

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO
SOTTOVIA

Sottovia esistente SL04 Km 5+870 (Km 64+366 LS)

Relazione di calcolo secondo DM96

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 78 CL SL0400 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Sett-2020	G.Romano	Sett-2020	M.D'Avino	Sett-2020	 D. Tiherti Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Tecnica UO Infrastrutture Sud Prof. Ing. Danilo Tiherti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10076
B	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Ott-2020	G.Romano	Ott-2020	M.D'Avino	Ott-2020	

NN1X.0.0.D.78.CL.SL.04.0.0.002.B

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	2
2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA.....	3
3. TOMBINO ESISTENTE	4
3.1. VERIFICHE SECONDO LA NORMA ORIGINARIA.....	4
3.1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.1.2. GEOMETRIA.....	5
3.1.3. MATERIALI.....	5
3.1.4. ANALISI DEI CARICHI.....	5
3.1.5. COMBINAZIONI DI CARICO	15
3.1.6. MODELLAZIONE ADOTTATA	17
3.1.7. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI.....	19
3.1.7.1. INVILUPPO TENSIONI AMMISSIBILI	19
3.1.7.2. INVILUPPO FESSURAZIONI	23
3.1.8. VERIFICHE.....	26

1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo sono condotte le verifiche, **ai sensi delle norme vigenti all'epoca della progettazione/costruzione**, relativamente ad un sottopasso esistente lungo la linea ferroviaria “Napoli-battipaglia”, già realizzato con una struttura scatolare in c.a.. Lo scatolare in oggetto è situato alla progressiva 64+366.

Si riportano di seguito uno stralcio planimetrico, una sezione longitudinale e una trasversale dello scatolare in oggetto.

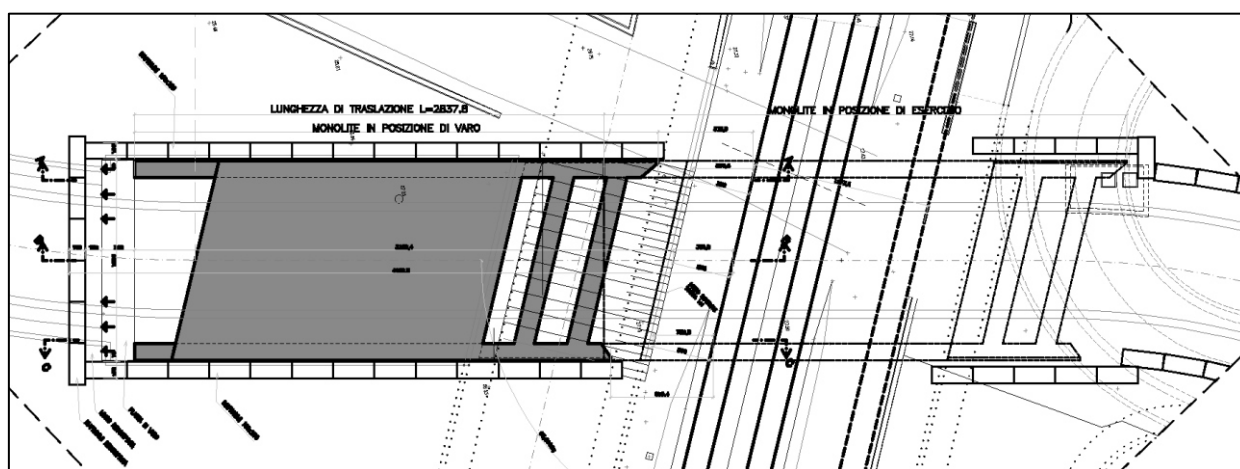


Figura 1a. Stralcio planimetrico dello scatolare

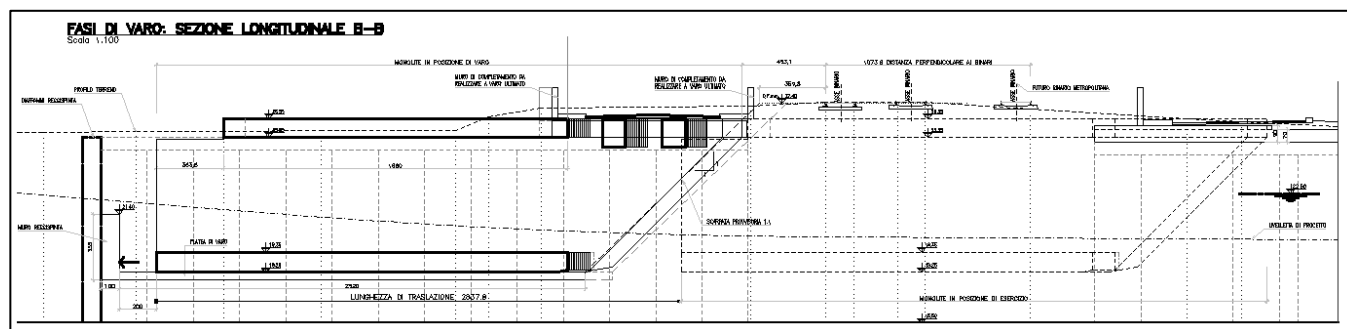


Figura 1b. Sezione longitudinale dello scatolare

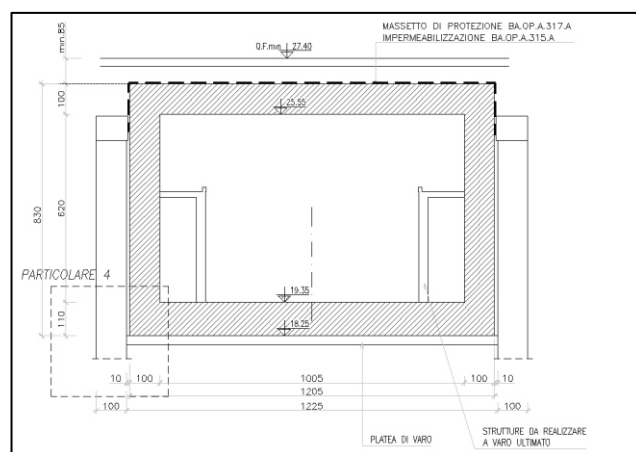


Figura 1c. Sezione trasversale dello scatolare

2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il tombino sottopassa la linea ferroviaria ad una distanza fra piano del ferro ed estradosso soletta pari ad H_{ric} , di cui spessore ballast H_b pari a 0.80 m e la rimanente parte il rinterro H_r . Esso ha dimensioni interne $L_{int} \times H_{int}$, con piedritti, soletta superiore e soletta inferiore rispettivamente di spessore S_p , S_s e S_f . Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. Nella figura [Fig. 2] sono riportate schematicamente la geometria dell'opera e la simbologia adottata.

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

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]

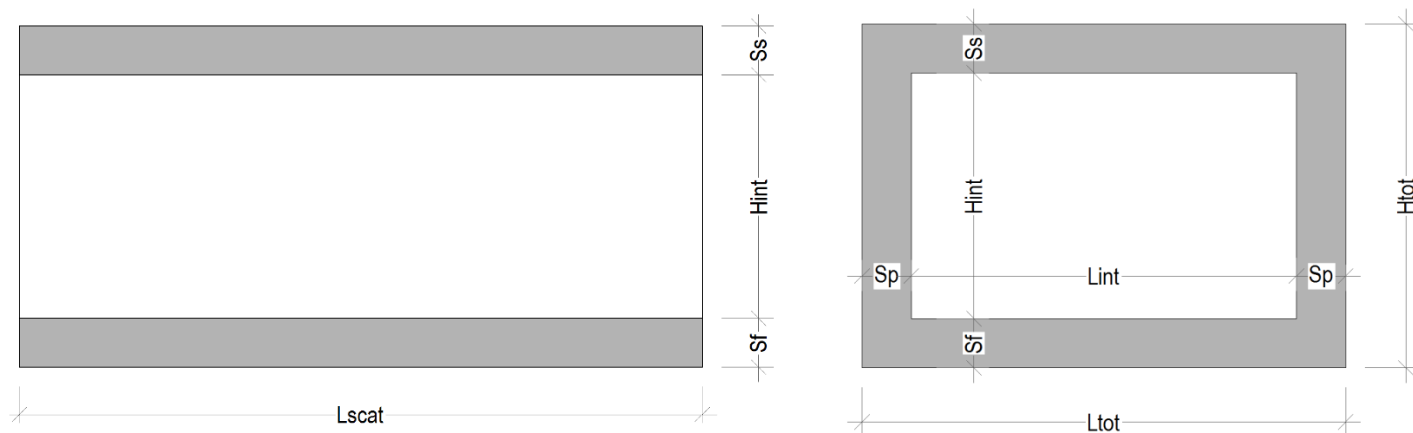


Figura 2. Simbologia adottata

3. TOMBINO ESISTENTE

3.1. VERIFICHE SECONDO LA NORMA ORIGINARIA

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli statici relativi allo scatolare esistente, di cui in premessa, eseguiti ripercorrendo quanto previsto dalla normativa vigente al momento della realizzazione.

3.1.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normative vigente al tempo della realizzazione dello scatolare. In particolare si è fatto riferimento:

- Legge 5 Novembre 1971, n. 1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- Circolare 14 Febbraio 1974 del Ministero dei Lavori Pubblici “Istruzioni per l’applicazione della legge 5 Novembre 1971, n. 1086”;
- D.M. 16 Gennaio 1996 - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi;
- Circolare Min. LL.PP. 10 Aprile 1997 n°65 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al D.M. 16 Gennaio 1996”;
- Circolare LL.PP. 37406/STC del 24 giugno 1993 “Legge 5 Nov. 1971” n. 1086 - Istruzioni relative alle norme tecniche per l’esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14.02.1992;
- CNR 10012-85 - Istruzioni per la valutazione delle azioni sulle costruzioni;
- Circolare Min. LL.PP. 5 Marzo 1985 n°25882 – Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica. Istruzioni – coefficiente di protezione sismica I;
- D.M. 11 Marzo 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, la esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- La circolare FS n. 44/b del 9/10/1982 “Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica”.
- I/SC/PS-OM/2298 “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari - Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo”

3.1.2. GEOMETRIA

Larghezza utile	Lint	10.05 m	luce interna scatolare
Altezza libera	Hint	6.40 m	altezza interna scatolare
Numero di canne dello scatolare	n	1.00	
Spessore piedritti	Sp	1.00 m	
Spessore soletta	Ss	1.00 m	
Spessore fondazione	Sf	1.10 m	
Altezza ballast	Hb	0.80 m	
Rinterro (superiore)	Hr	0.00 m	
Lunghezza traversa	Ltb	2.30 m	
Altezza traversa	Htb	0.35 m	
Ricoprimento	Hric	0.80 m	Hb+Hr
Larghezza totale	Ltot	12.05 m	Lint+2xSPp
Altezza totale	Htot	8.50 m	Hint+SPs+SPf

3.1.3. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

- un calcestruzzo C (28/32) le cui caratteristiche principali sono:

Resistenza cilindrica caratteristica: $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$

Resistenza cubica caratteristica: $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

- acciaio da cemento armato normale FeB44K (controllato) ad aderenza migliorata:

tensione ammissibile: $\sigma = 2550 \text{ Kg/cm}^2$

3.1.4. 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 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.04.0.0.002	REV. A	FOGLIO 6 di 32
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	-------------------

Peso specifico calcestruzzo armato	γ_{ds}	25	kN/m ³	
peso singolo piedritto	P_p	25.00	kN/m	$\gamma_{cls} \times S_p$
peso soletta superiore	P_{ss}	25.00	kN/m	$\gamma_{cls} \times S_s$
peso soletta inferiore	P_{sf}	27.50	kN/m	$\gamma_{cls} \times S_f$

Carichi permanenti portati (condizione PERM)

peso specifico ballast	γ_b	18	kN/m ³	
altezza ballast	H_b	0.80	m	
peso ballast	P_b	14.40	kN/m	$\gamma_b \times H_b$
peso specifico rinterro	γ_r	19	kN/m ³	
altezza rinterro	H_r	0.00	m	
peso rinterro	P_r	0.00	kN/m	$\gamma_r \times H_r$
peso specifico massetto di protezione	γ_m	24	kN/m ³	
altezza massetto di protezione	H_m	0.05	m	
peso massetto di protezione	P_m	1.20	kN/m	$\gamma_m \times H_m$
Permanente totale	G_{2p}	15.60	kN/m	$P_b + P_r$
Permanente nodi 1 e 2	G_{2P}	7.80	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).

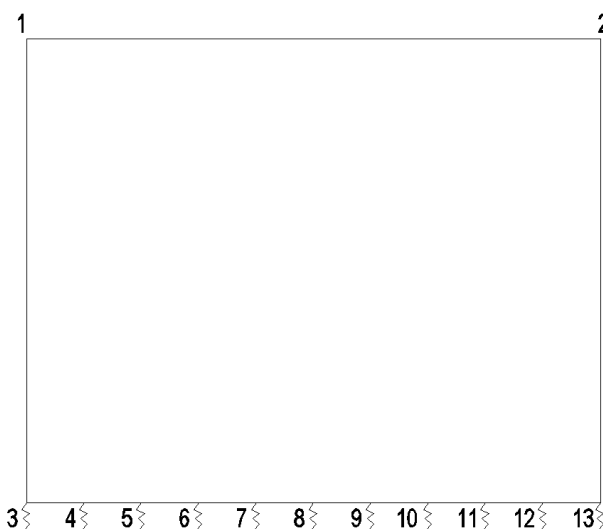


Figura 3. Numerazione dei nodi nel modello strutturale.

Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)

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

$\phi = 35^\circ$ angolo di attrito

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

$C_u = 0$ coesione non drenata

angolo di attrito rinterro

coefficiente spinta attiva k_a

coefficiente spinta riposo k_o

coefficiente spinta passiva k_p

Pressione estradosso soletta superiore

Pressione asse soletta superiore

Pressione asse soletta inferiore

Pressione intradosso soletta inferiore

Forza concentrata asse soletta superiore

Forza concentrata asse soletta inferiore

ϕ'	35 [°]	0.611 [rad]
k_a	0.271	$(1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi)$
k_o	0.426	$(1 - \sin \phi)$
k_p	3.690	$(1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$
P1	6.14 kN/m ²	$k_o \times (P_b + P_r)$
P2	10.19 kN/m ²	$k_o \times (P_b + P_r + \gamma_r \times S_s / 2)$
P3	70.55 kN/m ²	$k_o \times [P_b + P_r + \gamma_r \times (S_s + H_{int} + S_f / 2)]$
P4	75.01 kN/m ²	$k_o \times (P_b + P_r + \gamma_r \times H_{tot})$
F1	4.08 kN/m	$(P1 + P2) / 2 \times S_s / 2$
F2	40.03 kN/m	$(P3 + P4) / 2 \times S_f / 2$

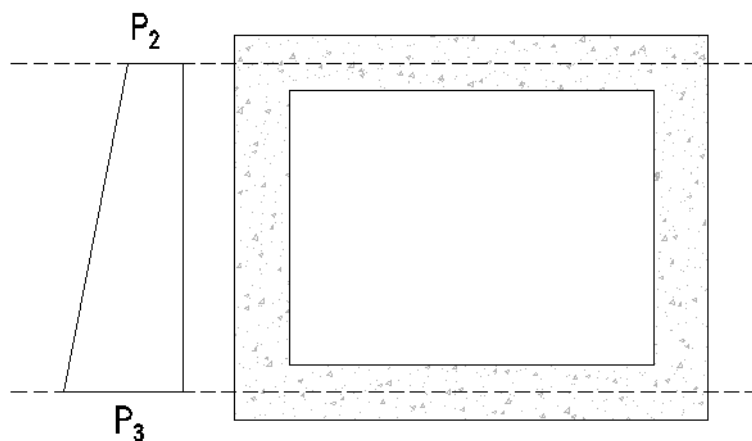


Figura 4. Spinte del terreno

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.

Variazione della spinta del terreno in presenza di falda (condizioni SPTWSX e SPTWDX)

In presenza di falda, al termine $\sigma_H = k_0 \cdot \gamma_r \cdot z$ si aggiunge il termine $\Delta \sigma = \gamma_w \cdot (1 - k_0) \cdot (z - z_w)$ per tenere

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.04.0.0.002	REV. A	FOGLIO 8 di 32
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	-------------------

conto della pressione efficace del terreno e della spinta idrostatica:

Profondità falda (z_w) a partire dal p.c.	z_w	3.50 m	
Peso specifico acqua (γ_w)		10.00 kN/m ³	
Altezza falda asse soletta inferiore	h_1	4.45 m	$H_{tot} + H_r - z_w - sf$
Altezza falda intradosso soletta inferiore	h_2	5.00 m	$H_{tot} + H_r - z_w$
Pressione alla quota della falda	ΔP_{w1}	0.00 kN/m ²	
Pressione asse soletta inferiore	ΔP_{w2}	25.52 kN/m ²	
Pressione intradosso soletta inferiore	ΔP_{w3}	28.68 kN/m ²	
Forza concentrata asse soletta inferiore	ΔF_{w3}	14.91 kN/m	

Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

I carichi ferroviari sono stati desunti in conformità alla specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A delle Ferrovie dello Stato.

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera si valuta il più sfavorevole tra il carico dovuto al treno LM 71 e il carico dovuto al treno SW/2. I due schemi di carico sono riportati nel seguito:

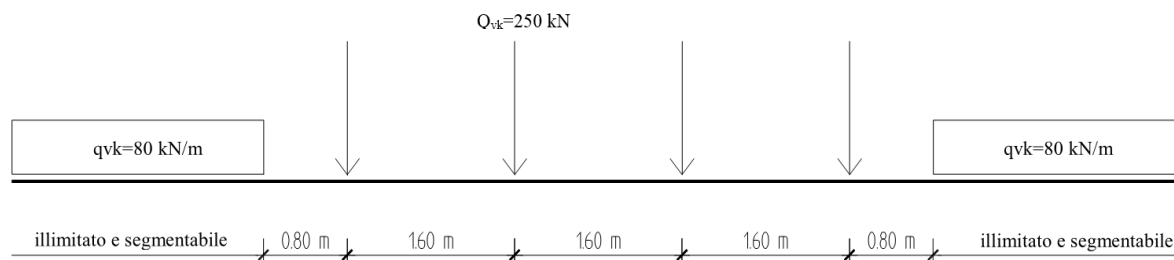


Figura 5. Treno LM71

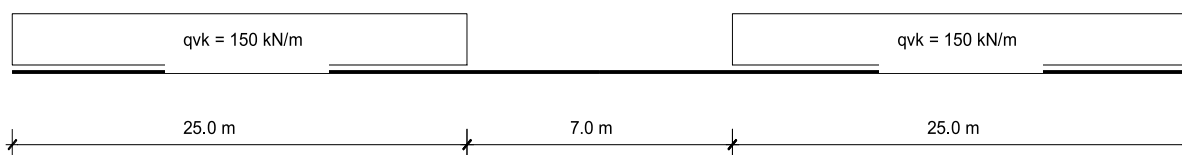


Figura 6. Treno SW/2

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

Considerando un normale standard manutentivo si ha:

(b) per linee con normale standard manutentivo:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.73$$

con la limitazione $1.00 \leq \Phi \leq 2.00$ (5.2.7)



**LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO
TRATTA ARECCHI – PONTECAGNANO AEROPORTO
PROGETTO DEFINITIVO – SOTTOVIA**

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366
LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

FOGLIO
9 di 32

Per il calcolo della lunghezza caratteristica L_Φ si fa riferimento alla Tab. 1.4.2.5.3-1 di cui nel seguito se ne riporta un'estratto riguardante il caso in esame:

Caso	Elemento strutturale	Lunghezza L_Φ
TRAVI PRINCIPALI		
5	5.1 Travi e solette semplicemente appoggiate (compresi i solettoni a travi incorporate)	Luce nella direzione delle travi principali
	5.2 Travi e solette continue su n luci, indicando con: $L_m = 1/n \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$	$L_\Phi = k \cdot L_m$ dove: $n = 2 - 3 - 4 - \geq 5$ $k = 1.2 - 1.3 - 1.4 - 1.5$
	5.3 Portali: - a luce singola	da considerare come trave continua a tre luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti e la lunghezza del traverso)
	- a luci multiple	da considerare come trave continua a più luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti terminali e la lunghezza di tutti i traversi)
	5.4 Solette ed altri elementi di scatolari per uno o più binari (sottovia di altezza libera ≤ 5.0 m e luce Per gli scatolari che non rispettano i precedenti limiti vale il punto 5.3, trascurando la presenza della soletta inferiore e considerando un coefficiente riduttivo pari a 0.9, da applicare al coefficiente Φ .	$\Phi_2 = 1.20 = \Phi_3 = 1.35$
	5.5 Travi ad asse curvilineo, archi a spinta eliminata archi senza riempimento.	metà della luce libera
	5.6 Archi e serie di archi con riempimento	due volte la luce libera
	5.7 Strutture di sospensione (di collegamento a travi di irrigidimento)	4 volte la distanza longitudinale fra le strutture di sospensione
SUPPORTI STRUTTURALI		
6	6.1 Pile con snellezza $\lambda > 30$	Somma delle lunghezze delle campate adiacenti alla pila
	6.2 Appoggi, calcolo delle tensioni di contatto al di sotto degli stessi e tiranti di sospensione	Lunghezza degli elementi sostenuti

In accordo al §1.4.2.5.2 "Coefficienti dinamici ridotti" 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 [Hric]. Per le strutture dotate di una copertura maggiore di 2,50 m può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario.

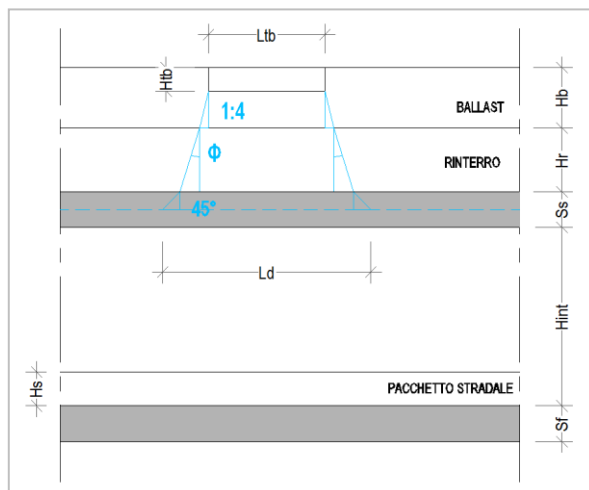


Figura 7. Schema modalità di diffusione dei carichi ferroviari

Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

Standard manutentivo

NORMALE

Lunghezza media caratteristica

L_m 8.65 m

Numero di luci

n_L 3.00

Lunghezza caratteristica

L_ϕ 11.25 m

Incremento dinamico

Φ_3 1.27

Incremento dinamico ridotto

Φ_{rid} 1.27

Tipo di treno di carico

SW/2

Coefficiente di adattamento

α 1.00

Larghezza di diffusione nel ballast

L_{db} 0.23 m

Diffusione 1:4 nel ballast

Larghezza di diffusione nel rinterro

L_{dr} 0.00 m

Diffusione secondo angolo attrito

Larghezza di diffusione nel cls

L_{dc} 1.00 m

Diffusione 45° nel cls

Larghezza trasv. di diffusione del carico

L_d 3.53 m

$L_{tb} + L_{db} + L_{dr} + L_{dc}$

Carico distribuito per treno di carico

q_1 150.00 kN/m

Carico concentrato per treno di carico

Q_1 0.00 kN

N°. carichi concentrati per treno di carico

N_{Q1} 4

Larghezza distribuzione carichi conc. Q_1

L_{dQ1} 0.00 m

Carico ripartito vert. per treno di carico (q_1)

P_{q1} 54.19 kN/m² $q_1 \times \Phi_3 \times \alpha / L_d$

Carico ripartito vert. per treno di carico (Q_1)

P_{Q1} 54.19 kN/m²

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

Carico dovuto al treno	SQ1	18.15	kN/m ²	
Spinta semispessore soletta superiore	Fq1sup	9.07	kN/m	$SPQ1 \times SPs / 2$
spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	9.98	kN/m	$SPQ1 \times SPi / 2$

Frenatura e avviamento (condizione AVV)

Avviamento treno di carico	Av	33.00	kN/m	
Frenatura treno di carico	Av	35.00	kN/m	
Avviamento e frenatura distribuiti	qAv	9.93	kN/m	Av / Ld

Azioni sismiche

Le sollecitazioni indotte dalle azioni sismiche orizzontali e verticali sono state valutate con un'analisi di tipo statico secondo quanto prescritto al §B.4 dell'ISTRUZIONE F.S.44 b.

Le masse interessate sono quelle del peso proprio della struttura, dei sovraccarichi permanenti (condizioni di carico SISMAH e SISMAV) e dei sovraccarichi accidentali (condizione di carico ACCSISM)..

In funzione della lunghezza di calcolo dello scatolare si utilizzano i valori P1S e P2S (vedi tab.B.17.1 norme F.S.44b) dei carichi uniformi equivalenti (flettenti e taglianti) per il calcolo rispettivamente dell'azioni di taglio e flettenti; a tal proposito sono stati sviluppati due appositi modelli di calcolo.

Si considera come direzione orizzontale quella parallela al binario, perché più gravosa.

Alla spinta statica del terreno si aggiunge quella dovuta alla massa del terreno che in fase sismica è una massa oscillante (condizioni SPSPDX e SPSSX), tale azione è stata calcolata in accordo con quanto prescritto al §B.13 della suddetta Istruzione.

In aggiunta a queste pressioni sismiche, dobbiamo anche sommare quella indotta, in fase sismica, dal carico del treno, quando esso è sopra il terreno a lato della parete verticale. Questo sovraccarico sul treno induce un incremento di spinta del terreno sulla parete. Quest'incremento di spinta sulla parete è una pressione uniforme il cui valore è dato dal carico accidentale, inteso come pressione verticale, per il coefficiente di spinta sismico k_h (condizioni di carico SPACCSISMDX e SPACCSISMSX).

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA NN1X LOTTO 00 D 78 CODIFICA CL DOCUMENTO SL.04.0.0.002 REV. A FOGLIO 13 di 32

Parametri sismici

Grado di sismicità	S	9	
Coefficiente di intensità sismica	C	0.07	$(S-2)/100$
Coefficiente di risposta	R	1.0	
Coefficiente di fondazione	ε	1.25	
Coefficiente di struttura	β	1.0	
Coefficiente di protezione sismica	I	1.0	
Coefficiente sismico	Kh	0.09	$C \times R \times \varepsilon \times \beta \times I$

Forze di inerzia (condizione SismaH)

Forza orizz su soletta di copertura (flettente)	F'h	5.65 kN/m	$(P_{ss}+P_b+P_r+P_{1s}/L_d) \times k_b$
Forza orizz su soletta di copertura (tagliante)	F'h	6.16 kN/m	$(P_{ss}+P_b+P_r+P_{2s}/L_d) \times k_b$
Altezza in asse piedritti	Hasse,p	7.45 m	
Forza orizzontale in testa al singolo piedritto	F''h	4.38 kN/m ²	$(k_b \times P_p) \times 2$
Forza orizzontale alla base del singolo piedritto	F'''h	0.00 kN/m ²	

Forze di inerzia (condizione SismaV)

Forza vert su soletta di copertura (flettente)	F''v	11.30 kN/m ²	$2 * (P_{ss}+P_b+P_r+P_{s1}/L_d) \times k_b$
Forza vert su soletta di copertura (tagliante)	F''v	12.31 kN/m ²	$2 * (P_{ss}+P_b+P_r+P_{s2}/L_d) \times k_b$

Forza dovuta al treno in fase sismica (condizione ACCSISM)

Sovraccarichi ISTRUZIONE 44b (flettenti)	P1s	88.70 kN/m	Tabella B.17.1
Sovraccarichi ISTRUZIONE 44b (taglianti)	P2s	109.10 kN/m	Tabella B.17.1
Larghezza trasv. di diffusione del carico	Ld	3.53 m	$L_{tb} + L_{db} + L_{dr} + L_{dc}$
Carico verticale soletta copertura (flettente)	qsism	25.16 kN/m ²	P_{1s}/L_d
Carico verticale soletta copertura (tagliante)	qsism	30.95 kN/m ²	P_{2s}/L_d

Spinta del treno in fase sismica (condizione SPACCSISMDX e SPACCSISMDX)

Incremento di spinta treno fase sismica (flettente)	QWsup	10.73 kN	$k_0 * P_{1s} / L_d$
Spinta semispessore soletta sup (flettente)	Fq1sup	5.37 kN/m	$SPQ1 \times SP_s / 2$
Spinta semispessore soletta inf (flettente)	Fq1inf	5.90 kN/m	$SPQ1 \times SP_i / 2$
Incremento di spinta treno fase sismica (tagliante)	QWsup	13.20 kN	$k_0 * P_{2s} / L_d$
Spinta semispessore soletta sup (tagliante)	Fq1sup	6.60 kN/m	$SPQ1 \times SP_s / 2$
Spinta semispessore soletta inf (tagliante)	Fq1inf	7.26 kN/m	$SPQ1 \times SP_i / 2$

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.04.0.0.002	REV. A	FOGLIO 14 di 32
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

Spinta sismica terreno - (condizioni SPSPDX e SPSSX)
FLETTENTI

Angolo tra superficie terreno e orizzontale	eps	0.0	[°]	
Angolo tra intradosso muro e verticale	beta	0.0	[°]	
Angolo di attrito rinterro	Ø'	35.0	[°]	
Rapp. angoli attrito: δ(muro-rinterro) / Φ'	cfδ	0.0		δ / Ø'
Angolo incremento sismico	θ	4.0	[°]	arctg(C)
Coeff. di spinta sismico (Mononobe Okabe)	ka'	0.310		ka' = ka [eps + θ; β + θ; Φ' ; cfδ ; C]
Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	100%		
Pressione estradosso soletta sup. comb.sismica	P1s	10.72	kN/m ²	ka × (Pb + Pr + % × qsism)
Pressione intradosso soletta inf. comb.sismica	P4s	54.49	kN/m ²	ka × (Pb + Pr + % × qsism + γr × Htot)
Pressione estradosso soletta sup. fase sismica	P1's	12.25	kN/m ²	ka' × (Pb + Pr + % × qsism)
Pressione intradosso soletta inf. fase sismica	P4's	62.27	kN/m ²	ka' × (Pb + Pr + % × qsism + γr × Htot)
Spinta orizzontale combinazione sismica	F	277.13	kN/m	(P1s + P4s) / 2 × Htot
Spinta orizzontale fase sismica	F'	316.70	kN/m	(P1's + P4's) / 2 × Htot
Coefficiente moltiplicativo spinta fase sismica	A	0.998		cos ² (β + θ) / (cos ² (β) × cos(θ))
Spinta orizzontale fase sismica	Fs	315.92	kN/m	A × F'
Incremento sismico spinta	ΔF	38.79	kN/m	Fs - F
Incremento distrib. estradosso soletta superiore	ΔP1	9.13	kN/m ²	ΔF × 2 / Htot
Incremento distrib. asse soletta superiore	ΔP2	8.59	kN/m ²	ΔP1 / Htot × (Sf + Hint + Ss / 2)
Incremento distrib. asse soletta inferiore	ΔP3	0.59	kN/m ²	ΔP1 / Htot × (Sf / 2)
Incremento distrib. intradosso soletta inferiore	ΔP4	0.00	kN/m ²	
Incremento concentrato asse soletta superiore	ΔF1	4.43	kN/m	(ΔP1 + ΔP2) / 2 × Ss / 3
Incremento concentrato asse soletta inferiore	ΔF2	0.16	kN/m	(ΔP4 + ΔP3) / 2 × Sf / 2

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA NN1X LOTTO 00 D 78 CODIFICA CL DOCUMENTO SL.04.0.0.002 REV. A FOGLIO 15 di 32

Spinta sismica terreno - (condizioni SPSDX e SPSSX)

TAGLIANTI

Angolo tra superficie terreno e orizzontale	eps	0.0 [°]	
Angolo tra intradosso muro e verticale	beta	0.0 [°]	
Angolo di attrito rinterro	Ø'	35.0 [°]	
Rapp. angoli attrito: δ(muro-rinterro) / Φ'	cfδ	0.0	δ / Ø'
Angolo incremento sismico	θ	4.0 [°]	arctg(C)
Coeff. di spinta sismico (Mononobe Okabe)	ka'	0.310	ka' = ka [eps + θ; β + θ; Φ'; cfδ; C]
Forza di inerzia treno di carico - (%)	%	100%	
Pressione estradosso soletta sup. comb.sismica	P1s	12.29 kN/m ²	ka × (Pb + Pr + % × qsism)
Pressione intradosso soletta inf. comb.sismica	P4s	56.05 kN/m ²	ka × (Pb + Pr + % × qsism + γr × Htot)
Pressione estradosso soletta sup. fase sismica	P1's	14.04 kN/m ²	ka' × (Pb + Pr + % × qsism)
Pressione intradosso soletta inf. fase sismica	P4's	64.06 kN/m ²	ka' × (Pb + Pr + % × qsism + γr × Htot)
Spinta orizzontale combinazione sismica	F	290.46 kN/m	(P1s + P4s) / 2 × Htot
Spinta orizzontale fase sismica	F'	331.93 kN/m	(P1's + P4's) / 2 × Htot
Coefficiente moltiplicativo spinta fase sismica	A	0.998	cos ² (β + θ) / (cos ² (β) × cos(θ))
Spinta orizzontale fase sismica	Fs	331.12 kN/m	A × F'
Incremento sismico spinta	ΔF	40.66 kN/m	Fs - F
Incremento distrib. estradosso soletta superiore	ΔP1	9.57 kN/m ²	ΔF × 2 / Htot
Incremento distrib. asse soletta superiore	ΔP2	9.00 kN/m ²	ΔP1 / Htot × (Sf + Hint + Ss / 2)
Incremento distrib. asse soletta inferiore	ΔP3	0.62 kN/m ²	ΔP1 / Htot × (Sf / 2)
Incremento distrib. intradosso soletta inferiore	ΔP4	0.00 kN/m ²	
Incremento concentrato asse soletta superiore	ΔF1	4.64 kN/m	(ΔP1 + ΔP2) / 2 × Ss / 3
Incremento concentrato asse soletta inferiore	ΔF2	0.17 kN/m	(ΔP4 + ΔP3) / 2 × Sf / 2

3.1.5. COMBINAZIONI DI CARICO

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

Peso proprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Variazione spinta terreno per falda parete sinistra	SPTWSX
Variazione spinta terreno per falda parete destra	SPTWDX
Carico Accidentale	ACCM
Spinta del carico acc. sulla parete sinistra	SPACCSX

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

FOGLIO
16 di 32

Spinta del carico acc. sulla parete destra	SPACCDX
Avviamento e frenatura	AVV
Ritiro	RITIRO
Azioni dovute al sisma in direzione orizzontale	SISMA_H
Azioni dovute al sisma in direzione verticale	SISMA_V
Treno di carico in fase sismica	ACCSISM
Incremento di spinta dovuto al treno in fase sismica parete sinistra	SPACCSISMSX
Incremento di spinta dovuto al treno in fase sismica parete destra	SPACCSISMDX
Incremento di spinta del terreno dovuto al sisma parete sinistra	SPSSX
Incremento di spinta del terreno dovuto al sisma parete destra	SPSDX

	ESERCIZIO							FESSURAZIONE						SISMA		
	TA01	TA02	TA03	TA04	TA05	TA06	TA07	TA08	TA09	TA10	TA11	TA12	TA13	SISMA_1_ORIZZ	SISMA_2_VERT	SISMA_3_ORIZZ+VERT
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTWSX	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTWDX	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ACCM	1	1	1	1	1	0	0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0	0
SPACCSX	1	0	1	1	1	1	1	0.8	0	0.8	0.8	0	0.8	0	0	0
SPACCDX	0	1	1	0	1	0	1	0	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0	0	0
AVV	1	1	0	1	1	0	0	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0
ENV_TERM	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0	0
RITIRO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
SISMA_H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
SISMA_V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ACCSISM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
SPACCSISMDX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
SPACCSISMSX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
SPSDX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
SPSSX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Le combinazioni di carico TA01, TA02, TA03, TA04, TA05, TA06, TA07, SISMA_1_ORIZZ, SISMA_2_VERT, SISMA_3_ORIZZ+VERT sono riferite alle verifiche tensionali alle Tensioni Ammissibili. Le combinazioni dei carico TA08, TA09, TA10, TA11, TA12, TA13 sono riferite alle verifiche di fessurazione.

3.1.6. 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:

Aste 1 = Sezione 100 x 110 cmq (soletta inferiore)

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

Asta 3 = Sezione 100 x 100 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 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

k_s		10000 kN/m ³
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
L_{infl}		1.105 m
$K_{centrale}$	$k_s \times L_{infl} \times 1$	11050 kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
L_{infl}		1.105 m
$K_{intermedio}$	$1,5 \times k_s \times L_{infl} \times 1$	16575 kN/m
nodi estremità (3,13)		
L_{infl}		1.053 m
$K_{estremità}$	$2,0 \times k_s \times L_{infl} \times 1$	21050 kN/m

Nodi

N.nodi	13
N.nodi sup	2
N.nodi inf	11
N.spazi inf	10
$L_{interasse}$	11.05 m
$H_{interasse}$	7.45 m

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

FOGLIO
18 di 32

Nodo	X	Z
1	0.000	7.450
2	11.050	7.450
3	0.000	0.000
4	1.105	0.000
5	2.210	0.000
6	3.315	0.000
7	4.420	0.000
8	5.525	0.000
9	6.630	0.000
10	7.735	0.000
11	8.840	0.000
12	9.945	0.000
13	11.050	0.000

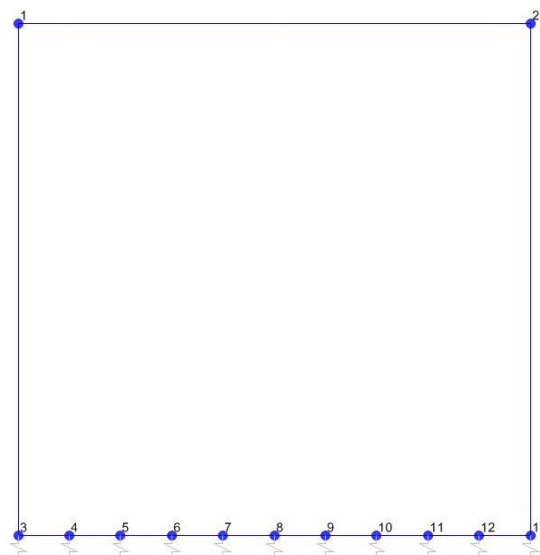


Figura 7. Numerazione nodi modello SAP

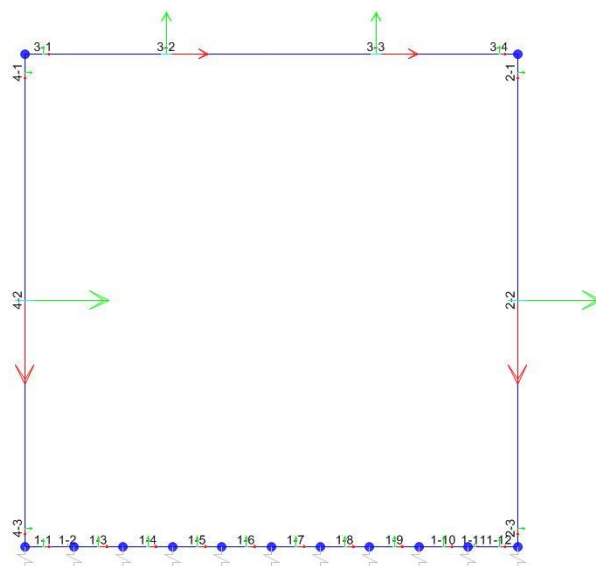


Figura 8: Individuazione elementi modello SAP

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

 FOGLIO
 19 di 32

3.1.7. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

3.1.7.1. Inviluppo Tensioni Ammissibili

Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.5	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	500.4	753.3
1	1.105	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	517.0	445.5
1	1.105	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	374.6	445.5
1	2.21	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	405.0	61.9
1	2.21	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	260.4	61.9
1	3.315	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	290.8	-96.4
1	3.315	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	192.9	-96.4
1	4.42	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	223.3	-212.3
1	4.42	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	122.9	-212.3
1	5.525	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	153.3	-277.6
1	5.525	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	48.9	-277.6
1	6.63	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	79.3	-254.5
1	6.63	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-31.7	-254.5
1	7.735	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-1.4	-184.5
1	7.735	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-83.7	-184.5
1	8.84	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-53.4	-65.9
1	8.84	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-179.7	-65.9
1	9.945	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-149.3	145.7
1	9.945	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-284.6	145.7
1	10.55	ENVELOPE TA	Combination	Max	0.0	-268.0	347.8
1	0.5	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	278.1	319.0
1	1.105	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	294.7	49.1
1	1.105	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	176.4	49.1
1	2.21	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	206.8	-319.8
1	2.21	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	92.1	-319.8
1	3.315	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	122.5	-531.2
1	3.315	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	48.2	-531.2
1	4.42	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	78.6	-662.4
1	4.42	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	5.8	-662.4
1	5.525	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	36.1	-715.6
1	5.525	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-52.2	-715.6
1	6.63	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-21.8	-786.4
1	6.63	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-127.4	-786.4
1	7.735	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-97.1	-768.1
1	7.735	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-206.5	-768.1
1	8.84	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-176.1	-649.6
1	8.84	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-349.0	-649.6
1	9.945	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-318.6	-342.3
1	9.945	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-505.7	-342.3
1	10.55	ENVELOPE TA	Combination	Min	0.0	-489.0	-52.5

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)

Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

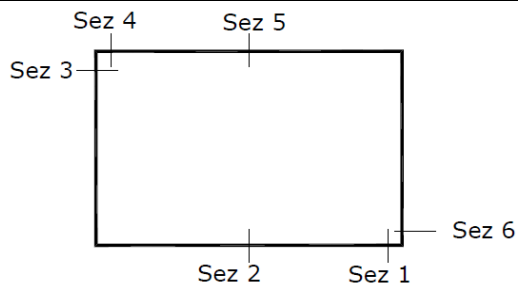
CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

FOGLIO
20 di 32

2	0.5	ENVELOPE TA	Combination Max	-244.6	-128.6	-281.6
2	3.7	ENVELOPE TA	Combination Max	-324.5	-18.5	36.3
2	6.9	ENVELOPE TA	Combination Max	-404.5	252.0	-155.2
2	0.5	ENVELOPE TA	Combination Min	-600.2	-245.1	-920.3
2	3.7	ENVELOPE TA	Combination Min	-680.2	-137.4	-401.6
2	6.9	ENVELOPE TA	Combination Min	-760.1	-1.0	-493.1
3	0.5	ENVELOPE TA	Combination Max	-83.0	-175.5	-122.8
3	3.0125	ENVELOPE TA	Combination Max	-107.9	-73.5	595.4
3	5.525	ENVELOPE TA	Combination Max	-132.9	56.2	753.3
3	8.0375	ENVELOPE TA	Combination Max	-138.8	294.4	437.7
3	10.55	ENVELOPE TA	Combination Max	-138.8	532.5	-260.9
3	0.5	ENVELOPE TA	Combination Min	-193.4	-476.3	-459.8
3	3.0125	ENVELOPE TA	Combination Min	-205.1	-238.1	123.4
3	5.525	ENVELOPE TA	Combination Min	-220.6	0.0	251.6
3	8.0375	ENVELOPE TA	Combination Min	-243.5	102.0	61.1
3	10.55	ENVELOPE TA	Combination Min	-268.5	204.0	-756.7
4	0.5	ENVELOPE TA	Combination Max	-216.1	165.1	633.6
4	3.7	ENVELOPE TA	Combination Max	-296.1	40.1	404.6
4	6.9	ENVELOPE TA	Combination Max	-376.1	-108.7	808.0
4	0.5	ENVELOPE TA	Combination Min	-544.0	53.7	149.0
4	3.7	ENVELOPE TA	Combination Min	-623.9	-57.5	-36.3
4	6.9	ENVELOPE TA	Combination Min	-703.9	-319.1	299.5



SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	517.0	753.3
02	0.0	0.0	786.4
03	-216.1	319.1	920.3
04	-83.0	532.5	756.7
05	-83.0	0.0	753.3
06	-376.1	319.1	808.0

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

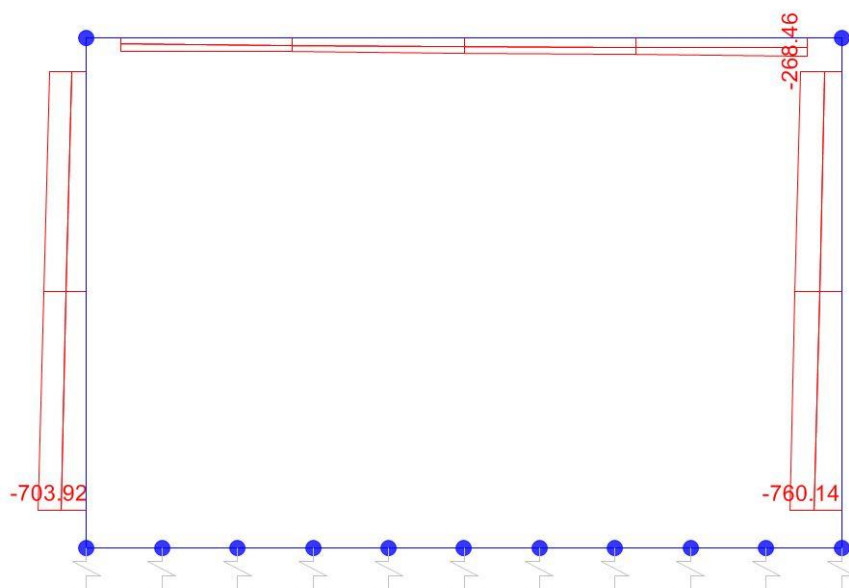
CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

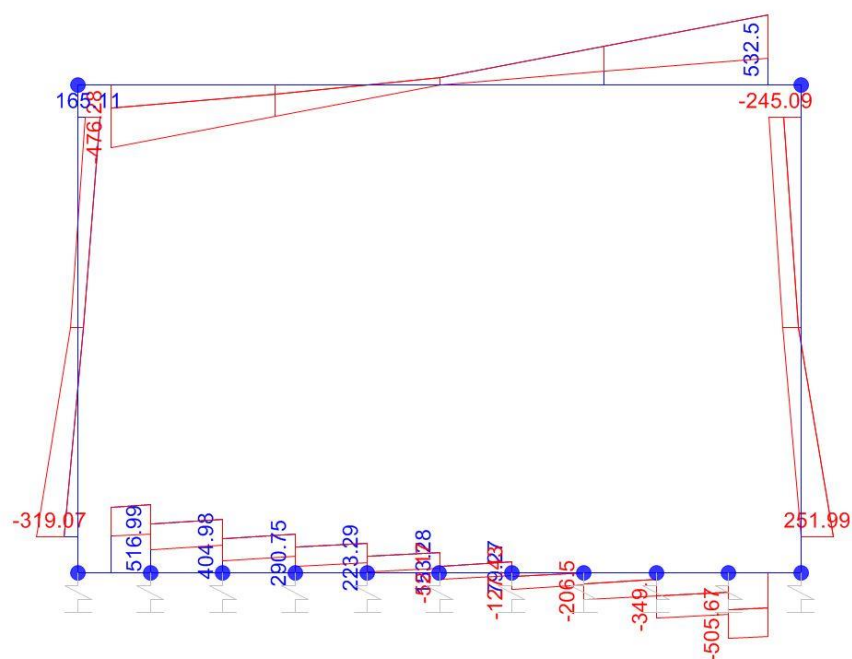
REV.
A

FOGLIO
21 di 32

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE TA



Sforzo normale



Taglio

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

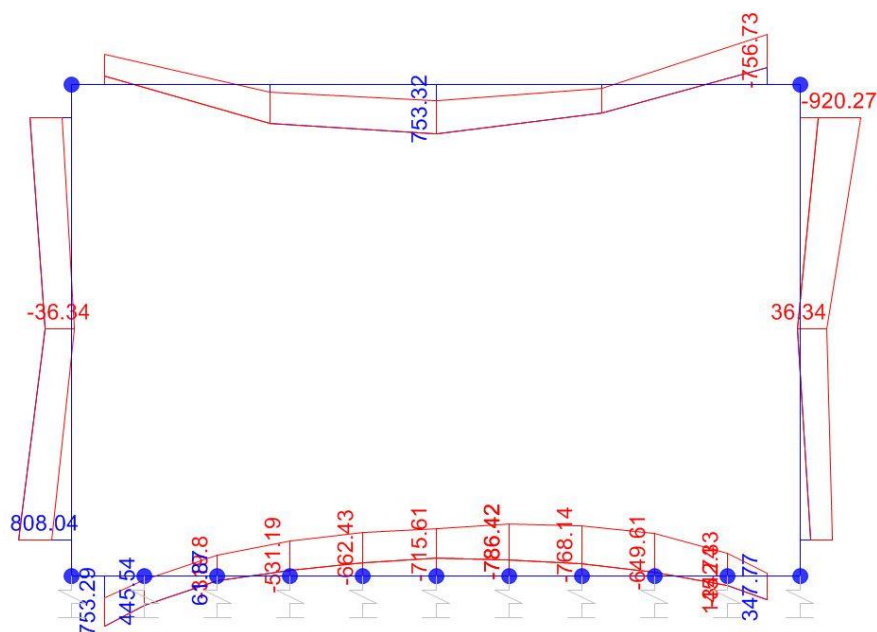
LOTTO
00 D 78

CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

FOGLIO
22 di 32



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.

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

 FOGLIO
 23 di 32

3.1.7.2. Inviluppo Fessurazioni

Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.5	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	413.6
1	1.105	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	430.3
1	1.105	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	305.5
1	2.21	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	335.9
1	2.21	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	209.1
1	3.315	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	239.5
1	3.315	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	153.6
1	4.42	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	184.0
1	4.42	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	96.1
1	5.525	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	126.4
1	5.525	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	34.9
1	6.63	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	65.3
1	6.63	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-31.9
1	7.735	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-1.6
1	7.735	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-106.6
1	8.84	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-76.2
1	8.84	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-248.6
1	9.945	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-218.2
1	9.945	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-408.2
1	10.55	ENVELOPE FESS	Combination	Max		0.0	-391.6
1	0.5	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	395.3
1	1.105	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	411.9
1	1.105	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	241.2
1	2.21	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	271.5
1	2.21	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	112.6
1	3.315	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	143.0
1	3.315	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	43.7
1	4.42	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	74.1
1	4.42	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-20.4
1	5.525	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	10.0
1	5.525	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-81.6
1	6.63	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-51.2
1	6.63	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-141.9
1	7.735	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-111.5
1	7.735	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-203.0
1	8.84	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-172.7
1	8.84	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-313.0
1	9.945	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-282.6
1	9.945	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-426.6
1	10.55	ENVELOPE FESS	Combination	Min		0.0	-410.0

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)

Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

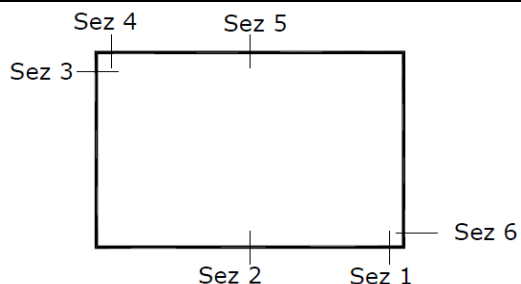
CODIFICA
CL

DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

FOGLIO
24 di 32

2	0.5	ENVELOPE FESS	Combination Max	-408.4	-139.0	-411.6
2	3.7	ENVELOPE FESS	Combination Max	-488.4	-4.0	-147.4
2	6.9	ENVELOPE FESS	Combination Max	-568.4	254.9	-159.6
2	0.5	ENVELOPE FESS	Combination Min	-469.2	-212.8	-720.0
2	3.7	ENVELOPE FESS	Combination Min	-549.2	-108.9	-207.1
2	6.9	ENVELOPE FESS	Combination Min	-629.1	103.5	-522.3
3	0.5	ENVELOPE FESS	Combination Max	-123.8	-322.4	-153.0
3	3.0125	ENVELOPE FESS	Combination Max	-143.7	-138.7	426.2
3	5.525	ENVELOPE FESS	Combination Max	-163.7	45.0	544.0
3	8.0375	ENVELOPE FESS	Combination Max	-163.7	228.7	352.9
3	10.55	ENVELOPE FESS	Combination Max	-163.7	412.3	-299.6
3	0.5	ENVELOPE FESS	Combination Min	-193.6	-383.2	-458.5
3	3.0125	ENVELOPE FESS	Combination Min	-193.6	-199.5	273.5
3	5.525	ENVELOPE FESS	Combination Min	-193.6	-15.8	530.8
3	8.0375	ENVELOPE FESS	Combination Min	-213.5	167.9	200.2
3	10.55	ENVELOPE FESS	Combination Min	-233.5	351.6	-605.0
4	0.5	ENVELOPE FESS	Combination Max	-379.2	168.9	580.8
4	3.7	ENVELOPE FESS	Combination Max	-459.2	65.0	208.3
4	6.9	ENVELOPE FESS	Combination Max	-539.2	-147.4	664.0
4	0.5	ENVELOPE FESS	Combination Min	-440.0	95.1	272.4
4	3.7	ENVELOPE FESS	Combination Min	-520.0	-39.9	148.6
4	6.9	ENVELOPE FESS	Combination Min	-600.0	-298.8	301.3



SEZIONE	P	M3
01	0.0	640.9
02	0.0	581.4
03	-379.2	720.0
04	-123.8	605.0
05	-123.8	544.0
06	-539.2	664.0

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)

COMMESSA
NN1X

LOTTO
00 D 78

CODIFICA
CL

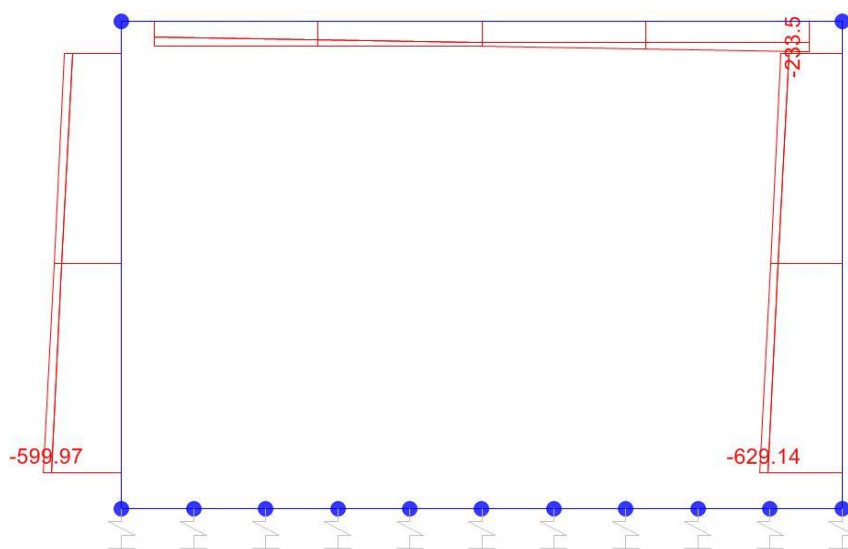
DOCUMENTO
SL.04.0.0.002

REV.
A

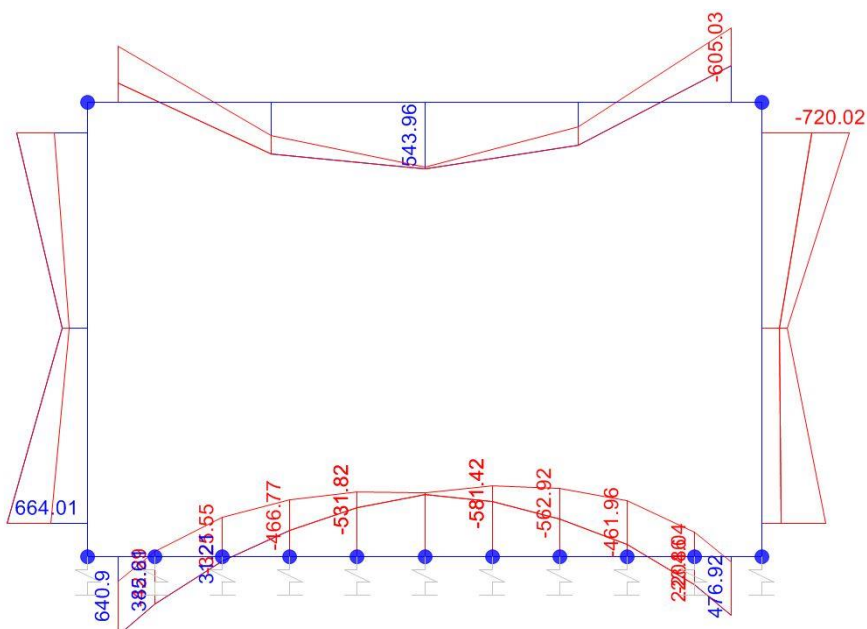
FOGLIO
25 di 32

Relazione di calcolo secondo DM96

Diagrammi di inviluppo delle sollecitazioni: ENVELOPE FESS



Sforzo normale



Momento Flettente

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NN1X 00 D 78 CL SL.04.0.0.002 A 26 di 32

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.

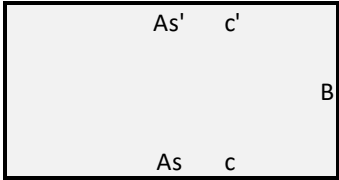
3.1.8. VERIFICHE

Oggetto:

TOMBINO SL04_Km.64+366 - Esistente Norma originaria

Sezione n°. 01

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	Geometria della Sezione: 
H	Altezza sezione rettangolare	1100 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	40 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	40 mm	
d	Altezza utile = H-c	1060 mm	
Rck	Resistenza caratt. Cubica calcestruzzo	35 MPa	
sa-adm	Tensione ammissibile acciaio	255 MPa	
sc-adm	Tensione ammissibile cls compressione	11.00 MPa	
tau-co	Tensione limite no armatura taglio	0.67 MPa	
N	Sforzo normale [(+)Trazione]	0.0 kN	
M	Momento flettente [(+)]	753.3 kNm	
V	Taglio [(+)]	517.0 kN	
Fi1	1° diametro armatura tesa	26	
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	5309 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	0 mm	
s. Staffe	Passo staffe	200 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	0	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	1.0 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzonta	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
M-fess	Momento per fessurazione [(+)]	640.9 kNm	
N-fess	Sforzo normale per fessurazione [(+)Traz.]	0.0 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	

Dati di Output:

TA - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-52 Mpa	Coeff.Sfrutt.	20%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	146 Mpa	Coeff.Sfrutt.	57%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-4 Mpa	Coeff.Sfrutt.	36%
tau-c	Tensione tangenziale calcestruzzo	0.54 Mpa	Coeff.Sfrutt.	81%
Mcr	Momento di prima fessurazione	738 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.09 mm	Coeff.Sfrutt.	46%

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

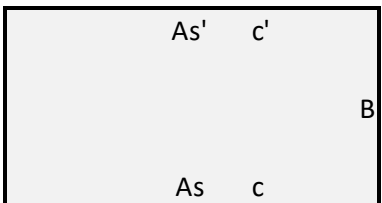
 FOGLIO
 27 di 32

Oggetto:

TOMBINO SL04_Km.64+366 - Esistente Norma originaria

Sezione n°. 02

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	Geometria della Sezione: 
H	Altezza sezione rettangolare	1100 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	40 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	40 mm	
d	Altezza utile = H-c	1060 mm	
Rck	Resistenza caratt. Cubica calcestruzzo	35 MPa	
sa-adm	Tensione ammissibile acciaio	255 MPa	
sc-adm	Tensione ammissibile cls compressione	11.00 MPa	
tau-co	Tensione limite no armatura taglio	0.67 MPa	
N	Sforzo normale [(+)Trazione]	0.0 kN	
M	Momento flettente [(+)]	786.4 kNm	
V	Taglio [(+)]	0.0 kN	
Fi1	1° diametro armatura tesa	26	
Fi2	2° diametro armatura tesa		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	
n2	N°. Barre 2° armatura tesa		
As'	Armatura superiore compressa	5309 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	5309 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	0 mm	
s. Staffe	Passo staffe	200 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	0	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	1.0 [range: 1,0-2,5]	
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzonta	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m
M-fess	Momento per fessurazione [(+)]	581.4 kNm	
N-fess	Sforzo normale per fessurazione [(+)Traz.]	0.0 kN	
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm	

Dati di Output:
TA - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-49 Mpa	Coeff.Sfrutt.	19%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	151 Mpa	Coeff.Sfrutt.	59%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-4 Mpa	Coeff.Sfrutt.	34%
tau-c	Tensione tangenziale calcestruzzo	0.00 Mpa	Coeff.Sfrutt.	0%
Mcr	Momento di prima fessurazione	750 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.08 mm	Coeff.Sfrutt.	39%

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

 FOGLIO
 28 di 32

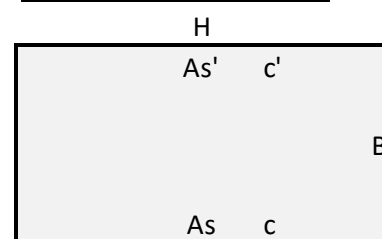
Oggetto:

TOMBINO SL04_Km.64+366 - Esistente Norma originaria

Sezione n°. 03

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm
H	Altezza sezione rettangolare	1000 mm
c'	Copriferro armatura sup. compressa	40 mm
c	Copriferro armatura inf. Tesa	40 mm
d	Altezza utile = H-c	960 mm
Rck	Resistenza caratt. Cubica calcestruzzo	35 MPa
sa-adm	Tensione ammissibile acciaio	255 MPa
sc-adm	Tensione ammissibile cls compressione	11.00 MPa
tau-co	Tensione limite no armatura taglio	0.67 MPa
N	Sforzo normale [(+)Trazione]	-216.1 kN
M	Momento flettente [(+)]	920.3 kNm
V	Taglio [(+)]	319.1 kN
Fi1	1° diametro armatura tesa	
Fi2	2° diametro armatura tesa	26
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	10
As'	Armatura superiore compressa	2655 mmq
As	Armatura inferiore tesa	5309 mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	8 mm
s. Staffe	Passo staffe	333 mm
bracci	Numero Bracci staffe	2
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	1.0 [range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzonta	90.0°
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	302 mmq/m 3.02 cmq/m
M-fess	Momento per fessurazione [(+)]	720.0 kNm
N-fess	Sforzo normale per fessurazione [(+)Traz.]	-379.2 kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
TA - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-79 Mpa	Coeff.Sfrutt.	31%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	181 Mpa	Coeff.Sfrutt.	71%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-6 Mpa	Coeff.Sfrutt.	55%
tau-c	Tensione tangenziale calcestruzzo	0.37 Mpa	Coeff.Sfrutt.	55%
Mcr	Momento di prima fessurazione	683 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.09 mm	Coeff.Sfrutt.	46%

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

 FOGLIO
 29 di 32

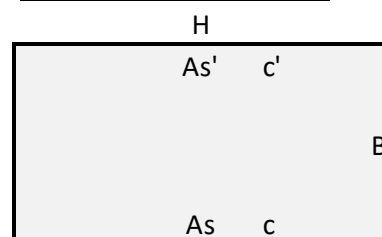
Oggetto:

TOMBINO SL04_Km.64+366 - Esistente Norma originaria

Sezione n°. 04

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000	mm
H	Altezza sezione rettangolare	1000	mm
c'	Copriferro armatura sup. compressa	40	mm
c	Copriferro armatura inf. Tesa	40	mm
d	Altezza utile = H-c	960	mm
Rck	Resistenza caratt. Cubica calcestruzzo	35	MPa
sa-adm	Tensione ammissibile acciaio	255	MPa
sc-adm	Tensione ammissibile cls compressione	11.00	MPa
tau-co	Tensione limite no armatura taglio	0.67	MPa
N	Sforzo normale [(+)Trazione]	-83.0	kN
M	Momento flettente [(+)]	756.7	kNm
V	Taglio [(+)]	532.5	kN
Fi1	1° diametro armatura tesa	26	
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	5309	mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	0	mm
s. Staffe	Passo staffe	200	mm
bracci	Numero Bracci staffe	0	
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	1.0	[range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzonta	90.0°	
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0	mmq/m
M-fess	Momento per fessurazione [(+)]	605.0	kNm
N-fess	Sforzo normale per fessurazione [(+)Traz.]	-123.8	kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20	mm

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
TA - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-62	Mpa	Coeff.Sfrutt.	24%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	156	Mpa	Coeff.Sfrutt.	61%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-5	Mpa	Coeff.Sfrutt.	43%
tau-c	Tensione tangenziale calcestruzzo	0.62	Mpa	Coeff.Sfrutt.	92%
Mcr	Momento di prima fessurazione	639	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.09	mm	Coeff.Sfrutt.	44%

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

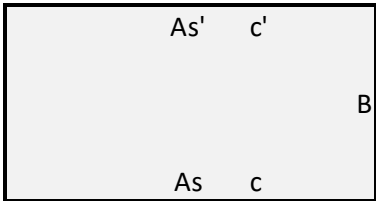
 FOGLIO
 30 di 32

Oggetto:

TOMBINO SL04_Km.64+366 - Esistente Norma originaria

Sezione n°. 05

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	Geometria della Sezione:	
H	Altezza sezione rettangolare	1000 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	40 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	40 mm		
d	Altezza utile = H-c	960 mm		
Rck	Resistenza caratt. Cubica calcestruzzo	35 MPa		
sa-adm	Tensione ammissibile acciaio	255 MPa		
sc-adm	Tensione ammissibile cls compressione	11.00 MPa		
tau-co	Tensione limite no armatura taglio	0.67 MPa		
N	Sforzo normale [(+)Trazione]	-83.0 kN		
M	Momento flettente [(+)]	753.3 kNm		
V	Taglio [(+)]	0.0 kN		
Fi1	1° diametro armatura tesa	26		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa			
As'	Armatura superiore compressa	2262 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	5309 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	0 mm		
s. Staffe	Passo staffe	200 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	0		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	1.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzonta	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m		
M-fess	Momento per fessurazione [(+)]	544.0 kNm		
N-fess	Sforzo normale per fessurazione [(+)Traz.]	-123.8 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		

Dati di Output:
TA - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-65 Mpa	Coeff.Sfrutt.	25%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	156 Mpa	Coeff.Sfrutt.	61%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-5 Mpa	Coeff.Sfrutt.	45%
tau-c	Tensione tangenziale calcestruzzo	0.00 Mpa	Coeff.Sfrutt.	0%
Mcr	Momento di prima fessurazione	635 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.08 mm	Coeff.Sfrutt.	38%

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

 COMMESSA
 NN1X

 LOTTO
 00 D 78

 CODIFICA
 CL

 DOCUMENTO
 SL.04.0.0.002

 REV.
 A

 FOGLIO
 31 di 32

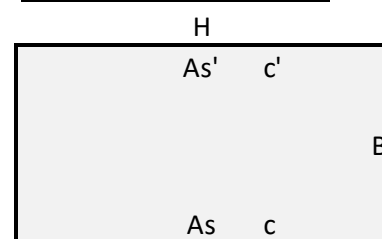
Oggetto:

TOMBINO SL04_Km.64+366 - Esistente Norma originaria

Sezione n°. 06

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm
H	Altezza sezione rettangolare	1000 mm
c'	Copriferro armatura sup. compressa	40 mm
c	Copriferro armatura inf. Tesa	40 mm
d	Altezza utile = H-c	960 mm
Rck	Resistenza caratt. Cubica calcestruzzo	35 MPa
sa-adm	Tensione ammissibile acciaio	255 MPa
sc-adm	Tensione ammissibile cls compressione	11.00 MPa
tau-co	Tensione limite no armatura taglio	0.67 MPa
N	Sforzo normale [(+)Trazione]	-376.1 kN
M	Momento flettente [(+)]	808.0 kNm
V	Taglio [(+)]	319.1 kN
Fi1	1° diametro armatura tesa	20
Fi2	2° diametro armatura tesa	26
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	5
As'	Armatura superiore compressa	2655 mmq
As	Armatura inferiore tesa	4225 mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	8 mm
s. Staffe	Passo staffe	333 mm
bracci	Numero Bracci staffe	2
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	1.0 [range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzonta	90.0°
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	302 mmq/m
M-fess	Momento per fessurazione [(+)]	664.0 kNm
N-fess	Sforzo normale per fessurazione [(+)Traz.]	-539.2 kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm

Geometria della Sezione:

Dati di Output:
TA - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-77 Mpa	Coeff.Sfrutt.	30%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	179 Mpa	Coeff.Sfrutt.	70%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-6 Mpa	Coeff.Sfrutt.	53%
tau-c	Tensione tangenziale calcestruzzo	0.37 Mpa	Coeff.Sfrutt.	55%
Mcr	Momento di prima fessurazione	698 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.08 mm	Coeff.Sfrutt.	42%

SOTTOVIA ESISTENTE SL04 KM 5+870 (KM 64+366 LS)
 Relazione di calcolo secondo DM96

COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL.04.0.0.002	REV. A	FOGLIO 32 di 32
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:

SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ03	SEZ04	SEZ05	SEZ06
TA	(sigs/sa-adm)s	20%	19%	31%	24%	25%	30%
TA	(sigs/sa-adm)i	57%	59%	71%	61%	61%	70%
TA	(sigc/sc-adm)s	36%	34%	55%	43%	45%	53%
TA	tau-c/tau-co	81%	0%	55%	92%	0%	55%
FES	wk/wklim	46%	39%	46%	44%	38%	42%
	MAX	81%	59%	71%	92%	61%	70%
	MAX	92%					