

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA
S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

PROGETTO DEFINITIVO

**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA**

TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (Lotto 1+2)

Tombini

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS90 00 Y 78 CL NI0100 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S. Di Francia	Luglio 2023	S. Ballerini <i>SB</i>	Luglio 2023	A. Barreca <i>A</i>	Luglio 2023	F. Sacchi Luglio 2023

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Tecnica
Progettazione Integrata e Field Engineering
Dott. Ing. Francesco Sacchi
Ordine degli Ingegneri Prov. di Roma n. 23172/Sez. A

File: RS9000Y78CLNI0100001A - 78_037 - Rel.

n. Elab.: 78_037

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	2 di 47

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	6
5	MATERIALI	8
6	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	9
7	ANALISI DEI CARICHI	11
7.1	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (DEAD)	11
7.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI (PERM)	11
7.3	SPINTA DEL TERRENO (SPTSX E SPTDX)	12
7.4	CARICO STRADALE	12
7.5	SPINTA SUI PIEDRITTI PRODOTTA DAL SOVRACCARICO (SPACCSX E SPACCDX)	12
7.6	AZIONI TERMICHE (TERM)	12
7.7	RITIRO (RITIRO)	12
7.8	AZIONI SISMICHE (SISMAH, SISMAV, SPSDX/SX)	14
8	COMBINAZIONI DI CARICO	18
9	VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI	28
9.1	VERIFICA SLE	28
9.1.1	<i>Verifica alle tensioni</i>	28
9.1.1.1	Tensioni di compressione del calcestruzzo	28
9.1.1.2	Tensioni di trazione nell'acciaio	28
9.1.2	<i>Verifiche a fessurazione</i>	28
9.2	VERIFICA SLU	31
9.2.1	<i>Pressoflessione</i>	31
9.2.2	<i>Taglio</i>	31
9.2.2.1	Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	31
9.2.2.2	Elementi con armature trasversali resistenti a taglio	32
10	VERIFICHE GEOTECNICHE – CRITERI GENERALI	33

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	3 di 47

10.1	VERIFICA A CARICO LIMITE.....	33
11	ANALISI E VERIFICA DELLA STRUTTURA	35
11.1	MODELLO DI CALCOLO	35
11.2	SOLLECITAZIONI DI CALCOLO.....	36
11.3	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	37
11.3.1	<i>Soletta di copertura</i>	39
11.3.2	<i>Piedritti</i>	40
11.3.3	<i>Soletta di fondazione</i>	41
11.4	VERIFICA A CARICO LIMITE.....	42
11.5	VERIFICHE ALLO SLE.....	44
11.5.1	<i>Soletta di copertura</i>	45
11.5.2	<i>Piedritti</i>	46
11.5.3	<i>Soletta di fondazione</i>	46
11.6	INCIDENZE DI ARMATURA.....	47

1 PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici riguardanti la "Progettazione Definitiva del Raddoppio della Linea Ferroviaria Messina – Catania - Palermo nella tratta Fiumetorto - Lercara", in relazione agli interventi di potenziamento delle infrastrutture nazionali previste dalla legge n. 443/2001.

Nei paragrafi seguenti si procederà pertanto, dopo una breve descrizione delle opere in progetto, all'esposizione di tutti i criteri generali ed ipotesi alla base dei dimensionamenti effettuati, e quindi a seguire i risultati di tutte le verifiche strutturali e geotecniche eseguite.

L'opera in esame è costituita da un tombino scatolare in calcestruzzo armato e riguarda il manufatto NI01 – Tombino al km 211+100 SS113.

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'opera oggetto di dimensionamento nel presente documento è costituito da un tombino scatolare, di dimensioni esterne 4.00 x 3.95 m, da realizzarsi alla km 211+100 SS113 del tracciato di progetto del Lotto 1 e 2. La lunghezza dello scatolare è pari a circa 19.50 m.

Il sottovia scatolare è caratterizzato da una dimensione interna di 3.00 x 2.85m, con soletta superiore di spessore pari a 0.50 m, piedritti di spessore pari a 0.50 m e soletta di fondazione di spessore pari a 0.60 m

Nelle figure seguenti si riportano una vista planimetrica, una sezione longitudinale ed una trasversale dell'opera, rimandando per ulteriori dettagli a quanto riportato negli specifici elaborati progettuali.

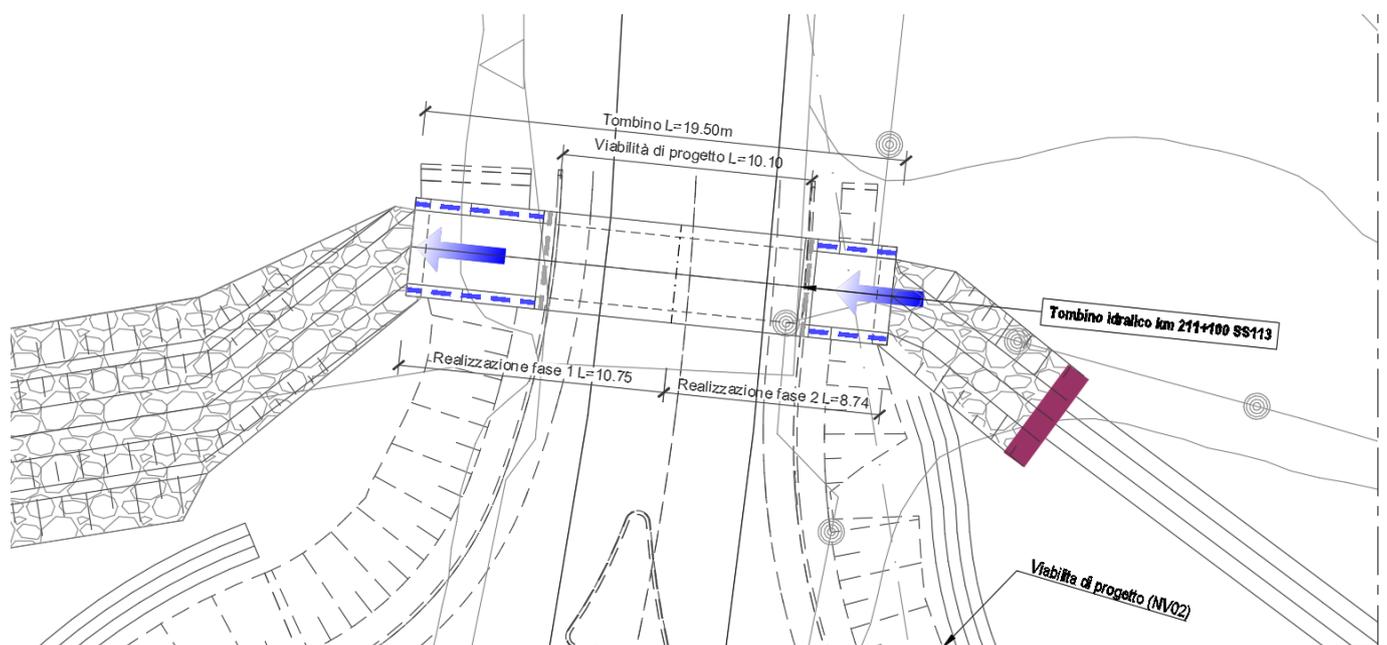


Figura 1. Vista planimetrica.

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	5 di 47

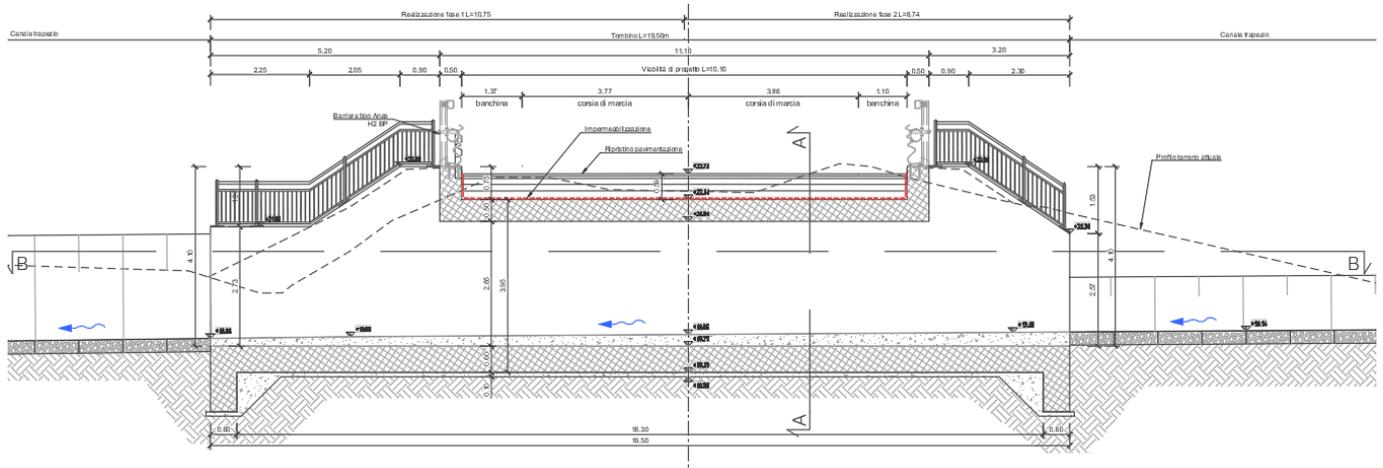


Figura 2. Sezione longitudinale.

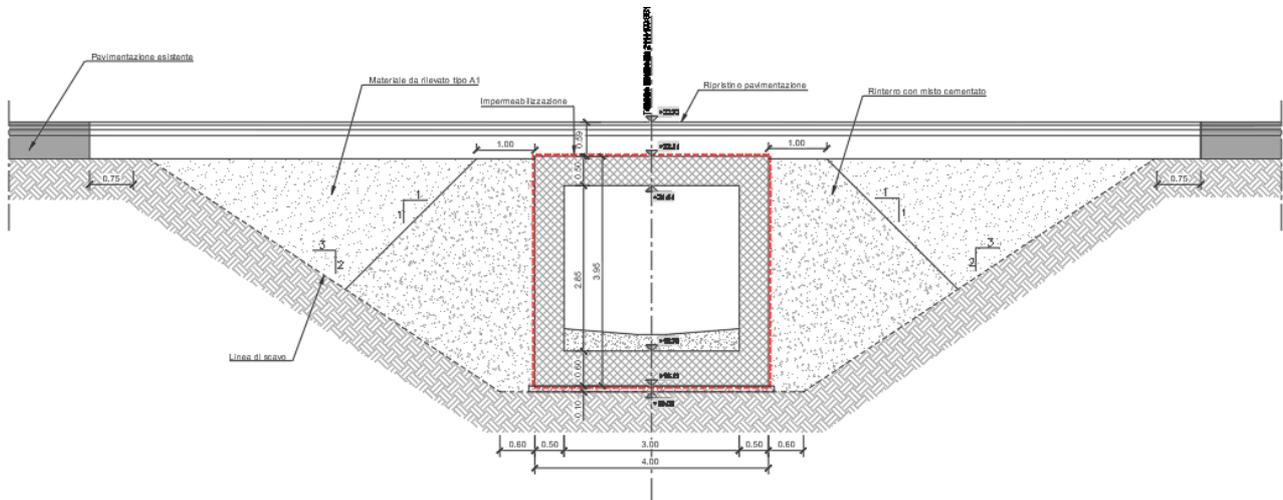


Figura 3. Sezione trasversale.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Norme tecniche per le costruzioni» pubblicato sulla gazzetta ufficiale n.45 del 20 febbraio 2018;
- [2] Circolare Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 21 febbraio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- [3] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.
- [4] Eurocodici EN 1991-1: 2005/AC:2010.
- [5] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili del 22/12/2017.
- [6] RFI DTC SICS SP IFS 001 B - Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili del 22/12/2017.

4 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

L'opera sottopassa la strada statale. Esso ha dimensioni interne 3.00 x 2.85m, con soletta superiore di spessore pari a 0,50 m, piedritti di spessore pari a 0,50 m e soletta di fondazione di spessore pari a 0,60 m. Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente larghezza di 1,00 m. Nella figura sottostante si riportano schematicamente la geometria e la simbologia adottata.

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	7 di 47

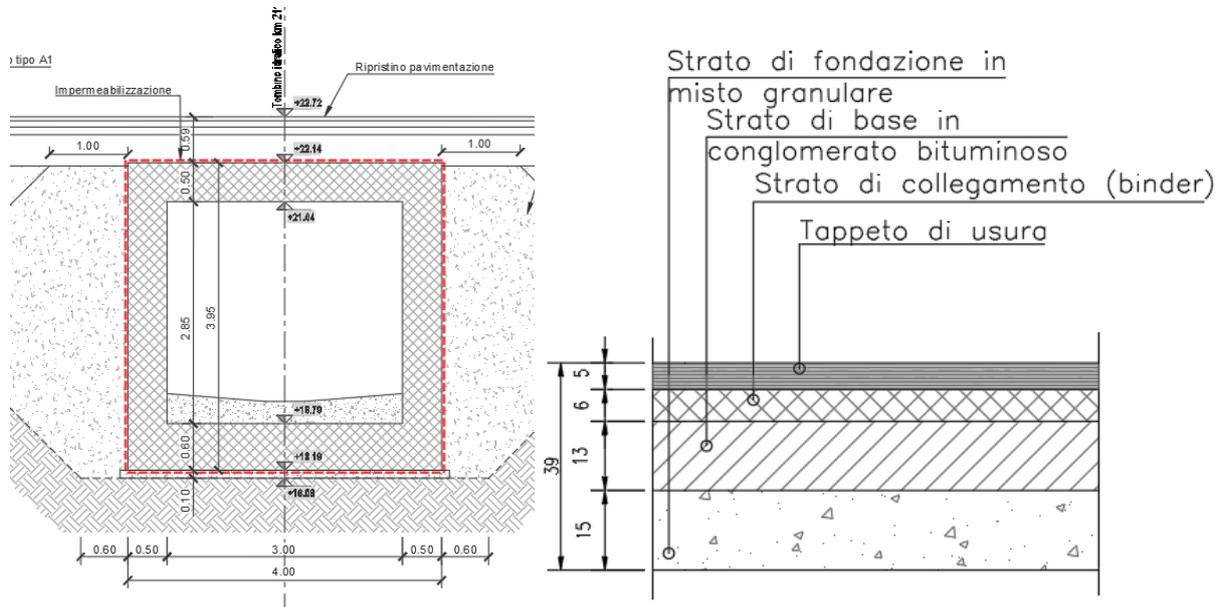


Figura 4. Schema geometrico dell'opera.

Le caratteristiche geometriche risultano:

Spessore tappeto di usura	0.05	m
Spessore strato di collegamento (Binder)	0.06	m
Spessore strato di base in conglomerato bituminoso	0.13	m
Spessore strato di fondazione in misto granulare	0.15	m
Spessore dello impermeabilizzante	0.10	m
Spessore del ricoprimento	0.00	m
Larghezza interna dello scatolare	3.00	m
Altezza interna dello scatolare	2.85	m
Spessore della soletta superiore	0.50	m
Spessore dei piedritti	0.50	m
Spessore della soletta di fondazione	0.60	m
Larghezza striscia di carico	1.00	m
Altezza totale dello scatolare	3.95	m
Larghezza totale dello scatolare	4.00	m

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	8 di 47

5 MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo

Classe di resistenza		C30/37	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	37	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	30	MPa
Valore medio della resistenza cilindrica a compressione	f_{cm}	38	MPa
Modulo elastico medio	E_{cm}	33019	MPa
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	2.90	MPa
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm}	3.48	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	γ_c	1.50	
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0.85	
Resistenza di progetto a compressione	f_{cd}	17.0	MPa

Barre di armatura

Tipologia		B450C	
Resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk}	450	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	γ_c	1.15	
Resistenza di progetto a snervamento	f_{yd}	391.3	MPa
Modulo elastico longitudinale	E_{cm}	210000	MPa

6 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state desunte tenendo conto di quanto risultante nel profilo geologico e dalla caratterizzazione dei litotipi riportata nella relazione geotecnica generale.

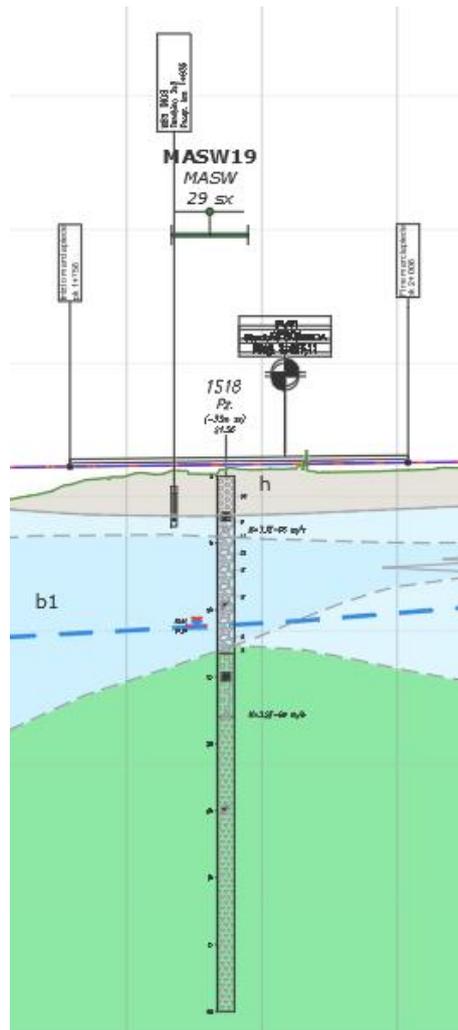


Figura 5: Profilo geotecnico

Dall'esame di quanto riportato nella relazione geotecnica di riferimento, e in relazione alle progressive in esame, emerge che i terreni interessati dall'opera in oggetto sono costituiti da Sabbie e ghiaie (Unità geologica "b1").

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	10 di 47

descrizione	ALLUVIONI Sabbie e ghiaie	ALLUVIONI Limi sabbiosi, sabbie limose	ALLUVIONI Argille limose, limi argillosi	ARGILLE VARICOLORI Argilla marnosa	ARGILLE VARICOLORI Argilla limosa
GRUPPO GEOTECNICO	b1	b2	b3	AVF/1	AVF/2
γ (kN/m ³)	19.5-21	19-21	19-22	23-25	22.5
Dr(%)	50-70	30-50			
c' (kPa)	0	7-30	10-60		20-30
c' res (KPa)			12-30		
ϕ' (°)picco	35-38	32-36	26		
ϕ' cv(°)	30-33	22-27	20-24		20
ϕ' res(°)			7-13		10
lp (%)	10-16	10-25	18-30		12
lc (-)	1.1	1-1.8	1-2		1.3-1.5
Cu (kPa)		138	z=0-25m $\rightarrow c_u(z)=50+1.67z$ $c_{u,lim}=150$		100-250
E0 (MPa) (modulo dinamico)	z=10-40m \rightarrow 150-260	z=0-10 \rightarrow 80-130 z=10-30 \rightarrow 130-200	z=0 \rightarrow 50-80 \rightarrow 150-180	z=15 500	230
E' op (MPa) = Eo/5	30-50	z=0-10 \rightarrow 15-25 z=10-30 \rightarrow 25-40	z=0 \rightarrow 10-15 z=15 \rightarrow 30-35	100	
v' (-)	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3	0.25-0.3
σ_p' (kPa)		200-300	200-300		
OCR (-)		z=0-3 \rightarrow 3-4 z>8 \rightarrow 1	z=0-5 \rightarrow 3-5 z>8 \rightarrow 1		1
e _o	0,47-0,6	z=0-10 \rightarrow 0.55-0.80 z=10-30 \rightarrow 0.32-45	z=0-10 \rightarrow 0.50-0.72 z=10-25 \rightarrow 0.30-50		0.4
Cc (-)		0.13-0.18	0.18-0.19		0.2
Cs (-)		0.04-0.07	0,07-0,09		0.07
Eed (MPa)		6-10	4-10		6-14
Cv (m ² /s)		E-6 ÷ E-8	E-6 ÷ E-8		E-7 ÷ E-8
GSI (-)					
mi (-)					
σ_c (MPa)				20	1-4
Em (MPa)					
K0 (-)	1-sen(ϕ'_{cv})	(1-sen(ϕ'_{cv}))*(OCR) ^{0,5}	(1-sen(ϕ'_{cv}))*(OCR) ^{0,5}		1-sen(ϕ'_{cv})
k (m/s)	E-3 ÷ E-5	E-5 ÷ E-7	E-8 ÷ E-7	E-7	E-8 ÷ E-10
JRC				8-14	

Strato	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Terreno a ridosso dei piedritti (b1)	20	33	0
Terreno di fondazione (b1)	20	33	0

Sia per il terreno di fondazione che per quello a ridosso dei piedritti, consideriamo le proprietà meccaniche dell'Unità geologica b1 in maniera cautelativa.

7 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame. I pesi dei materiali da costruzione e del terreno sono riportati nella tabella sottostante.

	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	$\alpha_{\text{diffusione}}$ [°]
Calcestruzzo armato	25		45
Ballast + armamento	18		14.04
Sub ballast	19		14.04
Supercompattato	20		33.69
Strato protettivo	21		0
Terreno di ricoprimento (Strato 0)	20	38	38
Terreno a ridosso dei piedritti (strato 1)	20	38	38
Terreno di fondazione (strato 2)	19.5	30	30

7.1 Peso proprio della struttura (DEAD)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo $\gamma=25$ kN/m³.

Peso soletta superiore	P_{ss}	12.5	kN/m
Peso soletta inferiore	P_{si}	12.5	kN/m
Peso piedritti	P_p	12.5	kN/m

7.2 Carichi permanenti portati (PERM)

Bisogna considerare inoltre, in accordo con il D.M. 17/01/2018, il peso della pavimentazione stradale in sommità dello scatolare nell'ambito degli attraversamenti stradali.

Il peso dell'intera pavimentazione stradale risulterà un carico a metro lineare, per unità di larghezza della sede, pari a:

Peso proprio strato di usura	→	$11,0 \times 0,05 \times 1,0 =$	0,55 kN/ml
Peso proprio binder	→	$11,5 \times 0,06 \times 1,0 =$	0,69 kN/ml
Peso proprio strato di base	→	$8,00 \times 0,13 \times 1,0 =$	1,04 kN/ml
Peso proprio impermeabilizzazione	→	$17,0 \times 0,10 \times 1,0 =$	1,80 kN/ml
Peso proprio fondazione (misto granulare)	→	$17,0 \times 0,15 \times 1,0 =$	<u>2,55 kN/ml</u>
Peso Proprio Pavimentazione	→		6,63 kN/ml

7.3 Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX)

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state valutate dal programma di calcolo, utilizzando le proprietà meccaniche del terreno ottenute dalla caratterizzazione geotecnica, ipotizzando il coefficiente di spinta a riposo calcolato tramite l'espressione $K_0 = 1 - \sin \varphi'$.

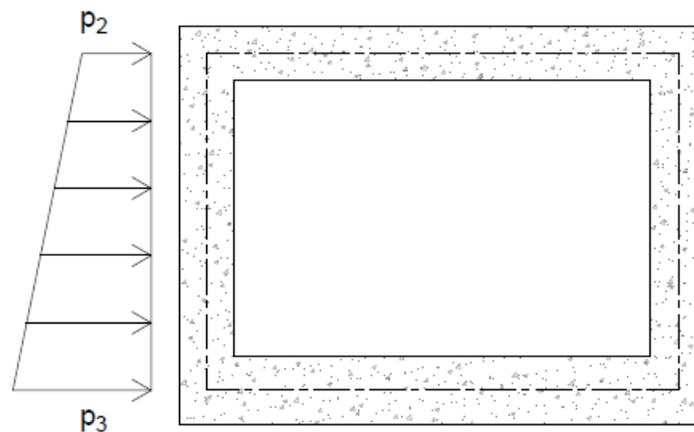


Figura 6. Spinte del terreno.

7.4 Carico stradale

Si assume un carico stradale di 20kN/m.

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

La spinta sui piedritti viene calcolata automaticamente dal software di calcolo, tramite una redistribuzione dei carichi all'interno del terreno.

7.6 Azioni termiche (TERM)

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

7.7 Ritiro (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 $\varphi(t, t_0)$, come definiti nell'Eurocodice 2 – UNI EN 1992-1-1:2005 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 uniforme equivalente agli effetti del ritiro.

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
 Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	13 di 47

Caratteristiche del calcestruzzo

Classe del calcestruzzo		C30/37	
Resistenza a compressione caratteristica cubica	R_{ck}	37	N/mm ²
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	f_{ck}	30	N/mm ²
Resistenza cilindrica media a 28 giorni	f_{cm}	38	N/mm ²
Modulo elastico secante	E_{cm}	33019	N/mm ²
Coefficiente di espansione termica	α	0.000012	1/°C

Caratteristiche geometriche elemento e condizioni ambientali

Area della sezione trasversale di calcestruzzo	A_c	7050000	mm ²
Perimetro della sezione di calcestruzzo esposta all'aria	u	27600	mm
Dimensione convenzionale della sezione trasversale	h_0	511	mm
Umidità relativa ambientale	U	75	%
Classe del cemento (S=Lento, N=Normale, R=Rapido)		R	

Ritiro

Ritiro per essiccamento

Età del calcestruzzo in anni al momento considerato	t	70	anni
Età del calcestruzzo in giorni al momento considerato	t	25550	giorni
Età del calcestruzzo in giorni a maturazione completata	t_s	2	giorni
Coefficiente che dipende da h_0 (EC2 - Prospetto 3.3)	k_h	0.7	
Deformazione base per ritiro da essiccamento	ϵ_{c0}	0.441	‰
Valore medio a $t=\infty$ della deformazione per ritiro da essiccamento	$\epsilon_{cd,\infty}$	0.00030	
Coefficiente per la variabilità della deformazione nel tempo	$\beta_{ds}(t-t_s)$	0.982	
Deformazione da ritiro per essiccamento al tempo "t"	$\epsilon_{cd}(t)$	0.00030	

Ritiro autogeno

Tempo trascorso dal getto		25550	25550	giorni
Deformazione da ritiro autogeno a tempo infinito	$\epsilon_{ca,\infty}$	0.00005		
Coefficiente per la variabilità della deformazione nel tempo	$\beta_{as}(t)$	1.00		
Deformazione da ritiro autogeno al tempo "t" considerato	$\epsilon_{ca}(t)$	0.00005		

Deformazione totale per ritiro

Deformazione totale per ritiro al tempo "t"	$\epsilon_{cs}(t)$	0.00035	
---	--------------------	---------	--

Viscosità [UNI EN 1992-1-1:2005]

Età del calcestruzzo in anni al momento considerato	t	70	anni
Età del calcestruzzo in giorni al momento considerato	t	25550	giorni
Età del calcestruzzo a maturazione completata	t_0	2	giorni
Coefficiente che tiene conto dell'influenza della resistenza del cls	α_1	0.94	
Coefficiente che tiene conto dell'influenza della resistenza del cls	α_2	0.98	
Coefficiente che tiene conto dell'influenza della resistenza del cls	α_3	0.96	
Coefficiente che tiene conto dell'umidità relativa	ϕ_{RH}	1.29	

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113 Relazione di calcolo	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO NI0100 001	REV. A	FOGLIO 14 di 47
--	------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	--------------------

Coefficiente che tiene conto dell'effetto della resistenza del cls	$\beta(f_{cm})$	2.72	
Coefficiente dipendente dall'umidità relativa e dalla dimensione fittizia	β_H	1121	
Coefficiente dipendente dal tipo di cemento	α	1	
Età corretta del calcestruzzo al momento dell'applicazione del carico	t_0	6.19	giorni
Coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'età del cls	$\beta(t_0)$	0.801	
Coefficiente atto a descrivere l'evoluzione della viscosità nel tempo	$\beta_c(t, t_0)$	0.987	
Coefficiente nominale di viscosità	ϕ_0	2.816	
Coefficiente di viscosità al tempo "t" considerato	$\phi(t, t_0)$	2.780	
Modulo elastico al tempo "t"	$E_{cm}(t, t_0)$	8735	MPa
Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro	ΔT_{ritiro}	-29.560	°C

7.8 Azioni sismiche (SismaH, SismaV, SPSPDX/SX)

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

Forza sismica orizzontale: $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale: $F_v = k_v \cdot W$

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

Coefficiente sismico orizzontale: $k_h = \beta_{max} \cdot a_{max}$

Coefficiente sismico verticale: $k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$

In accordo con quanto riportato nel D.M. 17/01/2018, si riportano i parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica:

Latitudine sito	37.9607	°
Longitudine sito	13.7836	°
Vita nominale dell'opera (V_N)	75	anni
Coefficiente d'uso (C_U)	1.5	
Periodo di riferimento (V_R)	112.5	anni
Categoria di suolo	C	
Condizione topografica	T1	
Fattore di struttura (q)	1	

L'azione sismica è stata calcolata con l'ausilio del foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 13,78360 LATITUDINE: 37,96070

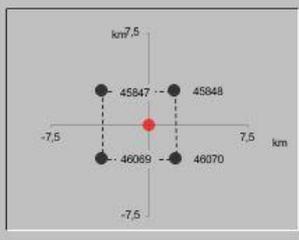
Ricerca per comune

REGIONE: Sicilia PROVINCIA: Palermo COMUNE: Sciara

Elaborazioni grafiche:
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

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

Interpolazione: superficie rigata

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

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N : 75 info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U : 1,5 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R : 112,5 info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R : info

Stati limite di esercizio - SLE:

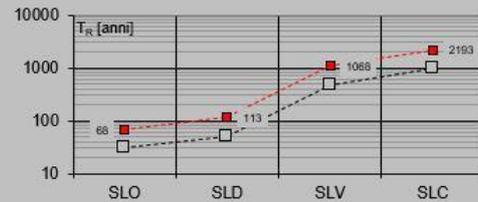
- SLO - $P_{VR} = 81\%$: 68
- SLD - $P_{VR} = 63\%$: 113

Stati limite ultimi - SLU:

- SLV - $P_{VR} = 10\%$: 1068
- SLC - $P_{VR} = 5\%$: 2193

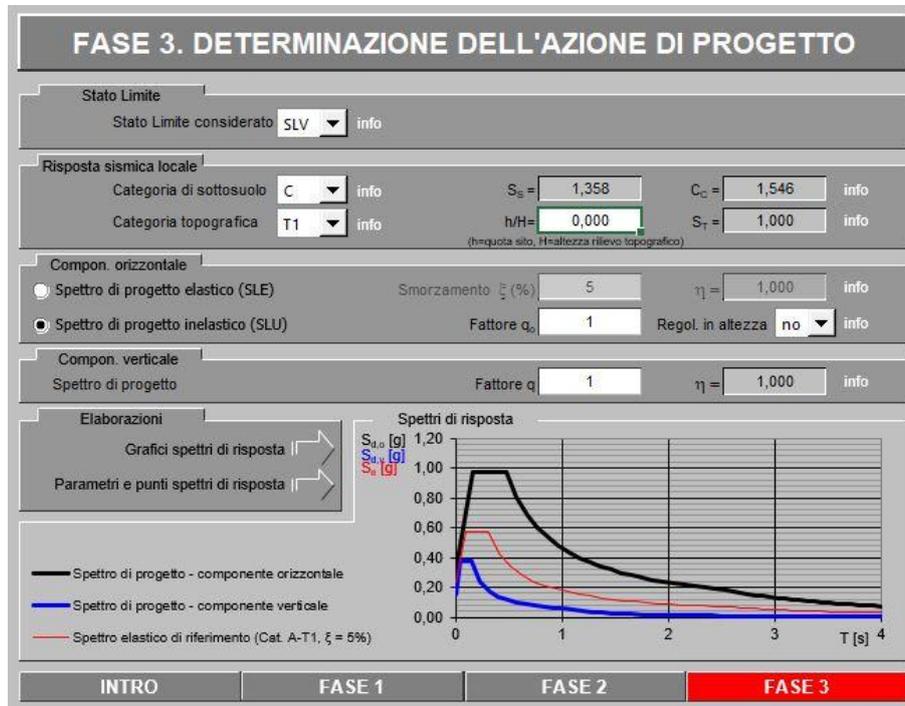
Elaborazioni:
 Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO:
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie
 - - - - - Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3



STATO LIMITE	SLV
a_g	0,235 g
F_o	2,428
T_{C^*}	0,310 s
S_S	1,358
C_C	1,546
S_T	1,000

Coefficiente di riduzione

β_m

1

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Wood, il quale fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata soggetta a deformazioni molto contenute, tali da potere assumere che il terreno si trovi in fase elastica sia in condizioni statiche che durante il sisma. Tale metodo risulta particolarmente adatto in situazioni relative a manufatti scatolari interrati, pozzi d'aggotamento e manufatti di stazione di metropolitane e in generale nei casi in cui le strutture possano essere considerate rigide e completamente vincolate, in modo tale che non possa svilupparsi nel terreno uno stato di spinta attiva. L'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta P_d = \alpha \gamma H^2$$

$$\alpha = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma_I \cdot \frac{1}{r} \cdot S_T$$

Dove H è l'altezza sulla quale agisce la spinta. La quale sarà applicata a metà dell'altezza dell'opera.

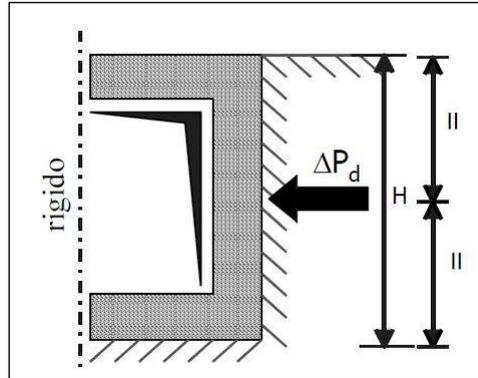


Figura 7 - Metodo di Wood

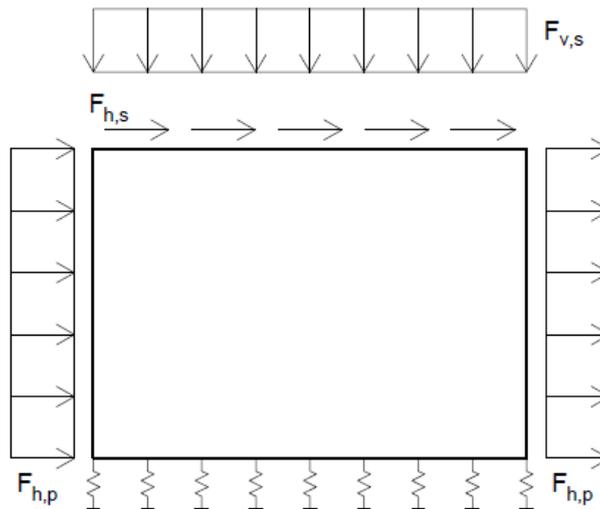


Figura 8. Forze sismiche agenti sulla struttura.

8 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si riportano per comodità le combinazioni delle azioni riportate nella normativa ponti alla quale è possibile fare riferimento per la simbologia adottata:

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

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

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

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

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

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

- Combinazione sismica, generalmente 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:

$$E = \pm 1,00 \cdot E_Y \pm 0,30 \cdot E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0,30 \cdot E_Y \pm 1,00 \cdot E_Z$$

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

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si devono considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV.

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti pedonali
 (**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
 (***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

La Tab. 5.1.V, fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi. I valori dei coefficienti di combinazione Ψ_{0j} , Ψ_{1j} e Ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati nelle tabelle successive.

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

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}$, $\gamma_{\epsilon 3}$, $\gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	20 di 47

- ⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.
⁽²⁾ 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.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE in esecuzione	0,6	0,2	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,8	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico veicolare sono combinate con un coefficiente $\psi_2=0,20$ (§5.1.3.12 del D.M. 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

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

Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

Condizione di carico n°7 (Pacchetto stradale)

Distr Terreno $X_i = -5.00$ $X_f = 8.00$ $V_{ni} = 6.63$ $V_{nf} = 6.63$

Condizione di carico n°8 (Var traff)

Distr Terreno $X_i = -5.00$ $X_f = 8.00$ $V_{ni} = 20.00$ $V_{nf} = 20.00$

Condizione di carico n°9 (DT+5)

Term Traverso $D_{te} = 5.00$ $D_{ti} = 0.00$

Condizione di carico n°10 (DT-5)

Term Traverso $D_{te} = 0.00$ $D_{ti} = 5.00$

Condizione di carico n°11 (DT+15)

Term Traverso $D_{te} = 15.00$ $D_{ti} = 15.00$

Condizione di carico n°12 (DTritiro)

Term Traverso $D_{te} = -30.45$ $D_{ti} = -30.45$

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113

Relazione di calcolo

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RS90

00 Y 78

CL

NI0100 001

A

21 di 47

Si riportano di seguito le combinazioni di carico.

Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 2 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Var traff	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
DT+5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT-5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT+15	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DTritiro	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72

Combinazione n° 4 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Var traff	Sfavorevole	1.15	1.00	1.15
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 5 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Var traff	Sfavorevole	1.35	0.75	1.01
DT+5	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
DT-5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT+15	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DTritiro	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72

Combinazione n° 6 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Var traff	Sfavorevole	1.15	0.75	0.86
DT+5	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 7 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113 Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	22 di 47

Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Var traff	Sfavorevole	1.35	0.75	1.01
DT+5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT-5	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
DT+15	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DTritiro	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72

Combinazione n° 8 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Var traff	Sfavorevole	1.15	0.75	0.86
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 9 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Var traff	Sfavorevole	1.35	0.75	1.01
DT+5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT-5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT+15	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
DTritiro	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72

Combinazione n° 10 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Var traff	Sfavorevole	1.15	0.75	0.86
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 11 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Var traff	Sfavorevole	1.35	0.75	1.01
DT+5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT-5	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DT+15	Sfavorevole	1.20	0.60	0.72
DTritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 12 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Var traff	Sfavorevole	1.15	0.75	0.86
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	23 di 47

Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 19 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 20 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	24 di 47

Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 21 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 22 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 23 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 24 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 25 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 26 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 27 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113

Relazione di calcolo

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RS90

00 Y 78

CL

NI0100 001

A

25 di 47

DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 28 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 29 SLE (Quasi Permanente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 30 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Var traff	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 31 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 32 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 33 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	26 di 47

DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 34 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 35 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Var traff	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 36 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+5	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Var traff	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 37 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT-5	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Var traff	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 38 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DT+15	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Var traff	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DTritiro	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 39 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Pacchetto stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
DTritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA
TRATTA FIUMETORTO - LERCARA DIRAMAZIONE
LOTTO 1+2

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113 Relazione di calcolo	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO NI0100 001	REV. A	FOGLIO 27 di 47
--	-------------------------	-------------------------	-----------------------	--------------------------------	------------------	--------------------

Var traff	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
DT+5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT-5	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
DT+15	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

9 VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

9.1 Verifica SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio, il tasso di lavoro nei materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato.

9.1.1 Verifica alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento quelli previsti da manuale di progettazione [5].

9.1.1.1 Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- Per combinazioni di carico caratteristica (rara): $\sigma_{c,lim} < 0,55 \cdot f_{ck}$;
- Per combinazioni di carico quasi permanente: $\sigma_{c,lim} < 0,40 \cdot f_{ck}$;

9.1.1.2 Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie deve essere rispettato il seguente limite: $\sigma_{s,lim} < 0,75 \cdot f_{yk}$.

9.1.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio è possibile definire l'apertura limite delle fessure secondo il prospetto seguente:

Tabella 1. Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione.

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_{d,lim}$	Stato limite	$w_{d,lim}$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	29 di 47

Risultando:

- $w_1=0,2$ mm;
- $w_2=0,3$ mm;
- $w_3=0,4$ mm.

Per le verifiche a fessurazione del calcestruzzo armato si adotta la classe di esposizione **XA1**.

Tabella 2. Classi di esposizione in relazione alle condizioni ambientali, in conformità alla UNI EN 206-1.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
1. Nessun rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
2. Corrosione indotta da carbonatazione		
XC1	Secco o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immersa in acqua.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzo a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2.
3. Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine).
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.
4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	30 di 47

XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.
5. Attacco di cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calcestruzzo con facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo alla pioggia o all'acqua.
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetto ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua in presenza di agente antigelo oppure ,acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.
6. Attacco chimico		
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acque reflue.
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarichi industriali.

Tale classe di esposizione rientra nelle condizioni ambientali aggressive, come desumibile dalla tabella 4.1.III del D.M. 17/01/2018:

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

Alle prescrizioni normative presenti nell NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dalle specifiche RFI (Specifiche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario – Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del D.M. 17/01/2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

9.2 Verifica SLU

9.2.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC18, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali.

La verifica delle sezioni viene eseguita secondo il metodo degli stati limite basato sulle seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Calcestruzzo non resistente a trazione;
- Perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo.

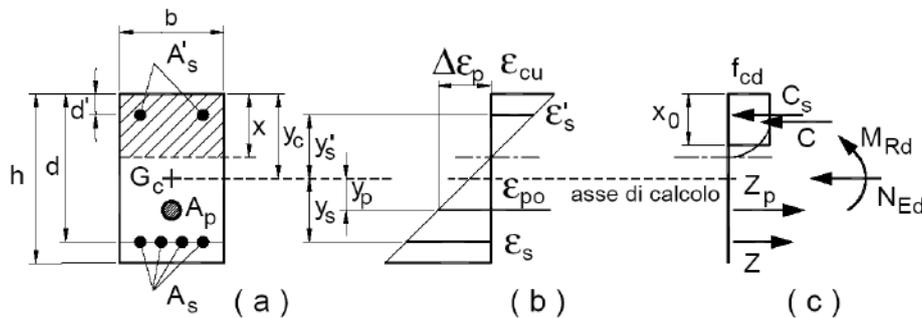


Figura 9. Schema per la valutazione della capacità resistente di una sezione presso-inflessa.

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

- M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;
- N_{Ed} è il valore di calcolo della compressione assiale (sforzo normale) dell'azione;
- M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione

9.2.2 Taglio

9.2.2.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} della membratura a sezione rettangolare priva di specifiche armature trasversali risulta pari a:

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

con

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

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

e dove

d è l'altezza utile della sezione in [mm];

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

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

b_w è la larghezza minima della sezione in [mm]

9.2.2.2 Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio V_{Rd} è pari al minimo tra la resistenza di calcolo a “taglio trazione” V_{Rsd} e la resistenza di calcolo a “taglio compressione” V_{Rcd} .

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

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

essendo θ l'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento che deve soddisfare le seguenti limitazioni:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

e dove si è posto:

A_{sw} area dell'armatura trasversale;

s interasse tra due armature trasversali consecutive;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo ($f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$);

α_c coefficiente maggiorativo pari a

1	per membrature non compresse
$1 + \sigma_{cp} / f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < 0,5 f_{cd}$
$2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < f_{cd}$

10 VERIFICHE GEOTECNICHE – CRITERI GENERALI

10.1 Verifica a carico limite

In accordo con quanto previsto dalle NTC18, la verifica a carico limite verticale risulta essere soddisfatta se:

$$R \leq Q_{lim}$$

In cui R è la risultante di tutte le forze agenti sul piano di posa della fondazione; mentre Q_{lim} è il carico limite verticale valutato con la formula trinomia di Terzaghi. Questa fornisce un carico limite a m², q_{lim} .

$$q_{lim} = N_q \gamma_1 D + N_c c + N_\gamma \gamma_2 B/2$$

in cui

- N_q , N_c , N_γ , sono i coefficienti di carico limite definiti in funzione dell'angolo di attrito interno del terreno e ricavati dal Viggiani;

- γ_1 : peso per unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione (posto pari al peso per unità di volume del terreno in esame, tenendo in conto della falda, come definito nel §4.3, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$);

- D: è la profondità del piano di posa (posta pari all'altezza del blocco $H = 2,5 \text{ m}$);

- c: coesione del terreno (pari a zero per il terreno in esame);

- γ_2 : peso per unità di volume del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione (posto pari al peso per unità di volume del terreno in esame, tenendo in conto della falda, come definito nel §4.3, $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$);

- B: larghezza della fondazione (posta pari alla dimensione nella direzione x, $LX = 2,5 \text{ m}$).

La formulazione del carico limite così definita sarà necessario correggerla in funzione della forma della fondazione, della eccentricità del carico, della inclinazione del carico e della presenza della falda. A tal proposito, nelle verifiche che verranno espone di seguito, si esplicheranno i coefficienti correttivi utilizzati nel caso in esame. Di seguito si espongono invece le formulazioni utilizzate per la valutazione di tali coefficienti.

Forma della fondazione

Forma della fondazione	Rettangolo di lati B ed L (B < L)	Quadrato , Cerchio (B = L)
ζ_q	$1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\varphi)$	$1 + \tan(\varphi)$
ζ_c	$1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{N_q}{N_c}$
ζ_γ	$1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L}$	0,6

Eccentricità del carico

Se la risultante dei carichi applicati in fondazione non passa per il baricentro dell'area di impronta della fondazione stessa, si tiene conto di tale eccentricità considerando una fondazione di dimensioni ridotte.

$$Q_{\lim} = q_{ult} B' L'$$

$$\text{con } B' = B - 2 e_B$$

$$L' = L - 2 e_L$$

Inclinazione del carico

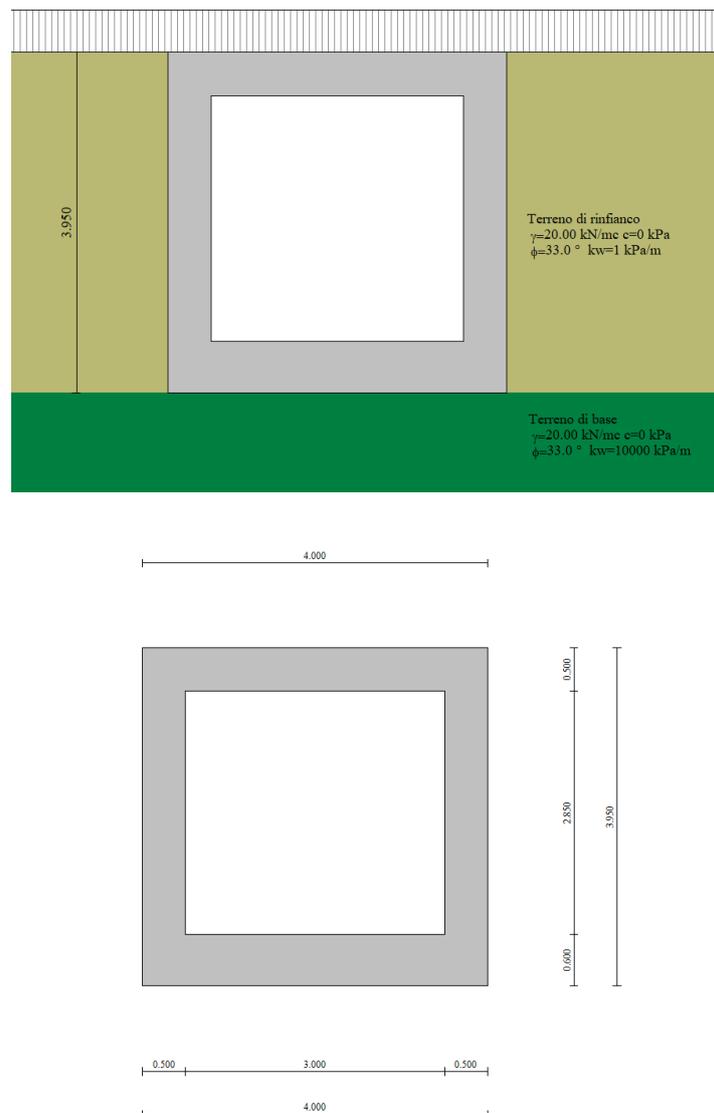
Forma della fondazione	Incoerente	Coesivo	Dotato di attrito e coesione
ξ_q	$[1 - \tan(\delta)]^m$	1	$\left[1 - \frac{q_H}{q_V + c \cdot \cotan(\varphi)}\right]^m$
ξ_c	-	$1 - \frac{m \cdot q_H}{N_c \cdot c}$	$\xi_q - \frac{1 - \xi_q}{N_c \cdot \tan(\varphi)}$
ξ_γ	$[1 - \tan(\delta)]^{(m+1)}$	-	$\left[1 - \frac{q_H}{q_V + c \cdot \cotan(\varphi)}\right]^{(m+1)}$

11 ANALISI E VERIFICA DELLA STRUTTURA

Di seguito si riporta una descrizione della modellazione effettuata con l'ausilio del software di calcolo SCAT v 14.0 prodotto dalla Aztec informatica S.r.l., con una descrizione del modello strutturale implementato e con l'esposizione delle sollecitazioni di calcolo ottenute e risultati delle verifiche effettuate.

11.1 Modello di calcolo

La struttura viene schematizzata con un telaio chiuso su un letto di molle alla Winkler. L'interazione con il terreno è stata simulata utilizzando la caratterizzazione geotecnica così come riportato precedentemente. Di seguito si riporta la schematizzazione effettuata, sia per quello che riguarda la struttura che il terreno.



11.2 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano di seguito i diagrammi di involucro delle caratteristiche della sollecitazione ottenuti.

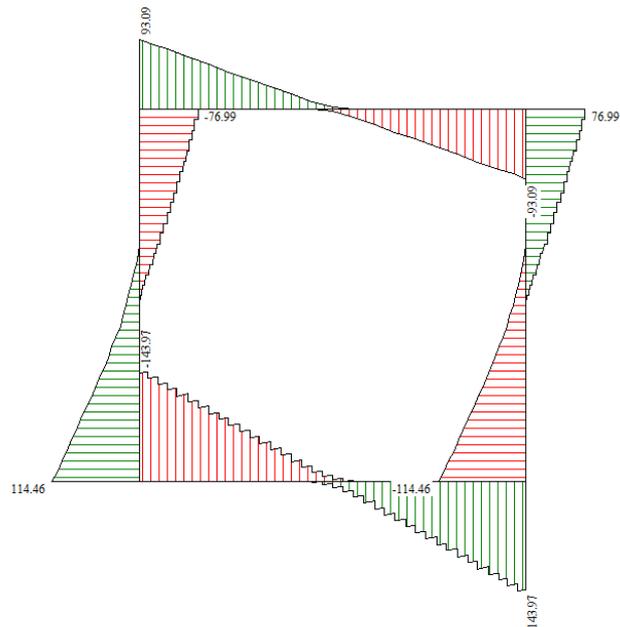


Figura 10. Involucro delle sollecitazioni di taglio – SLU

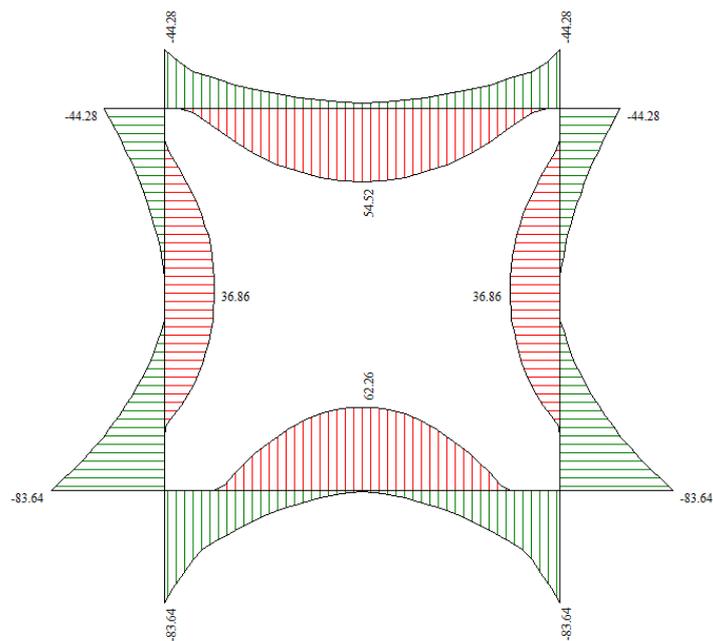


Figura 11. Involucro del momento flettente – SLU

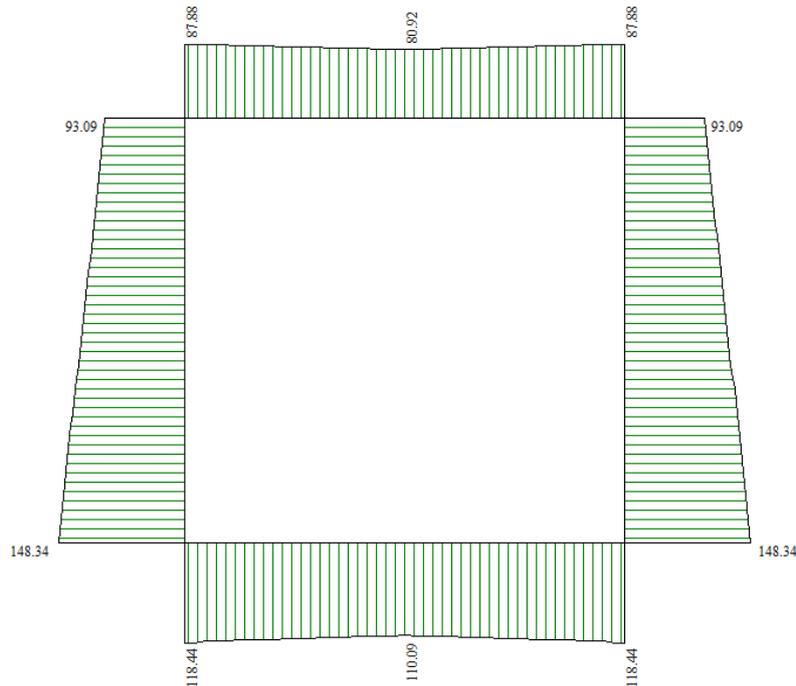


Figura 12. Involuppo dello sforzo normale -SLU

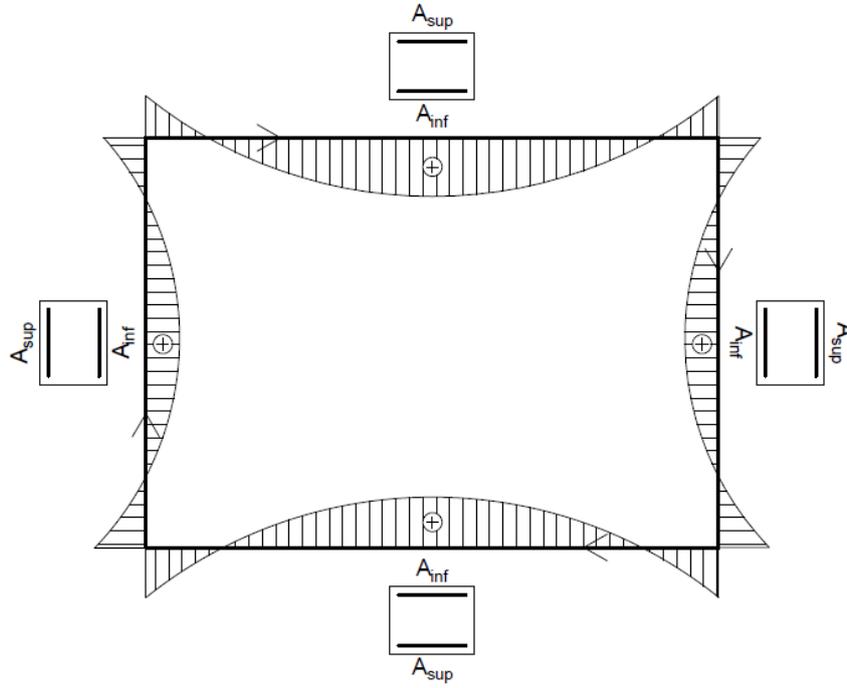
Per l'elenco effettivo di tutte le combinazioni e i valori specifici delle caratteristiche delle sollecitazioni calcolate, si rimanda ai tabulati di calcolo in allegato.

11.3 Verifiche di resistenza allo SLU

Come già anticipato nel §4 la fase di verifica è stata condotta su uno scatolare costituito da una soletta di copertura, piedritti e soletta di fondazione di sezione rettangolare. Per la disposizione della armature longitudinali negli elementi si considera, per convenzione, superiore l'armatura disposta sul lato esterno dello scatolare, inferiore l'armatura disposta sul lato interno del suddetto (vedi figura sottostante).

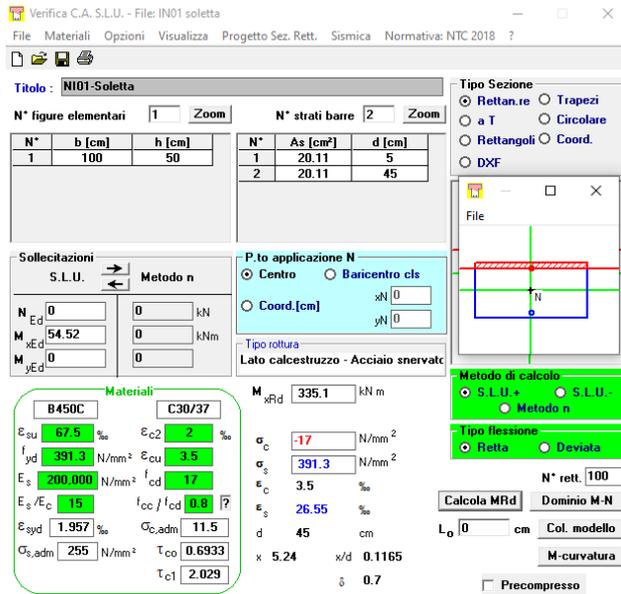
NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
 Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	38 di 47



11.3.1 Soletta di copertura

Si riporta di seguito la verifica a flessione e taglio dell'elemento.



$$A_{s,sup} - \phi 16/10$$

$$A_{s,inf} - \phi 16/10$$

Figura 13. Verifica a flessione della sezione.

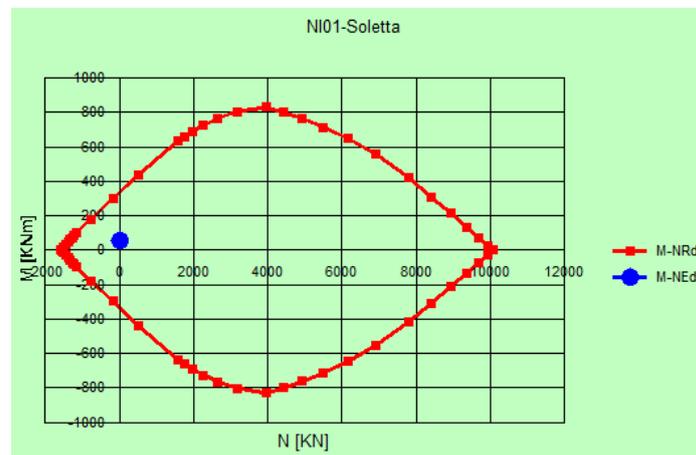


Figura 14. Dominio M-N.

ARMATURA A TAGLIO			
Φ	n° braccia	A_{sw}	s
[mm]	[-]	[cm ²]	[cm]
8	4	2,0	15

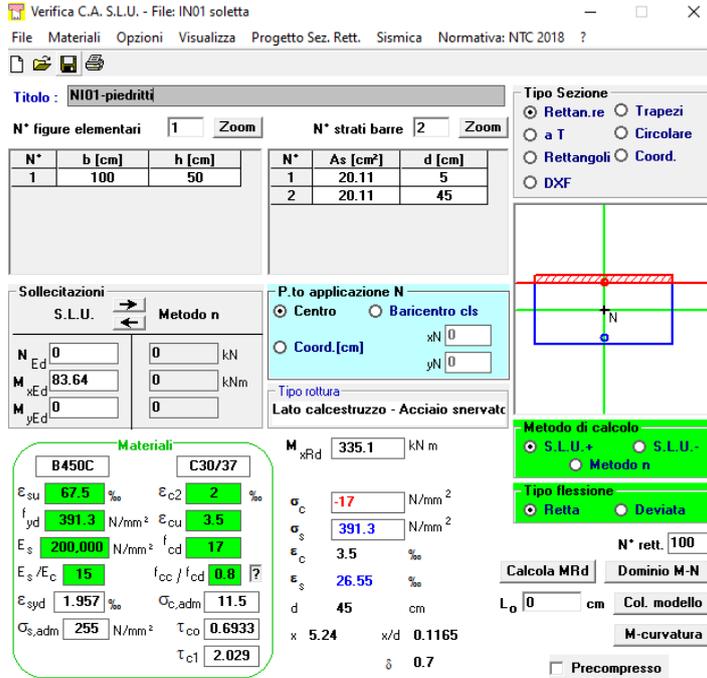
VERIFICA A TAGLIO					
$V_{E,d}$	$V_{Rd,c}$	SI ARM. A TAGLIO	$V_{R,cd}(\theta)$	$V_{R,sd}(\theta)$	$V_{Ed} \leq V_{R,d}$
[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[-]
93,09	208,0		1762,0	212,30	OK

$$\theta = 45$$

$$ctg\theta = 1$$

11.3.2 Piedritti

Si riporta di seguito la verifica a flessione e taglio dell'elemento.



$$A_{s,sup} = \phi 16/10$$

$$A_{s,inf} = \phi 16/10$$

Figura 15. Verifica a flessione della sezione.

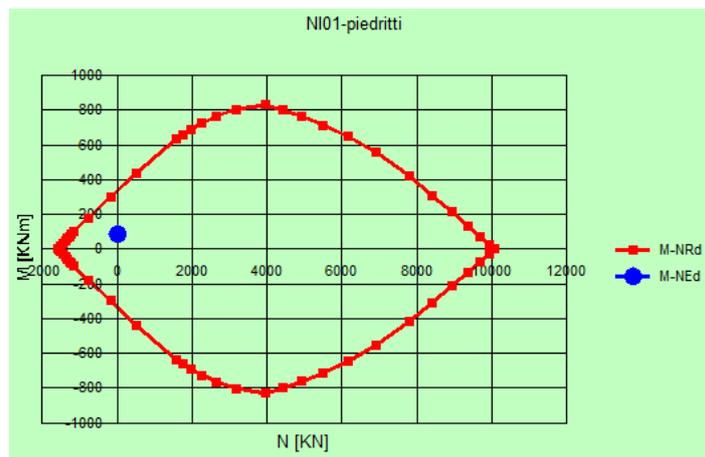


Figura 16. Dominio M-N.

ARMATURA A TAGLIO			
Φ	n° braccia	A_{sw}	s
[mm]	[-]	[cm ²]	[cm]
8	4	2,01	15

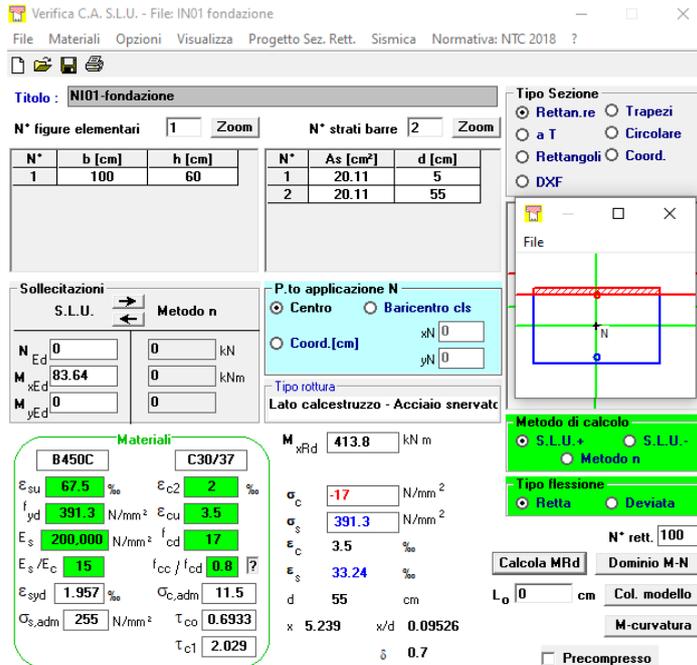
VERIFICA A TAGLIO					
$V_{E,d}$	$V_{R,d,c}$	SI ARM. A TAGLIO	$V_{R,cd}(\theta)$	$V_{R,sd}(\theta)$	$V_{Ed} \leq V_{R,d}$
[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[-]
114,46	208,0		1762,0	212,30	OK

$$\theta = 45$$

$$\text{ctg}\theta = 1$$

11.3.3 Soletta di fondazione

Si riporta di seguito la verifica a flessione e taglio dell'elemento.



$$A_{s,sup} = \phi 16/10$$

$$A_{s,inf} = \phi 16/10$$

Figura 17. Verifica a flessione della sezione.

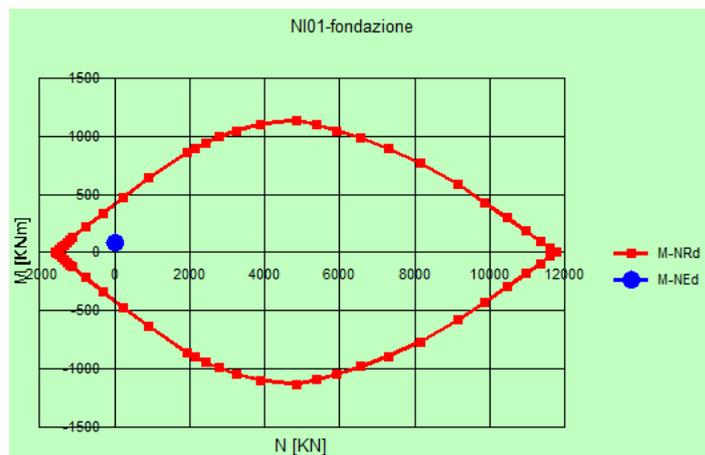


Figura 18. Dominio M-N.

ARMATURA A TAGLIO			
Φ	n° braccia	A_{sw}	s
[mm]	[-]	[cm ²]	[cm]
8	4	2,01	15

VERIFICA A TAGLIO					
$V_{E,d}$	$V_{R,d,c}$	SI ARM. A TAGLIO	$V_{R,cd}(\theta)$	$V_{R,sd}(\theta)$	$V_{Ed} \leq V_{R,d}$
[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[-]
143,97	230,0		1762,0	212,30	OK

$$\theta = 45$$

$$ctg\theta = 1$$

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
 Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	42 di 47

11.4 Verifica a carico limite

Simbologia adottata

IC Indice della combinazione

Nc, Nq, N γ Fattori di capacità portante

N'c, N'q, N'g Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.

qu Portanza ultima del terreno, espressa in [kPa]

QU Portanza ultima del terreno, espressa in [kN]/m

QY Carico verticale al piano di posa, espressa in [kN]/m

FS Fattore di sicurezza a carico limite

IC	Nc	Nq	N γ	N'c	N'q	N'g	qu	QU	QY	FS
1	38.64	26.09	26.17	61.63	33.45	33.55	3985	15938.56	270.43	58.94
2	24.76	13.86	10.21	37.26	17.21	12.67	1867	7466.52	211.42	35.32
3	38.64	26.09	26.17	61.63	33.45	33.55	3985	15938.56	364.93	43.68
4	24.76	13.86	10.21	37.26	17.21	12.67	1867	7466.52	291.92	25.58
5	38.64	26.09	26.17	61.63	33.45	33.55	3985	15938.56	341.31	46.70
6	24.76	13.86	10.21	37.26	17.21	12.67	1867	7466.52	271.79	27.47
7	38.64	26.09	26.17	61.63	33.45	33.55	3985	15938.56	341.31	46.70
8	24.76	13.86	10.21	37.26	17.21	12.67	1867	7466.52	271.79	27.47
9	38.64	26.09	26.17	61.63	33.45	33.55	3985	15938.56	341.31	46.70
10	24.76	13.86	10.21	37.26	17.21	12.67	1867	7466.52	271.79	27.47
11	38.64	26.09	26.17	61.63	33.45	33.55	3985	15938.56	341.31	46.70
12	24.76	13.86	10.21	37.26	17.21	12.67	1867	7466.52	271.79	27.47
13	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.38	233.28	15.49
14	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88
15	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.38	233.28	15.49
16	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88
17	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.37	233.28	15.49
18	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88
19	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.37	233.28	15.49
20	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88
21	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.38	233.28	15.49
22	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
 Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	43 di 47

23	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.38	233.28	15.49
24	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88
25	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.37	233.28	15.49
26	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88
27	38.64	26.09	26.17	20.39	11.93	0.03	903	3613.37	233.28	15.49
28	38.64	26.09	26.17	15.07	8.82	2.24	741	2965.02	175.63	16.88

11.5 Verifiche allo SLE

Per la verifica allo stato limite di esercizio si segue la convenzione delle armature adottata per la verifica allo SLU: armature superiori ed inferiori disposte rispettivamente sui lati esterni ed interni dello scatolare. Si riporta di seguito l'involuppo del momento flettente per le combinazioni allo SLE.

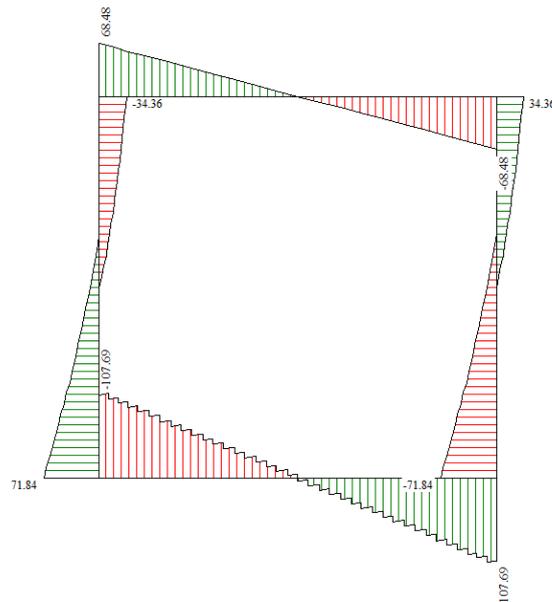


Figura 19. Involuppo del taglio - SLE.

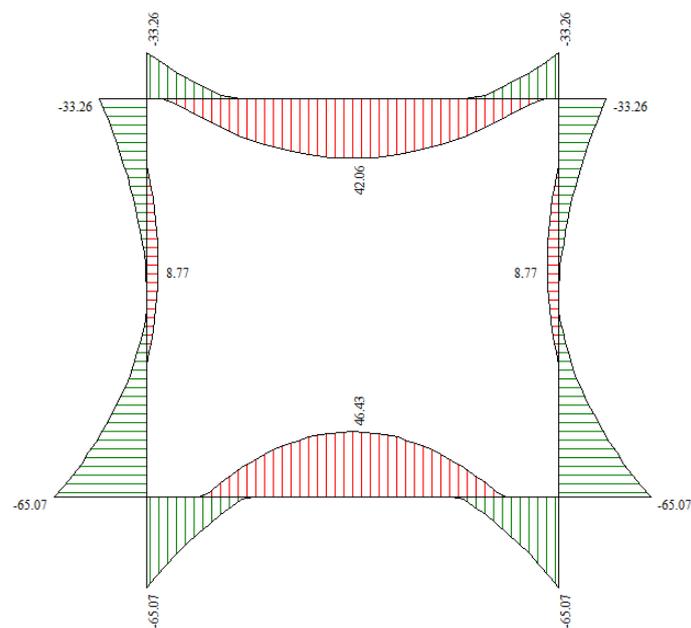


Figura 20. Involuppo del momento flettente - SLE.

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	45 di 47

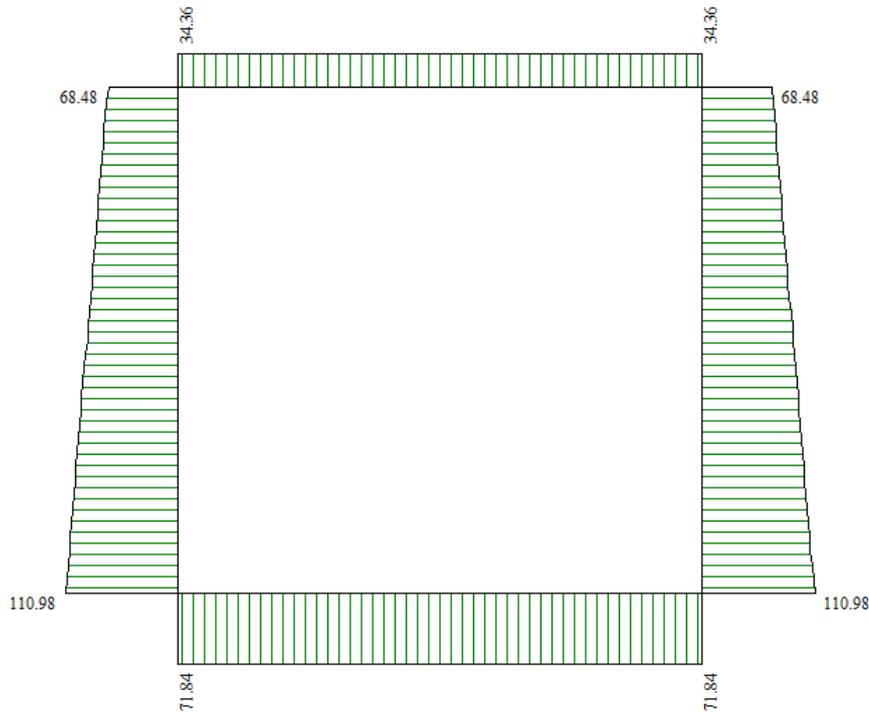


Figura 21. Involuppo dello Sforzo Normale- SLE.

11.5.1 Soletta di copertura

Si riporta di seguito la verifica a fessurazione e delle tensioni di esercizio dell'elemento. Si fa esplicitamente notare che l'ampiezza massima tra tutte le combinazioni considerate è inferiore al più piccolo dei vincoli previsti, ovvero 0,20 mm.

VERIFICA A FESSURAZIONE	
γ_R	$M_{E,d,ES}$
[-]	[kNm]
7,5	42,02

SEZIONE AL I STADIO		SEZIONE NON FESSURATA
I_x	$M_{R,d,I}$	
[cm ⁴]	[kNm]	
1041667	67,6	

SEZIONE AL II STADIO - VERIFICHE SLE					
$x_{n,II}$	$I_{x,II}$	σ_c	$\sigma_c \leq 0,4f_{ck}$	$\sigma_{s,I}$	$\sigma_s \leq 0,75f_{yk}$
[cm]	[cm ⁴]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]
12.35	4.0E+05	1.3	OK	51.4	OK

ε_{sm}	$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \sigma_s/E_s$	Δ_{smax}	w_d	w_{lim}	$w_d \leq w_{lim}$
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	
-0.00013	NO	336.4	0.049	0.2	

σ_s	σ'_s
[MPa]	[MPa]
51.4	11.6

NI01 - Tombino al km 211+100 SS113
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 78	CL	NI0100 001	A	46 di 47

11.5.2 Piedritti

Si riporta di seguito la verifica a fessurazione e delle tensioni di esercizio dell'elemento. Si fa esplicitamente notare che l'ampiezza massima tra tutte le combinazioni considerate è inferiore al più piccolo dei vincoli previsti, ovvero 0,20 mm.

VERIFICA A FESSURAZIONE	
γ_R	$M_{E,d,ES}$
[-]	[kNm]
7,5	65,07

SEZIONE AL I STADIO		SEZIONE NON FESSURATA
I_x	$M_{R,d,I}$	
[cm ⁴]	[kNm]	
1041667	67,70	

SEZIONE AL II STADIO - VERIFICHE SLE					
$x_{n,II}$	$I_{x,II}$	σ_c	$\sigma_c \leq 0,4f_{ck}$	$\sigma_{s,I}$	$\sigma_s \leq 0,75f_{yk}$
[cm]	[cm ⁴]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]
12.35	4.0E+05	2.0	OK	79.5	OK

ε_{sm}	$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \sigma_s/E_s$	Δ_{smax}	w_d	w_{lim}	$w_d \leq w_{lim}$
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	
0.00000	NO	336.4	0.076	0.2	OK

σ_s	σ'_s
[MPa]	[MPa]
79.5	17.9

11.5.3 Soletta di fondazione

Si riporta di seguito la verifica a fessurazione e delle tensioni di esercizio dell'elemento. Si fa esplicitamente notare che l'ampiezza massima tra tutte le combinazioni considerate è inferiore al più piccolo dei vincoli previsti, ovvero 0,20 mm.

VERIFICA A FESSURAZIONE	
γ_R	$M_{E,d,ES}$
[-]	[kNm]
7,5	65,07

SEZIONE AL I STADIO		SEZIONE NON FESSURATA
I_x	$M_{R,d,I}$	
[cm ⁴]	[kNm]	
1800000	97.3	

SEZIONE AL II STADIO - VERIFICHE SLE					
$x_{n,II}$	$I_{x,II}$	σ_c	$\sigma_c \leq 0,4f_{ck}$	$\sigma_{s,I}$	$\sigma_s \leq 0,75f_{yk}$
[cm]	[cm ⁴]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]
13.93	6.2E+05	1.5	OK	64.4	OK

ε_{sm}	$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \sigma_s/E_s$	Δ_{smax}	w_d	w_{lim}	$w_d \leq w_{lim}$
[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	
-0.00007	NO	336.4	0.062	0.2	OK

σ_s	σ'_s
[MPa]	[MPa]
64.4	14.0

11.6 Incidenze di armatura

Come previsto dall'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1:2005) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale. Pertanto nel calcolo delle incidenze è stato applicato un incremento del 20% all'armatura longitudinale ed un ulteriore incremento del 15% per tener conto delle sovrapposizioni delle armature.

Per il calcolo delle incidenze della armature trasversali, è stato considerato un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature e spilli.

- Soletta di copertura: 110 kg/m³
- Piedritti: 110 kg/m³
- Soletta di fondazione: 110 kg/m³