

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

INTERFERENZE IDRAULICHE: VIABILITA'

NI55C - Tombino Scatolare 2X2

Relazione di calcolo scatolare

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 78 CL NI55C0 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	A. Donnarumma 	Gen-2020	A. Barreca 	Gen-2020	D. Tiberti Gen-2020

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Generale  
UO Infrastrutture Sud  
Dist. Ing. Daniele Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 18076

**INDICE**

1. PREMESSA.....	3
2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA.....	3
3. PROGETTO NUOVO TOMBINO.....	5
3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	6
3.3. GEOMETRIA .....	6
3.4. MATERIALI .....	7
3.5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	8
3.6. MODELLO DI CALCOLO .....	10
3.7. ANALISI DEI CARICHI.....	12
3.8. COMBINAZIONI DI CARICO .....	19
3.9. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI.....	26
3.9.1. INVILUPPO SLU-SLV.....	26
3.9.2. INVILUPPO SLE (RARA).....	30
3.10. VERIFICHE .....	33
3.11. ARMATURE DI RIPARTIZIONE .....	39
3.12. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE .....	42

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo è sviluppato il progetto, ai sensi delle norme attualmente vigenti NTC18, di un sottopasso stradale lungo la linea ferroviaria “Messina-Catania-Palermo”, facente parte del nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Lercara –Caltanissetta Xirbi (Lotto 3).

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

Si riportano di seguito una sezione longitudinale e una trasversale dello scatolare tipo, volte ad individuare le grandezze impiegate nel dimensionamento.



Figura 1. Sezione longitudinale dello scatolare

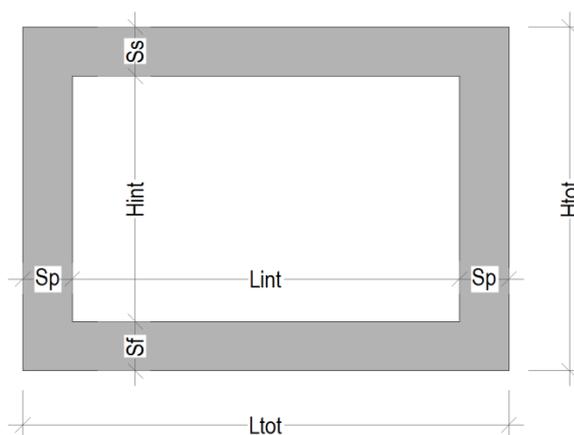


Figura 2. Sezione trasversale dello scatolare

## 2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il tombino sottopassa la strada adiacente alla linea ferroviaria ad una distanza fra piano rotabile ed estradosso soletta pari ad  $H_{ric}$ . Esso ha dimensioni interne  $L_{int} \times H_{int}$ , con piedritti e soletta superiore di spessore  $S_p = S_s = L_{int}/10 + 10\text{cm}$ , soletta inferiore di spessore  $S_f = S_s + 10\text{cm}$ . Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. Nella figura [Fig. 2] di cui al paragrafo precedente sono riportate schematicamente la geometria dell'opera e la simbologia adottata.

Le caratteristiche geometriche hanno la seguente simbologia (unità di misura metri):

Larghezza utile	$L_{int}$
Altezza libera	$H_{int}$
Spessore piedritti	$S_p$
Spessore soletta	$S_s$
Spessore fondazione	$S_f$
Altezza pacchetto stradale	$H_s$
Rinterro (superiore)	$H_r$
Ricoprimento	$H_{ric}$
Larghezza totale	$L_{tot}$
Altezza totale	$H_{tot}$

### 3. PROGETTO NUOVO TOMBINO

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione di un nuovo tombino nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

#### 3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normativa NTC18 attualmente vigente.. In particolare si è fatto riferimento:

- D.M. 17.01.2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sottobinario
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- EN 1992-1-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules of building
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture
- RFI DTC SI SP IFS 001 C Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili
- EC08 Eurocodice 8.
- Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

### 3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

Unità di misura principali

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| - N (Newton)      | unità di forza     |
| - m (metro)       | unità di lunghezza |
| - kg (kilogrammo) | unità di massa     |
| - s (secondo)     | unità di tempo     |

Unità di misura derivate da N

- |                |          |
|----------------|----------|
| - (kiloNewton) | $10^3$ N |
|----------------|----------|

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) -
$\phi$ (fi)	angolo di resistenza	(°)

### 3.3. GEOMETRIA

Larghezza utile	Lint	2,00 m	luce interna scatolare
Altezza libera	Hint	2,00 m	altezza interna scatolare
Spessore piedritti	Sp	0,30 m	(consigliato: $Sp = Ss$ )
Spessore soletta	Ss	0,30 m	(consigliato: $Ss = Lint/10+10cm.$ )
Spessore fondazione	Sf	0,40 m	(consigliato: $Sf = Ss + 10cm.$ )
Altezza pacchetto stradale	Hs	0,20 m	
Rinterro (superiore)	Hr	0,50 m	
Ricoprimento	Hric	0,70 m	$Hs+Hr$
Larghezza totale	Ltot	2,60 m	$Lint+2 \times Sp$
Altezza totale	Htot	2,70 m	$Hint+Sp+Sf$

### 3.4. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo C (30/37) le cui caratteristiche principali sono:

- Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice:  $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$ , dove:
  - $\alpha_{cc} = 0.85$  e  $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{cd} = 17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice:  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$ , dove :
  - $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2$ .
- Modulo elastico:  $E_c = 32836 \text{ N/mm}^2$
- Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;
- Classe di esposizione XA1
- Copriferro = 40 mm
- Condizioni ambientali: aggressive
- Apertura fessure limite:  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Acciaio da cemento armato normale B450C controllato in stabilimento. Le barre sono ad aderenza migliorata. Le caratteristiche meccaniche sono:

- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ Nmm}^2$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$  dove
  - $\gamma_s = 1.15 = 391 \text{ Nmm}^2$
- Allungamento  $D1 > 12\%$
- Modulo di elasticità:  $E_s = 206000 \text{ Nmm}^2$
- Sovrapposizioni barre  $\geq 40\phi$

### 3.5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per l'inquadrimento geotecnico si fa riferimento alla relazione geotecnica, della quale si riportano gli stralci significativi del profilo geotecnico e dei parametri geotecnici del terreno di fondazione, del rinterro e del rinfianco.

Lo strato significativo del profilo geotecnico è l'unità 1) a2  
la cui descrizione nella relazione geotecnica è: alluvioni (argilla e argilla limosa)

Peso specifico terreno	$\gamma_t$ rif.geotec.	kN/m <sup>3</sup>
angolo d'attrito terreno	$\phi$ rif.geotec.	[°]
coesione terreno	c rif.geotec.	kN/m <sup>2</sup>

I parametri geotecnici del rinterro e del terreno di rinfianco sono i seguenti:

Peso specifico rinterro	$\gamma_t$	<span style="background-color: #e0e0e0;">19,0</span> kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito rinterro	$\phi'$	<span style="background-color: #e0e0e0;">38,0</span> [°]	0,663 [rad]
coesione rinterro	c	<span style="background-color: #e0e0e0;">0,0</span> kN/m <sup>2</sup>	

Peso specifico terreno di rinfianco	$\gamma_t$	<span style="background-color: #e0e0e0;">20,0</span> kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito terreno di rinfianco	$\phi'$	<span style="background-color: #e0e0e0;">38,0</span> [°]	0,663 [rad]
coesione terreno di rinfianco	c	<span style="background-color: #e0e0e0;">0,0</span> kN/m <sup>2</sup>	

### *Interazione terreno - struttura*

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:

$$s = B \cdot ct \cdot (q - \sigma_v0) \cdot (1 - \nu^2) / E$$

dove:

- s = cedimento elastico totale;
- B = lato minore della fondazione;
- ct = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L = lato maggiore della fondazione):

$$ct = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \text{ rettangolare con } L / B \leq 10$$

$$ct = 2 + 0.0089 (L / B) \text{ rettangolare con } L / B > 10$$

- q = pressione media agente sul terreno;
- $\sigma_v0$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo kw è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

$$kw = E / [(1 - \nu^2) \cdot B \cdot ct]$$

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, avendo considerato per E un valore medio di quello indicato per l'Unità Geotecnica in esame ed una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaborante nella diffusione dei carichi:

Unità stratigrafica	1) a2
Descrizione unità stratigrafica	alluvioni (argilla e argilla limosa)
Modulo elastico medio terreno	E <b>20000 kN/m<sup>2</sup></b>
Coefficiente di Poisson medio terreno	$\nu$ 0,3
Lato minore della fondazione	B 1,0 m
Lato maggiore della fondazione	L 2,6 m
Rapporto dei lati	L/B 2,6
Coefficiente adimensionale	ct 1,363
Costante di sottofondo	Kw <b>16122 kN/m<sup>3</sup></b>

### 3.6. MODELLO DI CALCOLO

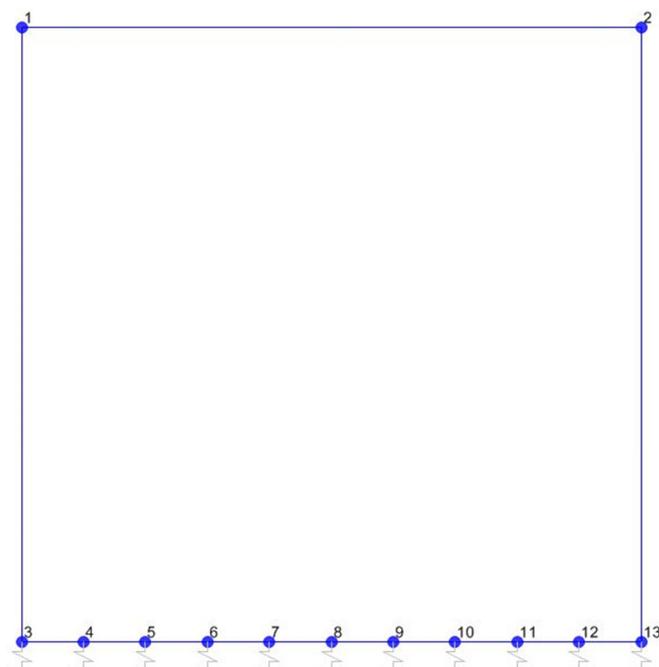
Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

<i>asta</i>	<i>base</i>	<i>altezza</i>	<i>descrizione</i>
Asta 1	100 cm	40 cm	(soletta inferiore)
Aste 2, 4	100 cm	30 cm	(Piedritti)
Asta 3	100 cm	30 cm	(soletta superiore)

Le caratteristiche geometriche del modello e le coordinate dei nodi sono le seguenti:

Linterasse	2,30 m
Hinterasse	2,35 m
N.nodi	13
N.nodi sup	2
N.nodi inf	11
N.spazi inf	10



<i>Nodo</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>
1	0,000	2,350
2	2,300	2,350
3	0,000	0,000
4	0,230	0,000
5	0,460	0,000
6	0,690	0,000
7	0,920	0,000
8	1,150	0,000
9	1,380	0,000
10	1,610	0,000
11	1,840	0,000
12	2,070	0,000
13	2,300	0,000

Figura 10. Numerazione nodi modello SAP

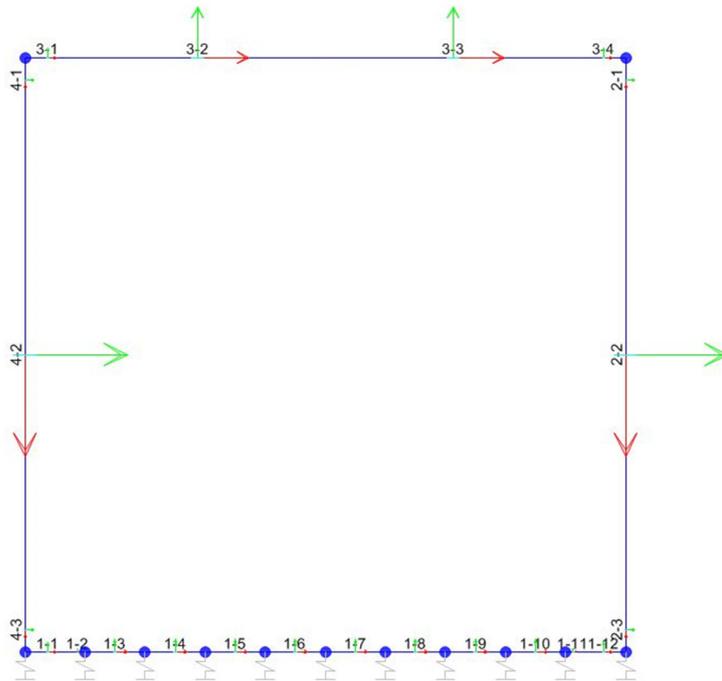


Figura 11: Individuazione elementi modello SAP

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidità delle molle, nel il caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dai parametri della relazione geotecnica:

#### Rigidità molle nodali SAP

$k_s$		<b>16122</b> kN/m <sup>3</sup>
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
$L_{infl}$		0,230 m
$K_{centrale}$	$k_s \times L_{infl} \times 1$	<b>3708</b> kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
$L_{infl}$		0,230 m
$K_{intermedio}$	$1,5 \times k_s \times L_{infl} \times 1$	<b>5562</b> kN/m
nodi estremità (3,13)		
$L_{infl}$		0,265 m
$K_{estremità}$	$2,0 \times k_s \times L_{infl} \times 1$	<b>8545</b> kN/m

### 3.7. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

#### Peso proprio della struttura (condizione DEAD)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Peso specifico calcestruzzo armato	$\gamma_{ds}$	25 kN/m <sup>3</sup>	
peso singolo piedritto	$P_p$	7,50 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_p$
peso soletta superiore	$P_{ss}$	7,50 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_s$
peso fondazione	$P_{sf}$	10,00 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_f$

#### Permanenti portati (condizione PERM-STR)

peso specifico pacchetto stradale	$\gamma_s$	24 kN/m <sup>3</sup>	
altezza pacchetto stradale	$H_s$	0,20 m	
Permanente totale	$G_{sp}$	4,80 kN/m	$\gamma_b \times H_b$
peso specifico rinterro	$\gamma_r$	19,0 kN/m <sup>3</sup>	
altezza rinterro	$H_r$	0,50 m	
peso rinterro	$P_r$	9,50 kN/m	$\gamma_r \times H_r$
Permanente totale	$G_{2p}$	14,30 kN/m	$P_b + P_r$
Permanente nodi 1 e 2	$G_{2P}$	2,15 kN	$G_{2p} \times S_p / 2$

I carichi concentrati verticali nei nodi 1 e 2 (i nodi tra la soletta superiore e i piedritti), rappresentano il carico permanente sulla soletta di copertura dovuto al peso della zona sovrastante la metà dello spessore del piedritto (la modellazione dello scatolare è stata fatta in asse piedritto).

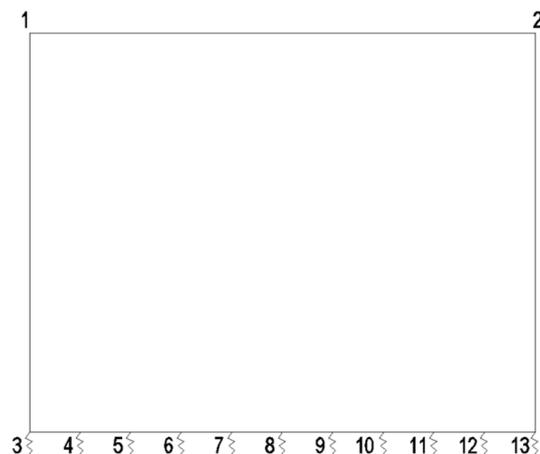


Figura 3. Numerazione dei nodi nel modello strutturale.

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

Peso specifico terreno di rinfiacco	$\gamma_t$	20,0 kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito terreno di rinfiacco	$\varnothing'$	38,0 [°]	0,663 [rad]
coefficiente spinta attiva $k_a$	$k_a$	0,238	$(1 - \text{sen}\varnothing') / (1 + \text{sen}\varnothing')$
coefficiente spinta riposo $k_o$	$k_o$	0,384	$(1 - \text{sen}\varnothing')$
coefficiente spinta passiva $k_p$	$k_p$	4,204	$(1 + \text{sen}\varnothing') / (1 - \text{sen}\varnothing')$
Pressione estradosso soletta superiore	$P_1$	5,50 kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times (G_{sp} + P_r)$
Pressione asse soletta superiore	$P_2$	6,59 kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times (G_{sp} + P_r + \gamma_r \times S_s / 2)$
Pressione asse soletta inferiore	$P_3$	23,75 kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times [P_b + P_r + \gamma_r \times (S_s + H_{int} + S_f / 2)]$
Pressione intradosso soletta inferiore	$P_4$	25,21 kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times (P_b + P_r + \gamma_r \times H_{tot})$
Forza concentrata asse soletta superiore	$F_1$	0,91 kN/m	$(P_1 + P_2) / 2 \times S_s / 2$
Forza concentrata asse soletta inferiore	$F_2$	4,90 kN/m	$(P_3 + P_4) / 2 \times S_f / 2$

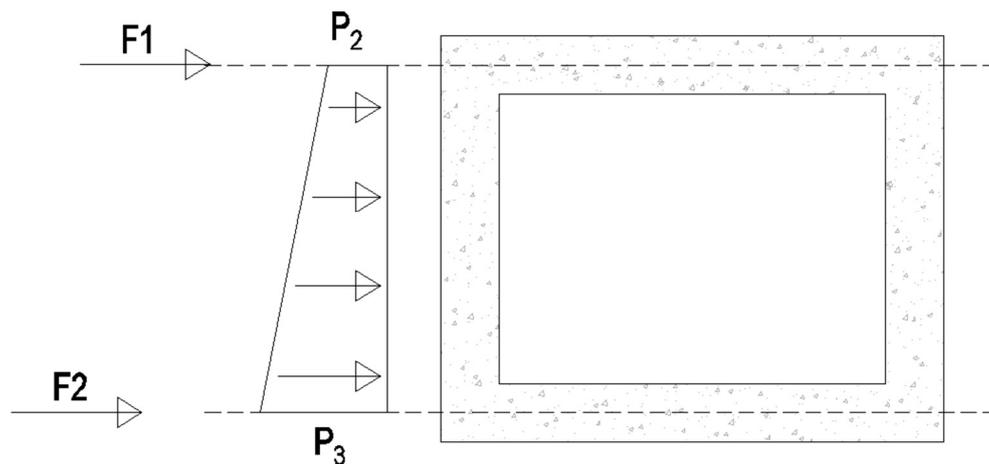


Figura 4. Spinte del terreno

I carichi concentrati nei nodi 1 e 3 (per la SPTSX) oppure 2 e 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta sup. e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

### Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM-STR)

Si assume il più gravoso tra i seguenti due schemi di carico:

- carico distribuito uniforme stradale
- schema di carico 1 § 5.1.3.3.3 Cap.5 NTC2018

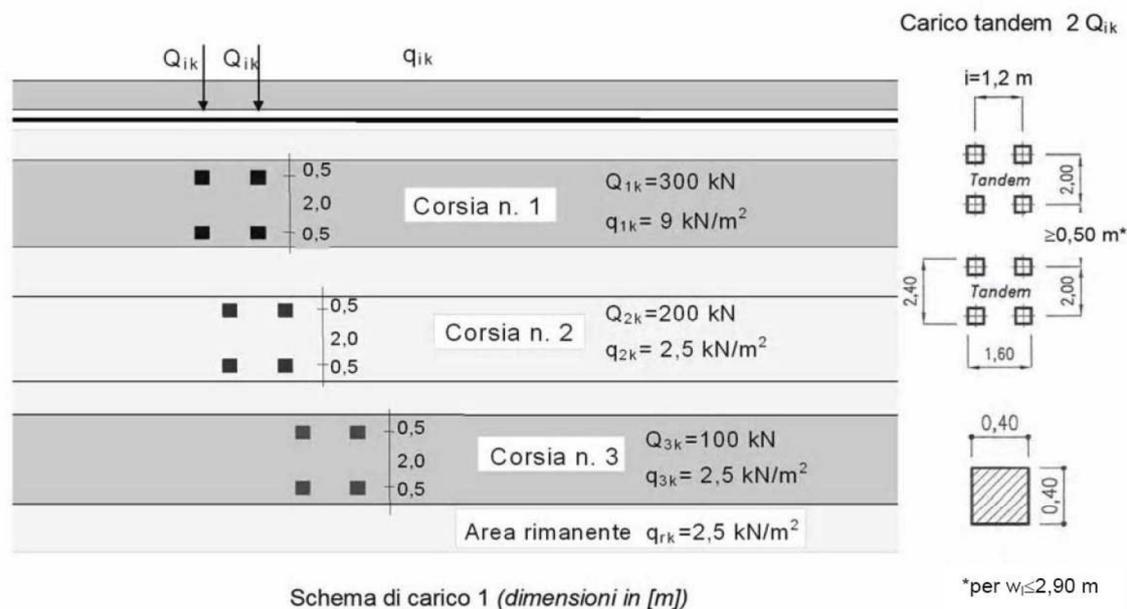


Figura 20 – Schema di Carico 1 del D.M. 17/01/2018

Carico distribuito per traffico stradale	quif	20 kN/m <sup>2</sup>	
Carico distribuito per corsia di carico	q <sub>1k</sub>	9 kN/m <sup>2</sup>	Schema di carico 1 NITC §5.1.3.3.3
Carico concentrato impronta di carico	Q <sub>1k</sub>	150 kN	Schema di carico 1 NITC §5.1.3.3.3
N° Impronte di carico per asse	N <sub>i</sub>	2	
N° Assi	N <sub>a</sub>	2	
Dimensione trasversale impronta di carico	B <sub>ti</sub>	0,40 m	
Dimensione longitudinale impronta di carico	B <sub>li</sub>	0,40 m	
Interasse trasversale strada impronte carico	i <sub>ti</sub>	2,00 m	
Interasse longitudinale strada impronte carico	i <sub>li</sub>	1,20 m	
Larghezza corsia di carico	w <sub>1</sub>	3,00 m	

Lo schema di carico 1, che prevede anche la presenza di carichi concentrati, viene raggugliato allo schema di carico a) mediante una diffusione attraverso il pacchetto stradale e il rinterro fino alla linea d'asse della soletta superiore:

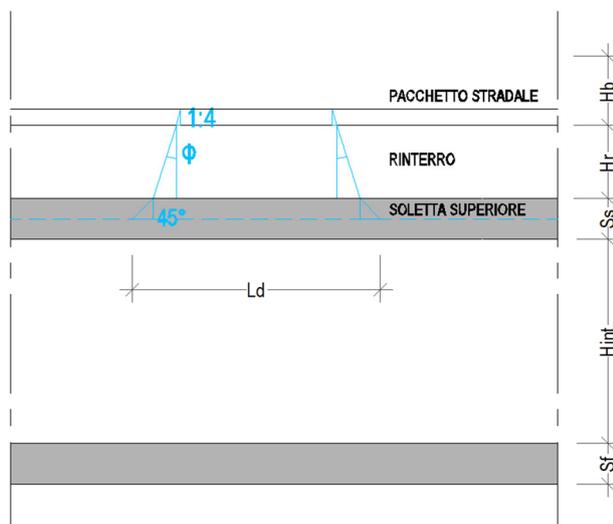


Figura 4. Diffusione dei carichi concentrati dello schema di carico 1

Ripartizione trasversale strada piano rotabile	rtpr	2,40 m	$B_{ti} + i_{ti} * (N_i - 1)$
Ripartizione longitudinale strada piano rotabile	rlpr	1,60 m	$B_{li} + i_{li} * (N_a - 1)$
Larghezza di diffusione nel pacchetto stradale	Lds	0,10 m	Diffusione 1:4 nel pacchetto stradale
Larghezza di diffusione nel rinterro	Ldr	0,78 m	Diffusione secondo angolo attrito
Larghezza di diffusione nel cls	Ldc	0,30 m	Diffusione 45° nel cls
Larghezza trasv. di diffusione del carico	Ldt	<b>3,58 m</b>	$rtpr + L_{ds} + L_{dr} + L_{dc}$
Larghezza long. di diffusione del carico	Ldl	<b>2,78 m</b>	$rlpr + L_{ds} + L_{dr} + L_{dc}$
Carico ripartito verticale schema di carico 1	psch1	<b>69,24 kN/m<sup>2</sup></b>	$[Q1k * N_i * N_a / (L_{dl} * L_{dt})] + q1k$
Carico distribuito massimo su soletta superiore	Pq	<b>69,24 kN/m<sup>2</sup></b>	$max(psch1 ; qunif)$

**Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico STRADALE (condizioni SPACCSX e SPACCDX)**

Carico distribuito massimo per traffico stradale	Pq	<b>26,61 kN/m<sup>2</sup></b>	$Pq \times K_o$
Spinta semispessore soletta superiore	Fqsup	<b>3,99 kN/m</b>	$Pq \times SP_s / 2$
spinta semispessore soletta inferiore	Fqinf	<b>5,32 kN/m</b>	$Pq \times SP_i / 2$

**Frenatura e accelerazione (condizione AVV-STR)**

La forza di frenamento, agente nella direzione dell'asse della strada ed al livello della superficie stradale, è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è pari a:

$$q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot N_i \cdot Q1k) + 0,10 \cdot q1k \cdot w1 \cdot L$$

Lunghezza zona caricata	L	2,60 m	$L_{int} + 2 * S_p$
Largh. diffusione sulla soletta superiore	Ldiff	2,30 m	$L_{int} + S_p$
Acc. e fren. traffico stradale	Av	<b>367,02 kN</b>	$0,6 * (2 * N_i * Q1k) + 0,10 * q1k * w1 * L$
Acc. e fren. traffico stradale distribuiti	q3	<b>62,40 kN/m</b>	$Av / [L_{diff} + max(L_{dt} ; w1)]$

### Azioni termiche (condizione TERM)

Alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a  $\Delta t = \pm 15^\circ\text{C}$  ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a  $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$ .

Variatione termica uniforme	$\Delta T_{unif}$	<b>+ -15,00</b> [°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
Variatione termica differenziale	$\Delta T_{diff}$	<b>+ -5,00</b> [°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
	Gradiente	<b>+ -16,67</b> [°/m]	$\Delta T_{diff} / S_s$

### Ritiro igrometrico (condizione RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 17-01-2018.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

Variatione termica uniforme equivalente	$\Delta T_{ritiro}$	<b>- [11,29°]</b>	<i>Sulla soletta superiore</i>
---	---------------------	-------------------	--------------------------------

### CONDIZIONI DI CARICO SISMICHE

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  $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v \cdot W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$

$k_h = a_{max} / g$

$k_v = \pm 0,5 \times k_h$

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  $V_N$  ed una classe d'uso  $C_u$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U$ .

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 ad  $ag$ , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima per la determinazione delle forze di inerzia può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S * ag = S_s * S_t * ag$$

Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico,..) sono pari alle masse moltiplicate per  $kh$  e  $k_v$  ove:  $kh = \beta_M * S * ag/g$  e  $k_v = kh / 2$ . Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno,  $\beta_M = 1$ .

vita nominale	$V_N$	75 anni
classe d'uso	CL	III
coefficiente d'uso	$C_U$	1,50
vita di riferimento = $C_U * V_N$	$V_R$	112,5 anni
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	$P_{VR}$	10%
periodo di ritorno del sisma	$T_R$	1068 anni

#### spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

accelerazione massima orizzontale al bedrock	ago	0,105 g
fattore amplificazione massima spettro accelerazione	$F_o$	2,632
periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz.	$T^*c$	0,403
categoria sottosuolo		C
categoria topografica		T1
amplificazione topografica	$S_T$	1,000
smorzamento viscoso convenzionale	$\xi$	5%
fattore di correzione per $\xi <> 5\%$	$\eta$	1,000

Tab.3.2.V	$S_s$	$C_C$	$S_s$	$C_C$
A	1,00	1,00	1,50	1,42
B	1,20	1,32		
C	1,50	1,42		
D	1,80	1,97		
E	1,60	1,65		

coefficiente amplificazione stratigrafica	$S_s$	1,500
coefficiente di amplificazione	$S$	<b>1,500</b>
coefficiente categoria sottosuolo	$C_c$	1,417
periodo inizio tratto a accelerazione costante = $T_c / 3$	$T_B$	0,190 sec
periodo inizio tratto a velocità costante = $C_c * T^*c$	$T_C$	0,571 sec
periodo inizio tratto a spostamento costante = $4 * ag/g + 1,6$	$T_D$	2,020 sec
accelerazione massima orizzontale al suolo = $S_s \times S_t \times ag/g$	ago,max	<b>0,158 g</b>

### Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo scatolare

Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito	$\beta$	<b>1,000</b>
$a_o = k_h = a_{g,max} = S \times ag/g$	valore $PGA \times scatolare$	$a_o = k_h$ <b>0,1575 g</b>
$a_v = k_v = k_h / 2$	valore $PGA \times scatolare$	$a_v = k_v$ <b>0,0788 g</b>

### Forze di inerzia (condizione SismaH-STR)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	0%
Forza orizzontale sulla soletta di copertura	$F^h$	3,43 kN/m $(P_{ss} + G_{sp} + Pr + \% * Pq) \times k_b$
Forza orizzontale su singolo piedritto	$F^h$	1,18 kN/m <sup>2</sup> $P_p \times k_b$

### Forze di inerzia (condizione SismaV-STR)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	0%
Forza verticale sulla soletta di copertura	$F^v$	1,72 kN/m <sup>2</sup> $(P_{ss} + G_{sp} + Pr + \% * Pq) \times k_v$

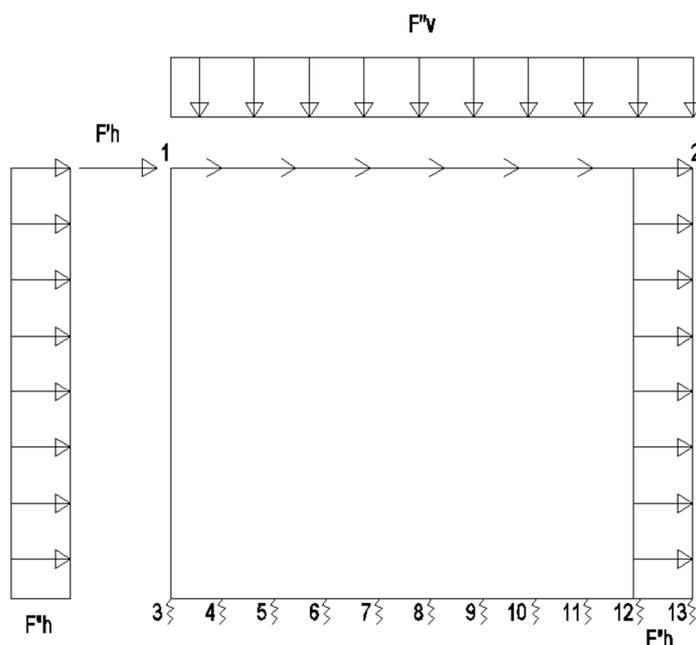


Figura 9. Forze sismiche agenti sulla struttura

### Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSPDX e SPSSX)

Forza distribuita su uno solo dei piedritti	$qW$	<b>2,25</b> kN/m <sup>2</sup>	$(\% * Pq + G_{sp} + Pr) \times (a_{go, max})$
Forza concentrata nodo superiore piedritto	$QW_{sup}$	<b>0,34</b> kN	$qW \times S_s / 2$
Forza concentrata nodo inferiore piedritto	$QW_{inf}$	<b>0,45</b> kN	$qW \times S_f / 2$

### 3.8. COMBINAZIONI DI CARICO

Secondo le prescrizioni del D.M. 17/01/2018 le azioni di calcolo debbono essere cumulate secondo condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della ridotta probabilità di intervento simultaneo di tutte le azioni accidentali con i rispettivi valori più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico generiche sono le seguenti:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

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

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

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si considerano le combinazioni riportate in Tabella 5.1.IV:

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

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

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

Per quel che riguarda i valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$ ,  $\gamma_{Qi}$  e  $\gamma_{\epsilon i}$  si considerano i valori riportati in Tabella 5.1.V:

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

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

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Per quel che riguarda i valori dei coefficienti di combinazione delle azioni variabili  $\psi$  si considerano i valori raccomandati per i ponti stradali:

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

<i>Azioni</i>	<i>Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)</i>	<i>Coefficiente <math>\Psi_0</math> di combinazione</i>	<i>Coefficiente <math>\Psi_1</math> (valori frequenti)</i>	<i>Coefficiente <math>\Psi_2</math> (valori quasi permanenti)</i>
<i>Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)</i>	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
<i>Vento <math>q_5</math></i>	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
<i>Neve <math>q_5</math></i>	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
<i>Temperatura</i>	$T_k$	0,6	0,6	0,5

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

Peso proprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM-STR
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Carico Variabile Stradale	ACCM-STR
Spinta del carico stradale Sulla parete Sx	SPACCSX
Spinta del carico stradale Sulla parete Dx	SPACCDX
Accelerazione e frenatura	AVV-STR
Variazione termica sulla soletta superiore	ENV_TERM
Ritiro	RITIRO
Azione sismica orizzontale	Sisma H-STR
Azione sismica verticale	Sisma V-STR
Incremento sismico della spinta	SPSDX/SX

La 4 condizioni di carico:

$$\Delta T_{\text{uniforme}} = \pm 15^\circ$$

$$\Delta T_{\text{differenziale}} = \pm 5^\circ$$

e le loro 4 combinazioni sono state preventivamente involupate nella condizione ENV\_TERM, la quale viene impiegata nelle successive combinazioni di carico per massimizzare gli effetti termici.

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza.

Combinazione fondamentale

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

Combinazioni di carico SLU (nonsismiche)													
	1slu	2slu	3slu	4slu	5slu	6slu	7slu	8slu	9slu	10slu	11slu	12slu	13slu
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
PERM-STR	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SPTSX	1	1	1	1	1.35	1.35	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTDX	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1
ACCM-STR	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	1.35	1.35	1.08	1.08	1.015
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.45	0	0	0
SPACCDX	1.35	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.08	1.08	1.015
AVV	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	1.35
ENV_TERM	0	-0.9	0	0	0	0	-0.9	0	0.9	-0.9	-1.5	1.5	0.9
RITIRO	0	1.2	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

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

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

dove:

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

Combinazioni di Carico Sismiche								
	sh1	sh2	sh3	sh4	sv1	sv2	sv3	sv4
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM-STR	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1	1	1	1
ACCM-STR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0
SPACCDX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AVV-STR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ENV_TERM	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
RITIRO	0	0	0	0	0	0	0	0
SISMA H-STR	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
SISMA V-STR	0.3	-0.3	0.3	-0.3	-1	1	-1	1
SPSDX	0	0	1	1	0	0	0.3	0.3
SPSSX	1	1	0	0	0.3	0.3	0	0

Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni SH vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni SV per Sisma V=-0.3.

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

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

<b>Combinazioni di carico SLE</b>			
	<b>1sle</b>	<b>2sle</b>	<b>3sle</b>
DEAD	1	1	1
PERM-STR	1	1	1
SPTSX	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8
ACCM-STR	0.75	0.75	0.75
SPACCSX	0.75	0.75	0
SPACCDX	0.75	0.75	0.75
AVV-STR	-0.75	0.75	-0.75
ENV_TERM	-0.6	0.6	-0.6
RITIRO	0	0	1

### 3.9. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

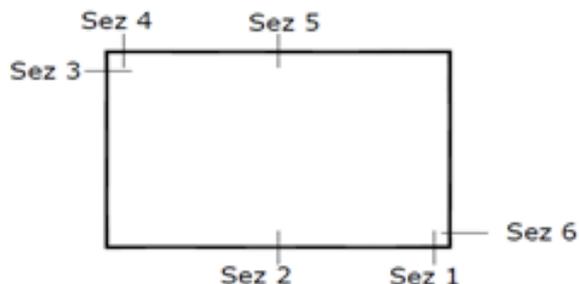
#### 3.9.1. Inviluppo SLU-SLV

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	140,3	129,1
1	0,23	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	141,4	117,8
1	0,23	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	164,5	117,8
1	0,46	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	167,6	79,7
1	0,46	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	175,9	79,7
1	0,69	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	179,0	38,9
1	0,69	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	174,7	38,9
1	0,92	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	177,8	1,1
1	0,92	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	163,8	1,1
1	1,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	166,9	1,1
1	1,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	143,2	1,1
1	1,38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	146,3	13,1
1	1,38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	112,9	13,1
1	1,61	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	116,0	25,7
1	1,61	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	72,6	25,7
1	1,84	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	75,7	38,2
1	1,84	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	-4,3	38,2
1	2,07	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	-1,2	49,9
1	2,07	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	-28,0	49,9
1	2,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0,0	-27,2	58,8
1	0,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	16,8	-36,3
1	0,23	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	17,6	-44,7
1	0,23	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-9,6	-44,7
1	0,46	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-7,3	-57,3
1	0,46	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-30,4	-57,3
1	0,69	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-28,1	-59,6
1	0,69	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-40,8	-59,6
1	0,92	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-38,5	-55,8
1	0,92	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-48,5	-55,8
1	1,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-46,2	-55,0
1	1,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-61,7	-55,0
1	1,38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-58,6	-88,3
1	1,38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-79,8	-88,3
1	1,61	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-76,7	-114,6
1	1,61	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-95,2	-114,6
1	1,84	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-92,1	-131,7
1	1,84	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-115,9	-131,7
1	2,07	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-112,8	-131,0
1	2,07	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-132,6	-131,0
1	2,15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0,0	-131,6	-123,3

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
Relazione di calcolo scatolare

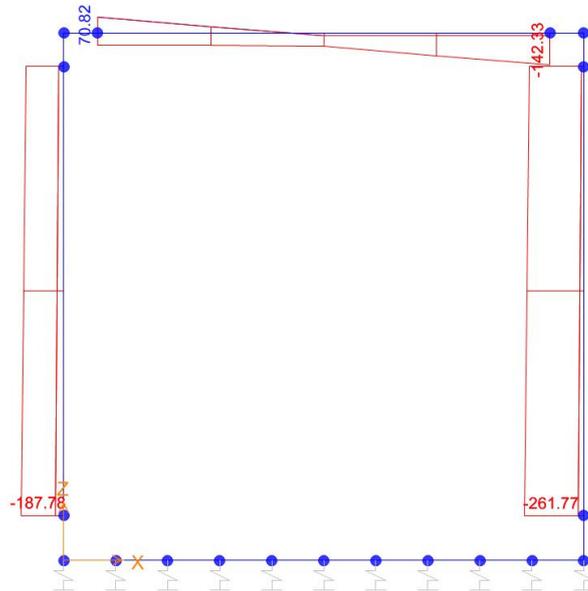
COMMESSA RS3T	LOTTO 3 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO NI.55.A.0.001	REV. A	FOGLIO 27 di 42
------------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-11,0	-10,6	12,2
2	1,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-18,5	27,1	14,1
2	2,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-26,0	89,4	91,1
2	0,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-241,5	-141,4	-130,8
2	1,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-251,7	-112,2	-15,4
2	2,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-261,8	-92,7	-59,1
3	0,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	70,8	-16,0	90,3
3	0,65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	28,7	29,1	91,5
3	1,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-11,5	92,0	61,2
3	1,65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-12,1	154,9	50,1
3	2,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-12,6	217,8	15,2
3	0,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-54,1	-143,8	-45,7
3	0,65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-54,1	-80,9	-10,2
3	1,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-58,1	-18,0	-0,8
3	1,65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-100,2	-6,9	-22,2
3	2,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-142,3	4,3	-115,4
4	0,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-22,6	52,1	60,8
4	1,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-30,1	40,2	24,6
4	2,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-37,6	20,7	126,2
4	0,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-167,5	-85,5	-71,1
4	1,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-177,7	-97,3	-5,3
4	2,15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-187,8	-116,9	-22,8

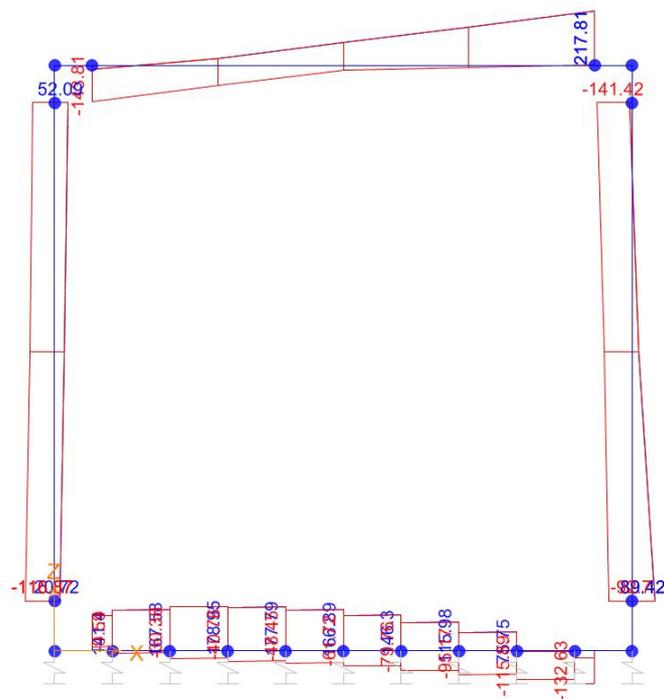


SEZIONE	P	V2	M3
01	0,0	179,0	129,1
02	0,0	0,0	131,7
03	-11,0	141,4	130,8
04	0,0	217,8	115,4
05	0,0	0,0	91,5
06	-26,0	141,4	126,2

Diagrammi di involucro delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU-SLV



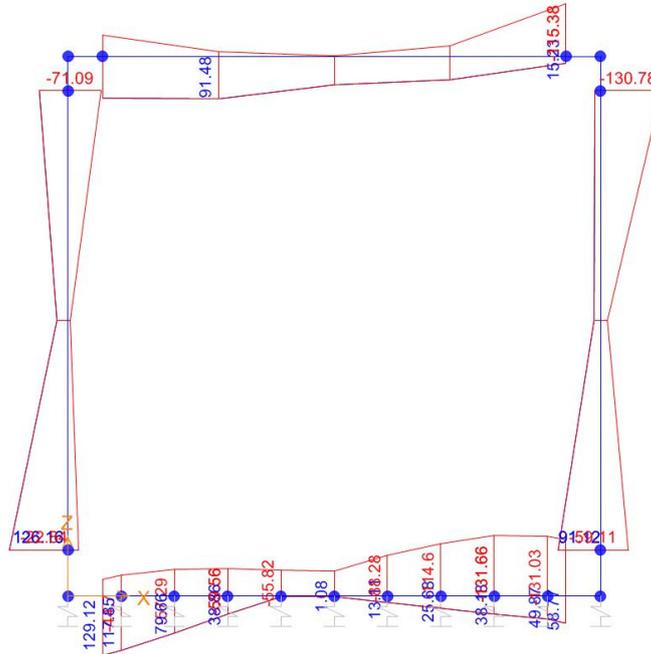
*Sforzo normale*



*Taglio*

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	3 0 D 78	CL	NI.55.A.0.001	A	29 di 42



*Momento Flettente*

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
 Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA RS3T	LOTTO 3 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO NI.55.A.0.001	REV. A	FOGLIO 30 di 42
------------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

### 3.9.2. Inviluppo SLE (rara)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	85,4	82,1
1	0,23	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	86,2	75,2
1	0,23	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	97,6	75,2
1	0,46	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	99,9	52,5
1	0,46	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	102,7	52,5
1	0,69	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	105,0	28,6
1	0,69	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	101,3	28,6
1	0,92	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	103,6	5,1
1	0,92	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	94,4	5,1
1	1,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	96,7	-16,4
1	1,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	81,9	-16,4
1	1,38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	84,2	9,8
1	1,38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	63,8	9,8
1	1,61	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	66,1	37,4
1	1,61	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	40,0	37,4
1	1,84	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	42,3	64,8
1	1,84	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	-5,3	64,8
1	2,07	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	-3,0	90,0
1	2,07	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	-59,4	90,0
1	2,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,0	-58,6	97,3
1	0,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	53,9	-79,0
1	0,23	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	54,7	-83,3
1	0,23	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-7,8	-83,3
1	0,46	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-5,5	-81,8
1	0,46	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-57,7	-81,8
1	0,69	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-55,4	-68,8
1	0,69	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-83,5	-68,8
1	0,92	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-81,2	-49,9
1	0,92	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-102,5	-49,9
1	1,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-100,2	-27,1
1	1,15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-115,1	-27,1
1	1,38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-112,8	-46,2
1	1,38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-121,0	-46,2
1	1,61	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-118,7	-61,1
1	1,61	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-120,4	-61,1
1	1,84	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-118,1	-70,6
1	1,84	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-110,7	-70,6
1	2,07	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-108,4	-69,6
1	2,07	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-90,9	-69,6

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
Relazione di calcolo scatolare

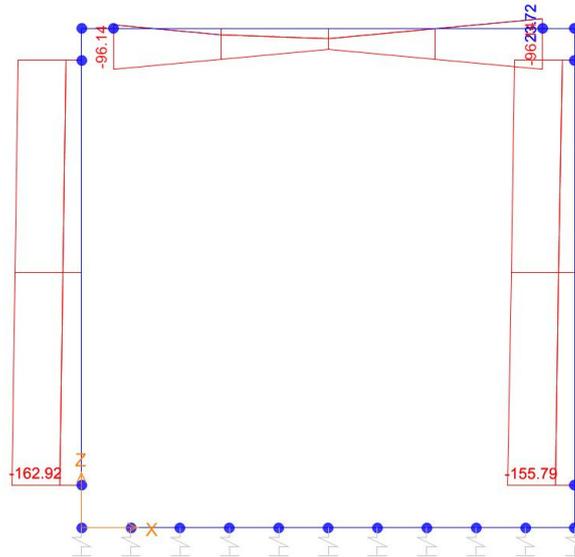
COMMESSA RS3T	LOTTO 3 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO NI.55.A.0.001	REV. A	FOGLIO 31 di 42
------------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

1	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0,0	-90,1	-64,9
2	0,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-29,5	38,4	48,4
2	1,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-37,0	67,8	5,4
2	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-44,5	103,4	50,9
2	0,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-140,8	-95,5	-79,2
2	1,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-148,3	-66,1	-7,4
2	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-155,8	-30,5	-89,2
3	0,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	8,0	-22,1	44,5
3	0,65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-15,4	15,0	46,3
3	1,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-23,1	52,1	34,9
3	1,65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0,3	89,2	55,2
3	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	23,7	126,3	57,0
3	0,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-96,1	-133,4	-75,9
3	0,65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-72,7	-96,3	-19,2
3	1,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-49,3	-59,2	15,1
3	1,65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-72,7	-22,1	-20,2
3	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-96,1	15,0	-74,1
4	0,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-36,6	95,1	83,9
4	1,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-44,1	73,6	4,7
4	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-51,6	54,0	75,0
4	0,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-147,9	-23,1	-37,2
4	1,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-155,4	-54,9	-6,1
4	2,15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-162,9	-94,3	-60,7

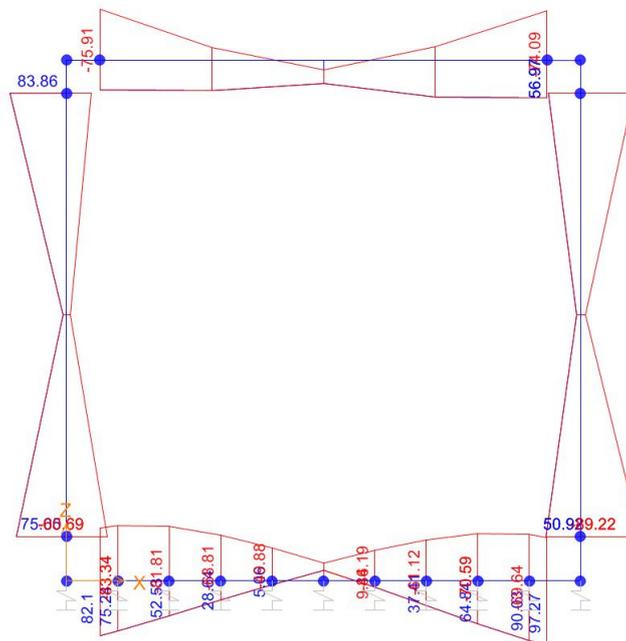


SEZIONE	P	M3
01	0,0	97,3
02	0,0	83,3
03	-29,5	83,9
04	0,0	75,9
05	0,0	57,0
06	-44,5	89,2

*Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)*



*Sforzo normale*



*Momento Flettente*

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

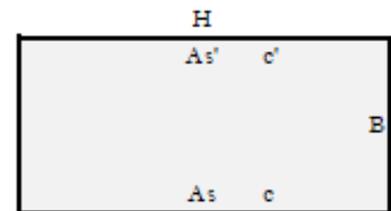
### 3.10. VERIFICHE

#### Sezione n°. 01

##### Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	330 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0,0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	129,1 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	179,0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa			
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2,0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90,0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0,00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	97,3 kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0,0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0,20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0,60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0,45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80 fyk		

#### Geometria della Sezione:



##### Dati di Output:

##### SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	360 kNm	Coeff Sfrutt.	36%
Vrd	Taglio ultimo resistente	215 kN	Coeff Sfrutt.	83%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff Sfrutt.	

##### SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-27 Mpa	Coeff Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	110 Mpa	Coeff Sfrutt.	30%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-4 Mpa	Coeff Sfrutt.	24%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	93 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,11 mm	Coeff Sfrutt.	55%
			Coeff Sfrutt. Max	83%

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
 Relazione di calcolo scatolare

 COMMESSA  
 RS3T

 LOTTO  
 3 0 D 78

 CODIFICA  
 CL

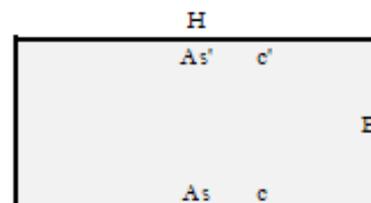
 DOCUMENTO  
 NI.55.A.0.001

 REV.  
 A

 FOGLIO  
 34 di 42

**Sezione n° 02**
**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm		
c'	Copiferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copiferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	330 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0,0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	131,7 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0,0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0		
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2,0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90,0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0,00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,perm)	R		
Mse	Momento di esercizio [(+)]	83,3 kNm		
Nse	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0,0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0,20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0,60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0,45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80 fyk		

**Geometria della Sezione:**

**Dati di Output:**
**SLU - Momento e Taglio resistenti**

Mrd	Momento ultimo resistente	360 kNm	Coeff Sfrutt.	37%
Vrd	Taglio ultimo resistente	215 kN	Coeff Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-23 Mpa	Coeff Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	94 Mpa	Coeff Sfrutt.	26%
sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-4 Mpa	Coeff Sfrutt.	20%
sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	93 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,09 mm	Coeff Sfrutt.	45%
			Coeff Sfrutt.Max	45%

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
 Relazione di calcolo scatolare

 COMMESSA  
 RS3T

 LOTTO  
 3 0 D 78

 CODIFICA  
 CL

 DOCUMENTO  
 NI.55.A.0.001

 REV.  
 A

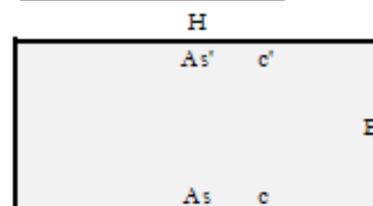
 FOGLIO  
 35 di 42

## Sezione n° 03

## Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm
c'	Copiferro armatura sup. compressa	70 mm
c	Copiferro armatura inf. Tesa	70 mm
d	Altezza utile = H-c	230 mm
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-11,0 kN
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	130,8 kNm
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	141,4 kN
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm
Fi1	1° diametro armatura tesa	20
Fi2	2° diametro armatura tesa	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	mm
s. Staffe	Passo staffe	150 mm
bracci	Numero Bracci staffe	2
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2,0 [range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90,0°
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R
Msle	Momento di esercizio [(+)]	83,9 kNm
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-29,5 kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0,20 mm
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0,60 fck
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0,45 fck
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80 fyk

## Geometria della Sezione:



## Dati di Output:

## SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	238 kNm	Coeff Sfrutt.	55%
Vrd	Taglio ultimo resistente	185 kN	Coeff Sfrutt.	76%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>				
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-32 Mpa	Coeff Sfrutt.	9%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	136 Mpa	Coeff Sfrutt.	38%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-7 Mpa	Coeff Sfrutt.	39%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	56 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,15 mm	Coeff Sfrutt.	77%
			Coeff Sfrutt.Max	77%

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
Relazione di calcolo scatolare

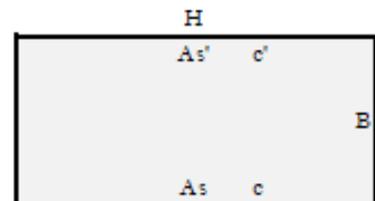
COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RS3T 3 0 D 78 CL NI.55.A.0.001 A 36 di 42

Sezione n° 04

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm
c'	Copifero armatura sup. compressa	70 mm
c	Copifero armatura inf. Tesa	70 mm
d	Altezza utile = H-c	230 mm
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0,0 kN
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	115,4 kNm
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	217,8 kN
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm
Fi1	1° diametro armatura tesa	20
Fi2	2° diametro armatura tesa	
n1	N° . Barre 1° armatura tesa	10
n2	N° . Barre 2° armatura tesa	0
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	12 mm
s. Staffe	Passo staffe	150 mm
bracci	Numero Bracci staffe	2
cotθ	(proiez.ORIZZ.)/(proiez.VERT.) puntone cls	2,0 [range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90,0°
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	1508 mmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R
Msle	Momento di esercizio [(+)]	75,9 kNm
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0,0 kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0,20 mm
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0,60 fck
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0,45 fck
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80 fyk

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	237 kNm	Coeff.Sfrutt.	49%
Vrd	Taglio ultimo resistente	244 kN	Coeff.Sfrutt.	89%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	2 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-28 Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	128 Mpa	Coeff.Sfrutt.	35%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-6 Mpa	Coeff.Sfrutt.	35%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	54 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,14 mm	Coeff.Sfrutt.	70%
			Coeff.Sfrutt.Max	89%

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
Relazione di calcolo scatolare

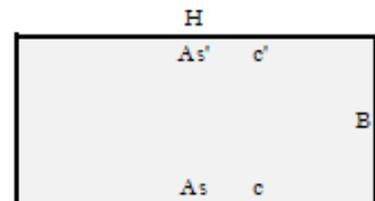
COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RS3T 3 0 D 78 CL NI.55.A.0.001 A 37 di 42

Sezione n°. 05

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm
d	Altezza utile = H-c	230 mm
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)/Trazione]	0,0 kN
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	91,5 kNm
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0,0 kN
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm
Fi1	1° diametro armatura tesa	20
Fi2	2° diametro armatura tesa	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	12 mm
s. Staffe	Passo staffe	150 mm
bracci	Numero Bracci staffe	2
cofθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2,0 [range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90,0°
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	1508 mmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R
Msle	Momento di esercizio [(+)]	57,0 kNm
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)/Trazione]	0,0 kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0,20 mm
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0,60 fck
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0,45 fck
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80 fyk

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	237 kNm	Coeff Sfrutt.	39%
Vrd	Taglio ultimo resistente	244 kN	Coeff Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	2 kNm	Coeff Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-21 Mpa	Coeff Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	96 Mpa	Coeff Sfrutt.	27%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-5 Mpa	Coeff Sfrutt.	27%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	54 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,09 mm	Coeff Sfrutt.	47%
			Coeff Sfrutt.Max	47%

NI55-a - Tombino Scatolare 2x2 (pk 0+110.00):  
Relazione di calcolo scatolare

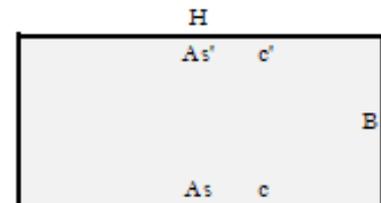
COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RS3T 3 0 D 78 CL NI.55.A.0.001 A 38 di 42

Sezione n°. 06

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm		
c'	Copiferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copiferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	230 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-26,0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	126,2 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	141,4 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0		
As'	Armatura superiore compressa	3142 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	3142 mmq		
Fi Staffe	Diámetro staffe	0 mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2,0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90,0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0,00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,perm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	89,2 kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-44,5 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0,20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0,60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0,45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	239 kNm	Coeff.Sfrutt.	53%
Vrd	Taglio ultimo resistente	187 kN	Coeff.Sfrutt.	76%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-35 Mpa	Coeff.Sfrutt.	10%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	143 Mpa	Coeff.Sfrutt.	40%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-8 Mpa	Coeff.Sfrutt.	42%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	57 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,16 mm	Coeff.Sfrutt.	82%
			Coeff.Sfrutt.Max	82%

Si riportano i coefficienti di sfruttamento nelle sezioni notevoli per le verifiche SLU/SLV/SLE:

<b>SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:</b>							
SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ03	SEZ04	SEZ05	SEZ06
SLU	Med/Mrd	36%	37%	55%	49%	39%	53%
SLU	Ved/Vrd	83%	0%	76%	89%	0%	76%
SLE	(sigse/sigsr)s	8%	6%	9%	8%	6%	10%
SLE	(sigse/sigsr)i	30%	26%	38%	35%	27%	40%
SLE	(sigce/sigcr)s	24%	20%	39%	35%	27%	42%
SLE	wk/wklim	55%	45%	77%	70%	47%	82%
	MAX	83%	45%	77%	89%	47%	82%
	MAX	89%					

I coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori all'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

### 3.11. ARMATURE DI RIPARTIZIONE

Le armature di ripartizione delle pareti e della soletta vengono dimensionate per sostenere gli effetti del ritiro igrometrico i quali generano una trazione pura per deformazioni impedita a causa della soletta inferiore gettata precedentemente e che può aver dissipato tali effetti.

La  $\epsilon$ ritiro induce nel calcestruzzo una tensione di trazione superiore alla sua resistenza a trazione, ne deriva la fessurazione e il trasferimento di tutta la trazione sull'acciaio teso. Per ottenere delle fessure uniformemente distribuite e non concentrate in alcuni punti con ampiezze macroscopiche, si applica un principio di non plasticizzazione delle armature. Per limitare l'ampiezza delle fessure, pur distribuite, che si ottengono applicando tale principio, si applica quanto previsto al § 7.3.2 dell'Eurocodice 2 - UNI EN 1992 1-1: "Aree minime di armatura", in particolare la formula (7.1):

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

dove:

$A_{s,min}$  è l'area minima di armatura nella zona tesa;

$A_{ct}$  è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito dopo la formazione della prima fessura; è pari a tutta l'area della sezione per trazione pura, alla metà per flessione;

$\sigma_s$  è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento  $f_{yk}$  dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro o la massima spaziatura tra le barre (vedere punto 7.3.3).

$f_{ct,eff}$  è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  se la formazione delle fessure è prevista prima di 28d;

$k$  è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi,  $k=1$

$k_c$  è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva;  $k_c=1$  per trazione,  $k_c=0,4$  per flessione,  $k_c = 0,4 \cdot (1 - \text{funz}(\sigma_c))$  nel caso flessione combinata con sforzo normale.

base della sezione		1000 mm
altezza della sezione		300 mm
area sezione calcestruzzo	$A_{ct}$	300000 mm <sup>2</sup>
tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450 Mpa
resist. Caratt. Cilindrica cls a compressione	$f_{ck}$	30 Mpa
tensione resistente cls a trazione	$f_{ct,eff}=0,3(f_{ck})^{2/3}$	2,90 Mpa
coefficiente $k_c$	$k_c$	1,00
coefficiente $k$	$k$	1,00
area minima acciaio teso nella sezione	$A_{s,min}$	1931 mm <sup>2</sup>

P.to 7.3.3 EC2 1992:1-1): Dove è disposta l'armatura minima indicata al punto 7.3.2, le ampiezze delle fessure non dovrebbero essere eccessive se: per fessurazione causata principalmente da deformazioni impedito, il diametro delle barre non eccede quello dato nel prospetto 7.2N, dove la tensione nell'acciaio è quella che si ha subito dopo la fessurazione [cioè il termine  $\sigma_s$  nell'espressione (7.1)];

prospetto 7.2N

**Diametri massimi delle barre  $\phi^*_s$  per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>**

Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup> [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:  
 $c = 25$  mm;  $f_{ct,eff} = 2,9$  MPa;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1$  h;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_3 = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  e  $k' = 1,0$ .

2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

**Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:**

Trazione (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi^*_s (f_{ct,eff} / 2,9) h_{cr} / (8(h-d)) \quad (7.7N)$$

dove:

 $\phi_s$  è il diametro massimo "modificato" delle barre;

 $\phi^*_s$  è il diametro massimo dato nel prospetto 7.2N;

 $h$  è l'altezza totale della sezione;

 $h_{cr}$  è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

 $d$  è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di armatura ordinaria.

 Se tutta la sezione è tesa  $h-d$  è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione (considerare ciascun lembo se la barra non è disposta simmetricamente).

**Verifica armatura trasversale:**

diametro barre trasversali	$\Phi_{trasv}$	14 mm	< $F_s$	Verifica soddisfatta
passo barre trasversali	passo	100 mm		
N.strati barre trasvers. (sup.+inf.+intermedi)	n.strati	2		
Area barre trasversali	$A_s$	3079 mm <sup>2</sup>		
stato tensionale barre dopo fessurazione	$\sigma_s$	282 mm <sup>2</sup>	< $f_{yk}$	Verifica soddisfatta
$\phi$ barre da tabella 7.2N x $\sigma_s$ e $w_k=0,2$ mm	$\phi^*_s$	8 mm		
altezza zona tesa prima della fessurazione	$h_{cr}$	300 mm		
altezza totale sezione	$h$	300 mm		
copriferro (asse barre)	$c$	50 mm		
altezza utile sezione	$d$	250 mm		
diametro massimo modificato utilizzabile	$\phi_s$	24 mm	(= $F_s$ )	

### 3.12. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE

#### *A seguire il riepilogo delle armature del tombino:*

Pareti di spessore	30 cm		
con armatura principale esterna	<b>F20 /100</b>		3142 mm <sup>2</sup>
con armatura principale interna	<b>F20 /100</b>		3142 mm <sup>2</sup>
Soletta superiore di spessore	30 cm		
con armatura principale superiore	<b>F20 /100</b>		3142 mm <sup>2</sup>
con armatura principale inferiore	<b>F20 /100</b>		3142 mm <sup>2</sup>
Soletta inferiore di spessore	40 cm		
con armatura principale superiore	<b>F20 /100</b>		3142 mm <sup>2</sup>
con armatura principale inferiore	<b>F20 /100</b>		3142 mm <sup>2</sup>

Le pareti non hanno armatura a taglio.

La soletta superiore ha armatura a taglio **F12 /150** dir.princ. /500 dir.trasv.

La soletta inferiore non ha armatura a taglio.

Le armature di ripartizione sono:

	Armature di ripartizione:	Area:	% Arm. principale:
Pareti	<b>F14 /100</b> 2 strati	3078.8 mm <sup>2</sup>	49% di 6283 mm <sup>2</sup>
Soletta superiore	<b>F14 /100</b> 2 strati	3078.8 mm <sup>2</sup>	49% di 6283 mm <sup>2</sup>
Soletta inferiore	<b>F14 /100</b> 2 strati	3078.8 mm <sup>2</sup>	49% di 6283 mm <sup>2</sup>

#### **Incidenza armature:**

Larghezza utile	Lint	2.00 m	Spessore piedritti	Sp	0.30 m
Altezza libera	Hint	2.00 m	Spessore soletta	Ss	0.30 m
incidenza sovrapp.		20%	Spessore fondazione	Sf	0.40 m
			copriferro	c	0.07 m

Elem.	Ø1 sup/int [mm]	pass1 [mm]	Ø2 sup/int [mm]	pass2 [mm]	Ø3 inf/ext [mm]	pass3 [mm]	Ø4 inf/ext [mm]	pass4 [mm]	Øleg [mm]	Øleg pass1 [mm]	Øleg pass2 [mm]
piedritto	20	100	0	1000	20	100	0	1000	0	1000	1000
soletta	20	100	0	1000	20	100	0	1000	12	150	500
fondaz.	20	100	0	1000	20	100	0	1000	0	1000	1000
ripartiz.	14	100	x	2 strati							
Elem.	LØ [m]	Lleg [mm]	Vol [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]	incid [kg/m <sup>3</sup> ]	Inc.%					
piedritto	2.88	0.36	0.6	170	284	35%					
soletta	2.78	0.36	0.8	178	228	18%					
fondaz.	2.98	0.46	1.0	176	170	18%					
ripartiz.			3.0	267	88	28%					
<b>TOTALE</b>			<b>3.0</b>	<b>962</b>	<b>319</b>	<b>100%</b>					