore con valore pari a 20.94 kN.

#### 13.1.1 Treni di carico

La ripartizione dei carichi è effettuata considerando lo spessore minimo di ricoprimento sull'opera pari a 3.55m così da massimizzare il carico accidentale

##### 13.1.1.1 Treno di carico LM71



Key  
(1) No limitation

Fig. 37 –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

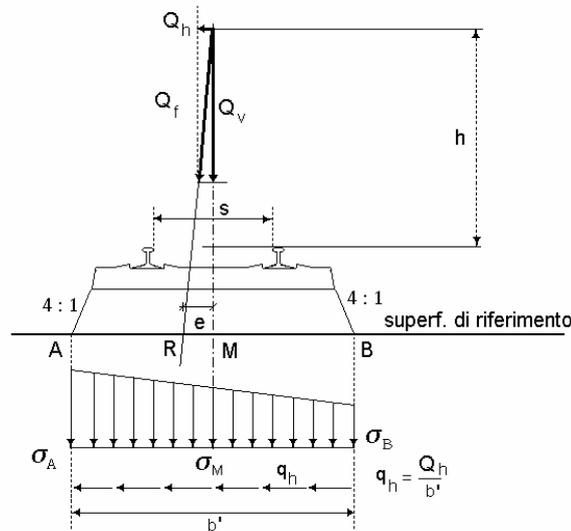
$\alpha$  = coefficiente di adattamento = 1.10

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al “Manuale di Progettazione delle Opere Civili”  
Considerando un ridotto standard manutentivo si ha per altezze rilevati superiori a 2.50m:

$$\Phi_3 = 1.0$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all’angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all’interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all’asse binario risulta pari a:

$$L_{\text{trassv}} = 2.4 + [0.35/4 + H_{\text{rsup}} \cdot \tan(38^\circ) + S_3/2] \cdot 2 = 7.37 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{\text{long}} = 6.40 \text{ m}$ .

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{\text{trassv}} \cdot L_{\text{long}}) = 23.31 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

$$= 80 * 1.1 * \bar{\Phi}_3 / L_{\text{trasv}} = 11.94 \text{ kN/m}^2$$

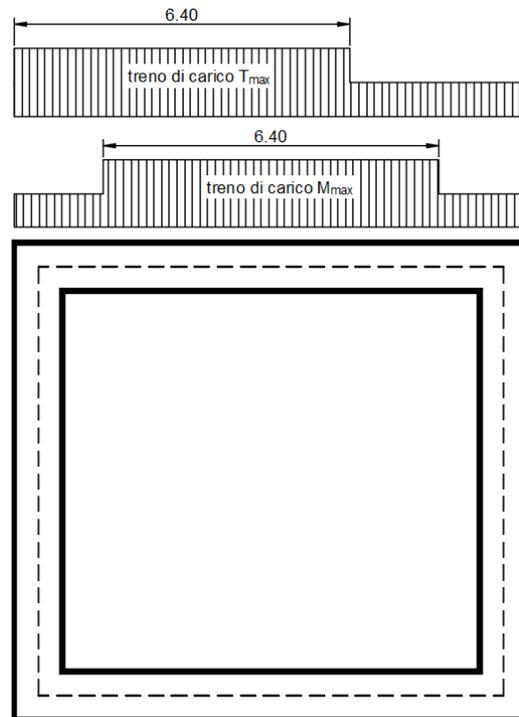
#### Treni di carico SW/2

$$Q_{\text{sw}/2} = 150 * 1.0 * \bar{\Phi}_3 / L_{\text{trasv}} = 20.35 \text{ kN/m}^2$$

#### Treni di carico SW/0

$$Q_{\text{sw}/0} = 133 * 1.1 * \bar{\Phi}_3 / L_{\text{trasv}} = 19.85 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti, per la dimensione dell'opera le due condizioni sono coincidenti.



Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 5.83 kN.

#### 13.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico

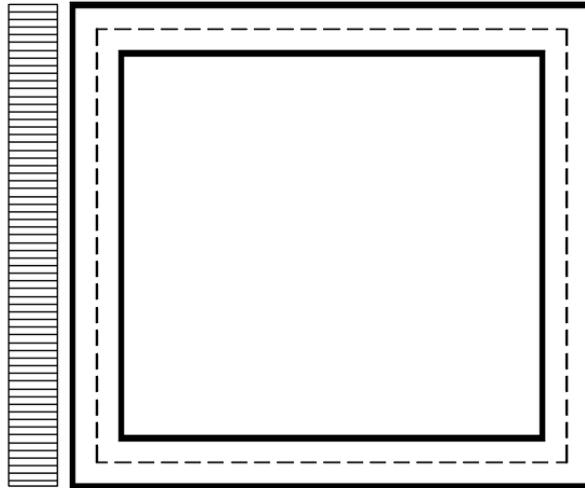
Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\varphi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 5.16 \text{ kN/m}^2$$

La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

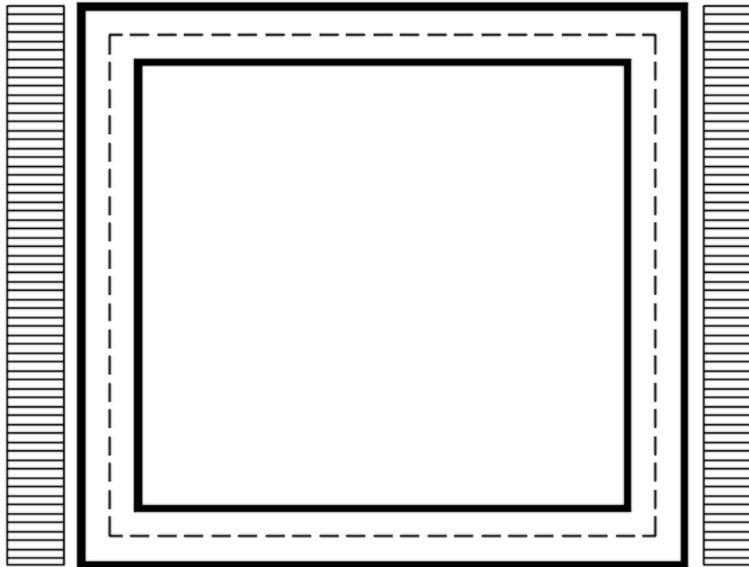
- i) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 1.29 kN ed inferiore con valore pari a 1.29 kN.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<i>Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari</i>	COMMESSA <b>NR1J</b>	LOTTO <b>01 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 004</b>	REV. <b>B</b>

j) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 1.29 kN ed inferiore con valore pari a 1.29 kN.

### 13.1.3 Avviamento e frenatura

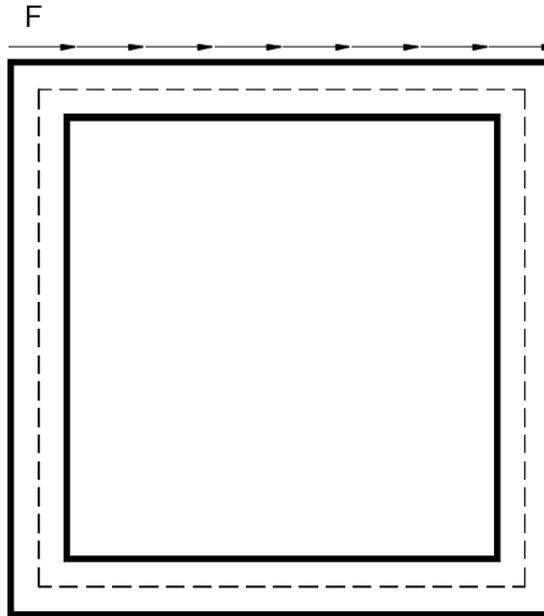
avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[m] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[m] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 2.8 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 0.71 kN.

#### **13.1.4 Serpeggio e centrifuga**

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

### 13.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura

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

#### Clc a t=0

$R_{ck}$	=	37	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	38.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33019	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

#### Tempo e ambiente

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	1000	mm	dimensione fittizia dell'elemento di clc
$A_c$	=	500000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

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

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.982$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 131.52 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 = 1.228 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.932 \text{ coeff per la resistenza del clc}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.980 \text{ coeff per la resistenza del clc}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.700 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del clc}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.649 \text{ coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 6.19 \text{ coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\alpha = 1 \text{ coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)}$$

Relazione di calcolo Tombini idraulici scotolari

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NRIJ 01 D 29 CL IN0000 004 B 211 di 284

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

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

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.951 \quad \text{coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11072916 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000337 \quad \text{deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000285 \quad \text{deformazioni al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.952825$$

$$K_b = 0.7 \quad \text{parametro che dipende da } h_0 \text{ secondo il prospetto seguente}$$

Valori di  $k_b$

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

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

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000428 \quad \text{deformazione di base}$$

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

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

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)}$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000052 \quad \text{deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

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

$$\varepsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000052$$

Variatione termica equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMMESSA <b>NR1J</b>	LOTTO <b>01 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>IN0000 004</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>212 di 284</b>

### 13.1.6 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C.

#### Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

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

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.074$  g.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$S_s = 1.600$       Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$           Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1 * 0.074 \text{ g} = 0.118 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.118$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.059$$

### Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma * (H_{\text{tot}}) = 9.47 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 10.95 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

$$\text{Totale} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.32 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 16.43 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 18.23 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 2.74 kN ed inferiore con valore pari a 2.74 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.37 kN ed inferiore con valore pari a 0.37 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.16 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

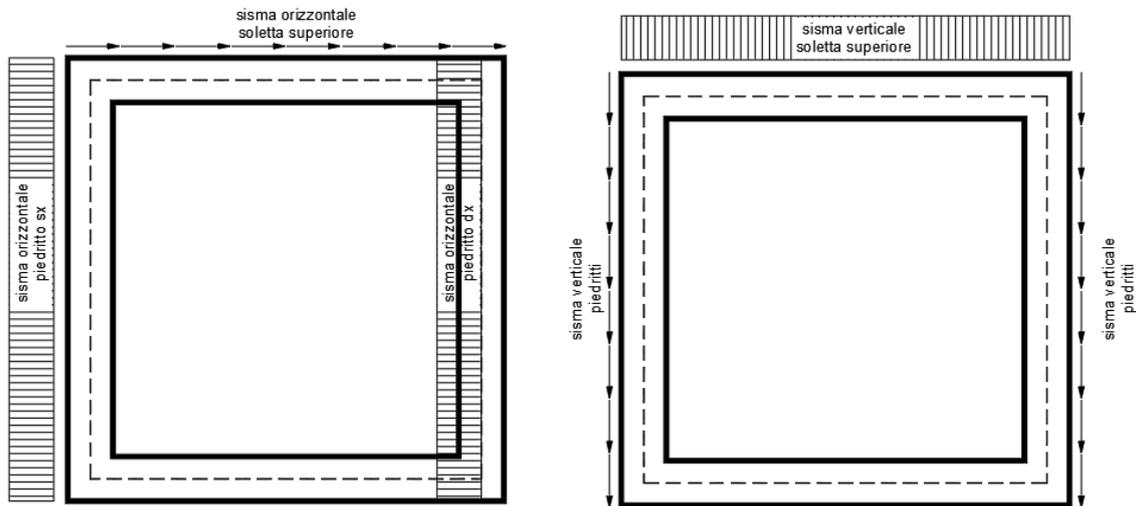
$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 8.22 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 9.12 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 2.28 kN.

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



### Spinta sismica terreno

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2 = 37.89 \text{ kN/m}$$

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

### 13.2 Diagrammi delle sollecitazioni

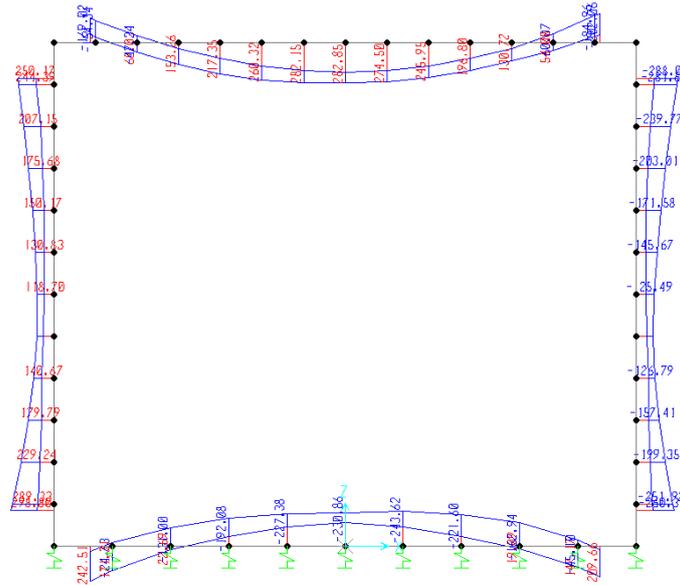


Fig. 38 – Involucro momenti flettenti SLU

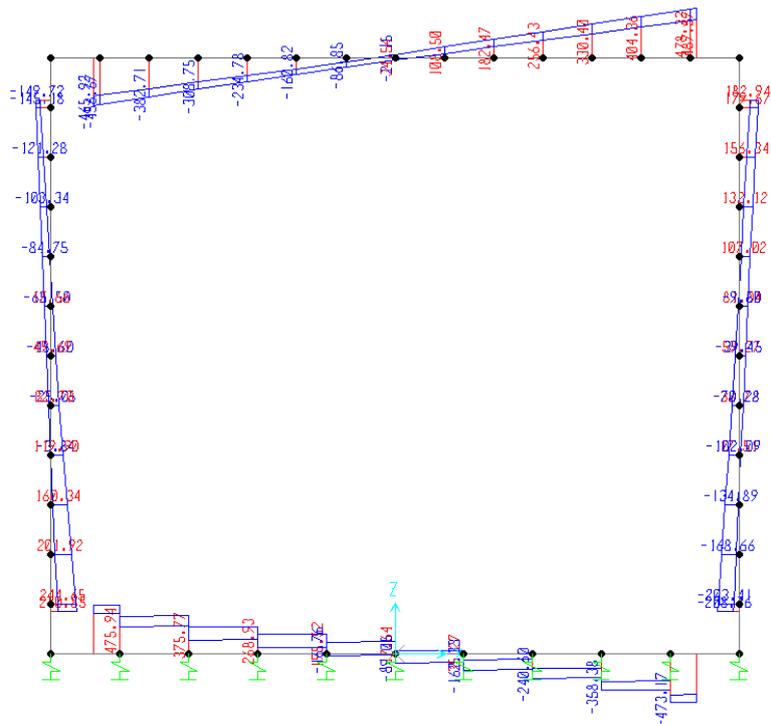
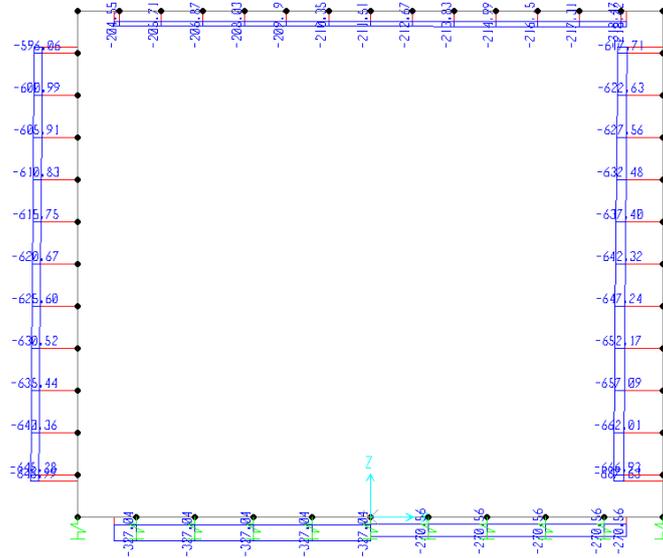


Fig. 39 – Involucro sforzi taglianti SLU



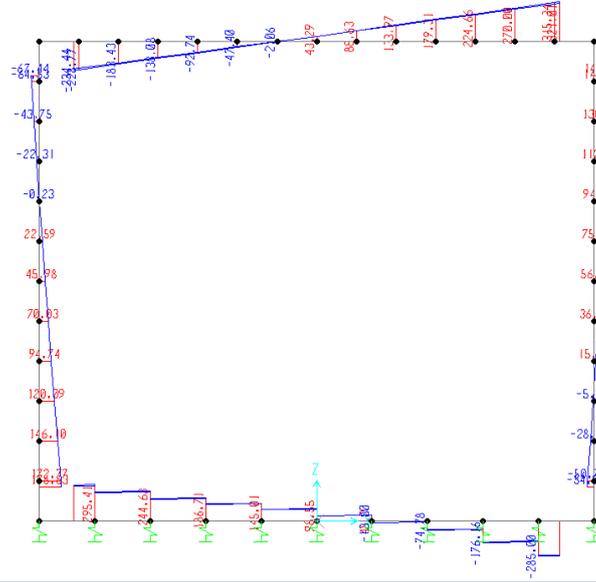


Fig. 42 – Involuppo sforzi taglienti SLV

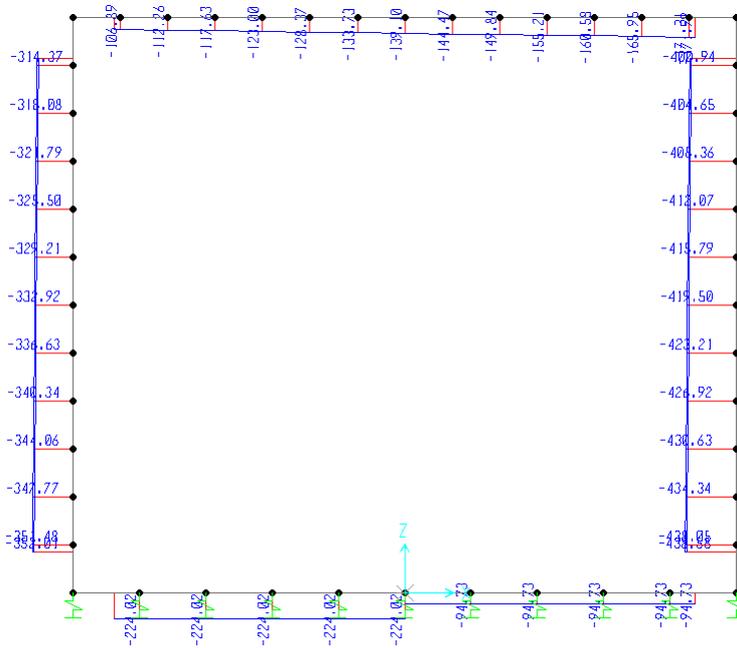


Fig. 43 – Involuppo azioni assiali SLV

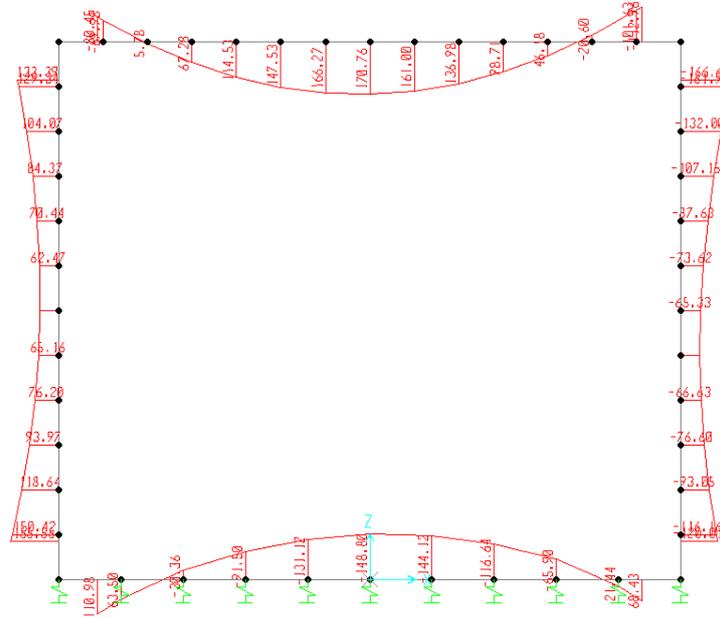


Fig. 44 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

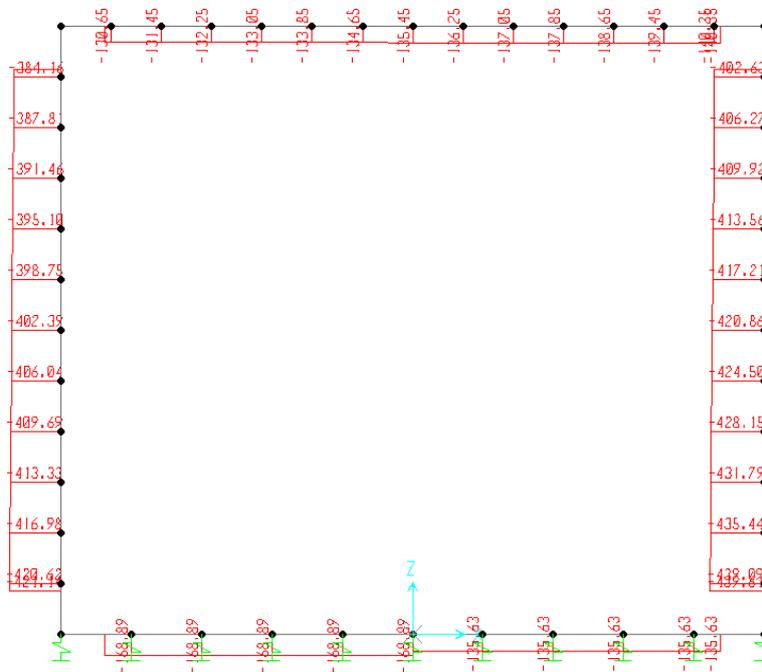


Fig. 45 – Involuppo azioni assiali SLE rara

### 13.3 Verifica delle sezioni in c.a.

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

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

SLU STR-SLV				
Elemento	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$T_{max}$
soletta inferiore	SLU14-STR2	295.76	242.51	475.94
	SLU14-STR	94.80	-243.62	-
soletta superiore	SLU13-STR	218.62	-202.06	487.57
	SLU14-STR2	159.41	282.85	-
piedritti	SLU17-SIS2	312.67	19.24	250.85
	SLU14-STR2	598.56	298.80	250.85
	SLU14-STR	617.01	288.06	208.46
	SLU17-SIS	417.15	29.13	208.46

Elemento	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	178.25	127.35	soletta inferiore	173.35	120.33	soletta inferiore	160.99	103.35
	168.90	-148.80		165.55	-142.96		153.19	-129.50
soletta superiore	140.35	-112.76	soletta superiore	137.32	-106.20	soletta superiore	130.58	-90.60
	126.09	187.12		125.61	180.59		121.80	165.07
piedritti	398.75	59.76	piedritti	390.10	58.06	piedritti	367.82	50.72
	421.14	169.60		412.50	161.70		386.57	141.52
	402.11	166.68		389.77	158.30		352.76	136.66
	424.50	62.93		412.17	60.48		371.51	51.66

### 13.3.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.8	8.2	16
2	-41.8	41.8	16
3	41.8	41.8	16
4	41.8	8.2	16

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.                      Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	221 di 284

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	16
2	2	3	8	16

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	295.76	242.51	475.94
2	94.80	-243.62	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	178.25	127.35	0.00
2	168.90	-148.80	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	173.35	120.33 (160.60)	0.00 (0.00)
2	165.55	-142.96 (-156.23)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	160.99	103.35 (162.48)	0.00 (0.00)
2	153.19	-129.50 (-156.61)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	222 di 284

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.7 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 6.6 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	295.76	242.51	296.01	367.81	1.52	40.2(15.0)
2	S	94.80	-243.62	94.89	-332.56	1.37	40.2(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	50.0	-0.00006	41.8	41.8	-0.01467	-41.8	8.2
2	0.00350	-50.0	0.0	-0.00036	-41.8	8.2	-0.01616	41.8	41.8

#### 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	0.000434697	-0.018234874	----	----
2	0.000000000	-0.000470283	0.003500000	----	----

#### VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Ved Taglio di progetto [kN] = Vy ortogonale all'asse neutro  
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	223 di 284

Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	475.94	1170.12	480.26	46.8 38.6	100.0	2.500	1.035	12.6	12.7(0.0)
2	S	0.00	1668.38	193.32	47.0 38.8	100.0	1.000	1.011	0.0	12.7(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	4.83	-50.0	50.0	-127.1	-41.8	8.2	1150	20.1
2	S	5.65	-50.0	0.0	-157.9	32.5	41.8	1200	20.1

### 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 fctm  
 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	-0.00083	0	0.500	16.0	74	0.00038 (0.00038)	407	0.155 (0.20)	159.95	0.00
2	S	-0.00103	0	0.500	16.0	74	0.00047 (0.00047)	414	0.196 (0.20)	-155.89	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	4.57	-50.0	50.0	-119.0	-32.5	8.2	1150	20.1
2	S	5.42	-50.0	0.0	-150.9	32.5	41.8	1200	20.1

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

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	224 di 284

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00078	0	0.500	16.0	74	0.00036 (0.00036)	407	0.145 (0.20)	160.60	0.00
2	S	-0.00098	0	0.500	16.0	74	0.00045 (0.00045)	414	0.187 (0.20)	-156.23	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	3.92	-50.0	50.0	-99.3	-32.5	8.2	1150	20.1
2	S	4.91	-50.0	0.0	-136.0	32.5	41.8	1200	20.1

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00065	0	0.500	16.0	74	0.00030 (0.00030)	407	0.121 (0.20)	162.48	0.00
2	S	-0.00089	0	0.500	16.0	74	0.00041 (0.00041)	414	0.169 (0.20)	-156.61	0.00

Si adottano spille 11Ø12/m<sup>2</sup>

**13.3.2 Verifica soletta superiore**

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	225 di 284

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
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	41.6	20
3	41.6	41.6	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	1	4	8	20
2	2	3	8	20

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	218.62	-202.06	487.57
2	159.41	282.85	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	140.35	-112.76	0.00
2	126.09	187.12	0.00

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	226 di 284

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	137.32	-106.20 (-170.24)	0.00 (0.00)
2	125.61	180.59 (160.75)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	130.58	-90.60 (-172.77)	0.00 (0.00)
2	121.80	165.07 (161.39)	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  
Copriferro netto minimo staffe: 6.6 cm

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	218.62	-202.06	218.68	-502.29	2.49	62.8(15.0)
2	S	159.41	282.85	159.20	492.22	1.74	62.8(15.0)

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

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	227 di 284

1	0.00350	-50.0	0.0	0.00030	-41.6	8.4	-0.01237	41.6	41.6
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00024	-41.6	41.6	-0.01266	-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	-0.000381482	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000388575	-0.015928755	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	487.57	1140.34	490.82	46.3  37.9	100.0	2.500	1.026	13.1	13.2(0.0)
2	S	0.00	1645.16	196.67	46.4  38.0	100.0	1.000	1.019	0.0	13.2(0.0)

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

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	3.55	-50.0	0.0	-77.8	32.4	41.6	1100	31.4
2	S	5.83	-50.0	50.0	-145.4	-32.4	8.4	1150	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  
               = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IN0000 004	B	228 di 284

kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00052	0	0.500	20.0	74	0.00023 (0.00023)	371	0.087 (0.20)	-169.43	0.00
2	S	-0.00096	0	0.500	20.0	74	0.00044 (0.00044)	376	0.164 (0.20)	160.43	0.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	3.35	-50.0	0.0	-72.5	32.4	41.6	1100	31.4
2	S	5.63	-50.0	50.0	-139.7	-32.4	8.4	1150	31.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00049	0	0.500	20.0	74	0.00022 (0.00022)	371	0.081 (0.20)	-170.24	0.00
2	S	-0.00092	0	0.500	20.0	74	0.00042 (0.00042)	376	0.158 (0.20)	160.75	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	2.86	-50.0	0.0	-59.9	32.4	41.6	1100	31.4
2	S	5.15	-50.0	50.0	-126.6	-32.4	8.4	1150	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	-0.00040	0	0.500	20.0	74	0.00018 (0.00018)	371	0.067 (0.20)	-172.77	0.00
2	S	-0.00084	0	0.500	20.0	74	0.00039 (0.00038)	376	0.145 (0.20)	161.39	0.00

Si adottano spille 12Ø12/mq

### 13.3.3 Verifica piedritti

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	229 di 284

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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.8	8.2	16
2	-41.8	41.8	16
3	41.8	41.8	16
4	41.8	8.2	16

#### 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	16
2	1	4	8	16

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

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	230 di 284

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	312.67	19.24	250.85
2	598.56	298.80	250.85
3	617.01	288.06	208.46
4	417.15	29.13	208.46

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	398.75	59.76	0.00
2	421.14	169.60	0.00
3	402.11	166.68	0.00
4	424.50	62.93	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	390.10	58.06 (310.62)	0.00 (0.00)
2	412.50	161.70 (174.98)	0.00 (0.00)
3	389.77	158.30 (173.37)	0.00 (0.00)
4	412.17	60.48 (316.28)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	367.82	50.72 (344.81)	0.00 (0.00)
2	386.57	141.52 (178.35)	0.00 (0.00)
3	352.76	136.66 (175.54)	0.00 (0.00)
4	371.51	51.66 (340.56)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatorialari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	231 di 284

Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.7 cm  
Coprifero netto minimo staffe: 6.6 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
As Totale Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	312.67	19.24	312.66	370.64	17.44	30.2(15.0)
2	S	598.56	298.80	598.45	420.37	1.40	30.2(15.0)
3	S	617.01	288.06	617.19	423.55	1.46	30.2(15.0)
4	S	417.15	29.13	417.16	389.04	12.25	30.2(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	50.0	-0.00006	41.8	41.8	-0.01463	-41.8	8.2
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00045	41.8	41.8	-0.01205	-41.8	8.2
3	0.00350	-50.0	50.0	0.00048	41.8	41.8	-0.01190	-41.8	8.2
4	0.00350	-50.0	50.0	0.00014	41.8	41.8	-0.01363	-41.8	8.2

### 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	0.000433803	-0.018190144	----	----
2	0.000000000	0.000372076	-0.015103784	----	----
3	0.000000000	0.000368497	-0.014924864	----	----
4	0.000000000	0.000409848	-0.016992378	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] =  $V_y$  ortogonale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	232 di 284

I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	250.85	1172.17	256.31	46.8   38.6	100.0	2.500	1.037	6.6	6.8(0.0)
2	S	250.85	1193.40	252.75	46.2   38.0	100.0	2.500	1.070	6.7	6.8(0.0)
3	S	208.46	1194.67	252.51	46.2   38.0	100.0	2.500	1.073	5.6	6.8(0.0)
4	S	208.46	1180.26	255.06	46.6   38.4	100.0	2.500	1.049	5.6	6.8(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	2.27	-50.0	50.0	-7.6	-41.8	8.2	950	20.1
2	S	6.73	-50.0	50.0	-127.5	-32.5	8.2	1050	20.1
3	S	6.62	-50.0	50.0	-127.8	-32.5	8.2	1050	20.1
4	S	2.39	-50.0	50.0	-7.6	-41.8	8.2	950	20.1

#### 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 fctm

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]  
 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	-0.00008	0	0.500	16.0	74	0.00002 (0.00002)	380	0.009 (0.20)	307.97	0.00
2	S	-0.00086	0	0.500	16.0	74	0.00038 (0.00038)	394	0.151 (0.20)	173.74	0.00
3	S	-0.00086	0	0.500	16.0	74	0.00038 (0.00038)	394	0.151 (0.20)	172.47	0.00
4	S	-0.00008	0	0.500	16.0	74	0.00002 (0.00002)	380	0.009 (0.20)	312.17	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	2.21	-50.0	50.0	-7.2	-41.8	8.2	950	20.1
2	S	6.41	-50.0	50.0	-119.2	-32.5	8.2	1050	20.1
3	S	6.28	-50.0	50.0	-119.7	-23.2	8.2	1050	20.1
4	S	2.30	-50.0	50.0	-7.0	-41.8	8.2	950	20.1

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00008	0	0.500	16.0	74	0.00002 (0.00002)	380	0.008 (0.20)	310.62	0.00
2	S	-0.00081	0	0.500	16.0	74	0.00036 (0.00036)	394	0.141 (0.20)	174.98	0.00
3	S	-0.00081	0	0.500	16.0	74	0.00036 (0.00036)	394	0.141 (0.20)	173.37	0.00
4	S	-0.00008	0	0.500	16.0	74	0.00002 (0.00002)	380	0.008 (0.20)	316.28	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	1.94	-50.0	50.0	-4.3	-41.8	8.2	850	20.1
2	S	5.60	-50.0	50.0	-99.0	-32.5	8.2	1050	20.1
3	S	5.42	-50.0	50.0	-99.9	-32.5	8.2	1050	20.1
4	S	1.98	-50.0	50.0	-4.6	-41.8	8.2	850	20.1

**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	-0.00005	0	0.500	16.0	74	0.00001 (0.00001)	367	0.005 (0.20)	344.81	0.00
2	S	-0.00067	0	0.500	16.0	74	0.00030 (0.00030)	394	0.117 (0.20)	178.35	0.00
3	S	-0.00068	0	0.500	16.0	74	0.00030 (0.00030)	394	0.118 (0.20)	175.54	0.00
4	S	-0.00006	0	0.500	16.0	74	0.00001 (0.00001)	367	0.005 (0.20)	340.56	0.00

Si adottano spille 9Ø10/mq

**13.4 Tabella riepilogativa incidenza ferri**

	Inc. Armature [kg/mc]
Soletta inf.	110
Soletta sup.	160
Piedritto	80

(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

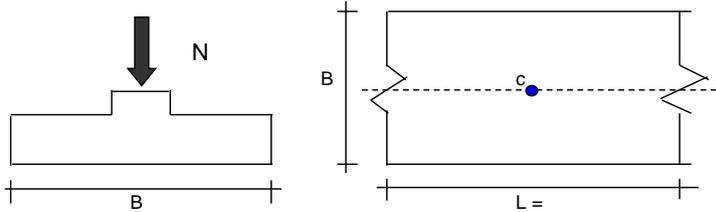
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	234 di 284

### 13.5 Verifica dei cedimenti a lungo termine

Peso	4	x	4 =	16.00 mq					
	3	x	3 =	<u>-9.00 mq</u>					
				7.00 mq					
				Peso	175 kN	x	$\gamma$	SLE	
							1	175.00 kN	
Ballast	0.8	x	4 x	18	57.6 kN				
Ricoprimento	6.22	x	4 x	20	<u>497.6 kN</u>				
					555.2 kN	x	1	555.20 kN	
								<u>730.20 kN</u>	

**CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME**

**LAVORO:**



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

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

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

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

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

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

**DATI DI INPUT:**

B = 4.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 730.20 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 182.55 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

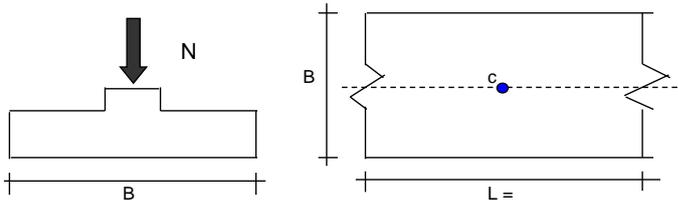
Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		17.00	0.0	17.0	1.0	15000	0.30	6.87
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{ctot} = 6.87 \text{ (cm)}$$

### 13.6 Verifica dei cedimenti a breve termine

#### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) * (v\alpha)$$

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

$$\delta_{tot} = \Sigma\delta_i = \Sigma(((\Delta\sigma_z - v(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y))\Delta z_i / E_i)$$

#### DATI DI INPUT:

B = 4.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 730.20 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 182.55 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		17.00	0.0	17.0	1.0	45000	0.30	2.29
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{tot} = 2.29 \text{ (cm)}$$

Per l'andamento dei cedimenti nel tempo vedasi "Relazione di Calcolo Rilevati ferroviari"  
NR1J01D29CLGE0005001B

## 13.7 Verifica di portanza

### Fondazioni Dirette Verifica in tensioni efficaci

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

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

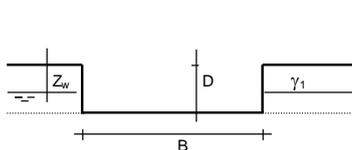
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

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

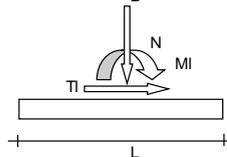
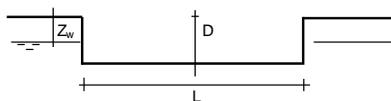
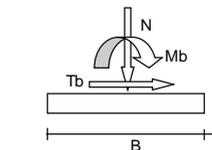
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

#### coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze			
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr		
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
	A2+M2+R2	○	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	1,00
	SISMA	○	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80	1,00
	A1+M1+R3	○	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	1,10
	SISMA	○	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili	○	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	
Definiti dal Progettista	●	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	

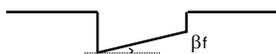


$\gamma_1, c', \phi'$



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 4,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 11,02 (m)



$\beta_f = 0,00$  (°)



$\beta_p = 0,00$  (°)

#### AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	942,00		942,00
Mb [kNm]	0,00		0,00
MI [kNm]	0,00		0,00
Tb [kN]	0,00		0,00
TI [kN]	0,00		0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	238 di 284

Peso unità di volume del terreno

$$\gamma_1 = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$$c' = 0,00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 26,00 \quad (^\circ)$$

Valori di progetto

$$c' = 0,00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 26,00 \quad (^\circ)$$

Profondità della falda

$$Z_w = 25,00 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0,00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0,00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 4,00 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1,00 \quad (\text{m})$$

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 176,32 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc, Nq, N $\gamma$**  : coefficienti di capacità portante

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

$$N_q = 11,85$$

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

$$N_c = 22,25$$

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

$$N_\gamma = 12,54$$

**s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s <sub>$\gamma$</sub>**  : fattori di forma

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

$$s_c = 1,13$$

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

$$s_q = 1,12$$

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

$$s_\gamma = 0,90$$

**i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i <sub>$\gamma$</sub>**  : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,80 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,20 \quad m = 1,80 \quad (-)$$

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

(m=2 nel caso di fondazione nastriforme e m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

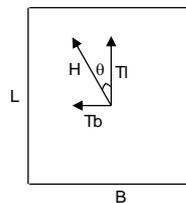
$$i_q = 1,00$$

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

$$i_c = 1,00$$

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

$$i_\gamma = 1,00$$



*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	239 di 284

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

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

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

$$d_q = 1,46$$

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

$$d_c = 1,50$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

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

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

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

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 3503,34 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 235,50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 1523,19 \geq q = 235,50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni totali**

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot sc \cdot dc \cdot ic \cdot bc \cdot gc + q \cdot N_q$$

D = Profondità del piano di appoggio

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

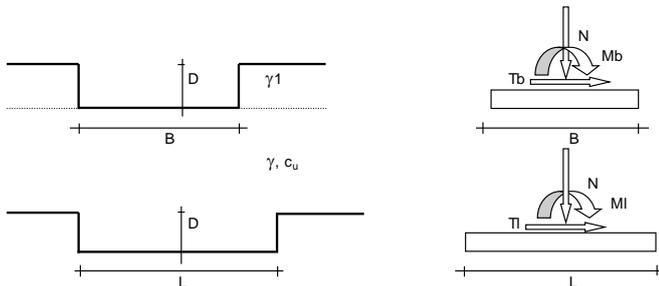
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno	resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	1,00	1,30	1,40	1,80	1,00
	SISMA	1,00	1,00	1,40	1,80	1,00
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	2,30	1,10
	SISMA	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	
Definiti dal Progettista	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10	



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 4,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 11,02 (m)



**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	942,00	0,00	942,00
Mb [kNm]	0,00	0,00	0,00
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	0,00	0,00	0,00
Tl [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

Valore caratteristico di resistenza del terreno

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

Valore di progetto

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

$e_B = 0,00$  (m)

$B^* = 4,00$  (m)

$e_L = 0,00$  (m)

$L^* = 1,00$  (m)

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	241 di 284

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 176,32 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**N<sub>c</sub>** : coefficiente di capacità portante

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5,14$$

**s<sub>c</sub>** : fattori di forma

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1,05$$

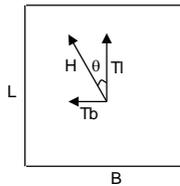
**i<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,80$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,20$$

$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m = 1,80$$



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

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 1,00$$

**d<sub>c</sub>** : fattore di profondità del piano di appoggio

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1,59$$

**b<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione base della fondazione

$$b_c = (1 - 2 \beta_t / (\pi + 2)) \quad \beta_t + \beta_p = 0,00 \quad \beta_t + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1,00$$

**g<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione piano di campagna

$$g_c = (1 - 2 \beta_t / (\pi + 2)) \quad \beta_t + \beta_p = 0,00 \quad \beta_t + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 605,95 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 235,50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 263,46 \geq q = 235,50 \quad (\text{kN/m}^2)$$

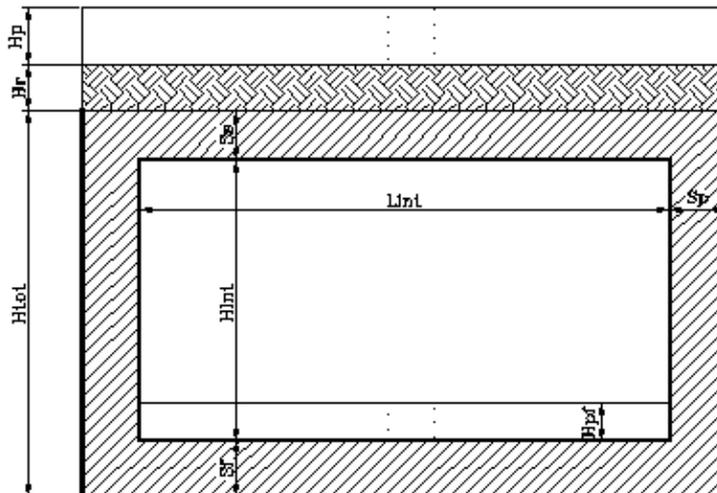
## 14 TOMBINO MODELLO 6: 3.00 X 4.00 M

### 14.1 Analisi dei carichi di progetto

La sezione trasversale retta ha una larghezza interna di  $L_{int} = 3.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 4.00$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.50$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.50$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.50$  m.

Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m.

### Geometria



DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
larghezza totale scatolare	$L_{tot}$	4.00	m
larghezza utile scatolare	$L_{int}$	3.00	m
larghezza interasse	$L_a$	3.50	m
spessore soletta superiore	$S_s$	0.50	m
spessore piedritti	$S_p$	0.50	m
spessore fondazione	$S_f$	0.50	m
altezza totale scatolare	$H_{tot}$	5.00	m
altezza libera scatolare	$H_{int}$	4.00	m
			m
spessore ballast	$H_{p_{sup}}$	0.80	m
ricoprimento	$H_{R_{sup}}$	1.93	m
spessore pacchetto interno	$H_{p_{inf}}$	0.00	m
spessore ricoprimento interno	$H_{R_{inf}}$	0.00	m

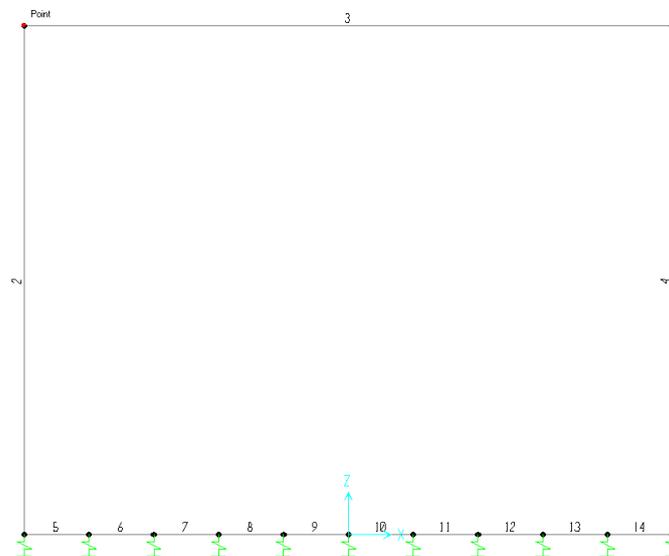
### Modello di calcolo

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

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

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

Di seguito si riporta lo schema di calcolo.



*Numerazioni aste e nodi*

### *Valutazione della rigidità delle molle*

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

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

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

dove:

- h = altezza della trave;
- b = dimensione trasversale della trave;
- J = inerzia della trave;
- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

E =	15000	kN/m <sup>2</sup>
$\nu$ =	0.3	
B =	4.0	m
L =	20.0	m
L/B =	5.00	
$c_t$ =	1.71	
$K_w$ =	2406	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa 2000 kN/m<sup>3</sup>.

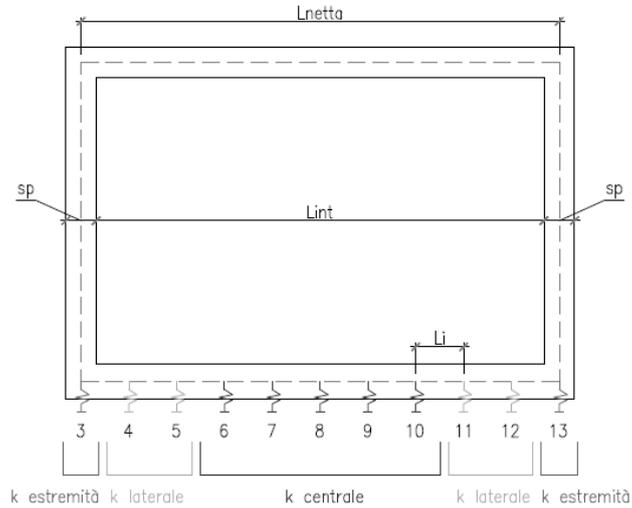
Si considera lo scatolare appoggiato su di un letto di molle (schematizzazione alla Winkler) assegnando alle aste di fondazione del modello un valore di "linear spring" pari a  $K = 2000$  kN/mc in funzione dell'interasse delle molle secondo la seguente formulazione:

Interasse molle  $i = (S_p/2 + L_{int} + S_p/2)/10$  [m]

Molle centrali  $k_1 = k * i$  [kN/m]

Molle intermedie  $k_2 = 1.5 * k * i$  [kN/m]

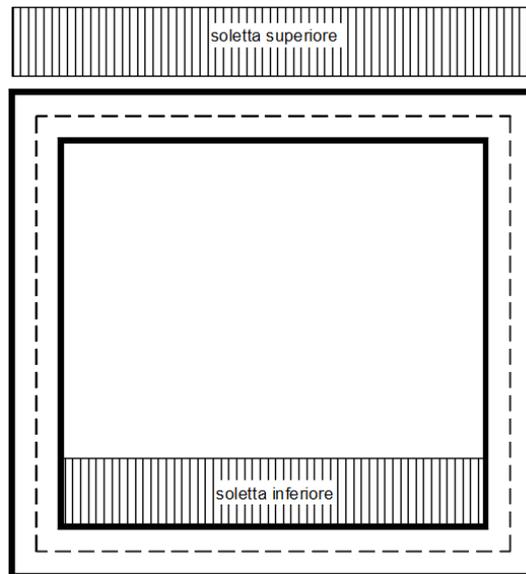
Molle laterali  $k_3 = 2 * k * (i/2 + S_p/2)$  [kN/m]



## Analisi dei carichi

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

<u>Soletta superiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso Ballast	14.40 kN/m
	- Peso ricoprimento ... 192.5 cm	38.50 kN/m
	- Totale	<b>52.90 kN/m</b>
<u>Soletta inferiore</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>
	- Peso pacchetto interno 0 cm	0.00 kN/m
	- Peso terreno ricoprimento interno	0.00 kN/m
	- Totale	<b>0.00 kN/m</b>
<u>Piedritti</u>	- Peso proprio	12.50 kN/m
	- Totale	<b>12.50 kN/m</b>



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 13.23 kN.

### ***Spinta in presenza di falda***

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

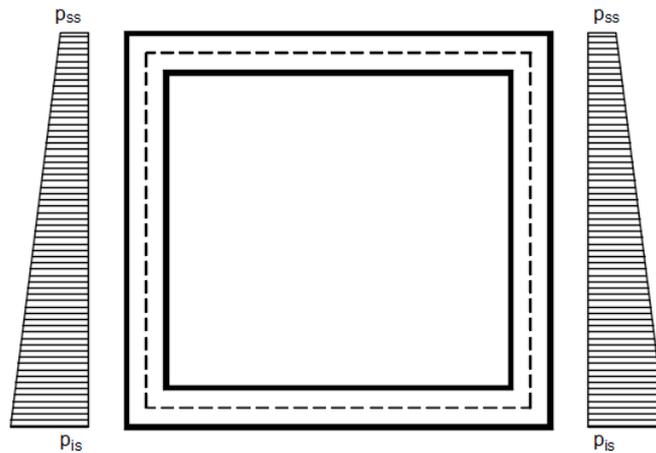
$$u = \gamma_w \cdot z$$

L'opera non è interessata dalla falda.

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

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula  $K_o=1-\sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_o=0.38$ . Le spinte in asse soletta superiore ed asse soletta inferiore valgono:

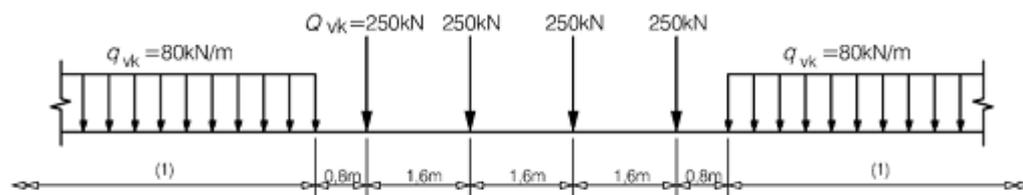
$$\begin{aligned}
 p_{ss} &= K_o * (H_r + H_{psup} + S_s/2) * \gamma = & 22.9 \text{ kN/m} \\
 p_{is} &= p_{ss} + K_o * \gamma * (S_s/2 + H_{int} + S_f/2) = & 57.5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto e soletta superiore con valore pari a 5.48 kN ed inferiore con valore pari a 14.60 kN.

**14.1.1 Treni di carico**

14.1.1.1 Treno di carico LM71



Key  
(1) No limitation

**Fig. 46** –Load model 71 (al punto 6.3.2. della norma EN 1991-2:2003)

$\alpha =$  coefficiente di adattamento = 1.10

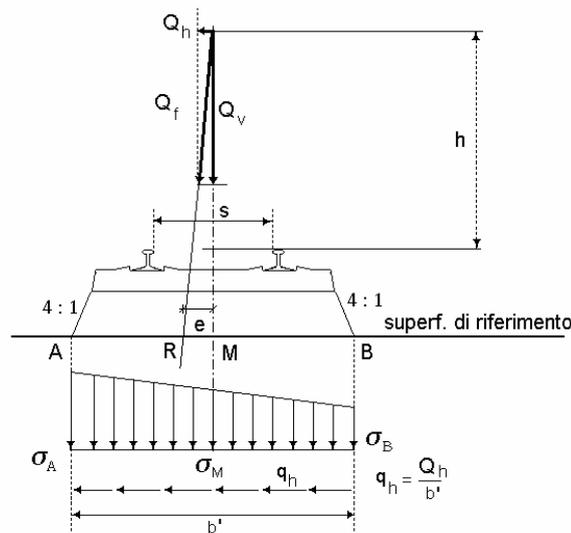
Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al "Manuale di Progettazione delle Opere Civili"

Considerando un ridotto standard manutentivo si ha (tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 punto 5.4):

$$\Phi_3 = 1.35$$

Il sovraccarico ferroviario si diffonde attraverso il ballast con pendenza 4:1, poi nel ricoprimento con pendenza a 38° (pari all'angolo di attrito del ricoprimento) e con la pendenza a 45° all'interno del cls per cui la lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

$$L_{\text{trasy}} = 2.4 + [0.35/4 + H_{\text{rsup}} \cdot \tan(38^\circ) + S_3/2] \cdot 2 = 6.08 \text{ m}$$



In senso longitudinale si è assunto che il carico si distribuisce su una lunghezza pari a  $L_{\text{long}} = 6.40$  m.

Pertanto il carico ripartito dovuto ai treni LM 71 risulta:

- Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate

$$= 4 \cdot 250 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / (L_{\text{trasy}} \cdot L_{\text{long}}) = 38.15 \text{ kN/m}^2$$

- Carico ripartito prodotto dal carico distribuito (80 kN/m\*2)

$$= 80 \cdot 1.1 \cdot \Phi_3 / L_{\text{trasy}} = 19.53 \text{ kN/m}^2$$

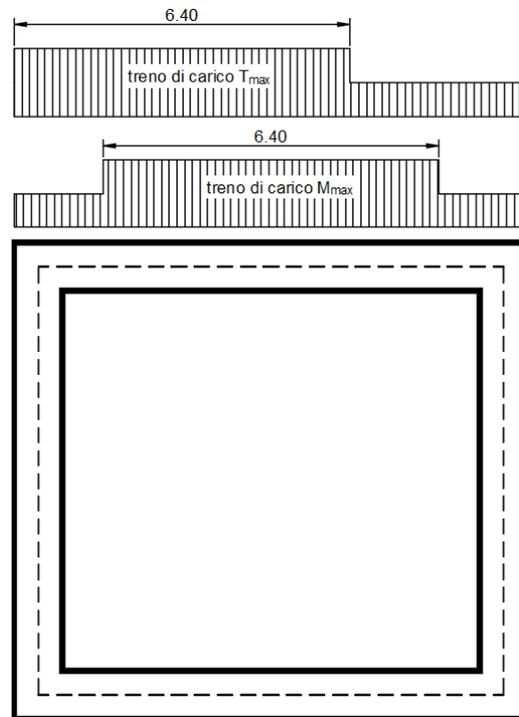
**Treni di carico SW/2**

$$Q_{sw/2} = 150 * 1.0 * \Phi_3 / L_{trasv} = 33.29 \text{ kN/m}^2$$

**Treni di carico SW/0**

$$Q_{sw/0} = 133 * 1.1 * \Phi_3 / L_{trasv} = 32.47 \text{ kN/m}^2$$

Le distribuzioni del sovraccarico ferroviario considerate al di sopra della copertura, sono quelle in grado di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti, per la dimensione dell'opera le due condizioni sono coincidenti.



Per tenere in conto i carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 9.54 kN.

**14.1.2 Spinta del terreno indotta dai treni di carico**

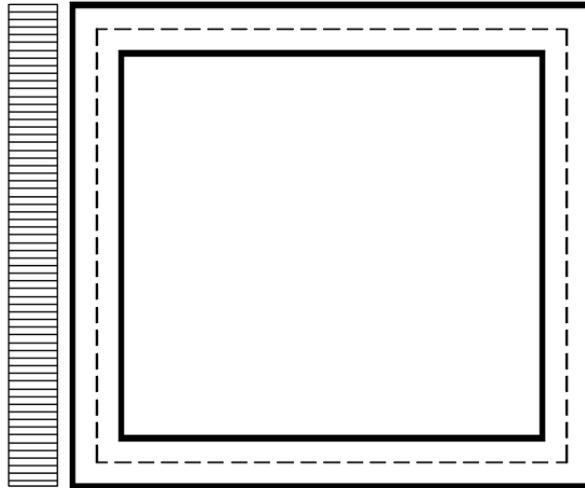
Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\phi = 38^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidità dello scatolare, utilizzando la formula  $K_0 = 1 - \sin\phi'$ , per cui si ottiene un valore di  $K_0 = 0.38$ . La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti su due linee adiacenti verrà calcolata secondo la formula  $P = q * K_0$

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate (vedi considerazioni di cui al paragrafo precedente)

$$q * K_0 = 14.66 \text{ kN/m}^2$$

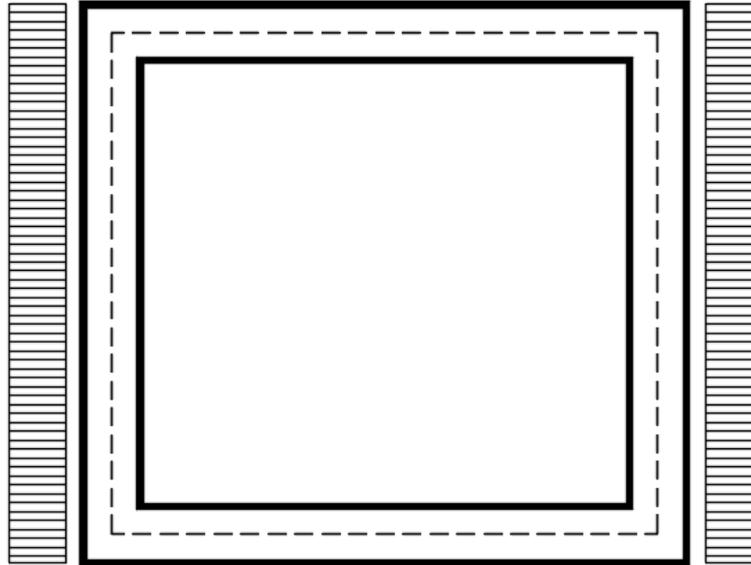
La spinta del terreno viene analizzata in due diverse condizioni

k) Spinta sul piedritto sinistro



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 3.67 kN ed inferiore con valore pari a 3.67 kN.

1) Spinta su entrambi i piedritti



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 3.67 kN ed inferiore con valore pari a 3.67 kN.

**14.1.3 Avviamento e frenatura**

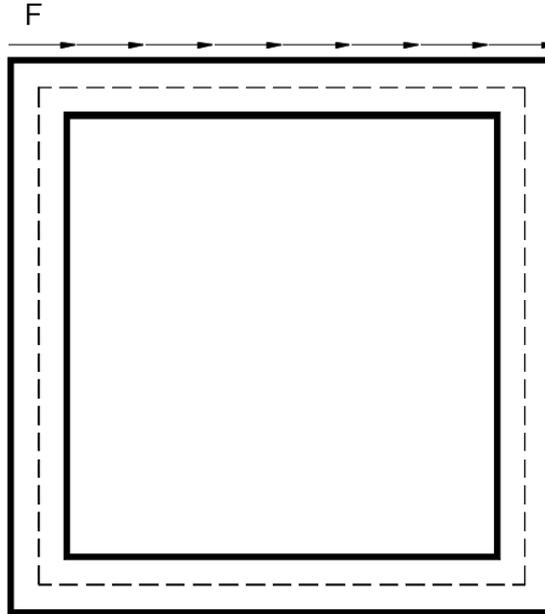
avviamento:  $Q_{lak} = 33 \text{ [kN/m]} * L[m] < 1000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0 e SW/2

frenatura:  $Q_{lbk} = 20 \text{ [kN/m]} * L[m] < 6000 \text{ kN}$  per modelli di carico LM 71 e SW/0

$Q_{lbk} = 35 \text{ [kN/m]} * L[m]$  per modelli di carico SW/2

La forza di frenatura, per metro lineare, applicata alla soletta di copertura si ritiene uniformemente agente sulla larghezza ottenuta per diffusione dei carichi verticali sino al baricentro della soletta e vale:

$$F = \alpha \cdot Q_{lak} / L_{trasv} = 6.0 \text{ kN/m}$$



Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritti e soletta superiore con valore pari a 1.49 kN.

#### ***14.1.4 Serpeggio e centrifuga***

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

### 14.1.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura

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

#### Clc a t=0

$R_{ck}$	=	37	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	30.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	38.71	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33019	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

#### Tempo e ambiente

$t_s$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	2	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	1000	mm	dimensione fittizia dell'elemento di clc
$A_c$	=	500000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	75	%	umidità relativa percentuale

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

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.982$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 131.52 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 = 1.228 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.932 \text{ coeff per la resistenza del clc}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.980 \text{ coeff per la resistenza del clc}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.700 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del clc}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.649 \text{ coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_o = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 6.19 \text{ coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\alpha = 1 \text{ coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)}$$

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatorari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	254 di 284

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

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 = 1382.5 \quad \text{coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} = 0.951 \quad \text{coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11072916 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000337 \quad \text{deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000285 \quad \text{deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.952825$$

$K_h =$

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

Valori di  $k_h$

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

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

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000428 \quad \text{deformazione di base}$$

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

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

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 6 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)}$$

$$\alpha_{ds2} = 0.11 \quad \text{coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000052 \quad \text{deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

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

$$\varepsilon_{ca,00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000052$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -11.31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO CESANO - VIGNA DI VALLE - PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<i>Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari</i>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0000 004	REV. B	FOGLIO 255 di 284

#### 14.1.6 Azione Termica

Si applica ai piedritti ed alla soletta superiore una variazione termica di +/-15°C.

#### Azione sismica inerziale

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

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

$$k_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una II classe d'uso  $C_u = 1$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 75$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari a  $a_g = 0.074$  g.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_o$  si ottiene:

$S_s = 1.600$       Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T = 1$       Coefficiente di amplificazione topografica

ne deriva che:

$$a_{max} = 1.600 * 1 * 0.074 \text{ g} = 0.118 \text{ g}$$

$$k_h = a_{\max}/g = 0.118$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.059$$

### Sisma orizzontale

$$F_{\text{sis}} = a_{\max} * \gamma * (H_{\text{tot}}) = 11.84 \text{ kN/m} \quad (\text{carico applicato sulla parete})$$

$$F_{\text{inp}} = \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$\text{Totale} = 13.32 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto sx})$$

$$\text{Totale} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{piedritto dx})$$

$$F_Q = \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.90 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

$$F_{\text{inr}} = \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 6.26 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 1.48 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 8.65 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto dei carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto sinistro e soletta superiore con valore pari a 3.33 kN ed inferiore con valore pari a 3.33 kN. Si applicano delle forze concentrate nei nodi tra piedritto destro e soletta superiore con valore pari a 0.37 kN ed inferiore con valore pari a 0.37 kN.

### Sisma verticale

$$F_{\text{inp}} = 0.5 * \alpha * S_p * \gamma * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia piedritti})$$

$$F_Q = 0.5 * \alpha * Q_v * 0.2 * 1\text{m} = 0.45 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia treno})$$

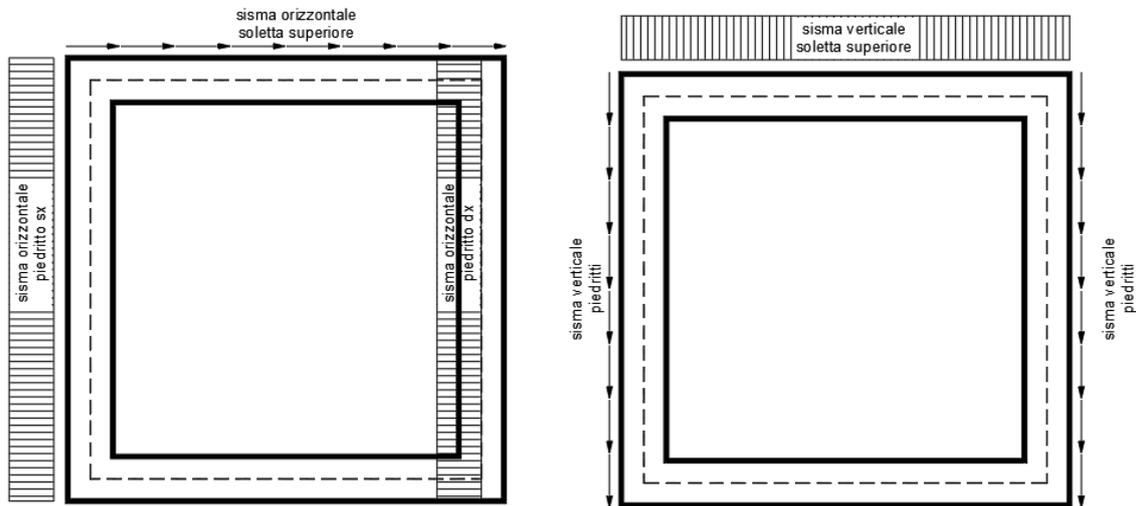
$$F_{\text{inr}} = 0.5 * \alpha * (H_p + H_r) * \gamma_r * 1\text{m} = 3.13 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia ballast + ricoprimento})$$

$$F_{\text{ins}} = 0.5 * \alpha * S_s * \gamma_{\text{cls}} * 1\text{m} = 0.74 \text{ kN/m} \quad (\text{inerzia soletta superiore})$$

$$\text{Totale} = 4.32 \text{ kN/m} \quad (\text{soletta superiore})$$

Per tenere in conto le carichi agenti sul semispessore degli elementi considerati nel modello di calcolo, si applicano delle forze concentrate nei nodi tra soletta superiore e piedritti con valore pari a 1.08 kN.

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



### Spinta sismica terreno

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

$$\Delta S_E = (a_{\max}/g) * \gamma * H_{\text{tot}}^2 = 59.20 \text{ kN/m}$$

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

## 14.2 Diagrammi delle sollecitazioni

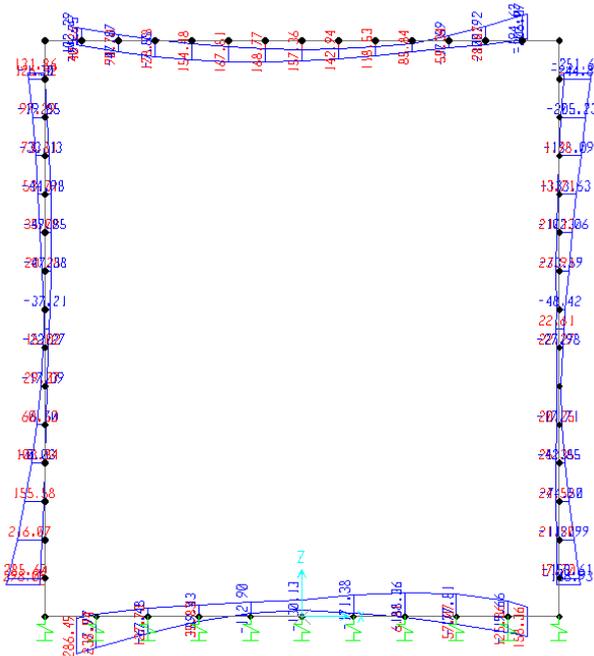


Fig. 47 – Involucro momenti flettenti SLU

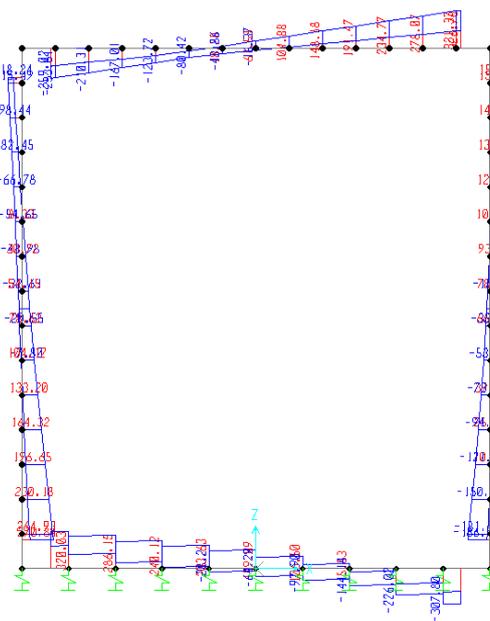


Fig. 48 – Involucro sforzi taglienti SLU

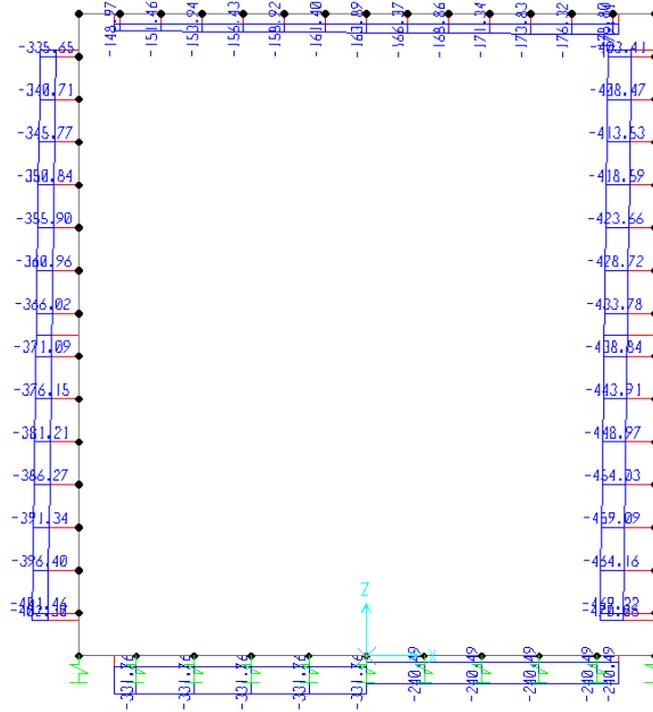


Fig. 49 – Involuppo azioni assiali SLU

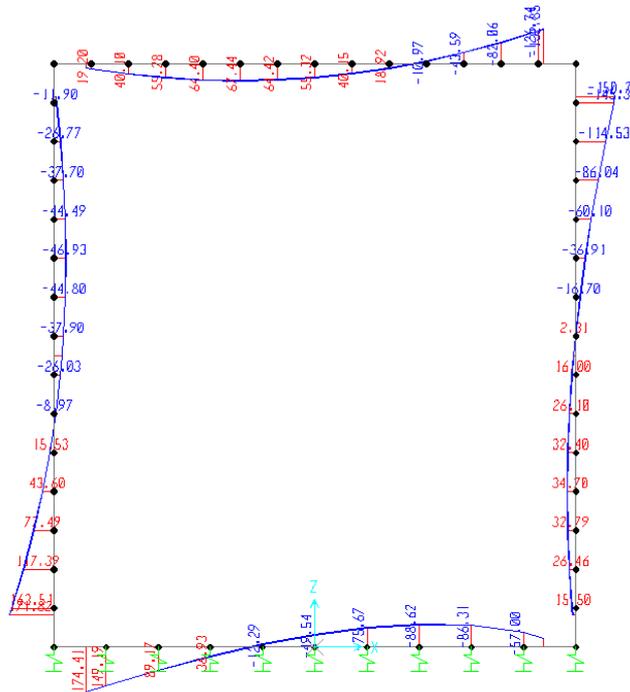


Fig. 50 – Involuppo momenti flettenti SLV

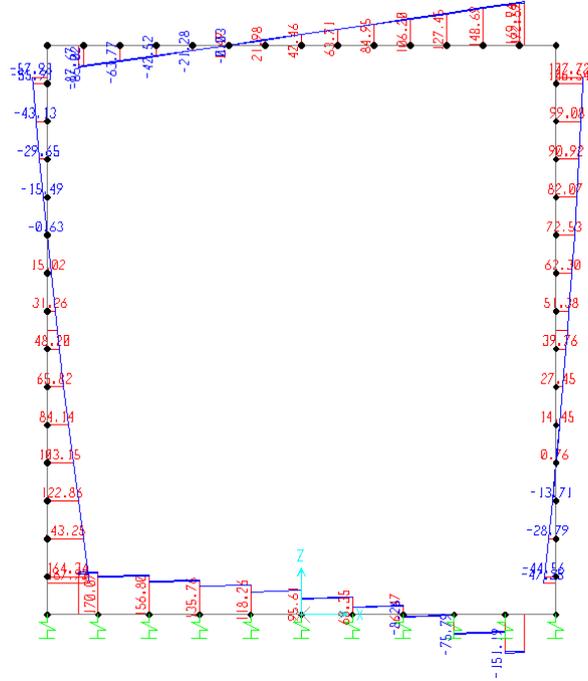


Fig. 51 – Involuppo sforzi taglianti SLV

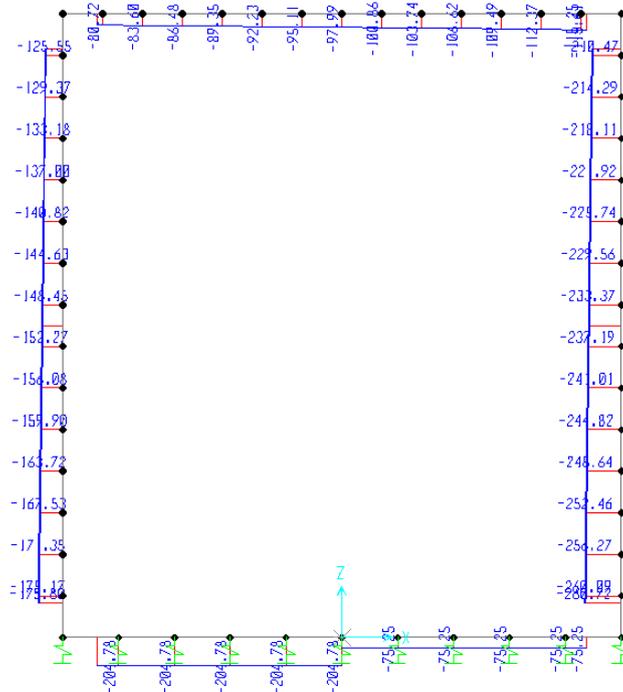


Fig. 52 – Involuppo azioni assiali SLV

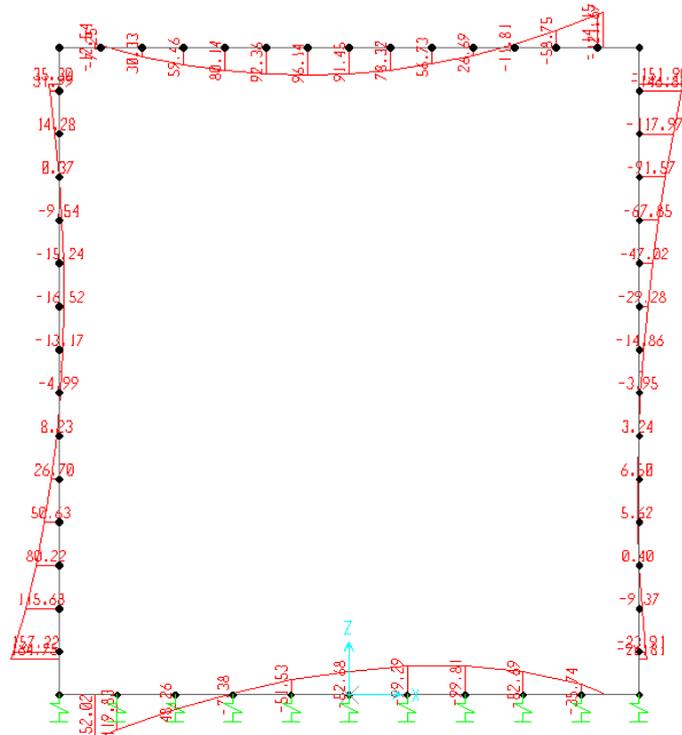


Fig. 53 – Involuppo momenti flettenti SLE rara

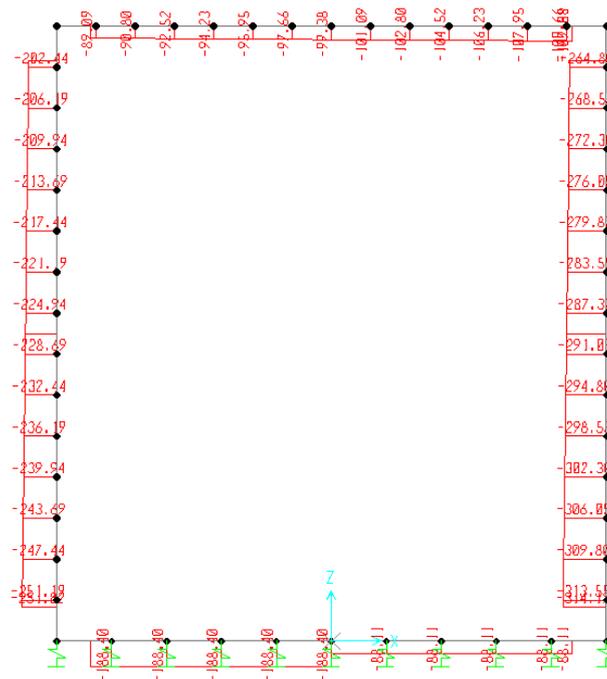


Fig. 54 – Involuppo azioni assiali SLE rara

### 14.3 Verifica delle sezioni in c.a.

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

Per le verifiche in corrispondenza dei nodi si considerano le sollecitazioni a filo elemento rigido.

SLU STR-SLV				
Elemento strutturale	C.C. $M_{max}$	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	$I_{max}$ (kN)
soletta inferiore	SLU13-STR2	331.76	286.49	320.03
	SLU14-STR	52.32	-188.36	-
soletta superiore	SLU13-STR	168.99	-206.07	326.78
	SLU14-STR2	118.67	168.77	-
piedritti	SLU17-SIS2	134.16	-50.23	270.84
	SLU14-STR2	346.90	298.09	270.84
	SLU14-STR	402.56	251.68	186.75
	SLU17-SIS	241.18	-34.70	186.75

Elemento strutturale	SLE RARA		SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)	ID Asta	N (kN)	$M_{max}$ (kNm)
soletta inferiore	193.70	163.94	soletta inferiore	179.85	144.57	soletta inferiore	139.61	89.43
	88.12	-99.81		95.20	-86.94		135.20	-53.52
soletta superiore	109.88	-121.67	soletta superiore	103.39	-106.34	soletta superiore	85.25	-63.31
	92.36	108.04		89.20	97.32		78.73	69.35
piedritti	217.44	-19.20	piedritti	210.26	-17.04	piedritti	181.21	-13.55
	251.82	175.36		240.88	155.65		208.09	99.18
	264.18	151.90		240.77	133.20		170.56	79.75
	298.55	-6.50		275.15	-5.71		197.43	-10.10

### 14.3.1 Verifica soletta inferiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
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	41.6	20
3	41.6	41.6	20
4	41.6	8.4	20

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.                      Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	264 di 284

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	20
2	2	3	8	20

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	331.76	286.49	320.03
2	52.32	-188.36	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	193.70	163.94	0.00
2	88.12	-99.81	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	179.85	144.57 (169.42)	0.00 (0.00)
2	95.20	-86.94 (-166.98)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	139.61	89.43 (174.87)	0.00 (0.00)
2	135.20	-53.52 (-193.86)	0.00 (0.00)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	331.76	286.49	331.83	521.34	1.82	62.8(15.0)
2	S	52.32	-188.36	52.19	-474.06	2.52	62.8(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	50.0	0.00040	-41.6	41.6	-0.01183	-41.6	8.4
2	0.00350	-50.0	0.0	0.00013	-41.6	8.4	-0.01319	41.6	41.6

**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	0.000368595	-0.014929774	----	----
2	0.000000000	-0.000401162	0.003500000	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm <sup>2</sup> /m]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	266 di 284

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	320.03	1151.23	347.44	46.2  37.8	100.0	2.500	1.039	8.7	9.4(0.0)
2	S	0.00	1629.65	140.11	46.5  38.1	100.0	1.000	1.006	0.0	9.4(0.0)

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

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	5.16	-50.0	50.0	-114.7	-32.4	8.4	1100	31.4
2	S	3.12	-50.0	0.0	-74.3	32.4	41.6	1150	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 fctm

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]  
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	-0.00077	0	0.500	20.0	74	0.00034 (0.00034)	371	0.128 (0.20)	168.39	0.00
2	S	-0.00049	0	0.500	20.0	74	0.00022 (0.00022)	376	0.084 (0.20)	-163.61	0.00

### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	4.56	-50.0	50.0	-99.8	-41.6	8.4	1100	31.4
2	S	2.73	-50.0	0.0	-62.0	32.4	41.6	1100	31.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-------------	--------	----	---------	---------

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	267 di 284

1	S	-0.00067	0	0.500	20.0	74	0.00030 (0.00030)	371	0.111 (0.20)	169.42	0.00
2	S	-0.00041	0	0.500	20.0	74	0.00019 (0.00019)	371	0.069 (0.20)	-166.98	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	2.83	-50.0	50.0	-57.5	-32.4	8.4	1100	31.4
2	S	1.71	-50.0	0.0	-27.1	32.4	41.6	1000	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	-0.00039	0	0.500	20.0	74	0.00017 (0.00017)	371	0.064 (0.20)	174.87	0.00
2	S	-0.00019	0	0.500	20.0	74	0.00008 (0.00008)	360	0.029 (0.20)	-193.86	0.00

Si adottano spille 11Ø12/m<sup>2</sup>

### 14.3.2 Verifica soletta superiore

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	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:	337.50 MPa

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	268 di 284

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
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	41.6	20
3	41.6	41.6	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	1	4	8	20
2	2	3	8	20

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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	168.99	-206.07	326.78
2	118.67	168.77	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 di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	109.88	-121.67	0.00
2	92.36	108.04	0.00

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	269 di 284

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	103.39	-106.34 (-165.01)	0.00 (0.00)
2	89.20	97.32 (164.14)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	85.25	-63.31 (-171.15)	0.00 (0.00)
2	78.73	69.35 (167.63)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	168.99	-206.07	168.90	-493.86	2.40	62.8(15.0)
2	S	118.67	168.77	118.46	485.31	2.88	62.8(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	0.00025	-41.6	8.4	-0.01262	41.6	41.6
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00020	-41.6	41.6	-0.01286	-41.6	8.4

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	270 di 284

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	-0.000387426	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000393370	-0.016168510	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	326.78	1135.53	359.21	46.4  38.0	100.0	2.500	1.020	8.8	9.7(0.0)
2	S	0.00	1639.31	143.89	46.4  38.0	100.0	1.000	1.014	0.0	9.7(0.0)

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

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	3.81	-50.0	0.0	-90.3	32.4	41.6	1150	31.4
2	S	3.38	-50.0	50.0	-80.9	-32.4	8.4	1150	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  
= 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            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]

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	271 di 284

sr max Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(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	-0.00060	0	0.500	20.0	74	0.00027 (0.00027)	376	0.102 (0.20)	-163.93	0.00
2	S	-0.00054	0	0.500	20.0	74	0.00024 (0.00024)	376	0.091 (0.20)	163.18	0.00

#### COMBINAZIONI FREQUENTI 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	3.34	-50.0	0.0	-77.8	32.4	41.6	1100	31.4
2	S	3.05	-50.0	50.0	-72.0	-32.4	8.4	1150	31.4

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00052	0	0.500	20.0	74	0.00023 (0.00023)	371	0.086 (0.20)	-165.01	0.00
2	S	-0.00048	0	0.500	20.0	74	0.00022 (0.00022)	376	0.081 (0.20)	164.14	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	2.00	-50.0	0.0	-42.7	32.4	41.6	1100	31.4
2	S	2.18	-50.0	50.0	-49.0	-41.6	8.4	1100	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	-0.00029	0	0.500	20.0	74	0.00013 (0.00013)	371	0.048 (0.20)	-171.15	0.00
2	S	-0.00033	0	0.500	20.0	74	0.00015 (0.00015)	371	0.054 (0.20)	167.63	0.00

Si adottano spille 12Ø12/mq

### 14.3.3 Verifica piedritti

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 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. Frequenti:	165.00 daN/cm <sup>2</sup>

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	272 di 284

Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
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:	337.50 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	50.0
3	50.0	50.0
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	41.6	20
3	41.6	41.6	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

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
---------	---	----	----

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	273 di 284

1	134.16	-50.23	270.84
2	346.90	298.09	270.84
3	402.56	251.68	186.75
4	241.18	-34.70	186.75

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	217.44	-19.20	0.00
2	251.82	175.36	0.00
3	264.18	151.90	0.00
4	298.55	-6.50	0.00

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	210.26	-17.04 (-165.01)	0.00 (0.00)
2	240.88	155.65 (168.56)	0.00 (0.00)
3	240.77	133.20 (172.78)	0.00 (0.00)
4	275.15	-5.71 (0.00)	0.00 (0.00)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	181.21	-13.55 (-171.15)	0.00 (0.00)
2	208.09	99.18 (177.76)	0.00 (0.00)
3	170.56	79.75 (178.47)	0.00 (0.00)
4	197.43	-10.10 (0.00)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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

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

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	274 di 284

As Totale Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	134.16	-50.23	133.99	-280.67	5.71	47.1(15.0)
2	S	346.90	298.09	346.78	524.03	1.75	47.1(15.0)
3	S	402.56	251.68	402.44	533.24	2.10	47.1(15.0)
4	S	241.18	-34.70	240.93	-299.09	9.18	47.1(15.0)

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

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	0.0	-0.00044	-41.6	8.4	-0.01603	41.6	41.6
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00059	-41.6	41.6	-0.01091	-41.6	8.4
3	0.00350	-50.0	50.0	0.00066	-41.6	41.6	-0.01057	-41.6	8.4
4	0.00350	-50.0	0.0	-0.00032	-41.6	8.4	-0.01543	41.6	41.6

### 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	-0.000469393	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000346418	-0.013820905	----	----
3	0.000000000	0.000338127	-0.013406327	----	----
4	0.000000000	-0.000455007	0.003500000	----	----

### VERIFICHE A TAGLIO

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

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	270.84	1149.76	299.04	47.0  38.6	100.0	2.500	1.016	7.2	7.9(0.0)
2	S	270.84	1145.78	290.84	46.0  37.6	100.0	2.500	1.041	7.4	7.9(0.0)
3	S	186.75	1149.95	290.07	45.9  37.5	100.0	2.500	1.047	5.1	7.9(0.0)
4	S	186.75	1161.16	298.31	46.9  38.5	100.0	2.500	1.028	5.0	7.9(0.0)

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel 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	0.73	-50.0	0.0	2.0	20.8	41.6	----	----
2	S	5.96	-50.0	50.0	-115.8	-32.4	8.4	1050	31.4
3	S	5.19	-50.0	50.0	-93.7	-41.6	8.4	1050	31.4
4	S	0.61	-50.0	0.0	6.9	20.8	41.6	----	----

**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 = $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(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	-0.00060	0	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-163.93	0.00
2	S	-0.00079	0	0.500	20.0	74	0.00035 (0.00035)	365	0.127 (0.20)	166.81	0.00
3	S	-0.00064	0	0.500	20.0	74	0.00028 (0.00028)	365	0.103 (0.20)	171.65	0.00
4	S	0.00000	0.00000	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	0.00	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	0.68	-50.0	0.0	2.2	20.8	41.6	----	----
2	S	5.30	-50.0	50.0	-100.3	-41.6	8.4	1050	31.4
3	S	4.56	-50.0	50.0	-80.9	-41.6	8.4	1050	31.4
4	S	0.56	-50.0	0.0	6.4	20.8	41.6	----	----

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00052	0	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-165.01	0.00
2	S	-0.00068	0	0.500	20.0	74	0.00030 (0.00030)	0.110 (0.20)	168.56	0.00
3	S	-0.00056	0	0.500	20.0	74	0.00024 (0.00024)	0.089 (0.20)	172.78	0.00
4	S	0.00000	0.00000	----	----	----	----	0.000 (0.20)	0.00	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.56	-50.0	0.0	2.2	20.8	41.6	----	----
2	S	3.41	-50.0	50.0	-56.2	-32.4	8.4	1000	31.4
3	S	2.74	-50.0	50.0	-44.7	-32.4	8.4	1000	31.4
4	S	0.52	-50.0	0.0	3.4	20.8	41.6	----	----

**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	-0.00029	0	----	----	----	----	0.000 (0.20)	-171.15	0.00
2	S	-0.00039	0	0.500	20.0	74	0.00017 (0.00017)	0.061 (0.20)	177.76	0.00
3	S	-0.00031	0	0.500	20.0	74	0.00013 (0.00013)	0.048 (0.20)	178.47	0.00
4	S	0.00000	0.00000	----	----	----	----	0.000 (0.20)	0.00	0.00

Si adottano spille 9Ø10/mq

**14.4 Tabella riepilogativa incidenza ferri**

	Inc. Armature [kg/mc]
Soletta inf.	155
Soletta sup.	160
Piedritto	80

(per il quantitativo di armatura secondaria si assume il 20% di quella principale; si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 15% per sovrapposizioni/legature)

*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

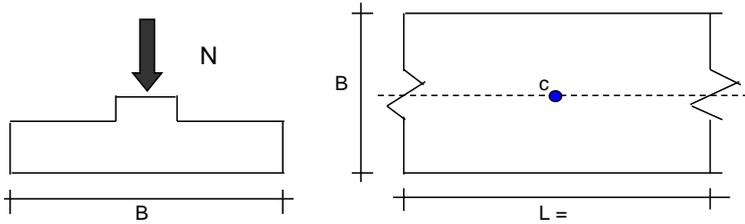
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	277 di 284

#### 14.5 Verifica dei cedimenti a lungo termine

Peso	4	x	5 =	20.00 mq					
	3	x	4 =	-12.00 mq					
				8.00 mq					
				Peso	200 kN	x	$\gamma$	SLE	
							1	200.00 kN	
Ballast	0.8	x	4 x	18	57.6 kN				
Ricoprimento	1.93	x	4 x	20	154.4 kN				
					212 kN	x	1	212.00 kN	
								412.00 kN	

**CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME**

**LAVORO:**



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

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

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

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

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

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

**DATI DI INPUT:**

B = 4.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 412.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 103.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

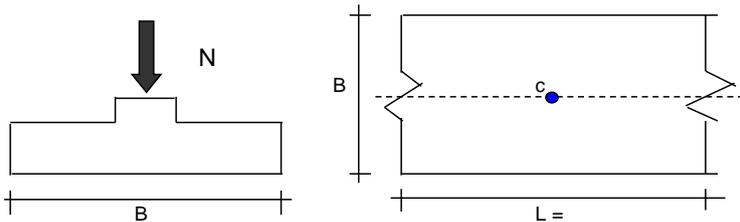
Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	v	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		13.00	0.0	13.0	1.0	15000	0.30	3.46
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{ctot} = 3.46 \text{ (cm)}$$

## 14.6 Verifica dei cedimenti a breve termine

### CEDIMENTI DI UNA FONDAZIONE NASTRIFORME

#### LAVORO:



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

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

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

$$\Delta\sigma_y i = (4q/\pi)^*(\nu\alpha)$$

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

$$\delta_{\text{tot}} = \Sigma\delta_i = \Sigma(((\Delta\sigma_z i - \nu_i(\Delta\sigma_x i + \Delta\sigma_y i))\Delta z_i / E_i)$$

#### DATI DI INPUT:

B = 4.00 (m) (Larghezza della Fondazione)

N = 412.00 (kN) (Carico Verticale Agente)

q = 103.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

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

Strato	Litologia	Spessore	da z <sub>i</sub>	a z <sub>i+1</sub>	Δz <sub>i</sub>	E	ν	δ <sub>ci</sub>
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(-)	(cm)
1		13.00	0.0	13.0	1.0	45000	0.30	1.15
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.30	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.25	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-
-		0.00	0.0	0.0	1.0	0	0.00	-

$$\delta_{\text{ctot}} = 1.15 \text{ (cm)}$$

## 14.7 Verifica di portanza

### Fondazioni Dirette Verifica in tensioni efficaci

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

D = Profondità del piano di appoggio

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

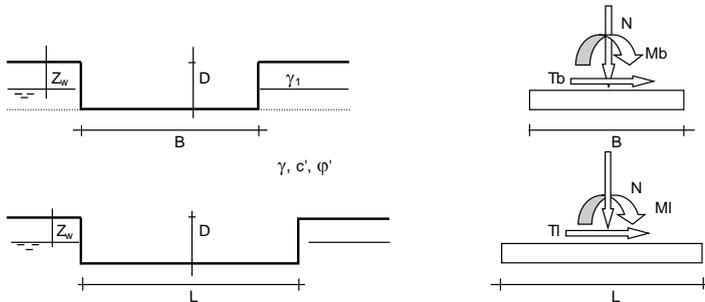
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

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

Metodo di calcolo		coefficienti parziali					
		azioni		proprietà del terreno		resistenze	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	1,00	1,30	1,25	1,25	1,80	1,00
	SISMA	1,00	1,00	1,25	1,25	1,80	1,00
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	1,00	2,30	1,10
	SISMA	1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili		1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista		1,00	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

B = 4,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 7,73 (m)



	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input permanenti	temporanee	
N [kN]	786,40		786,40
Mb [kNm]	0,00		0,00
MI [kNm]	0,00		0,00
Tb [kN]	0,00		0,00
TI [kN]	0,00		0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	281 di 284

Peso unità di volume del terreno

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \\ \gamma &= 16,00 \quad (\text{kN/mc}) \end{aligned}$$

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$$\begin{aligned} c' &= 0,00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 26,00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

Valori di progetto

$$\begin{aligned} c' &= 0,00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 26,00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

Profondità della falda

$$Z_w = 25,00 \quad (\text{m})$$

$$\begin{aligned} e_B &= 0,00 \quad (\text{m}) \\ e_L &= 0,00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^* &= 4,00 \quad (\text{m}) \\ L^* &= 1,00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 123,68 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc, Nq, N $\gamma$**  : coefficienti di capacità portante

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

$$N_q = 11,85$$

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

$$N_c = 22,25$$

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

$$N_\gamma = 12,54$$

**s<sub>c</sub>, s<sub>q</sub>, s <sub>$\gamma$</sub>**  : fattori di forma

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

$$s_c = 1,13$$

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

$$s_q = 1,12$$

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

$$s_\gamma = 0,90$$

**i<sub>c</sub>, i<sub>q</sub>, i <sub>$\gamma$</sub>**  : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,80 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,20 \quad m = 1,80 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B^* \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m \quad (m=2 \text{ nel caso di fondazione nastriforme e } m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta) \text{ in tutti gli altri casi)}$$

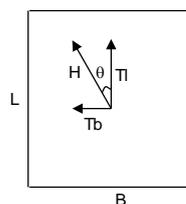
$$i_q = 1,00$$

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

$$i_c = 1,00$$

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

$$i_\gamma = 1,00$$



*Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	282 di 284

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

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

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

$$d_q = 1,44$$

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

$$d_c = 1,48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

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

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\phi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

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

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

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

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

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

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 2465,07 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 196,60 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 1071,77 \geq q = 196,60 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Fondazioni Dirette**  
**Verifica in tensioni totali**

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

D = Profondità del piano di appoggio

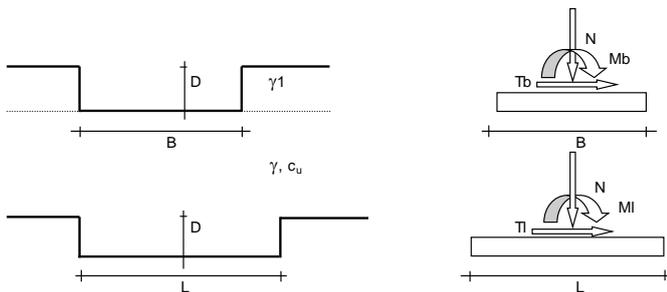
$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

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

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

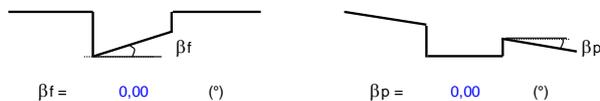
$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

Metodo di calcolo		coefficienti parziali				
		azioni		proprietà del terreno		resistenze
		permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M2+R2	1,00	1,30	1,40	1,80	1,00
	SISMA	1,00	1,00	1,40	1,80	1,00
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,00	2,30	1,10
	SISMA	1,00	1,00	1,00	2,30	1,10
Tensioni Ammissibili		1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Definiti dal Progettista		1,00	1,00	1,00	2,30	1,10



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 4,00 (m)  
L = 1,00 (m)  
D = 7,73 (m)



	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	786,40	0,00	786,40
Mb [kNm]	0,00	0,00	0,00
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	0,00	0,00	0,00
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	0,00	0,00	0,00

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$  (kN/mc)  
 $\gamma = 16,00$  (kN/mc)

Valore caratteristico di resistenza del terreno

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

Valore di progetto

$c_u = 50,00$  (kN/mq)

$e_B = 0,00$  (m)       $B^* = 4,00$  (m)  
 $e_L = 0,00$  (m)       $L^* = 1,00$  (m)

Relazione di calcolo Tombini idraulici scatolari

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NRIJ	01 D 29	CL	IN0000 004	B	284 di 284

**q** : sovraccarico alla profondità D

$$q = 123,68 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 16,00 \quad (\text{kN/mc})$$

**N<sub>c</sub>** : coefficiente di capacità portante

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5,14$$

**s<sub>c</sub>** : fattori di forma

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1,05$$

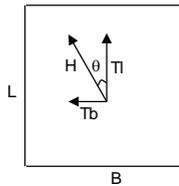
**i<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,80$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,20$$

$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m = 1,80$$



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

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 1,00$$

**d<sub>c</sub>** : fattore di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_c = 1 + 0,4 D / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$$

$$d_c = 1,58$$

**b<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione base della fondazione

$$b_c = (1 - 2 \beta_t / (\pi + 2)) \quad \beta_t + \beta_p = 0,00 \quad \beta_t + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1,00$$

**g<sub>c</sub>** : fattore di inclinazione piano di campagna

$$g_c = (1 - 2 \beta_t / (\pi + 2)) \quad \beta_t + \beta_p = 0,00 \quad \beta_t + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1,00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 549,20 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 196,60 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 238,78 \geq q = 196,60 \quad (\text{kN/m}^2)$$