

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

**Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale**

**NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA**

OPERE CIVILI

Opere D'Arte Minori – Sottovia e interferenze idrauliche – Tombini

IN15 – Tombino alla pk 0+599,00 – RAMO B

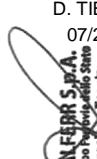
Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 1 D 7 8 C L I N 1 5 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	E.SELLARI	07/2019	N.MANCUSO <i>Nico Mancuso</i>	07/2019	F.GERNONE <i>Federico Gernone</i>	07/2019	D. TIBERTI 07/2019  ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Scelta UO Infrastrutture Sud Dott. Ing. Danilo Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10076

File: IA5F01D78CLIN1500001A

n. Elab.:



## INDICE

1. PREMESSA .....	4
2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA .....	5
3. PROGETTO NUOVO TOMBINO .....	6
3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.2. GEOMETRIA .....	7
3.3. MATERIALI .....	7
3.4. ANALISI DEI CARICHI .....	8
3.5. COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
3.6. MODELLAZIONE ADOTTATA .....	21
3.7. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI .....	23
3.7.1. INVILUPPO SLU-SLV .....	23
3.7.2. INVILUPPO SLE (RARA) .....	27
3.8. VERIFICHE .....	30
3.8.1. VERIFICHE DELLE SEZIONI .....	31

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo è sviluppato il progetto, ai sensi delle norme attualmente vigenti NTC18, di un sottopasso lungo la linea ferroviaria “Ferrandina-Matera La Martella”, con una struttura scatolare in c.a.. Lo scatolare in oggetto è situato alla progressiva 0+599.00.

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

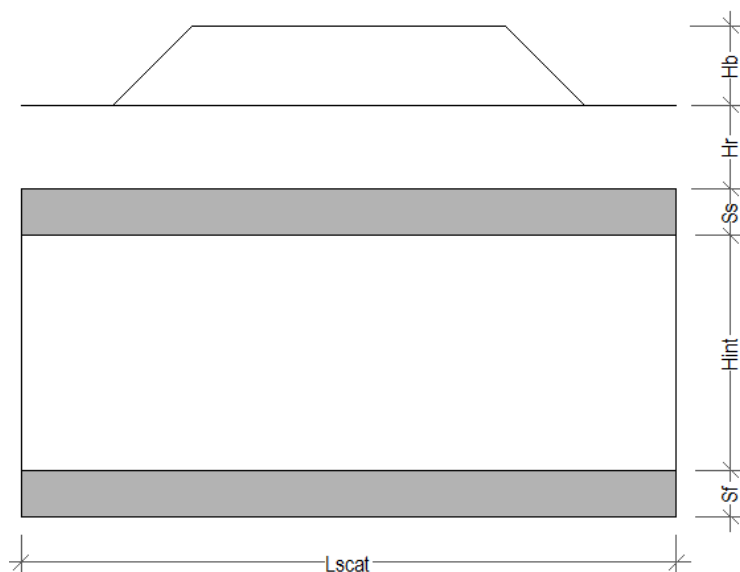


Figura 1. Sezione longitudinale dello scatolare

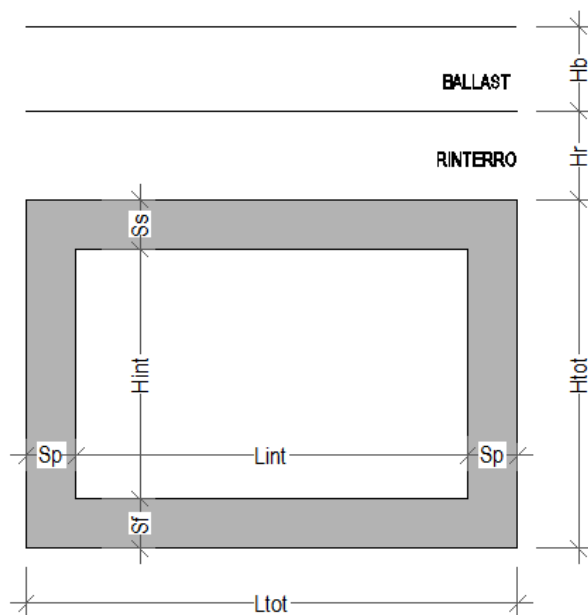


Figura 2. Sezione trasversale dello scatolare

## 2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il tombino sottopassa la linea ferroviaria ad una distanza fra piano ferro ed estradosso soletta pari a 2.30 m, di cui spessore medio ballast più armamento pari a 0.80 m e la rimanente parte il rinterro. Esso ha dimensioni interne 3.00×3.00 m, con piedritti, soletta superiore e soletta inferiore di spessore 45 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:

Spessore medio del ballast + armamento	$H_b$	[m]
Spessore traversina + rotaie (35 cm)	$H_{tb}$	[m]
Larghezza traversina	$L_{tb}$	[m]
Spessore del rinterro	$H_r$	[m]
Larghezza totale del sottopasso	$L_{tot}$	[m]
Larghezza utile del sottopasso	$L_{int}$	[m]
Spessore della soletta	$S_s$	[m]
Spessore piedritti	$S_p$	[m]
Spessore fondazione	$S_f$	[m]
Altezza libera del sottopasso	$H_{int}$	[m]
Altezza totale del sottopasso	$H_{tot}$	[m]
Larghezza striscia di calcolo	$b$	[m]

### 3. PROGETTO NUOVO TOMBINO

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione di un nuovo tombino, in sostituzione di quello esistente sopra analizzato, nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

#### 3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normative 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 1992-1-1:2004 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.

### 3.2. GEOMETRIA

Larghezza utile	Lint	3,00 m	<i>luce interna scatolare</i>
Altezza libera	Hint	3,00 m	<i>altezza interna scatolare</i>
Spessore piedritti	Sp	0,45 m	
Spessore soletta	Ss	0,45 m	
Spessore fondazione	Sf	0,45 m	
Altezza ballast	Hb	0,80 m	
Rinterro (superiore)	Hr	1,50 m	
Lunghezza traversa	Ltb	2,30 m	
Altezza traversa	Htb	0,35 m	
Ricoprimento	Hric	2,30 m	<i>Hb+Hr</i>
Larghezza totale	Ltot	3,90 m	<i>Lint+2xSPp</i>
Altezza totale	Htot	3,90 m	<i>Hint+SPs+SPf</i>

### 3.3. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

- un 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:  $E_c = 32836 \text{ N/mm}^2$ .

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

tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

resistenza di calcolo dell'acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$  dove

$\gamma_s = 1.15 = 391 \text{ N/mm}^2$

Allungamento  $D1 > 12\%$

Modulo di elasticità:  $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$

### 3.4. ANALISI DEI CARICHI

Siriportanodiseguitoicarichiutilizzatiiperilcalcolodellesollecitazioniieverifiche 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 il calcestruzzo  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

Il peso proprio della struttura viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

Peso specifico calcestruzzo armato	$\gamma_{ds}$	25 kN/m <sup>3</sup>	
peso singolo piedritto	$P_p$	11,25 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_p$
peso soletta superiore	$P_{ss}$	11,25 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_s$
peso soletta inferiore	$P_{si}$	11,25 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_f$

#### Carichi permanenti portati (condizione PERM)

peso specifico ballast	$\gamma_b$	18 kN/m <sup>3</sup>	
altezza ballast	$H_b$	0,80 m	
peso ballast	$P_b$	14,40 kN/m	$\gamma_b \times H_b$
peso specifico rinterro	$\gamma_r$	19 kN/m <sup>3</sup>	
altezza rinterro	$H_r$	1,50 m	
peso rinterro	$P_r$	28,50 kN/m	$\gamma_r \times H_r$
Permanente totale	$G_{2p}$	42,90 kN/m	$P_b + P_r$
Permanente nodi 1 e 2	$G_{2P}$	9,65 kN	$G_{2p} \times S_p / 2$

I carichi concentrati 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).

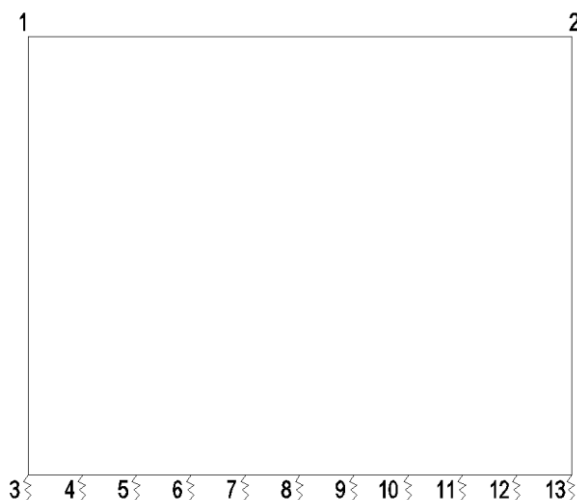


Figura 3. Numerazione dei nodi nel modello strutturale.



### Spinta del terreno (condizioni SPTSX eSPTDX)

Le caratteristiche del rinterro, di seguito riportate, sono state determinate con indagini in sito SPT:

$\phi=38^\circ$  angolo di attrito

$\gamma_r= 19 \text{ kN/m}^3$  peso specifico rinterro

$C_u = 0$  coesione non drenata

angolo di attrito rinterro		38 [°]	0,663 [rad]
coefficiente spinta attiva $k_a$		0,238	$(1 - \text{sen}\phi) / (1 + \text{sen}\phi)$
coefficiente spinta riposo $k_0$		0,384	$(1 - \text{sen}\phi)$
coefficiente spinta passiva $k_p$		4,204	$(1 + \text{sen}\phi) / (1 - \text{sen}\phi)$
Pressione estradosso soletta superiore	P1	16,49 kN/m <sup>2</sup>	$k_0 \times (P_b + P_r)$
Pressione asse soletta superiore	P2	18,13 kN/m <sup>2</sup>	$k_0 \times (P_b + P_r + \gamma_r \times S_s / 2)$
Pressione asse soletta inferiore	P3	43,32 kN/m <sup>2</sup>	$k_0 \times [P_b + P_r + \gamma_r \times (S_s + H_{int} + S_f / 2)]$
Pressione intradosso soletta inferiore	P4	44,97 kN/m <sup>2</sup>	$k_0 \times (P_b + P_r + \gamma_r \times H_{tot})$
Forza concentrata asse soletta superiore	F1	3,89 kN/m	$(P1 + P2) / 2 \times S_s / 2$
Forza concentrata asse soletta inferiore	F2	9,93 kN/m	$(P3 + P4) / 2 \times S_f / 2$

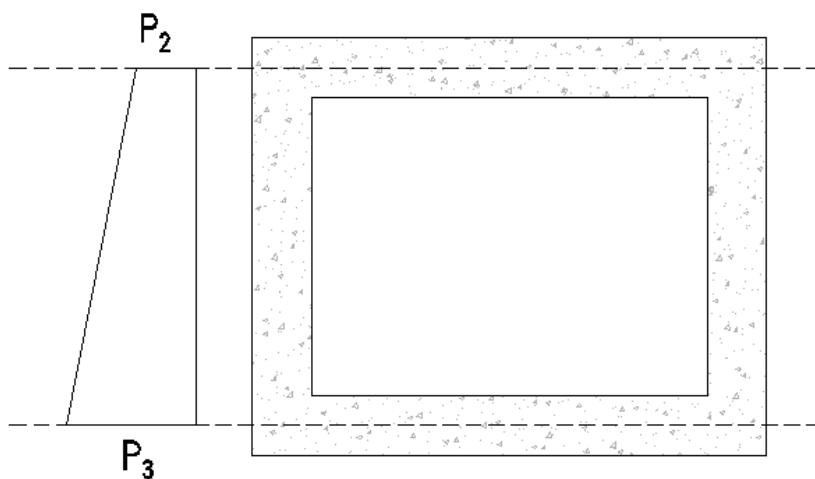


Figura 19. Spinte del terreno

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)

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM 71 rispetto al carico dovuto al treno SW/2.

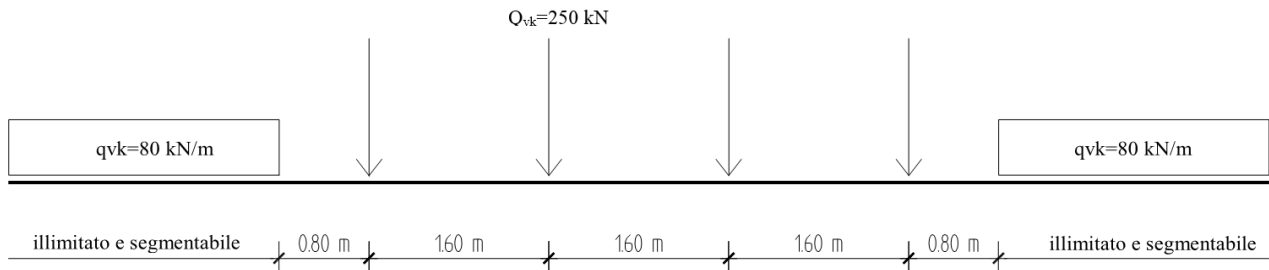


Figura 5. Treno LM71

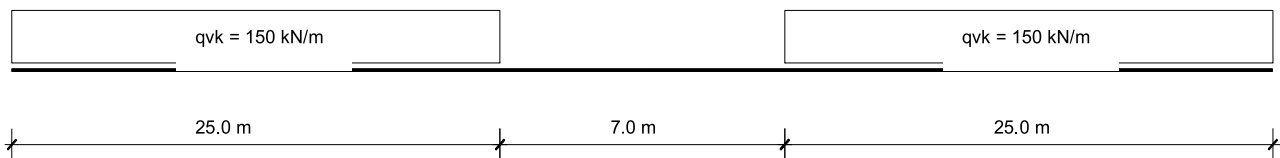


Figura 6. Treno SW/2

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al paragrafo 1.4.2 “effetti dinamici” delle istruzioni per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari.

poiché risulta:  $H_{int} < 5 \text{ m}$

$L_{int} < 8 \text{ m}$

Si ottiene considerando un ridotto standar manutentivo  $\Phi_3 = 1.35$ . In accordo al §5.2.2.2.3 NTC18 tale coefficiente dinamico nei casi di scatolari, con o senza solettone, aventi copertura  $h > 1,0$  può essere ridotto nella seguente maniera:

$$\Phi_{rid} = \Phi - \frac{h - 1,00}{10} \geq 1,0$$

dove  $h$ , in metri, è l’altezza della copertura dall’estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse  $[H_{nc}]$ . Per le strutture dotate di una copertura maggiore di  $2,50 \text{ m}$  può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario.

Si riporta di seguito una schematizzazione della diffusione dei carichi ferroviari (LM71 e SW2) rispettivamente attraverso ballast, rinterro e soletta.

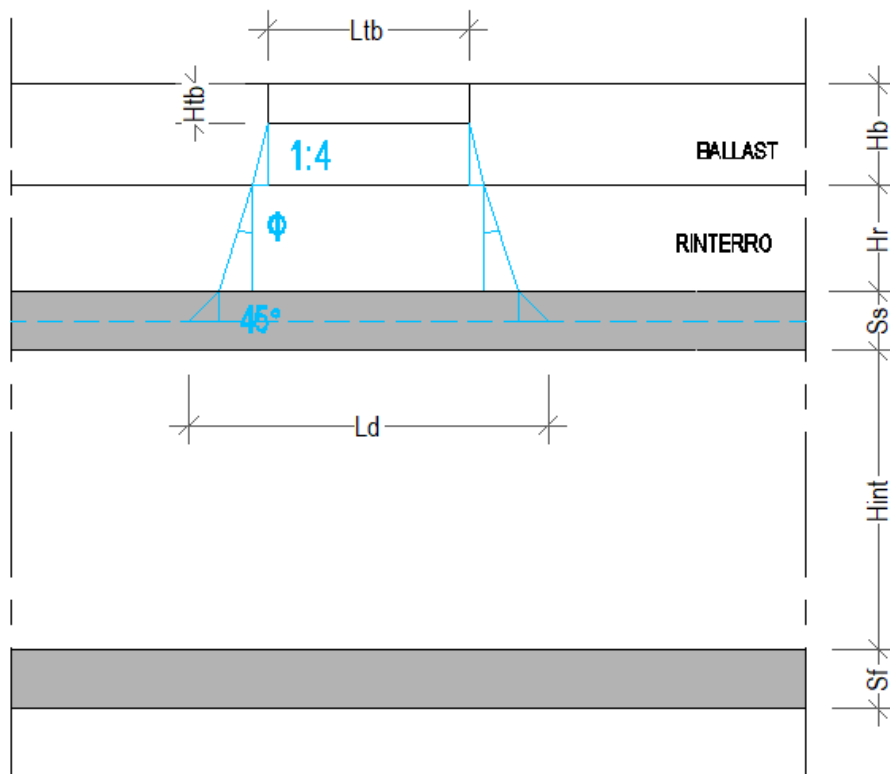


Figura 7. Schema modalità di diffusione dei carichi ferroviari

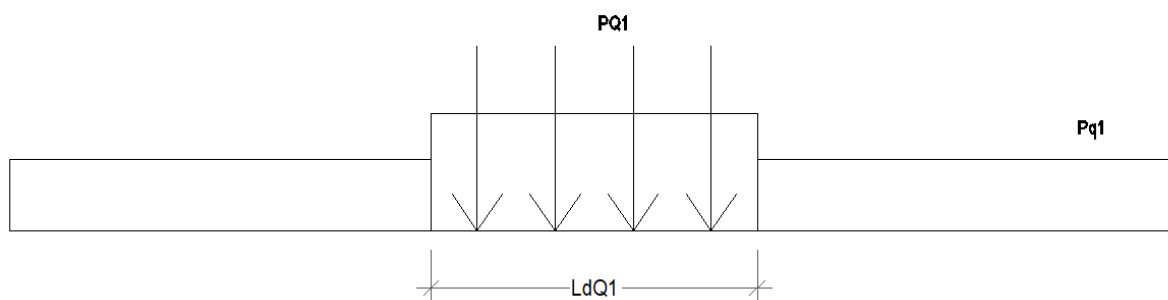


Figura 8. Carichi Treno LM71 su  $L_d$

Sia per il calcolo delle sollecitazioni massime in mezzeria della soletta superiore che per quelle massime all'incastro con i piedritti di detta soletta, il carico dovuto al treno LM71 viene distribuito per tutta la larghezza  $L_{dQ1}$  del treno di carico.

Relazione di calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D 78 CL	IN1500 001	A	12 DI 37

Incremento dinamico	$\Phi 3^*$	1,35	<i>* valido per <math>H_{int} &lt; 5m</math>, <math>L_{int} &lt; 8m</math></i>
Incremento dinamico con ricoprimento	$\Phi 3$	1,22	<i><math>\Phi 3 = 1</math> per <math>H_{ric} &gt; 2,5m</math></i>
Coefficiente di adattamento	$\alpha$	1,10	
Larghezza di diffusione nel ballast	Ldb	0,23 m	<i>Diffusione 1:4 nel ballast</i>
Larghezza di diffusione nel rinterro	Ldr	2,34 m	<i>Diffusione secondo angolo attrito</i>
Larghezza di diffusione nel cls	Ldc	0,45 m	<i>Diffusione 45° nel cls</i>
Larghezza trasv. di diffusione del carico	Ld	5,32 m	<i><math>L_{tb} + L_{db} + L_{dr} + L_{dc}</math></i>
Carico distribuito per treno LM71	q1	80,00 kN/m	
Carico concentrato per treno LM71	Q1	250,00 kN	
N°. carichi concentrati per treno LM71	NQ1	4	
Larghezza applicazione carichi conc. Q1	LaQ1	6,40 m	
Larghezza distribuzione carichi conc. Q1	LdQ1	6,40 m	
Carico ripartito verticale per LM71 (q1)	Pq1	20,18 kN/m <sup>2</sup>	<i><math>q1 \times \Phi 3 \times \alpha / Ld</math></i>
Carico ripartito verticale per LM71 (Q1)	PQ1	39,42 kN/m <sup>2</sup>	<i><math>Q1 \times NQ1 \times \Phi 3 \times \alpha / (Ld \times LdQ1)</math></i>

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

Carico distribuito per treno LM71	Sq1	6,36 kN/m <sup>2</sup>	<i><math>(q1 \times \alpha / Ld) \times K_0</math></i>
Carico concentrato per treno LM71	SQ1	12,42 kN/m <sup>2</sup>	<i><math>Q1 \times NQ1 \times \alpha / (Ld \times LdQ1) \times K_0</math></i>
Spinta semispessore soletta superiore	Fq1sup	2,79 kN/m	<i><math>SPQ1 \times SP_s / 2</math></i>
spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	2,79 kN/m	<i><math>SPQ1 \times SP_i / 2</math></i>

**Frenatura e avviamento (condizione AVV)**

La forza di frenatura del modello SW/2 agente su tutta la larghezza dello scatolare è pari a 35 kN/m, mentre quella di avviamento del modello LM71 è di 33 kN/m. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento. Distribuendo tale forza sulla larghezza di diffusione del carico si avrà:

Avviamento e frenatura LM71	Av	33,00 kN/m	
Avviamento e frenatura LM71 distribuiti	qAv	6,20 kN/m	<i><math>Av / Ld</math></i>

**Azioni termiche (condizione:TERM)**

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

Variazione termica uniforme	$\Delta T_{unif}$	+15,00 [°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
Variazione termica differenziale	$\Delta T_{diff}$	+5,00 [°]	<i>Sulla soletta superiore</i>
Gradiente		+11,11 [°/m]	<i><math>\Delta T_{diff} / S_s</math></i>

### Ritiro (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:  $\Delta T_{\text{ritiro}} = -11.76^\circ\text{C}$ .

Variazione termica uniforme equivalente  $\Delta T_{\text{ritiro}} = -[11.76^\circ]$  Sulla soletta superiore

### Azioni 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:

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

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

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

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

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

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  $V_N \geq 50$  anni ed una II classe d’uso  $C_u = 1$ ;

segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 50$  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  $a_g = 0.148$  g, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

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

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

dove assumendo un terreno di tipo C ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_0$  si ottiene:

$S_s = 1.48$  Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_t = 1$  Coefficiente di amplificazione topografica ne deriva che:

Relazione di calcolo

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D 78 CL	IN1500 001	A	14 DI 37

$$a_{max}=0.219g$$

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 **kv** ove:  $kh = \beta M \times S \times ag/g$  e  $kv = kh / 2$ . Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno,  $\beta M = 1$ .

vita nominale	$V_N$	50 anni
classe d'uso	CL	II
coefficiente d'uso	$C_U$	1,00
vita di riferimento = $C_U * V_N$	$V_R$	50 anni
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	$P_{VR}$	10%
periodo di ritorno del sisma	$T_R$	475 anni

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

accelerazione massima orizzontale al bedrock	ago	0,148 g
fattore amplificazione massima spettro accelerazione	Fo	2,501 sec
periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz.	$T^*c$	0,345
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	1,48	1,49
B	1,20	1,36		
C	1,48	1,49		
D	1,80	2,13		
E	1,59	1,76		

coefficiente amplificazione stratigrafica	$S_S$	1,478
coefficiente di amplificazione	S	1,478
coefficiente categoria sottosuolo	$C_C$	1,492
periodo inizio tratto a accelerazione costante = $T_c / 3$	$T_B$	0,172 sec
periodo inizio tratto a velocità costante = $C_c * T^*c$	$T_C$	0,515 sec
periodo inizio tratto a spostamento costante = $4 * ag/g + 1,6$	$T_D$	2,192 sec
accelerazione massima orizzontale al suolo = $S_s \times S_t \times ag/g$	ago,max	0,219 g

**accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo scatolare**

$a_o = kh = a_{go,max} = S \times ag/g$	valore $PGA \times scatolare$	$a_o = kh$	0,2187 g
$a_v = kv = kh / 2$	valore $PGA \times scatolare$	$a_v = kv$	0,1094 g

### Forze di inerzia (condizione SismaH)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	20%	
Forza orizzontale sulla soletta di copertura	F''h	13,57 kN/m	$(P_{ss}+P_b+P_r+%P_{Q1}) \times kb$
Forza orizzontale su singolo piedritto	F''h	2,46 kN/m	$P_p \times kb$

### Forze di inerzia (condizione SismaV)

Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	20%	
Forza verticale sulla soletta di copertura	F''v	6,78 kN/m	$(P_{ss}+P_b+P_r+%P_{Q1}) \times kv$

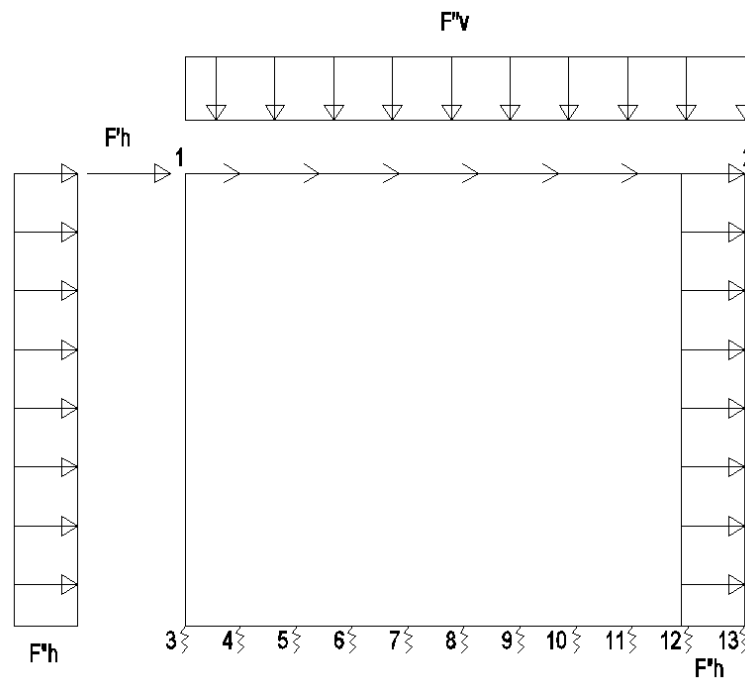


Figura 9. Forze sismiche agenti sulla struttura

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

Forza distribuita su uno solo dei piedritti	qW	27,32 kN/m	$(%P_{Q1}+G_{2p}+ \gamma_r \times H_{tot}) \times (a_{go,max})$
Forza concentrata nodo superiore piedritto	QWsup	6,15 kN	$qW \times S_s / 2$
Forza concentrata nodo inferiore piedritto	QWinf	6,15 kN	$qW \times S_f / 2$

### 3.5. COMBINAZIONI DI CARICO

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

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

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

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

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

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.



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

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come  $Q_{ki}$ .

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

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

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	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 della colonna A2.

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

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

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

<sup>(5)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(6)</sup> 1,20 per effetti locali

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

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	$gr_1$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$gr_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$gr_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

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

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

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

Pesoproprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Carico Accidentale LM71	ACCM
Spinta del carico acc. (LM71) Sulla parete Sx	SPACCSX
Spinta del carico acc. (LM71) Sulla	SPACCDX
Avviamento e frenatura	AVV
Variazione termica sulla soletta superiore	ENV_TERM
Ritiro	RITIRO
Azione sismica orizzontale	Sisma H
Azione sismica Verticale	Sisma V
Incremento sismico della spinta sul terreno	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 involuppate 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	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	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.45	0	1.45	1.45	1.16	1.16	1.015
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.45	0	0	0
SPACCDX	1.45	0	0	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.16	1.16	1.015
AVV	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.45	0	0	0	0	0	1.45
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	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	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0
SPACCDX	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
AVV	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
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	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
Sisma V	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>			
	1sle	2sle	3sle
DEAD	1	1	1
PERM	1	1	1
SPTSX	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8
ACCM	0.8	0.8	0.8
SPACCSX	0.8	0.8	0
SPACCDX	0.8	0.8	0.8
AVV	-0.8	0.8	-0.8
ENV_TERM	-0.6	0.6	-0.6
RITIRO	0	0	1

### 3.6. MODELLAZIONE ADOTTATA

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:

Asta 1= Sezione 100 x 45 cmq (soletta inferiore)

Aste 2,4 = Sezione 100 x 45 cmq (piedritti)

Aste 3 = Sezione 100 x 45 cmq (soletta superiore)

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 dalla relazione geotecnica:

$$K_s = 10000 \text{ kN/m}^3$$

#### **Rigidità molle nodali SAP**

ks		10000 kN/m <sup>3</sup>
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
Linfl		0.345 m
Kcentrale	ks x Linfl x 1	3450 kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
Linfl		0.345 m
Kintermedio	1,5 x ks x Linfl x 1	5175 kN/m
nodi estremità (3,13)		
Linfl		0.398 m
Kestremità	2,0 x ks x Linfl x 1	7950 kN/m

#### **Nodi**

N.nodi	13
N.nodi sup	2
N.nodi inf	11
N.spazi inf	10
Linterasse	3.45 m
Hinterasse	3.45 m

Nodo	X	Z
1	0.000	3.450
2	3.450	3.450
3	0.000	0.000
4	0.345	0.000
5	0.690	0.000
6	1.035	0.000
7	1.380	0.000
8	1.725	0.000
9	2.070	0.000
10	2.415	0.000
11	2.760	0.000
12	3.105	0.000
13	3.450	0.000

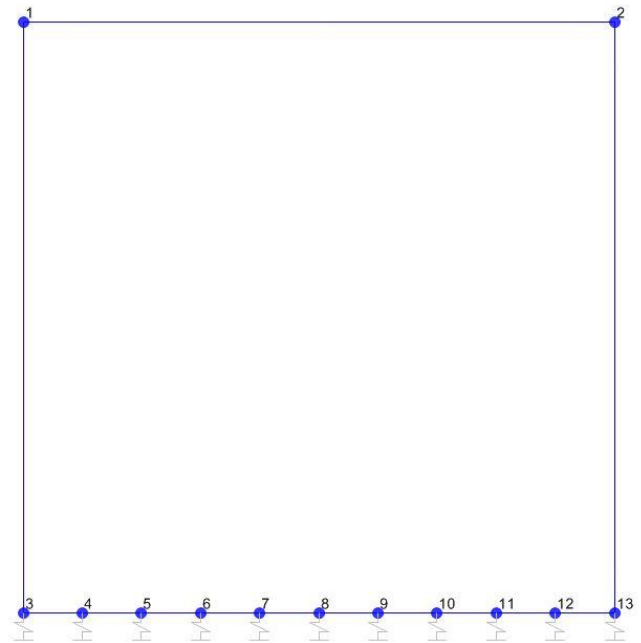


Figura10. Numerazione nodi modello SAP

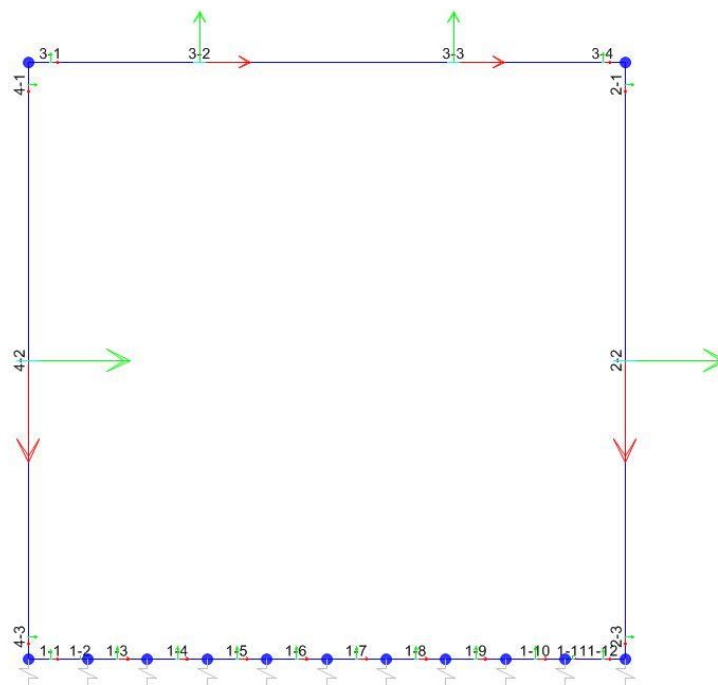


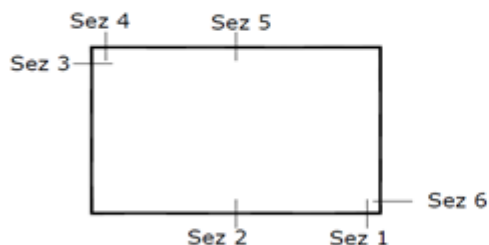
Figura 11: Individuazione elementi modello SAP

### 3.7. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

#### 3.7.1. Involuppo SLU-SLV

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	218,3	114,8
1	0,345	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	220,1	88,5
1	0,345	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	172,2	88,5
1	0,69	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	177,5	28,2
1	0,69	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	126,0	28,2
1	1,035	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	131,3	-16,2
1	1,035	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	94,6	-16,2
1	1,38	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	99,8	-31,0
1	1,38	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	60,7	-31,0
1	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	66,0	-27,4
1	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	24,5	-27,4
1	2,07	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	29,8	-8,9
1	2,07	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-14,2	-8,9
1	2,415	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-9,0	14,4
1	2,415	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-48,4	14,4
1	2,76	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-44,5	41,6
1	2,76	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-77,9	41,6
1	3,105	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-74,0	88,5
1	3,105	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-107,6	88,5
1	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	0,0	-106,3	114,8
1	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	86,2	-19,7
1	0,345	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	87,5	-38,8
1	0,345	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	40,8	-38,8
1	0,69	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	44,7	-81,1
1	0,69	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	2,1	-81,1
1	1,035	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	6,0	-99,4
1	1,035	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-19,7	-99,4
1	1,38	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-15,8	-103,8
1	1,38	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-38,8	-103,8
1	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-35,0	-102,3
1	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-66,0	-102,3
1	2,07	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-60,7	-103,4
1	2,07	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-99,8	-103,4
1	2,415	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-94,6	-99,4
1	2,415	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-131,3	-99,4
1	2,76	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-126,0	-81,1
1	2,76	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-177,5	-81,1
1	3,105	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-172,2	-38,8
1	3,105	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-220,1	-38,8
1	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	0,0	-218,3	-15,0
2	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-85,4	-37,5	-2,5

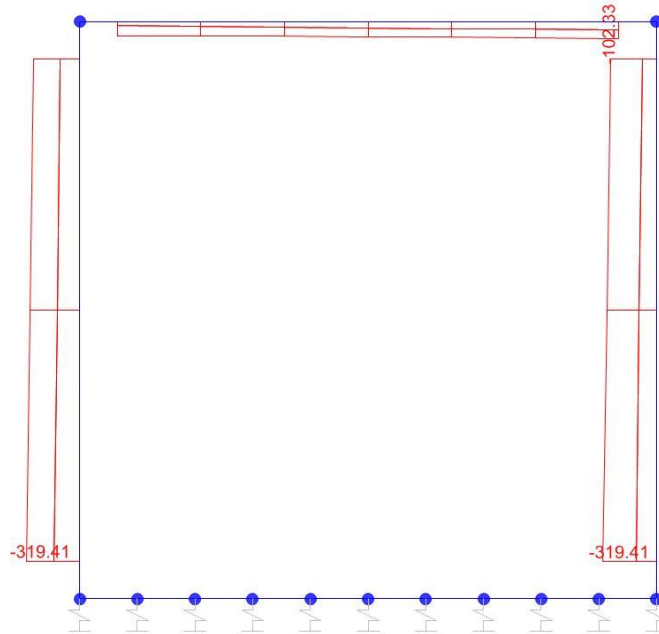
2	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-102,3	34,0	25,0
2	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-119,1	134,3	-24,2
2	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-273,9	-85,2	-129,6
2	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-296,6	-37,9	-45,9
2	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-319,4	16,4	-131,4
3	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-23,7	-92,8	16,6
3	0,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-28,2	-61,7	94,1
3	1,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-32,7	-30,7	137,5
3	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-37,1	20,2	146,6
3	2,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-41,6	88,5	132,4
3	2,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-46,1	156,9	91,1
3	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-47,6	225,2	15,8
3	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-86,6	-225,2	-93,0
3	0,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-86,6	-156,9	-17,6
3	1,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-86,6	-88,5	12,8
3	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-88,8	-20,2	29,7
3	2,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-93,3	6,9	22,4
3	2,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-97,8	34,0	-1,1
3	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-102,3	61,0	-93,0
4	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-118,9	75,8	129,6
4	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-135,8	37,9	44,6
4	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Max	-152,6	-16,4	131,4
4	0,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-273,9	13,5	18,3
4	1,725	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-296,6	-34,0	-3,2
4	3,225	ENV_SLU SLV	Combination	Min	-319,4	-134,3	-7,4



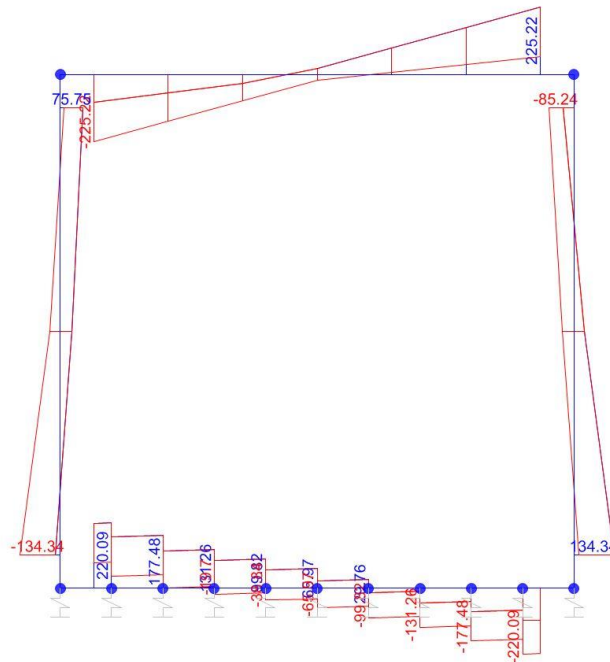
SEZIONE	P	V2	M3
01	0,0	220,1	114,8
02	0,0	0,0	103,8
03	-85,4	134,3	129,6
04	0,0	225,2	93,0
05	0,0	0,0	146,6
06	-119,1	134,3	131,4



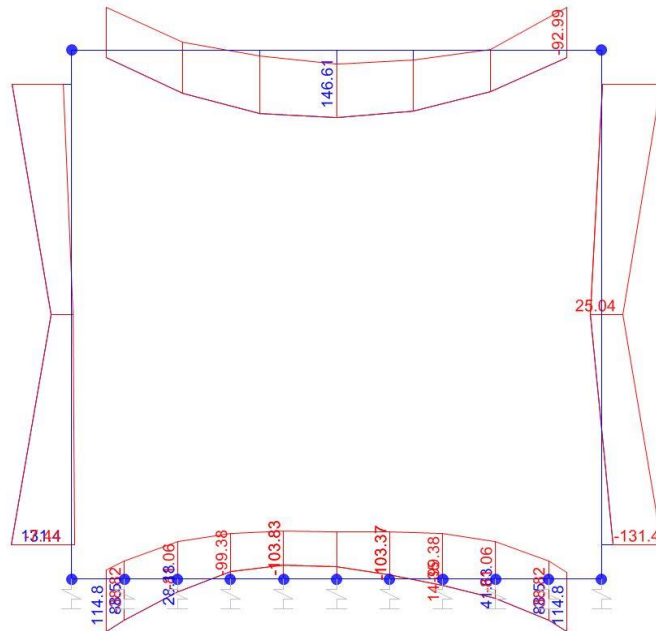
Diagrammi di involucro delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU-SLV



Sforzo normale



Taglio



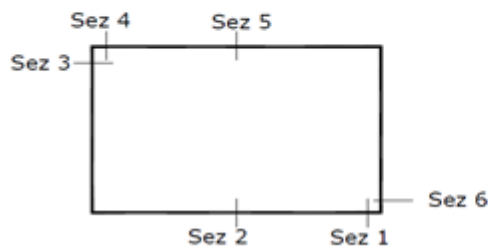
*Momento Flettente*

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.

### 3.7.2. Inviluppo SLE (rara)

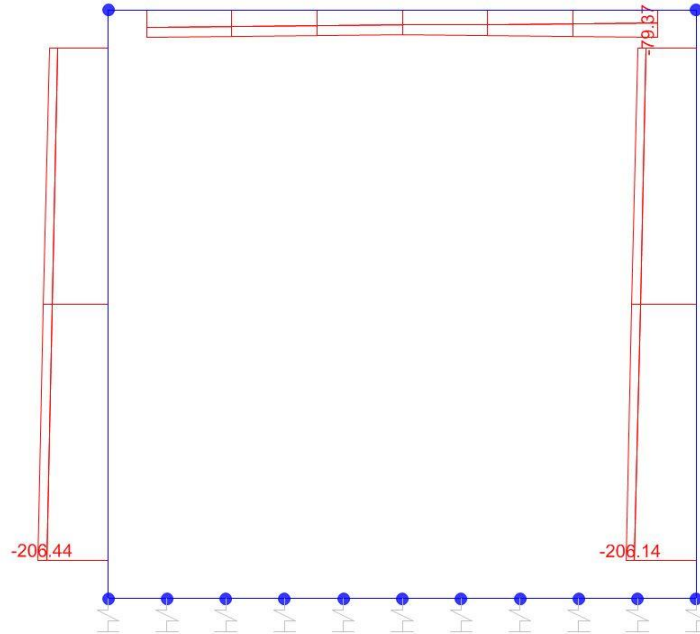
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	137,7	63,9
1	0,345	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	139,1	47,2
1	0,345	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	105,5	47,2
1	0,69	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	109,4	10,2
1	0,69	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	74,0	10,2
1	1,035	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	77,9	-16,0
1	1,035	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	53,1	-16,0
1	1,38	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	57,0	-35,0
1	1,38	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	31,0	-35,0
1	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	34,9	-42,1
1	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	7,7	-42,1
1	2,07	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	11,6	-31,0
1	2,07	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-16,9	-31,0
1	2,415	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-13,0	-12,3
1	2,415	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-42,9	-12,3
1	2,76	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-39,1	13,6
1	2,76	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-86,3	13,6
1	3,105	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-82,5	50,5
1	3,105	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-132,2	50,5
1	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	0,0	-130,9	67,1
1	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	131,6	5,2
1	0,345	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	132,9	-10,7
1	0,345	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	83,3	-10,7
1	0,69	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	87,2	-40,1
1	0,69	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	40,0	-40,1
1	1,035	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	43,9	-54,6
1	1,035	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	13,9	-54,6
1	1,38	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	17,8	-60,1
1	1,38	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-10,7	-60,1
1	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-6,8	-61,3
1	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-34,0	-61,3
1	2,07	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-30,1	-64,7
1	2,07	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-56,2	-64,7
1	2,415	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-52,3	-59,5
1	2,415	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-77,2	-59,5
1	2,76	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-73,3	-45,4
1	2,76	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-108,8	-45,4
1	3,105	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-104,9	-16,3
1	3,105	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-138,6	-16,3
1	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	0,0	-137,3	-0,5
2	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-147,3	-24,8	-11,1
2	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	-164,1	20,4	-5,1
2	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-181,0	78,7	-19,9

2	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-172,4	-69,5	-86,2
2	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	-189,3	-24,3	-14,6
2	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-206,1	34,1	-78,8
3	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-50,7	-116,1	0,8
3	0,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	-49,3	-73,3	48,1
3	1,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-46,9	-30,4	74,0
3	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	-44,4	12,4	88,2
3	2,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-41,9	55,3	83,8
3	2,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	-39,4	98,1	58,0
3	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-36,9	140,9	10,9
3	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-79,4	-141,2	-59,4
3	0,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	-76,9	-98,4	-1,6
3	1,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-74,4	-55,6	33,1
3	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	-71,9	-12,7	46,4
3	2,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-74,4	30,1	29,5
3	2,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	-76,9	73,0	-8,9
3	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-79,4	115,8	-68,6
4	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-147,6	67,9	79,7
4	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Max	-164,4	20,7	18,3
4	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Max	-181,3	-33,6	74,1
4	0,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-172,7	37,0	18,5
4	1,725	ENV_SLERARA	Combination	Min	-189,6	-15,8	0,5
4	3,225	ENV_SLERARA	Combination	Min	-206,4	-85,0	25,9

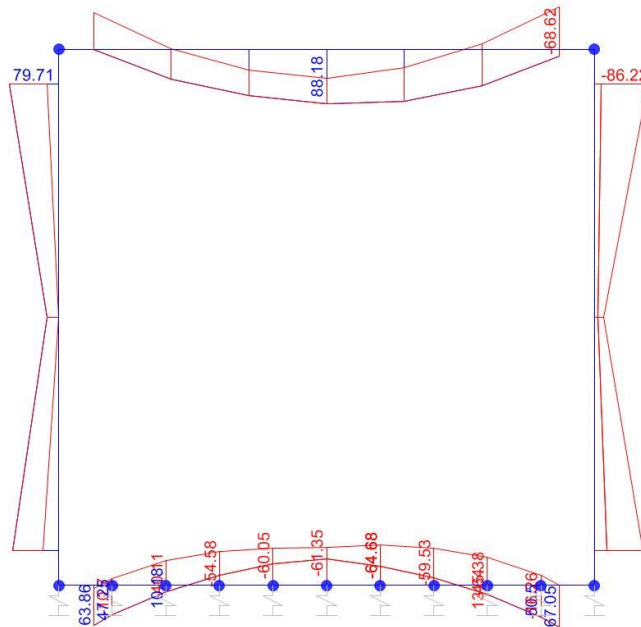


SEZIONE	P	M3
01	0,0	67,1
02	0,0	64,7
03	-147,3	86,2
04	0,0	68,6
05	0,0	88,2
06	-181,0	78,8

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.

### 3.8. VERIFICHE

**Il tombino ha pareti, platea e soletta superiore di spessore pari a 45cm.**

I piedritti e la soletta inferiore hanno armatura principale simmetrica  $\varnothing 20/20$ , mentre la soletta superiore è armata come segue:

	<b>Armatura inferiore</b>	<b>Armatura superiore</b>
<b>Soletta superiore</b>	$\varnothing 20/10$	$\varnothing 20/20$

Inoltre entrambe le solette hanno armatura a taglio  $1\varnothing 12/150(\text{long})/400(\text{trasv})(2,5$  braccia per larghezza unitaria).

**Le verifiche risultano soddisfatte.**

### 3.8.1. Verifiche delle sezioni

Funzioni SLU (N-M-V) + SLE per Sezione Rettangolare					
<b>Oggetto:</b>					
TOMBINO IN 15- Nuovo NTC 18					
Sezione n°. 01					
<b>Dati di Input</b>					
B	Base sezione rettangolare	1000	mm	<b>Geometria della Sezione:</b>	
H	Altezza sezione rettangolare	450	mm	H	
c'	Copri ferro armatura sup. compressa	70	mm	As'	c'
c	Copri ferro armatura inf. Tesa	70	mm		
d	Altezza utile = H-c	380	mm		B
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30	MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450	MPa	As	c
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0,0	kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	114,8	kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	220,1	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	5			
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0			
As'	Armatura superiore compressa	1571	mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571	mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150	mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2,5			
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	1885	mmq/m	18,85	cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,perm)	R			
Mse	Momento di esercizio [(+)]	67,1	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		
<b>Dati di Output</b>					
<b>SLU - Momento e Taglio resistenti</b>					
Mrd	Momento ultimo resistente	228	kNm	Coeff.Sfrutt.	50%
Vrd	Taglio ultimo resistente	505	kN	Coeff.Sfrutt.	44%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	5	kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>					
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-16	Mpa	Coeff.Sfrutt.	5%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	126	Mpa	Coeff.Sfrutt.	35%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3	Mpa	Coeff.Sfrutt.	18%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	107	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,18	mm	Coeff.Sfrutt.	88%
				Coeff.Sfrutt.Max	88%

Funzioni SLU (N-M-V) + SLE per Sezione Rettangolare					
<b>Oggetto:</b>					
TOMBINO IN15- Nuovo NTC18					
Sezione n°. 02					
<b>Dati di Input:</b>					
B	Base sezione rettangolare	1000	mm	<b>Geometria della Sezione:</b>	
H	Altezza sezione rettangolare	450	mm	H	
c'	Copri ferro armatura sup. compressa	70	mm	As'	c'
c	Copri ferro armatura inf. Tesa	70	mm		
d	Altezza utile = H-c	380	mm		B
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30	MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450	MPa	As	c
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0,0	kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	103,8	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	0			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5			
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0			
As'	Armatura superiore compressa	1571	mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571	mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150	mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2,5			
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	1885	mmq/m	18,85	cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R			
Mse	Momento di esercizio [(+)]	64,7	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		
<b>Dati di Output:</b>					
<b>SLU - Momento e Taglio resistenti</b>					
Mrd	Momento ultimo resistente	228	kNm	Coeff.Sfrutt.	46%
Vrd	Taglio ultimo resistente	505	kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	5	kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>					
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-16	Mpa	Coeff.Sfrutt.	4%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	121	Mpa	Coeff.Sfrutt.	34%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3	Mpa	Coeff.Sfrutt.	17%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore (non reag. Trazione)	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	107	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,17	mm	Coeff.Sfrutt.	85%
				Coeff.Sfrutt. Max	85%



Funzioni SLU (N-M-V) + SLE per Sezione Rettangolare					
<b>Oggetto:</b>					
TOMBINO IN 15- Nuovo NTC 18					
Sezione n°. 03					
<b>Dati di Input</b>					
B	Base sezione rettangolare	1000	mm	<b>Geometria della Sezione:</b>	
H	Altezza sezione rettangolare	450	mm	H	
c'	Copri ferro armatura sup. compressa	70	mm	As' c	
c	Copri ferro armatura inf. Tesa	70	mm	As c	
d	Altezza utile = H-c	380	mm	B	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30	MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450	MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-85,4	kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	129,6	kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	134,3	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	5			
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0			
As'	Armatura superiore compressa	1571	mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571	mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	0	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150	mm		
bracci	Numero Bracci staffe	0			
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 [(+)]	86,2	kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-147,3	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		
<b>Dati di Output</b>					
<b>SLU - Momento e Taglio resistenti</b>					
Mrd	Momento ultimo resistente	241	kNm	Coeff. Sfrutt.	54%
Vrd	Taglio ultimo resistente	193	kN	Coeff. Sfrutt.	70%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0	kNm	Coeff. Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>					
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-30	Mpa	Coeff. Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	116	Mpa	Coeff. Sfrutt.	32%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-4	Mpa	Coeff. Sfrutt.	23%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore (non reag. Trazione)	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	119	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,16	mm	Coeff. Sfrutt.	81%
				Coeff. Sfrutt. Max	81%

Funzioni SLU (N-M-V) + SLE per Sezione Rettangolare					
<b>Oggetto:</b>					
TOMBINO IN 15- Nuovo NTC 18					
Sezione n°. 04					
<b>Dati di Input</b>					
B	Base sezione rettangolare	1000	mm	<b>Geometria della Sezione:</b>	
H	Altezza sezione rettangolare	450	mm	H	
c'	Copri ferro armatura sup. compressa	70	mm	As' c	
c	Copri ferro armatura inf. Tesa	70	mm	As c	
d	Altezza utile = H-c	380	mm	B	
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 [(+)]	93,0	kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	225,2	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	5			
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0			
As'	Armatura superiore compressa	3142	mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571	mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150	mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2,5			
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	1885	mmq/m	18,85	cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm)	R			
Msle	Momento di esercizio [(+)]	68,6	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		
<b>Dati di Output</b>					
<b>SLU - Momento e Taglio resistenti</b>					
Mrd	Momento ultimo resistente	228	kNm	Coeff. Sfrutt.	41%
Vrd	Taglio ultimo resistente	505	kN	Coeff. Sfrutt.	45%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	5	kNm	Coeff. Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>					
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-14	Mpa	Coeff. Sfrutt.	4%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	129	Mpa	Coeff. Sfrutt.	36%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3	Mpa	Coeff. Sfrutt.	17%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore (non reag. Trazione)	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	108	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,18	mm	Coeff. Sfrutt.	92%
				Coeff. Sfrutt. Max	92%

Funzioni SLU (N-M-V) + SLE per Sezione Rettangolare					
<b>Oggetto:</b>					
TOMBINO IN 15- Nuovo NTC 18					
Sezione n°. 05					
<b>Dati di Input:</b>					
B	Base sezione rettangolare	1000	mm	<b>Geometria della Sezione:</b>	
H	Altezza sezione rettangolare	450	mm	H	
c'	Copri ferro armatura sup. compressa	70	mm	As'	c'
c	Copri ferro armatura inf. Tesa	70	mm		
d	Altezza utile = H-c	380	mm		B
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30	MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450	MPa	As	c
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0,0	kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	146,6	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	0			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10			
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0			
As'	Armatura superiore compressa	1571	mmq		
As	Armatura inferiore tesa	3142	mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150	mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2,5			
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	1885	mmq/m	18,85	cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,perm)	R			
Mse	Momento di esercizio [(+)]	88,2	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		
sigR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0,80	fyk		
<b>Dati di Output:</b>					
<b>SLU - Momento e Taglio resistenti</b>					
Mrd	Momento ultimo resistente	422	kNm	Coeff.Sfrutt.	35%
Vrd	Taglio ultimo resistente	505	kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	5	kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>					
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-24	Mpa	Coeff.Sfrutt.	7%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	85	Mpa	Coeff.Sfrutt.	24%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3	Mpa	Coeff.Sfrutt.	18%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	115	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,08	mm	Coeff.Sfrutt.	42%
				Coeff.Sfrutt. Max	42%

Funzioni SLU (N-M-V) + SLE per Sezione Rettangolare					
<b>Oggetto:</b>					
TOMBINO IN 15- Nuovo NTC 18					
Sezione n°. 06					
<b>Dati di Input</b>					
B	Base sezione rettangolare	1000	mm	<b>Geometria della Sezione:</b>	
H	Altezza sezione rettangolare	450	mm	H	
c'	Copri ferro armatura sup. compressa	70	mm	As'	c'
c	Copri ferro armatura inf. Tesa	70	mm		
d	Altezza utile = H-c	380	mm		B
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30	MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450	MPa	As	c
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-119,1	kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	131,4	kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	134,3	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	5			
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0			
As'	Armatura superiore compressa	1571	mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571	mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	0	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150	mm		
bracci	Numero Bracci staffe	0			
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 [(+)]	78,8	kNm		
Nse	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-181,0	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		
<b>Dati di Output</b>					
<b>SLU - Momento e Taglio resistenti</b>					
Mrd	Momento ultimo resistente	247	kNm	Coeff.Sfrutt.	53%
Vrd	Taglio ultimo resistente	197	kN	Coeff.Sfrutt.	68%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0	kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>					
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-30	Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	92	Mpa	Coeff.Sfrutt.	26%
sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-4	Mpa	Coeff.Sfrutt.	21%
sigc-inf	Tensione cls inferiore (non reag.Trazione)	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	121	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0,13	mm	Coeff.Sfrutt.	65%
				Coeff.Sfrutt.Max	68%

SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:							
SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ03	SEZ04	SEZ05	SEZ06
SLU	Med/Mrd	50%	46%	54%	41%	35%	53%
SLU	Ved/Vrd	44%	0%	70%	45%	0%	68%
SLE	(sigse/sigsr)s	5%	4%	8%	4%	7%	8%
SLE	(sigse/sigsr)i	35%	34%	32%	36%	24%	26%
SLE	(sigce/sigcr)s	18%	17%	23%	17%	18%	21%
SLE	wk/wklim	88%	85%	81%	92%	42%	65%
	MAX	88%	85%	81%	92%	42%	68%
	MAX	92%					