

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI PROGETTI PALERMO

SOGGETTO TECNICO:



DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO
S. O. INGEGNERIA DI PALERMO

PROGETTAZIONE:

SINTAGMA S.r.l. - ITALIANA SISTEMI S.r.l.

TIMBRO E FIRMA DEL PROGETTISTA



PROGETTO DEFINITIVO

CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016

**Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento
per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo**

OPERE CIVILI
STAZIONE DI CALATAFIMI
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

SCALA -

Foglio - di -

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 0 4 8 1 7	S 0 1	P D	T G - -	1 1	0 0 0	E 0 0 0 7

Rev.	Descrizione	Progettista			RFI			
		Redatto	Verificato	Approvato	Verificato Team Ver.	Verificato C.P.	Approvato	Autorizzato
A	Emissione	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18	Ottobre '18
		Geom. Picariello	Ing. Ciaravola	Ing. La Tessa	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo
B	Rev. su Ist. RFI Roma	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19	Giugno '19
		Geom. Picariello	Ing. Ciaravola	Ing. La Tessa	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo

LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.
Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data



SOMMARIO

1.-.. GENERALITÀ.....	3
1.1.-.. Premessa.....	3
1.2.-.. Normativa di riferimento	3
1.3.-.. Caratteristiche dei materiali.....	4
1.3.1.-.. Calcestruzzo	4
1.3.1.-.. Acciaio	5
1.4.-.. Descrizione dell'opera	5
2.-.. MODELLO DI CALCOLO.....	8
2.1.-.. Modello scatolare	8
2.2.-.. Modello geotecnico del terreno	9
3.-.. ANALISI DEI CARICHI ELEMENTARI.....	10
3.1.-.. Carichi permanenti	10
3.1.1.-.. Peso Proprio del sottopasso ($G_{1,1}$)	10
3.1.2.-.. Spinta del terreno ($G_{1,2}$)	10
3.1.3.-.. Peso proprio di Ballast ed Armamento ($G_{2,1}$).....	12
3.2.-.. Carichi variabili.....	12
3.2.1.-.. Azione da traffico ferroviario	12
3.2.1.1.-.. Effetti dinamici.....	13
3.2.1.2.-.. Distribuzione dei carichi ferroviari.....	15
3.2.1.1.-.. Treno di carico LM71	16
3.2.1.2.-.. Treno di carico SW	16
3.2.1.3.-.. Frenatura e avviamento.....	18
3.2.1.4.-.. Posizione dei treni di carico	19
3.2.2.-.. Azioni termiche	19
3.2.3.-.. Carico neve.....	19
3.3.-.. Azioni sismiche	20
3.3.1.-.. Pericolosità sismica	20
3.3.1.1.-.. Spinta sismica del terreno	22
3.4.-.. Azioni indirette: Ritiro	22
3.5.-.. Combinazioni di carico	23

3.5.1.-.. Condizioni di carico	27
3.5.1.-.. Combinazioni di carico	29
4.-.. RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE	46
4.1.-.. Inviluppo delle caratteristiche di sollecitazione	46
4.2.-.. Verifiche strutturali	51
4.2.1.-.. Verifiche allo Stato Limite Ultimo.....	51
4.2.1.1.-.. Verifica Fondazione.....	52
4.2.1.1.-.. Verifica Traverso	54
4.2.1.2.-.. Verifica Piedritti	56
4.2.2.-.. Verifiche allo Stato Limite di Esercizio.....	58
4.2.2.1.-.. Verifica delle tensioni in esercizio	58
4.2.2.1.1.-.. Verifica Fondazione	58
4.2.2.1.1.-.. Verifica Traverso.....	59
4.2.2.1.1.-.. Verifica Piedritti	60
4.2.2.2.-.. Verifica allo stato limite di fessurazione	61
4.2.2.3.-.. Verifica dello stato limite di deformazione.....	66
4.1.-.. Verifiche geotecniche	67
5.-.. ANALISI DELLE STRUTTURE SECONDARIE	70
5.1.-.. Rampe scale	70
5.1.-.. Nucleo ascensore	72

1.-..GENERALITÀ

1.1.-..PREMESSA

La presente relazione di calcolo si inserisce nell'ambito della Progettazione Definitiva per il ripristino della linea ferroviaria Alcamo Diramazione - Trapani (via Milo) chiusa nel 2013 per condizioni di degrado diffuso non più risolvibili con interventi di manutenzione ordinaria né straordinaria. Nello specifico, nei capitoli a seguire si espongono tutte le scelte tecniche e le relative verifiche di sicurezza condotte nei confronti del nuovo sottopassaggio previsto nella stazione di Calatafimi alla pk81+360, a seguito del ripristino di esercizio del fabbricato di stazione.



Figura 1 –Aerofoto stato dei luoghi

1.2.-..NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti in conformità alle normative vigenti con particolare riferimento a:

- **Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018 (NTC18)** “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Norma Europea UNI ENV 1990 – **Eurocodice 0** - Basi di calcolo;
- Norma Europea UNI ENV 1991 – **Eurocodice 1** - Azioni sulle strutture;
- Norma Europea UNI ENV 1992 – **Eurocodice 2** – Progettazione delle strutture in calcestruzzo;
- Norma Europea UNI ENV 1997 – **Eurocodice 7** – Progettazione Geotecnica;

- Norma Europea UNI EN 1198 – **Eurocodice 8** – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.

Inoltre si sono sempre tenute presenti le indicazioni e le restrizioni di cui alle norme ferroviarie tra cui:

- **RFI DTC SI PS MA IFS 001 B** - Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e strutture;

1.3.-..CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.3.1.-..Calcestruzzo

Rif: UNI EN 206-1 (Specificazione, prestazione, produzione e conformità)
 UNI 11104 (Istruzioni complementari per l'applicazione della UNI EN 206)

- Magrone di fondazione C12/15

Classe di esposizione	X0	
Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m ³
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	15MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	12MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	20MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	27085MPa

- Struttura sottopasso C32/40

Classe di esposizione	XC4	
Classe di consistenza	S3,S4	
Contenuto minimo di cemento	340kg/m ³	
Rapporto acqua/cemento	0,5	
Copriferro	$\geq 4,0$ cm	
Tipo di cemento	CEM III/V	
Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m ³
Resistenza Cubica Caratteristica a compressione	$R_{ck} =$	40MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a compressione	$f_{ck} =$	33,2MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41,2MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	33643MPa
Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU	$\gamma_C =$	1,5
Resistenza Cilindrica media a trazione	$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	3,10MPa
Resistenza Cilindrica Caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} =$	2,17MPa
Resistenza di Calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1,45MPa
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1,2 \cdot f_{ctm} =$	3,72MPa
Resistenza Cilindrica caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{cfm} =$	2,60MPa

1.3.1.-..Acciaio

- Acciaio per c.a. e paratia di pali tipo B450 C

Peso Specifico	$\gamma =$	78.5kN/m ³
Modulo Elastico	$E =$	206000MPa
Resistenza caratteristica allo snervamento	$f_{yk} =$	450MPa
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} =$	540MPa
Coefficiente di sicurezza allo SLU	$\gamma_s =$	1,15
Resistenza di calcolo allo SLU	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391,3MPa

1.4.-..DESCRIZIONE DELL'OPERA

A seguito del ripristino della linea ferroviaria Alcamo Diramazione - Trapani (via Milo), in corrispondenza della stazione di Calatafimi è prevista la riconfigurazione funzionale di quest'ultima con l'obiettivo di un miglioramento della fruibilità da parte dei passeggeri.

In particolare, attualmente il piazzale di stazione di sviluppa a raso con il piano dei binari; questo comporta l'attraversamento pedonale dei binari causando non pochi disagi. Pertanto, viene proposta una nuova configurazione funzionale dell'intero piazzale mediante l'inserimento di un sottopasso pedonale che attraversa gli unici due binari che rimarranno a servizio della stazione.

Il sottopasso pedonale oggetto di calcolo ha una geometria come segue:

- $S_{SUP} = 0,50m$ (altezza del solettone di copertura);
- $S_{INF} = 0,50m$ (altezza del solettone di fondo);
- $S_1 \cong S_2 = 0,50m$ (spessore del piedritti);
- $L_1 = 4,25m$ (larghezza totale sottopasso);
- $L_2 = 3,25m$ (larghezza interna sottopasso);
- $L_C = 11,90m$ (lunghezza totale del sottopasso);
- $H_1 = 3,95m$ (altezza totale sottopasso);
- $H_2 = 2,95m$ (altezza interna sottopasso);

Di seguito si riporta una vista schematica di quanto appena descritto.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
6 / 83

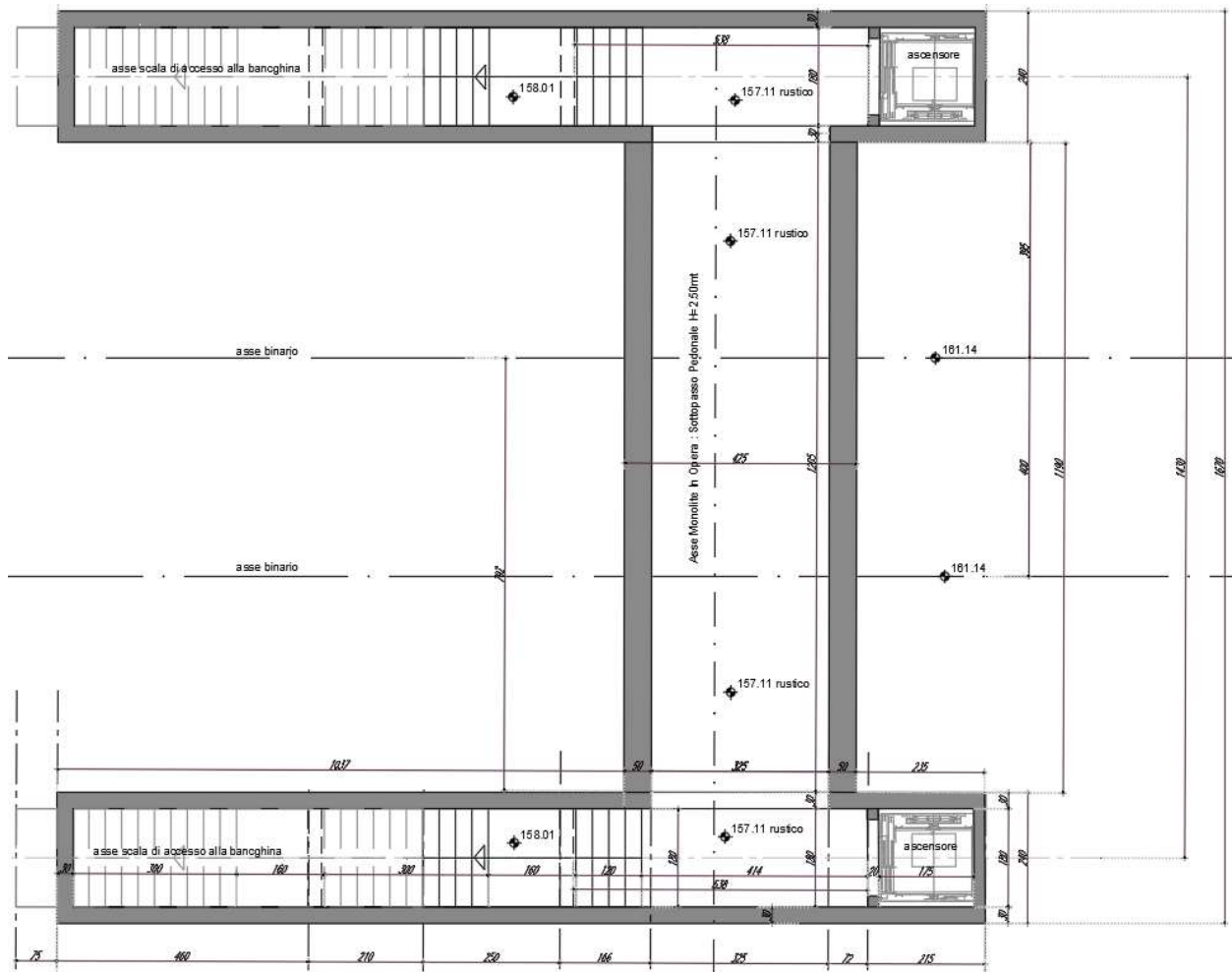


Figura 2 – Planimetria di progetto

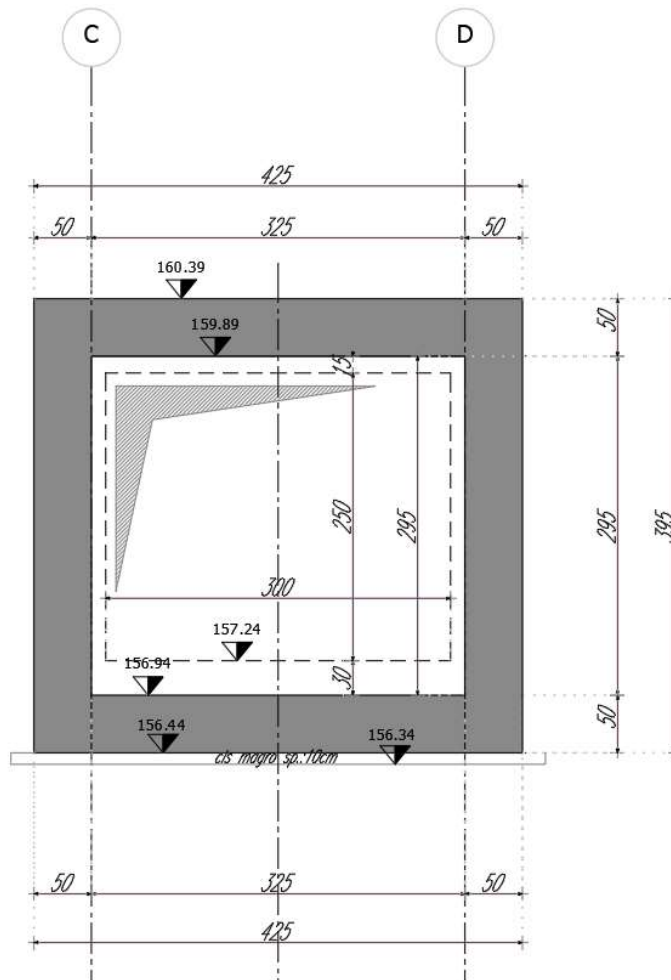



Figura 3 –Sezione trasversale sottopasso

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici dedicati.

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>	<p>PAGINA 8 / 83</p>

2.-..MODELLO DI CALCOLO

2.1.-..MODELLO SCATOLARE

Con riferimento a quanto sopra descritto, per le verifiche strutturali la struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano di dimensioni pari a quelle della sezione trasversale del sottopasso. Il telaio piano così definito viene risolto mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente esso viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi. Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler), in cui l'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa. In assenza di prove di carico su piastra il valore della costante di sottofondo viene valutato a partire da valori consigliati indicati da Viggiani¹. In particolare, per terreni incoerenti quali quelli in sito, si ha:

$$K_w = k_1 \left(\frac{B+b}{2B} \right)^2 ;$$

Dove:

$^1k_1 = 17,5 \text{ kg/cm}^3$	costante di sottofondo ricavata da prova su piastra;
$B = 4,25\text{m}$	larghezza fondazione;
$b = 0,30\text{m}$	dimensione piastra di prova;
$K_w \cong 5,01 \text{ kg/cm}^3$	costante di sottofondo verticale;
$K_o = K_w/3 = 1,67 \text{ kg/cm}^3$	costante di sottofondo orizzontale.

La scelta di utilizzare delle molle alla Winkler anche sui setti laterali ha il fine di ottenere un comportamento più realistico della struttura in esame. Infatti, data la presenza di azioni parallele al binario, quali azione sismica, avviamento e frenatura etc., l'azione del terreno di rinfianco sulle pareti laterali non dipende solo dalle sue caratteristiche intrinseche (geometria, carichi gravanti, angolo di attrito, etc.) ma anche da una reazione, ipotizzata di tipo elastico, dovuta agli spostamenti dello scatolare contro il terreno di rinfianco. I modelli numerici sono stati implementati mediante il codice di calcolo agli elementi finiti, di comprovata validità, SCAT v11.01a (di seguito SCAT) della Aztec Informatica.

Nella figura seguente si illustra il modello FEM utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni.

¹ Da: Fondazioni, aut.: C. Viggiani, ed.: Hevelius, par.: 9.3.3

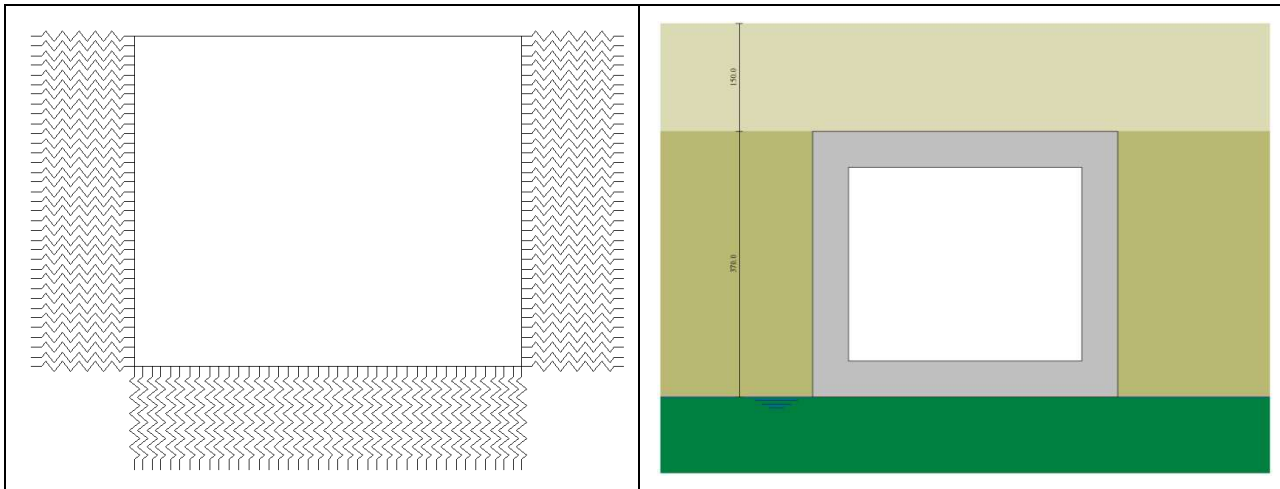


Figura 4 –Modello piano agli elementi finiti del sottopasso


2.2.-..MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO

Di seguito si riportano i parametri fisico-meccanici dei terreni interessati dalle nuove strutture oggetto della presente relazione di calcolo. Tali parametri derivano da una campagna di indagini effettuata da Italferr nel 2018.

A valle di ciò si riconoscono i seguenti parametri geotecnici.

- **da q.ta 0.00m a q.ta -0.80m da p.c. (spessore 0.80m): Ballast + Armamento**
 - $\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$ peso per unità di volume
 - $\varphi = 0^\circ$ angolo di attrito interno
 - $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata
- **da q.ta -0.00m a q.ta -4.50m da p.c. (spessore 3.70m): Limi sabbiosi di colore marrone chiaro**
 - $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso per unità di volume
 - $\varphi = 27^\circ$ angolo di attrito interno
 - $c' = 5 \text{ kPa}$ coesione drenata
- **da q.ta -4.50m a q.ta -30.00m da p.c. (spessore 25.50m): Argille dure di colore grigiastro**
 - $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso per unità di volume
 - $\varphi = 27^\circ$ angolo di attrito interno
 - $c' = 5 \text{ kPa}$ coesione drenata

La falda è presente ad una q.ta di circa -5.00m dal locale p.c..

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI
CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007	TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE	PAGINA 10 / 83

3.-..ANALISI DEI CARICHI ELEMENTARI

Il dimensionamento della struttura viene effettuato sulla base delle azioni elementari riportate nei successivi paragrafi.

3.1.-..CARICHI PERMANENTI

3.1.1.-..Peso Proprio del sottopasso ($G_{1.1}$)

Il Peso Proprio del solettone di copertura (P.P.COP) viene tenuto in conto direttamente dal software di calcolo di riferimento una volta definite le geometrie ed il materiale ($\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$).

3.1.2.-..Spinta del terreno ($G_{1.2}$)

La spinta del terreno agente sul sottopasso in c.a. viene calcolata automaticamente dal programma di calcolo utilizzato adoperando il metodo di Coulomb.

La teoria di Coulomb considera l'ipotesi di un cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea. Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera. In particolare Coulomb ammette, al contrario della teoria di Rankine, l'esistenza di attrito fra il terreno e la parete, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale alla parete stesso di un angolo di attrito terra-parete.


L'espressione della spinta esercitata da un terrapieno, di peso di volume γ , su una parete di altezza H, risulta espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione (per terreno incoerente):

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot k_a$$

k_a rappresenta il coefficiente di spinta attiva di Coulomb nella versione riveduta da Muller-Breslau, espresso come:

$$k_a = \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[1 + \frac{\sqrt{[\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)]}}{\sqrt{[\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)]}} \right]^2}$$

dove φ è l'angolo d'attrito del terreno, α rappresenta l'angolo che la parete forma con l'orizzontale ($\alpha = 90^\circ$ per parete verticale), δ è l'angolo d'attrito terreno-parete, β è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale. La spinta risulta inclinata dell'angolo d'attrito terreno-parete δ rispetto alla normale alla parete.

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>	
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>		<p>PAGINA 11 / 83</p>

Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto. Il punto di applicazione della spinta si trova in corrispondenza del baricentro del diagramma delle pressioni (1/3 H rispetto alla base della parete). L'espressione di k_a perde di significato per $\beta > \varphi$. Questo coincide con quanto si intuisce fisicamente: la pendenza del terreno a monte della parete non può superare l'angolo di natural declivio del terreno stesso.

Nel caso di terreno dotato di attrito e coesione c l'espressione della pressione del terreno ad una generica profondità z vale:

$$\sigma_a = \gamma \cdot z \cdot k_a - 2c \cdot \sqrt{k_a}$$

Spinta in presenza di falda

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

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

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

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana). La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.


Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parete pari a:

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h / (1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h .

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da:

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>	
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>		<p>PAGINA 12 / 83</p>

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cdot \cos\theta}$$

Tale incremento di spinta deve essere applicato ad una distanza dalla base pari a 1/2 dell'altezza della parete.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali che si destano per effetto del sisma. Tale forza viene valutata come

$$F_i = CW$$

dove W è il peso della parete e dei relativi sovraccarichi permanenti e va applicata nel baricentro dei pesi.

3.1.3.-..Peso proprio di Ballast ed Armamento (G_{2.1})

La determinazione del carico permanente portato dovuto al peso della massicciata, dell'armamento e della impermeabilizzazione (inclusa la protezione) potrà effettuarsi assumendo, convenzionalmente, per linea in rettilineo, un peso di volume pari a 18,0kN/m³ applicato su tutta la larghezza media compresa fra i muretti paraballast, per una altezza media fra piano del ferro ed estradosso della soletta pari a 0,80m.

Pertanto, si ha:

$$P \cdot P_{\text{BALL+ARM}} = \gamma_{\text{BALL+ARM}} \times 0,80 \times 1,00\text{m} = 18 \times 0,80 \times 1,00 = 14,4\text{kN/m.}$$

3.2.-...CARICHI VARIABILI

3.2.1.-..Azione da traffico ferroviario

Nell'ambito del sottopasso ferroviario, si è fatto riferimento al D.M. 17/01/2018 (§5.2), considerando i carichi variabili da azioni da traffico ferroviario:

"I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale (LM71) e pesante (SW).

I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento "α", variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere, metropolitane, ecc.)", come definito in Tab. 2.5.1.4.1-1 Coefficiente "α" del MdP RFI 2018 e di seguito riportata.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE “α”
LM71	1,10
SW/0	1,10
SW/2	1,00

3.2.1.1.--Effetti dinamici

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture del ponte dall’applicazione statica dei modelli di carico debbono essere incrementati per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli. Gli effetti di amplificazione dinamica dovranno valutarsi nel modo seguente:

- per le usuali tipologie di ponti e per velocità di percorrenza non superiore a 200 km/h e ponte non continuo, quando la frequenza propria della struttura ricade all’interno del fuso indicato in Fig. 5.2.7 delle NTC18, è sufficiente utilizzare i coefficienti dinamici Φ definiti di seguito;
- per le usuali tipologie di ponti, ove la velocità di percorrenza sia superiore a 200 km/h e quando la frequenza propria della struttura non ricade all’interno del fuso indicato in Fig. 5.2.7 delle NTC18 e comunque per le tipologie non convenzionali (ponti strallati, ponti sospesi, ponti di grande luce, ponti metallici difformi dalle tipologie in uso in ambito ferroviario, ecc.) dovrà effettuarsi una analisi dinamica adottando convogli “reali” e parametri di controllo specifici dell’infrastruttura e del tipo di traffico ivi previsto.

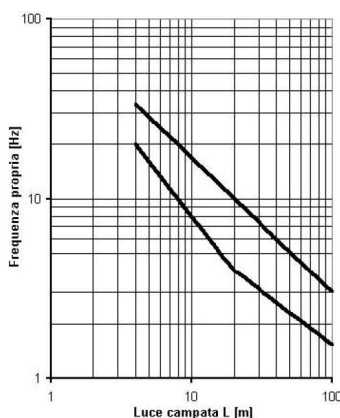


Fig. 5.2.7 - Limiti delle frequenze proprie n_0 in Hz in funzione della luce della campata

Nel caso specifico ci troviamo nel primo caso ed in presenza di uno schema statico (a vantaggio di statica) di trave semplicemente appoggiata per cui la prima frequenza flessionale può valutarsi come segue:

$$n_0 = \frac{17,75}{\sqrt{\delta_0}} = \frac{17,75}{\sqrt{0,20}} = 39,6\text{Hz};$$

In cui:

- δ_0 : rappresenta la freccia, espressa in mm, valutata in mezzeria dovuta alle azioni permanenti che sono il peso proprio del solettone di copertura ($P.P.SOL = \gamma_{cls} \times S_{SUP} = 25 \times 0,5 = 12,5 \text{ kN/m}$) ed il Ballast+Armamento (14,4kN/m)

$$\delta_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L_C^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{26,9 \cdot 3750^4}{33643 \cdot 1,04 \cdot 10^{10}} = 0,20 \text{ mm};$$

$$q = P.P.SOLETTONE + P.P.BALL+ARM = 12,5 + 14,4 = 26,9 \text{ kN/m};$$

$$I = \frac{b \cdot H^3}{12} = \frac{1000 \cdot 500^3}{12} = 1,04 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4;$$

che rientra nei limiti del fuso:

$$n_{0,SUP} = 94,76 \cdot L_C^{-0,748} = 94,76 \cdot 3,75^{-0,748} = 40,1 \text{ Hz};$$

$$n_{0,INF} = 80/L_C = 80/3,75 = 21,3 \text{ Hz};$$

per cui si ha:

$$n_{0,INF} \leq n_0 \leq n_{0,SUP}$$

Trattandosi di una linea con ridotto standard manutentivo, il coefficiente di incremento dinamico Φ si calcola come:

$$\Phi_3 = 1,35;$$

In cui:

- L_Φ è la lunghezza caratteristica in metri definita come definito in Tab. 5.2.II delle NTC18.

In tale tabella sono definiti le lunghezze “caratteristiche” per varie tipologie costruttive di ponti, in particolare di seguito si riporta la parte afferente a strutture a “travi principali”.

In particolar modo, per il sottovia in oggetto essendo rispettati i limiti di cui al punto 5.4:

- Sottovia di altezza libera $\leq 5,0 \text{ m}$, essendo pari a 2,95m;
- Luce libera $\leq 8,0 \text{ m}$, essendo pari a 3,25m.

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: $L_m = 1/n \cdot (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$	$L_\phi = kL_m$ dove: $n = 2 - 3 - 4 - \geq 5$ $k = 1,2 - 1,3 - 1,4 - 1,5$
	5.3 Portali: - a luce singola - a luci multiple	da considerare come trave continua a tre luci (usando la 5.2 considerando le altezze dei piedritti e la lunghezza del traverso) 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 $\leq 5,0$ m e luce libera $\leq 8,0$ m). 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 del Φ 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

In definitiva si ha:

Calcolo coeff di amplificazione dinamica			
$L_m \equiv L_C$	=	3,75 [m]	Luce di calcolo solettone di copertura
Φ_3	=	1,35 [-]	Coefficiente dinamico

3.2.1.2. -- Distribuzione dei carichi ferroviari

I sovraccarichi ferroviari si distribuiscono con una pendenza 4 a 1 all'interno del ballast, con la pendenza a 45° nel sub-ballast, super compattato, rinterro e all'interno del CLS – per cui la diffusione del carico in senso trasversale all'asse binario risulta pari a:

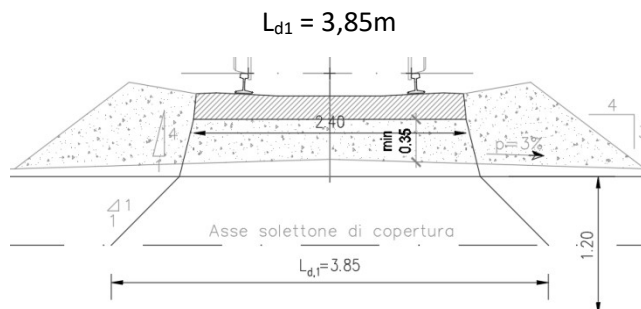


Figura 5 – Ripartizione trasversale dei treni di carico.

3.2.1.1.-...Treno di carico LM71

Il treno di carico LM 71 è costituito da 4 assi verticali da 250 kN con interasse di 1,60m e carico distribuito (segmentabile) di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,80m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata. La distribuzione dei carichi del treno LM 71 è rappresentata di seguito.

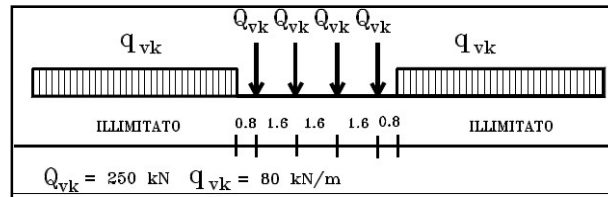


Figura 6 – Treno di carico LM 71.

Carico LM 71 ripartito a metro di profondità

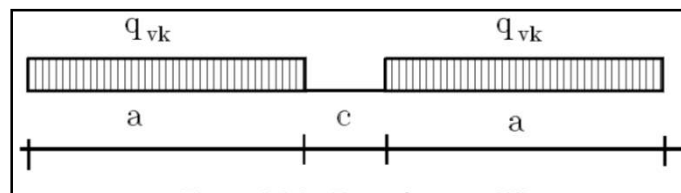
α	=	1,10	[-]	coefficiente di adattamento
Φ_3	=	1,35	[-]	coefficiente di amplificazione dinamica
$L_{d,1}$	=	3,85	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
LM 71				
Q_{1vk}	=	250	[kN]	carico asse caratteristico
Q_{1v}	=	$250 \times 1,10 \times 1,35 = 371,3$	[kN]	carico asse caratteristico dinamizzato + adattamento
L_1	=	6,40	[m]	impronta quattro assi
q_{1vk}	=	$(371,3 \times 4) / 6,4 = 232,0$	[kN/m]	Carico di 4 assi ripartito su 6,40m
q_{1vk}	=	$232,0 / 3,85 = 60,3$	[kN/m]	Carico di 4 assi ripartito in direzione trasversale al binario
q_{2vk}	=	$80 \times 1,10 \times 1,35 = 118,8$	[kN/m]	Carico distribuito caratteristico LM71
q_{2vk}	=	$118,8 / 3,85 = 30,9$	[kN/m]	Carico distribuito in direzione trasversale al binario

Tabella 1 – Treno di carico LM71.

3.2.1.2.-...Treno di carico SW

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

L'articolazione del carico è mostrata nella figura sottostante; per tale modello di carico sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 ed SW/2. Le caratterizzazioni di entrambe queste configurazioni sono indicate nella Tab. 5.2.I delle NTC18 e di seguito riportata.


Figura 7 – Treno di carico SW
Tab. 5.2.I - Caratteristiche Modelli di Carico SW

Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

In riferimento, alla larghezza di diffusione del carico, vale quanto detto in precedenza (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Carico SW/0 ripartito a metro di profondità

α	= 1,10	[-]	coefficiente di adattamento
Φ_3	= 1,35	[-]	coefficiente di amplificazione dinamica
$L_{d,1}$	= 3,85	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
SW/0			
a	= 15,00	[m]	linea di carico
c	= 5,3	[m]	
q_{3vk}	= $133 \times 1,10 \times 1,35 = 197,5$	[kN/m]	
q_{3vk}	= $197,5 / 3,85 = 51,3$	[kN/m]	Carico SW/0 ripartito trasversalmente al binario

Carico SW/2 ripartito a metro di profondità

α	= 1,00	[-]	coefficiente di adattamento
Φ_3	= 1,35	[-]	coefficiente di amplificazione dinamica
$L_{d,1}$	= 3,85	[m]	lunghezza di diffusione del carico in senso trasversale al binario
SW/2			
a	= 25,0	[m]	linea di carico
c	= 7,0	[m]	
q_{3vk}	= $150 \times 1,00 \times 1,35 = 202,5$	[kN/m]	
q_{3vk}	= $202,5 / 3,85 = 52,6$	[kN/m]	Carico SW/2 ripartito trasversalmente al binario

Tabelle 2 – Treno di carico SW/0 e SW/2.

In accordo con quanto previsto al §5.2.2.2.1.2 delle NTC18: "*I'SW/0 andrà utilizzato solo per le travi continue qualora più sfavorevole dell'LM71*", il treno di carico SW/0 non è stato messo in conto nelle analisi in quanto non si tratta di trave continua.

3.2.1.3.-.Frenatura e avviamento

Le sollecitazioni di frenatura ed avviamento agenti sulla sommità dei binari ed in direzione longitudinale degli stessi valgono secondo quanto indicato nella seguente tabella:

SOLLECITAZIONE	TRENO DI CARICO	CARICO [kN/m]
Avviamento	LM 71 – SW0 – SW2	33
Frenatura	LM 71 – SW0	20
Frenatura	SW2	35

Tabella 3 – avviamento e frenatura.

Le azioni di avviamento e frenatura saranno combinate con i relativi carichi verticali (per modelli di carico SW/0 ed SW/2 saranno tenute in conto solo le parti di struttura che sono caricate in accordo con la figura precedente degli schemi di carico).

Così come indicato sul MdP RFI 2018 §2.5.1.4.3.3, "*i valori caratteristici dell'azione di frenatura e di quella di avviamento devono essere moltiplicati per α e non devono essere moltiplicati per Φ* ". Pertanto, tenendo conto di ciò e distribuendo tali carichi su una larghezza di diffusione pari allo scartamento s delle rotaie, si ha:

Avviamento e frenatura LM71 ed SW/0

$$\alpha = 1,10 \quad [-] \quad \text{Coefficiente di adattamento}$$

$$s = 1,435 \quad [\text{m}] \quad \text{Scartamento delle rotaie}$$

$$q_{5\text{avv}} = 25,30 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Avviamento LM71-SW/0}$$

$$q_{6\text{fre}} = 15,33 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Frenatura LM71-SW/0}$$

Avviamento e frenatura SW/2

$$\alpha = 1,00 \quad [-] \quad \text{Coefficiente di adattamento}$$

$$s = 1,435 \quad [\text{m}] \quad \text{Scartamento delle rotaie}$$

$$q_{5\text{avv}} = 23,00 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Avviamento SW/2}$$

$$q_{6\text{fre}} = 24,40 \quad [\text{kN/m}] \quad \text{Frenatura SW/2}$$

3.2.1.4.-..Posizione dei treni di carico

Per i treni di carico sopra definiti vengono considerate due diverse posizioni, di seguito esposte. Tali configurazioni di carico valgono per le analisi svolte sul solettone di copertura e sulla paratia a sostegno di questo. Per quanto riguarda invece le opere di sostegno previste oltre l'estensione del sottovia (paratia e muri) si considera la sola spinta del terreno a monte.

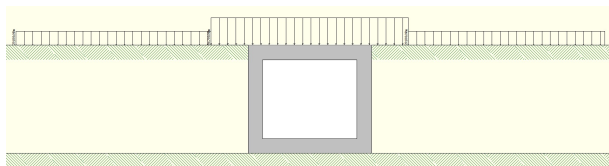


Figura 8 – Treno di carico LM71-Posizione 1

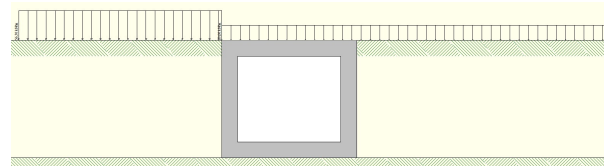


Figura 9 – Treno di carico LM71-Posizione 2

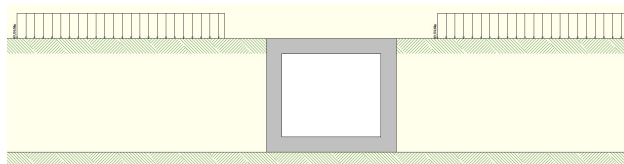


Figura 10 – Treno di carico SW/2-Posizione 1

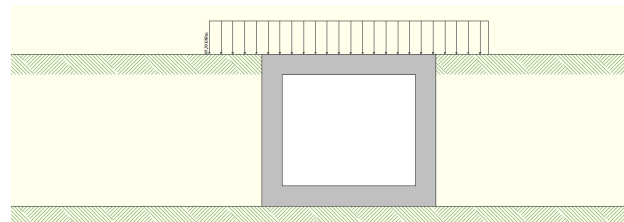


Figura 11 – Treno di carico SW/2-Posizione 2

3.2.2.-..Azioni termiche

In accordo con quanto previsto dal MdP RFI 2018, alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a $\Delta t = \pm 15^\circ\text{C}$ ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$.

3.2.3.-..Carico neve

Il carico dovuto alla neve viene valutato in accordo al D. M. 17-01-2018:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

in cui, considerando una Zona III, si ha:

$$q_{sk} = 0,51 \cdot [1 + (a_s/481)^2] = 0,51 \cdot [1 + (247/481)^2] = 0,64 \text{ kN/m}^2;$$

Ce (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Valore caratteristico del carico al suolo ($q_{sk} C_e$) = 0,64 kN/m²

Con riferimento al caso di "copertura ad una falda":

$$\alpha = 0 \Rightarrow \mu = 0,80 \Rightarrow q_s = 51,2 \text{ daN/m}^2$$

In accordo con la tabella 5.1.VI del D. M. 17-01-2018, il carico da neve va tenuto in conto solo in fase di esecuzione.

3.3.-..AZIONI SISMICHE

Determinazione del tipo di analisi sismica in accordo con il MdP RFI 2018:

- Velocità massima della linea ≤ 200 km/h: SI;
- Ponte continuo: NO;
- n_0 entro i limiti di fig.1.4.2.4.2: SI; (si veda in merito il §3.3.1)

Quindi, in accordo con la figura 2.5.1.4.2.4-1, non è richiesta l'analisi dinamica.

Nell'analisi pseudo-statica 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:

$$F_h = k_h \cdot W; \quad \text{forza sismica orizzontale}$$

$$F_v = k_v \cdot W; \quad \text{forza sismica verticale}$$

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

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}; \quad \text{coeff. sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0,5k_h; \quad \text{coeff. sismico verticale}$$

Dove:

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S_S = coeff. amplificazione stratigrafica

S_T = coeff. di amplificazione topografica

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

3.3.1.-..Pericolosità sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito si è utilizzata la microzonazione di cui al DM 17/01/2018, introducendo le coordinate geografiche di latitudine e longitudine proprie del sito di costruzione e valutando il relativo spettro di risposta allo SLV.

Coordinate geografiche		
Longitudine	12,825152	°
Latitudine	37,960555	°

Tabella 4 - coordinate geografiche

Vita nominale	Vn	50	anni
Classe d'uso		III	
Coefficiente d'uso	Cu	1,5	
Periodo di riferimento	Vr	75	anni

Tabella 5 - Periodo di riferimento per l'azione simica

Stato Limite	P _{VR}	T _R
SLV	10	712

Tabella 6 - Periodo di ritorno

Valori dei parametri spettrali adottati per lo SLV			
a _g	=	0,099	g accelerazione orizzontale massima
F ₀	=	2,537	fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T _C *	=	0,321	s periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Tabella 7 - Parametri spettrali

Nelle tabelle che seguono si riporta la categoria del sottosuolo e la categoria topografica, dei terreni interessati dall'opera e adottati nel seguito per il calcolo dell' azione simica.

Tali parametri derivano dal lavoro di caratterizzazione riportato nella relazione geotecnica a corredo del presente progetto esecutivo.

Categoria sottosuolo	B		
S _s	=	1,20	coeff. di amplificazione stratigrafica
Categoria topografica	T1		
S _T	=	1,00	coeff. di amplificazione topografica


Tabella 8 - Parametri S_s e S_T

I coefficienti di sismici orizzontale e verticale risultano:

Coefficienti sismici agli SLV			
S=S _s ×S _T	=	1,20	
a _{max}	=	0,119	g
β _m	=	1,00	
K _h	=	0,119	coeff. sismico orizzontale
K _v	=	0,060	coeff. sismico verticale

Tabella 9 - Coeff. sismici

Per muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI
CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007	TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE	PAGINA 22 / 83

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

$$G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$$

Dove si assumerà per i carichi dovuti al transito dei convogli ferroviari $\psi_{2j} = 0,2$ così come definito in Tabella 5.2.V del MdP RFI 2018.

G_1 =massa associata al peso proprio;

G_2 =massa associata al carico permanente;

Q_k =carico ferroviario.

3.3.1.1.-..Spinta sismica del terreno

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

$$\Delta S_E = \frac{a_{\max}}{g} \gamma_{\text{terreno}} \cdot H^2$$

applicata ad un'altezza pari ad H/2.

3.4.-..AZIONI INDIRETTE: RITIRO

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D.M.14-01-2008. I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro: $\Delta T_{\text{ritiro}} = -8,3 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Tale variazione di temperatura (ΔT_{ritiro}) è stata calcolata nelle seguenti ipotesi:

Umidità media: 80%

Tempo in giorni dal getto: 1 anno (365 gg.)

In accordo con paragrafo 11.2.10.6 del D.M.14-01-2008 si ha:


$$\epsilon_{c0} = -0.24\text{‰};$$

$$h_0 = 500\text{mm};$$

$$\epsilon_{cd,\infty} = -0.24 \cdot k_h = -0.24 \times 0.70 = -0.168\text{‰}.$$

Attraverso la formula 11.2.8 del D.M.14-01-2008, si ottiene la deformazione da essiccamento a 365 gg.

$$\epsilon_{cd}(365\text{gg}) = 0.0000452;$$

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>	<p>PAGINA 23 / 83</p>

il valore medio del ritiro autogeno è invece calcolato con la formula 11.2.10 del D. M. 14-01-2008:

$$\varepsilon_{ca} = 0.000055;$$

Per cui la deformazione totale per ritiro vale:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 0.0000452 + 0.000055 = 0.00010.$$

Il coefficiente di dilatazione termica $\alpha = 0.000012$, per cui:

$$\Delta T_{ritiro} = \varepsilon_{cs} / \alpha = 8.3^\circ \text{ C.}$$

3.5.-..COMBINAZIONI DI CARICO

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza è stata effettuata con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right];$$

Il coefficiente γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. I coefficienti parziali di sicurezza, $\gamma_{M,i}$ e $\gamma_{F,j}$, associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ con $\gamma_E = \gamma_F$:

$$E_d = \gamma_E E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right];$$

La verifica della relazione $R_d \geq E_d$ è stata effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali (cfr tabelle sotto), rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 10 – Coeff. parziali per i parametri geotecnici dei terreni


 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI	
CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007	TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE		PAGINA 24 / 83

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 11 – Coeff. parziali per i parametri geotecnici dei terreni

Nel caso specifico le verifiche tipo geotecniche (GEO), di equilibrio di corpo rigido (EQU) e strutturali (STR) sono state condotte sulla base dell' **Approccio 1**, che prevede la combinazione dei seguenti coefficienti:

- A1+M1+R1
- A2+M2+R2

Per le verifiche agli stati limite si considerano le combinazioni di carico previste nel DM del 17/01/2018 al punto 2.5.3 (“Combinazioni delle azioni”) che descrivono le combinazioni in generale.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

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

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre

azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla *Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018* di seguito riportata.

In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.IV -Valutazione dei carichi da traffico

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

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

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

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Nella tabella sopra riportata è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente, minore del precedente, per gli effetti a favore di sicurezza.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppi 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4.

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

I coefficienti di amplificazione dei carichi γ e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

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


Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente $\psi_2 = 0.2$ (punto 3.2.4 del DM 14/01/2008) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Di seguito si riportano dapprima le condizioni elementari dei carichi e successivamente le combinazioni.

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>	<p>PAGINA 27 / 83</p>

3.5.1.-..Condizioni di carico

Convenzioni adottate

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura

Carichi verticali positivi se diretti verso il basso

Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra

Coppie concentrate positive se antiorarie

Ascisse X (espresse in m) positive verso destra

Ordinate Y (espresse in m) positive verso l'alto

Carichi concentrati espressi in kN

Coppie concentrate espressi in kNm

Carichi distribuiti espressi in kN/m

Simbologia adottata e unità di misura

Forze concentrate

X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati

Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati

F_y componente Y del carico concentrato

F_x componente X del carico concentrato

M momento

Forze distribuite

X_i, X_f ascisse del punto iniziale e finale per carichi distribuiti verticali

Y_i, Y_f ordinate del punto iniziale e finale per carichi distribuiti orizzontali

V_{ni} componente normale del carico distribuito nel punto iniziale

V_{nf} componente normale del carico distribuito nel punto finale

V_{ti} componente tangenziale del carico distribuito nel punto iniziale

V_{tf} componente tangenziale del carico distribuito nel punto finale

D_{te} variazione termica lembo esterno espressa in gradi centigradi

D_{ti} variazione termica lembo interno espressa in gradi centigradi

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)

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

PAGINA
28 / 83

Condizione di carico n°6 (Spinta falda)

Condizione di carico n° 7 (LM71 Pos1)

Distr	Terreno	$X_i = -1,28$	$X_f = 5,53$	$V_{ni} = 56,70$	$V_{nf} = 56,70$		
Distr	Terreno	$X_i = -8,00$	$X_f = -1,28$	$V_{ni} = 29,00$	$V_{nf} = 29,00$		
Distr	Terreno	$X_i = 5,53$	$X_f = 12,30$	$V_{ni} = 29,00$	$V_{nf} = 29,00$		
Distr	Traverso	$X_i = 0,00$	$X_f = 4,25$	$V_{ni} = 0,00$	$V_{nf} = 0,00$	$V_{ti} = 12,65$	$V_{tf} = 12,65$

Condizione di carico n° 8 (LM71 Pos2)

Distr	Terreno	$X_i = -6,40$	$X_f = 0,00$	$V_{ni} = 56,70$	$V_{nf} = 56,70$		
Distr	Terreno	$X_i = 0,00$	$X_f = 12,30$	$V_{ni} = 29,00$	$V_{nf} = 29,00$		
Distr	Traverso	$X_i = 0,00$	$X_f = 4,25$	$V_{ni} = 0,00$	$V_{nf} = 0,00$	$V_{ti} = 12,65$	$V_{tf} = 12,65$

Condizione di carico n° 9 (SW/2 Pos1)

Distr	Terreno	$X_i = -8,18$	$X_f = -1,38$	$V_{ni} = 49,50$	$V_{nf} = 49,50$		
Distr	Terreno	$X_i = 5,60$	$X_f = 12,43$	$V_{ni} = 49,50$	$V_{nf} = 49,50$		

Condizione di carico n° 10 (SW/2 Pos2)

Distr	Terreno	$X_i = -1,28$	$X_f = 5,53$	$V_{ni} = 49,50$	$V_{nf} = 49,50$		
-------	---------	---------------	--------------	------------------	------------------	--	--

Condizione di carico n° 11 (Temp)

Term	Traverso	$D_{te} = 15,00$	$D_{ti} = 15,00$				
Term	Traverso	$D_{te} = -5,00$	$D_{ti} = 5,00$				

Condizione di carico n° 12 (Ritiro)

Term	Traverso	$D_{te} = 8,30$	$D_{ti} = 8,30$				
------	----------	-----------------	-----------------	--	--	--	--

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
29 / 83

3.5.1.-..Combinazioni di carico

COMBINAZIONI DI CARICO ALLO SLU

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
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Temp	Sfavorevole	1.50	0.60	0.90
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	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
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Temp	Sfavorevole	1.30	0.60	0.78
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Temp	Sfavorevole	1.50	0.60	0.90
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

 PAGINA
30 / 83

Temp	Sfavorevole	1.30	0.60	0.78
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

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
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Temp	Sfavorevole	1.50	0.60	0.90
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 6 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
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Temp	Sfavorevole	1.50	0.60	0.90
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 7 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
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Temp	Sfavorevole	1.30	0.60	0.78
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

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
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Temp	Sfavorevole	1.30	0.60	0.78
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

PAGINA

31 / 83
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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.50	0.80	1.20
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 14 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.50	0.80	1.20
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 15 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.30	0.80	1.04
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 16 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.30	0.80	1.04
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 17 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.50	0.80	1.20
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 18 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.50	0.80	1.20
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 19 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.30	0.80	1.04
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 20 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.30	0.80	1.04
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 21 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.50	0.80	1.20
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 22 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.30	0.80	1.04
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 23 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.50	0.80	1.20
Temp	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Ritiro	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 24 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.30	0.80	1.04
Temp	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Ritiro	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

COMBINAZIONI DI CARICO ALLO SLV

Combinazione n° 25 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 26 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Ritiro	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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Ritiro	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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

 PAGINA
36 / 83
Combinazione n° 29 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 30 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 31 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 32 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 33 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 34 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 35 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 36 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

 PAGINA
38 / 83
Combinazione n° 37 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 38 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 39 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 40 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 41 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 42 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 43 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 44 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 45 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 46 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 47 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 48 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

PAGINA

41 / 83
Combinazione n° 49 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 50 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 51 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 52 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
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 53 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 54 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 55 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 56 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
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.20	0.20
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

COMBINAZIONI DI CARICO ALLO SLE

Combinazione n° 57 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
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 58 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
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.80	0.80
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 59 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
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.80	0.80
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 60 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
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	0.80	0.80
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

 PAGINA
44 / 83
Combinazione n° 61 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
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	0.80	0.80
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 62 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
Temp	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 63 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
LM71_Pos1	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 64 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
LM71_Pos2	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00



CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
45 / 83

Combinazione n° 65 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
SW/2_Pos1	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 66 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
SW/2_Pos2	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Temp	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

4.-..RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

4.1.-..INVILUPPO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi effettuata mediante l'ausilio del programma di calcolo in termini di inviluppo delle sollecitazioni.

Gli inviluppi delle sollecitazioni sono presentati in forma di diagrammi e successivamente indicandone il valore numericamente per le sezioni significative dividendo i casi di carico allo SLU/SLV ed allo SLE.

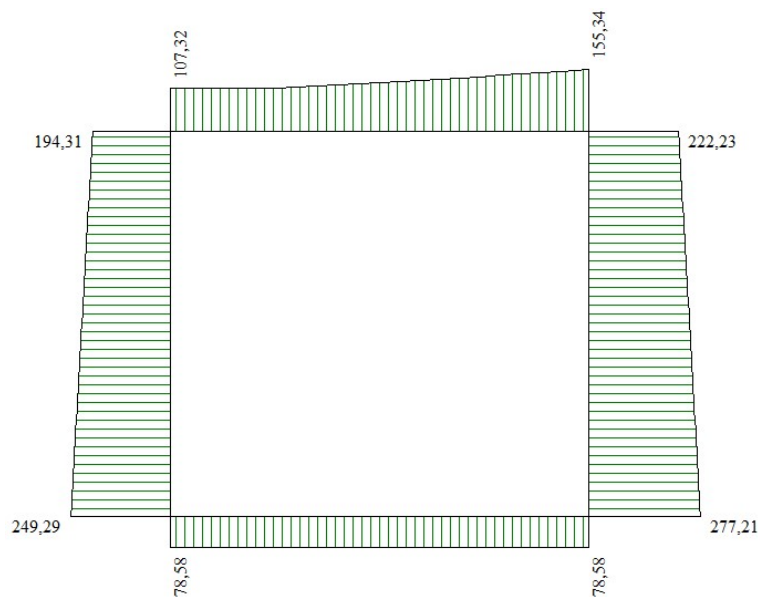


Figura 12 – Inviluppo Sforzo Normale

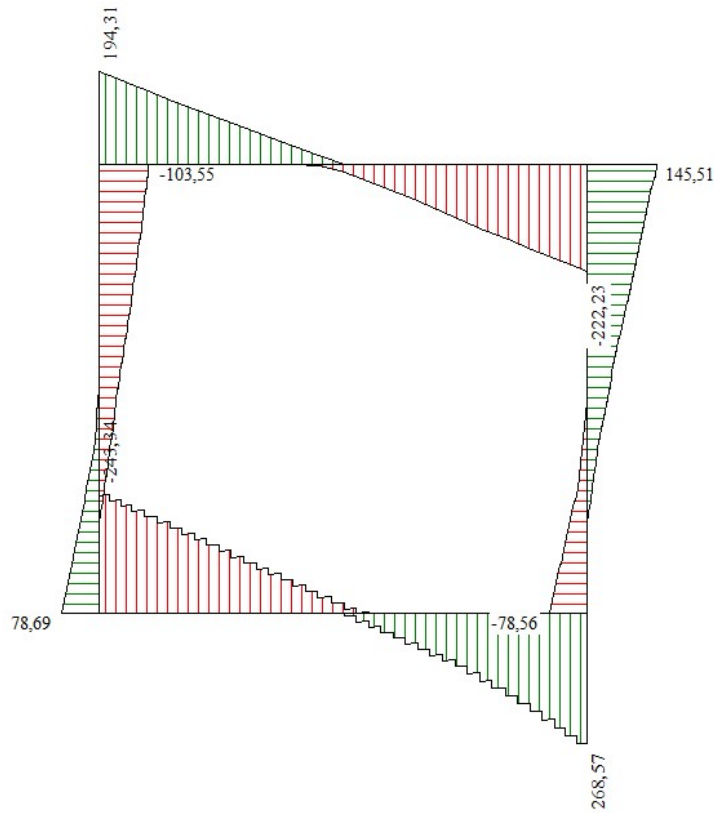


Figura 13 – Involuppo Taglio

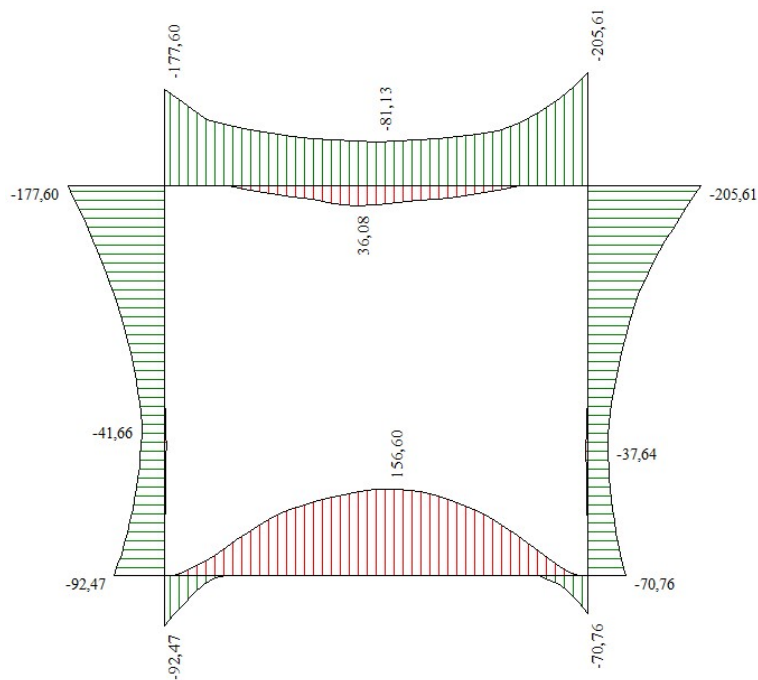


Figura 14 – Involuppo Momento Flettente

INVILUPPO SOLLECITAZIONI ALLO SLU/SLV

Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-92,47	-8,62	-243,34	-87,99	16,41	78,58
1,17	26,81	100,68	-127,86	-40,30	16,41	78,58
2,13	47,91	155,71	-8,99	6,47	16,41	78,58
3,08	26,82	110,41	46,10	126,68	16,41	78,58
4,00	-70,76	-8,65	87,99	268,57	16,41	78,58

Inviluppo sollecitazioni traverso

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-177,60	-27,39	49,39	194,31	18,87	107,32
1,19	-96,35	15,03	24,65	94,98	20,44	109,07
2,13	-81,13	35,42	-16,82	0,10	20,95	123,30
3,03	-95,26	14,54	-114,24	-23,74	20,47	137,01
4,00	-205,61	-27,40	-222,23	-49,40	19,94	155,34

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-92,47	-8,62	16,42	78,69	90,76	249,29
1,98	-51,61	-1,65	-40,14	0,36	70,07	221,80
3,70	-177,60	-27,39	-103,55	-18,43	49,39	194,31

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Y [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,25	-70,76	-8,65	-78,56	-16,42	90,76	277,21
1,98	-50,80	-1,62	1,13	47,60	70,08	249,72
3,70	-205,61	-27,40	19,49	145,51	49,40	222,23

SOLLECITAZIONI ALLO SLE COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 57)

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,25	-20,5567	-89,3863	18,5294
1,17	41,3909	-40,9828	18,5294
2,13	62,0578	2,7159	18,5294
3,08	41,3909	46,7899	18,5294
4,00	-20,5567	89,3863	18,5294

Sollecitazioni traverso (Combinazione n° 57)

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,25	-59,9553	49,9847	34,4352
1,19	-24,8094	24,9919	34,4352
2,13	-13,0947	0,0000	34,4352
3,03	-23,9581	-24,0667	34,4352
4,00	-59,9553	-49,9847	34,4352

Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 57)

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,25	-20,5567	18,5399	92,2766
1,98	-17,6548	-13,6924	71,1306
3,70	-59,9553	-32,7203	49,9847

Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 57)

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,25	-20,5567	-18,5399	92,2766
1,98	-17,6548	13,6924	71,1306
3,70	-59,9553	32,7203	49,9847

INVILUPPO SOLLECITAZIONI ALLO SLE COMBINAZIONE RARA

Inviluppo Sollecitazioni fondazione

X	M _{min}	M _{max}	V _{min}	V _{max}	N _{min}	N _{max}
[m]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
0,25	-66,15	-22,64	-174,16	-89,40	31,69	52,88
1,17	39,38	67,23	-90,78	-41,10	31,69	52,88
2,13	60,11	110,41	-5,61	4,69	31,69	52,88
3,08	39,37	76,04	46,92	90,82	31,69	52,88
4,00	-51,77	-22,66	89,41	190,98	31,69	52,88

Inviluppo Sollecitazioni traverso


X	M _{min}	M _{max}	V _{min}	V _{max}	N _{min}	N _{max}
[m]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
0,25	-100,41	-70,77	49,98	136,21	49,55	61,52
1,19	-35,63	2,57	24,99	66,66	53,16	67,08
2,13	-23,92	27,95	-11,22	0,00	53,16	78,93
3,03	-34,79	-4,40	-79,37	-24,07	53,16	90,35
4,00	-125,92	-70,79	-154,82	-49,99	53,16	102,65

Inviluppo Sollecitazioni piedritto sinistro

X	M _{min}	M _{max}	V _{min}	V _{max}	N _{min}	N _{max}
[m]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
0,25	-66,15	-22,64	31,69	52,85	92,27	178,50
1,98	-32,23	-10,53	-16,53	-7,37	71,13	157,35
3,70	-100,41	-70,77	-59,65	-49,55	49,98	136,21

Inviluppo Sollecitazioni piedritto destro

X	M _{min}	M _{max}	V _{min}	V _{max}	N _{min}	N _{max}
[m]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
0,25	-51,77	-22,66	-52,97	-31,74	92,28	197,11
1,98	-32,23	-10,51	16,12	23,39	71,14	175,96
3,70	-125,92	-70,79	51,32	96,13	49,99	154,82

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>	
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>		<p>PAGINA 51 / 83</p>

4.2.-..VERIFICHE STRUTTURALI

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimo e di Esercizio effettuate per ciascun elemento dello scatolare e per le sezioni maggiormente significative. In particolare vengono considerate due sezioni per ciascun elemento: la sezione di estremità e la sezione di mezzzeria.

4.2.1.-..Verifiche allo Stato Limite Ultimo

In accordo con quanto previsto dalla normativa di riferimento (NTC18) le verifiche di sicurezza allo SLU che si effettuano per ogni elemento dello scatolare sono:

- Verifica a flessione;
- Verifica a taglio

Nello specifico, la verifica a flessione risulta essere soddisfatta se:

$$M_{E,d} \leq M_{R,d}(N_{E,d})$$

Mentre, per la verifica a taglio si fa riferimento alla resistenza a taglio di elementi senza armatura trasversale, per cui la resistenza a taglio è data da:

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

con

f_{ck} espresso in MPa

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

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

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 tesa ($\leq 0,02$) che si estende per non meno di $(l_{bd} + d)$ oltre la sezione considerata, dove l_{bd} è la lunghezza di ancoraggio;

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

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

Qualora il taglio sollecitante fosse maggiore della resistenza a taglio appena descritta, si fa riferimento a quanto previsto dalle NTC18 al §4.1.2.3.5.2 per elementi con armatura trasversale resistente a taglio, in cui la resistenza di progetto a taglio V_{Rd} è data come:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd});$$

in cui V_{Rsd} è la resistenza di progetto a "taglio trazione" calcolata come:

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

mentre, V_{Rcd} è la resistenza a "taglio compressione" calcolata come:

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
52 / 83

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta);$$

e la verifica risulta essere soddisfatta se:

$$V_{E,d} \leq V_{R,d}$$

Di seguito si espongono le verifiche effettuate.

4.2.1.1.-. Verifica Fondazione

Per le verifiche della fondazione ci si riferisce ad una sezione (b x h) 100x50cm, copriferro 5cm ed armata longitudinale simmetrica pari ad $A_f = A'_f = 1608,5 \text{ mm}^2$.

Verifica a Flessione

Con riferimento ai valori di inviluppo delle sollecitazioni esposti in precedenza, considerando il valore massimo assoluto di momento flettente, la fondazione è soggetta alle seguenti sollecitazioni:

$$M_{Ed} = 155,71 \text{ kNm}; \quad N_{Ed, \min} = 16,41 \text{ kN};$$

Mentre, la sezione ha una resistenza a momento flettente pari a:

$$M_{Rd} (N_{Ed}=0) = 273,4 \text{ kNm}$$

Così come mostrato di seguito.

Titolo: Fondazione

N° strati barre: 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 0 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro

Materiali: B450C, C32/40

Metodo di calcolo: S.L.U.+, Metodo n

Tipo flessione: Retta

Calcoli: M_{xRd} = 273,4 kNm; σ_c = -18,81 N/mm²; σ_s = 391,3 N/mm²; ε_c = 3,5‰; ε_s = 30,29‰; d = 45 cm; x = 4,661; x/d = 0,1036; δ = 0,7

Pertanto la verifica risulta essere soddisfatta essendo:

$$M_{Ed} = 155,71 \text{ kNm} < M_{Rd} (N_{Ed}=0) = 273,4 \text{ kNm}$$

A vantaggio di sicurezza è stato trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

Verifica a Taglio

Con riferimento ai valori di involuppo delle sollecitazioni esposti in precedenza, considerando il valore massimo assoluto di taglio, la fondazione è soggetta alla seguente sollecitazione tagliante:

$$V_{E,d} = 268,57 \text{ kN};$$

Mentre, la sezione siffatta, considerando un'area di armatura a taglio pari ad $A_w = 402,1 \text{ mm}^2$, possiede una resistenza a taglio pari a:

$$V_{Rd} = 796,6 \text{ kN}$$

così come mostrato di seguito.

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008					
Materiali					
Calcestruzzo			Acciaio		
R _{ck}	[Mpa]	40	f _{yk}	[Mpa]	450
f _{ck}	[Mpa]	33,2	f _{yd}	[Mpa]	391,3
f _{cd}	[Mpa]	18,8			
Geometria sezione					
b	[mm]	1000	c	[mm]	50
h	[mm]	500	d	[mm]	450
Armatura longitudinale			Armatura trasversale		
n° barre	-		Staffe Φ	[mm]	
diametro	[mm]		n° bracci	-	
Area	[mm ²]	1608,5	Asw	[mm ²]	402,1
			s	[mm]	200
Sollecitazioni di calcolo					
N _{ed}	[kN]				0
V _{ed}	[kN]				268,57
Parametri di verifica					
k	-	1,67	ρ _l	-	0,004
v _{min}	-	0,43	σ _{cp}	-	0,000
v	-	0,50	(σ _{cp})*	-	0,000
α _c	-	1,00	ω _{sw}	-	0,042
cotgθ	-	3,31	cotgθ*	-	2,500
VERIFICA					
Sezione non armata a taglio					
V _{Rd}	[kN]	205,3	Armare!!!		
Sezione armata a taglio					
V _{Rsd}	[kN]	796,6	V _{Rcd}	[kN]	1313,7
V _{Rd}	[kN]	796,6	Verificato		

Pertanto la verifica risulta essere soddisfatta essendo:

$$V_{Ed} = 268,57 \text{ kN} < V_{Rd} = 796,6 \text{ kN}$$

A vantaggio di sicurezza è stato trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
54 / 83

4.2.1.1.-.-Verifica Traverso

Per le verifiche della fondazione ci si riferisce ad una sezione (b x h) 100x50cm, copriferro 5cm ed armata longitudinale simmetrica pari ad $A_f=A'_f=1608,5\text{mm}^2$.

Verifica a Flessione

Con riferimento ai valori di involuppo delle sollecitazioni esposti in precedenza, considerando il valore massimo assoluto di momento flettente, il traverso è soggetto alle seguenti sollecitazioni:

$$M_{Ed} = 205,61\text{kNm}; \quad N_{Ed,\min} = 18,87\text{kN};$$

Mentre, la sezione ha una resistenza a momento flettente pari a:

$$M_{Rd}(N_{Ed}=0) = 273,4\text{kNm}$$

Così come mostrato di seguito.

Titolo : **Traverso**

N° strati barre **2** Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,81 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 12,25 ‰
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
τ_{c1} 2,114

M_{xRd} 273,4 kNm

σ_c -18,81 N/mm²
σ_s 391,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 30,29 ‰
d 45 cm
x 4,661 x/d 0,1036
δ 0,7

Pertanto la verifica risulta essere soddisfatta essendo:

$$M_{Ed} = 184,6\text{kNm} < M_{Rd}(N_{Ed}=0) = 270,5\text{kNm}$$

A vantaggio di sicurezza è stato trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
55 / 83

Verifica a Taglio

Con riferimento ai valori di involuppo delle sollecitazioni esposti in precedenza, considerando il valore massimo assoluto di taglio, la fondazione è soggetta alla seguente sollecitazione tagliante:

$$V_{E,d} = 222,23 \text{ kN};$$

Mentre, la sezione siffatta, considerando un'area di armatura a taglio pari ad $A_w = 150 \text{ mm}^2$, possiede una resistenza a taglio pari a:

$$V_{Rd} = 297,1 \text{ kN}$$

così come mostrato di seguito.

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008					
Materiali					
Calcestruzzo			Acciaio		
R _{ck}	[Mpa]	40	f _{yk}	[Mpa]	450
f _{ck}	[Mpa]	33,2	f _{yd}	[Mpa]	391,3
f _{cd}	[Mpa]	18,8			
Geometria sezione					
b	[mm]	1000	c	[mm]	50
h	[mm]	500	d	[mm]	450
Armatura longitudinale			Armatura trasversale		
n° barre	-		Staffe Φ	[mm]	
diametro	[mm]		n° bracci	-	
Area	[mm ²]	1608,5	Asw	[mm ²]	150
			s	[mm]	200
Sollecitazioni di calcolo					
N _{ed}		[kN]			0
V _{ed}		[kN]			222,23
Parametri di verifica					
k	-	1,67	ρ _l	-	0,004
v _{min}	-	0,43	σ _{cp}	-	0,000
v	-	0,50	(σ _{cp})*	-	0,000
α _c	-	1,00	ω _{sw}	-	0,016
cotgθ	-	5,57	cotgθ*	-	2,500
VERIFICA					
Sezione non armata a taglio					
V _{Rd}	[kN]	205,3	Armare!!!		
Sezione armata a taglio					
V _{Rsd}	[kN]	297,1	V _{Rcd}	[kN]	1313,7
V _{Rd}	[kN]	297,1	Verificato		

Pertanto la verifica risulta essere soddisfatta essendo:

$$V_{Ed} = 222,23 \text{ kN} < V_{Rd} = 297,1 \text{ kN}$$

A vantaggio di sicurezza è stato trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
56 / 83

4.2.1.2.-.-Verifica Piedritti

Per le verifiche della fondazione ci si riferisce ad una sezione (b x h) 100x50cm, copriferro 5cm ed armata longitudinale simmetrica pari ad $A_f=A'_f=1608,5\text{mm}^2$.

Verifica a Flessione

Con riferimento ai valori di involuppo delle sollecitazioni esposti in precedenza, considerando il valore massimo assoluto di momento flettente, il traverso è soggetto alle seguenti sollecitazioni:

$$M_{Ed} = 205,61\text{kNm}; \quad N_{Ed,\min} = 49,40\text{kN};$$

Mentre, la sezione ha una resistenza a momento flettente pari a:

$$M_{Rd}(N_{Ed}=0) = 273,4\text{kNm}$$

Così come mostrato di seguito.

Titolo : Piedritto

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	16,08	5
2	16,08	45

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm²	ϵ_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm²	f_{cd} 18,81
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0,8
ϵ_{syd} 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0,7333
	τ_{c1} 2,114

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 30,29 ‰
d 45 cm
x 4,661 x/d 0,1036
 δ 0,7

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L_0 cm Col. modello

Precompresso

Pertanto la verifica risulta essere soddisfatta essendo:

$$M_{Ed} = 205,61\text{kNm} < M_{Rd}(N_{Ed}=0) = 273,4\text{kNm}$$

A vantaggio di sicurezza è stato trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

Verifica a Taglio

Con riferimento ai valori di involuppo delle sollecitazioni esposti in precedenza, considerando il valore massimo assoluto di taglio, la fondazione è soggetta alla seguente sollecitazione tagliante:

$$V_{E,d} = 103,75 \text{ kN};$$

Mentre, la sezione siffatta, considerandola priva di armatura a taglio, possiede una resistenza a taglio pari a:

$$V_{Rd} = 205,3 \text{ kN}$$

così come mostrato di seguito.

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008					
Materiali					
Calcestruzzo			Acciaio		
R _{ck}	[Mpa]	40	f _{yk}	[Mpa]	450
f _{ck}	[Mpa]	33,2	f _{yd}	[Mpa]	391,3
f _{cd}	[Mpa]	18,8			
Geometria sezione					
b	[mm]	1000	c	[mm]	50
h	[mm]	500	d	[mm]	450
Armatura longitudinale			Sollecitazioni di calcolo		
n° barre	-	8	N _{ed}	[kN]	0
diametro	[mm]	16	V _{ed}	[kN]	103,75
Area	[mm ²]	1608,5			
Parametri di verifica					
k	-	1,67	ρ _l	-	0,004
v _{min}	-	0,43	σ _{cp}	-	0,000
VERIFICA					
Sezione non armata a taglio					
V _{Rd}	[kN]	205,3	Verificato		

Pertanto la verifica risulta essere soddisfatta essendo:

$$V_{Ed} = 103,75 \text{ kN} < V_{Rd} = 205,3 \text{ kN}$$

A vantaggio di sicurezza è stato trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
58 / 83

4.2.2.-.Verifiche allo Stato Limite di Esercizio

4.2.2.1.-.Verifica delle tensioni in esercizio

In accordo con quanto previsto dal MdP RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Parte II - Sezione 2 - "Ponti e strutture" al §2.5.1.8.3.2.1, devono essere rispettati i seguenti limiti tensionali di compressione nel calcestruzzo:

- $\sigma_c \leq 0,55f_{ck} = 0,55 \cdot 28 = 15,4\text{MPa}$ per combinazione dei carichi RARA
- $\sigma_c \leq 0,40f_{ck} = 0,40 \cdot 28 = 11,2\text{MPa}$ per combinazione dei carichi QUASI PERMANENTE

Mentre, per le armature ordinarie la massima tensione di trazione sotto la combinazione dei carichi RARA non deve superare:

- $\sigma_s \leq 0,75f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,5\text{MPa}$ per combinazione dei carichi RARA

Di seguito si espone quanto ottenuto.

4.2.2.1.1.-.Verifica Fondazione

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x50cm, copriferro 5cm ed armata in maniera simmetrica con $A_r=A'_r=1608,5\text{mm}^2$, considerando le sollecitazioni di involuppo allo SLE da combinazione RARA e le sollecitazioni da combinazione QUASI PERMANENTE, si ha:

	N _{MIN}	N _{MAX}	M	$\sigma_c(M;N_{MAX})$	$\sigma_s(M;N_{MIN})$
	[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
RARA	31,69	52,88	110,41	3,9	158,2
QUASI PERMANENTE	18,53	-	62,06	2,7	-

Titolo: Fondazione_SLE_RARA_Nmax

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Tipologia Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 52,88 kN
M_{xEd}: 0 110,41 kNm
M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo:
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali:
B450C C32/40
 ϵ_{su} : 67,5‰ ϵ_{c2} : 2‰
 f_{yd} : 391,3 N/mm² ϵ_{cu} : 3,5‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 18,81
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 ϵ_{syd} : 1,957‰ $\sigma_{c,adm}$: 12,25
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0,7333
 τ_{c1} : 2,114

σ_c : -3,877 N/mm²
 σ_s : 152 N/mm²
 ϵ_s : 0,7601‰
d: 45 cm
x: 12,45 x/d: 0,2767
 δ : 0,7859

Verifica N° iterazioni: 4
 Precompresso

RARA - M ; N_{MAX}

Titolo: Fondazione_SLE_RARA_Nmin

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Tipologia Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 31,69 kN
M_{xEd}: 0 110,41 kNm
M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo:
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali:
B450C C32/40
 ϵ_{su} : 67,5‰ ϵ_{c2} : 2‰
 f_{yd} : 391,3 N/mm² ϵ_{cu} : 3,5‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 18,81
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 ϵ_{syd} : 1,957‰ $\sigma_{c,adm}$: 12,25
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0,7333
 τ_{c1} : 2,114

σ_c : -3,852 N/mm²
 σ_s : 158,2 N/mm²
 ϵ_s : 0,7912‰
d: 45 cm
x: 12,04 x/d: 0,2675
 δ : 0,7743

Verifica N° iterazioni: 4
 Precompresso

RARA - M ; N_{MIN}

Titolo : **Fondazione_SLE_QP**

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 18,53 kN
 M_{xEd} 0 62,06 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U.
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm ²	f_{cd} 18,81
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0,8
ϵ_{syd} 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ²	τ_{co} 0,7333
	τ_{c1} 2,114

σ_c -2,166 N/mm²
 σ_s 88,73 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

QUASI PERMANENTE

A valle dei risultati ottenuti la verifica delle tensioni in esercizio risulta essere soddisfatta.

4.2.2.1.1.-.Verifica Traverso

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x50cm, copriferro 5cm ed armata in maniera simmetrica con $A_f=A'_f=1608,5\text{mm}^2$, considerando le sollecitazioni di involucro allo SLE da combinazione RARA e le sollecitazioni da combinazione QUASI PERMANENTE, si ha:

	N _{MIN}	N _{MAX}	M	$\sigma_c(M;N_{MAX})$	$\sigma_s(M;N_{MIN})$
	[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
RARA	49,55	102,65	125,92	4,5	176,5
QUASI PERMANENTE	34,44	-	59,96	2,1	-

Titolo : **Traverso_SLE_RARA_Nmax**

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 102,65 kN
 M_{xEd} 0 125,92 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U.
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm ²	f_{cd} 18,81
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0,8
ϵ_{syd} 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ²	τ_{co} 0,7333
	τ_{c1} 2,114

σ_c -4,463 N/mm²
 σ_s 161,1 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

RARA - M ; N_{MAX}

Titolo : **Traverso_SLE_RARA_Nmin**

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 49,55 kN
 M_{xEd} 0 125,92 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U.
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm ²	f_{cd} 18,81
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0,8
ϵ_{syd} 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ²	τ_{co} 0,7333
	τ_{c1} 2,114

σ_c -4,409 N/mm²
 σ_s 176,5 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

RARA - M ; N_{MIN}

Titolo : **Fondazione_SLE_QP**

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40	σ _c	σ _s
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰	-2,112 N/mm ²	80,89 N/mm ²
f _{yd} 391,3 N/mm ²	E _{cu} 3,5		
E _s 200.000 N/mm ²	f _{cd} 18,81		
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8	ε _s 0,4045 ‰	
ε _{syd} 1,957 ‰	σ _{c,adm} 12,25	d 45 cm	
σ _{s,adm} 255 N/mm ²	τ _{co} 0,7333	x 12,66 x/d 0,2814	
	τ _{c1} 2,114	δ 0,7917	

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

QUASI PERMANENTE

A valle dei risultati ottenuti la verifica delle tensioni in esercizio risulta essere soddisfatta.

4.2.2.1.1.-.Verifica Piedritti

Con riferimento ad una sezione (b x h) 100x50cm, copriferro 5cm ed armata in maniera simmetrica con A_f=A'_f=1608,5mm², considerando le sollecitazioni di involucro allo SLE da combinazione RARA e le sollecitazioni da combinazione QUASI PERMANENTE, si ha:

	N _{MIN}	N _{MAX}	M	σ _c (M;N _{MAX})	σ _s (M;N _{MIN})
	[kN]	[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]
RARA	49,98	197,11	125,92	4,5	176,4
QUASI PERMANENTE	49,98	-	59,96	2,1	-

Titolo : **Piedritto_SLE_RARA_Nmax**

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40	σ _c	σ _s
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰	-4,52 N/mm ²	134,6 N/mm ²
f _{yd} 391,3 N/mm ²	E _{cu} 3,5		
E _s 200.000 N/mm ²	f _{cd} 18,81		
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8	ε _s 0,6731 ‰	
ε _{syd} 1,957 ‰	σ _{c,adm} 12,25	d 45 cm	
σ _{s,adm} 255 N/mm ²	τ _{co} 0,7333	x 15,07 x/d 0,335	
	τ _{c1} 2,114	δ 0,8587	

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

RARA - M ; N_{MAX}

Titolo : **Piedritto_SLE_RARA_Nmin**

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16,08	5
			2	16,08	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40	σ _c	σ _s
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰	-4,41 N/mm ²	176,4 N/mm ²
f _{yd} 391,3 N/mm ²	E _{cu} 3,5		
E _s 200.000 N/mm ²	f _{cd} 18,81		
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8	ε _s 0,882 ‰	
ε _{syd} 1,957 ‰	σ _{c,adm} 12,25	d 45 cm	
σ _{s,adm} 255 N/mm ²	τ _{co} 0,7333	x 12,27 x/d 0,2727	
	τ _{c1} 2,114	δ 0,7809	

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

RARA - M ; N_{MIN}

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
61 / 83

Titolo : Piedritti_SLE_QP

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	16.08	5
			2	16.08	45

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 Metodo n

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN [0] yN [0]

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U. -
 Metodo n

Materiali

B450C	C32/40
E _{su} 67.5 %	E _{c2} 2 %
f _{yd} 391.3 N/mm²	E _{cu} 3.5
E _s 200.000 N/mm²	f _{cd} 18.81
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0.8
E _{syd} 1.957 %	σ _{c,adm} 12.25
σ _{s,adm} 255 N/mm²	τ _{co} 0.7333
	τ _{c1} 2.114

σ_c -2.126 N/mm²
 σ_s 76.4 N/mm²

Verifica
 N° iterazioni: 4

Precompresso

ε_s 0.382 ‰
 d 45 cm
 x 13.25 x/d 0.2945
 δ 0.8081

QUASI PERMANENTE

A valle dei risultati ottenuti la verifica delle tensioni in esercizio risulta essere soddisfatta.

4.2.2.2.-. Verifica allo stato limite di fessurazione

In accordo con quanto previsto dal MdP RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Parte II - Sezione 2 - "Ponti e strutture" al §4.1.2.2.4.1, l'apertura delle fessure deve essere calcolata con la combinazione di carico RARA ed i carichi variabili ferroviari devono essere considerati combinati secondo il Gruppo 4; la verifica risulta essere soddisfatta se:

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

essendo la struttura a permanente contatto con il terreno.

In accordo con quanto previsto al §4.1.2.2.4.5 delle NTC18:

$$w = 1,7 \cdot \epsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax}$$

dove:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

In cui:

σ_s è la tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

α_e è il rapporto E_s/E_c

ρ_{eff} è pari ad A_s/A_{c,eff}

A_{c,eff} è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza h_{c,eff}, dove h_{c,eff} è il valore minore tra 2.5(h-d), (h-x)/3 o h/2

k_t è un fattore dipendente dalla durata del carico e vale:

$k_t = 0.6$ per carichi di breve durata

$k_t = 0.4$ per carichi di lunga durata

Nel caso in cui l'armatura è disposta con una spaziatura non superiore a $5(c+\Phi/2)$, la distanza massima tra le fessure, Δ_{smax} , può essere valutata come:

$$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\Phi}{\rho_{eff}}$$

In cui:

Φ è il diametro delle barre. Se nella sezione sono presenti barre di diametro differente, detto n_1 il numero delle barre di diametro Φ_1 ed n_2 il numero delle barre Φ_2 , si raccomanda di utilizzare un diametro equivalente Φ_{eq}

$$\Phi_{eq} = \frac{n_1 \Phi_1^2 + n_2 \Phi_2^2}{n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2}$$

c è il copriferro dell'armatura

$k_1 = 0.8$ per armature ad aderenza migliorata

$= 1.6$ per barre lisce

$k_2 = 0.6$ nel caso di flessione

$= 1.0$ nel caso di trazione semplice

$k_3 = 3.4$

$k_4 = 0.425$

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le combinazioni di carico RARA.

Simbologia adottata ed unità di misura

N° *Indice sezione*

X_i *Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m*

M_p *Momento di prima fessurazione, espresso in kNm*

M_n *Momento, espresso in kNm*

w_k *Ampiezza fessure, espresse in mm*

w_{lim} *Apertura limite fessure, espresse in mm*

s *Distanza media tra le fessure, espresse in mm*

ε_{sm} *Deformazione nelle fessure, espresse in [%]*

Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 63 - SLE (Rara)]

N°	X	A_{fi}	A_{fs}	M_p	M_n	M	w	w_{lim}	s_m	ε_{sm}
1	0,25	14,07	10,05	131,79	-128,98	66,15	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,17	10,05	14,07	128,98	-131,79	-59,55	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	10,05	10,05	128,21	-128,21	-110,41	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,08	10,05	18,10	129,73	-135,36	-76,04	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	18,10	10,05	135,36	-129,73	51,77	0,00	100,00	0,00	0,00000

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

 PAGINA
63 / 83
Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 63 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	16,08	16,08	134,75	-134,75	-91,01	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,19	16,08	16,08	134,75	-134,75	2,57	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	16,08	16,08	134,75	-134,75	27,95	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,03	16,08	16,08	134,75	-134,75	-12,07	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	16,08	16,08	134,75	-134,75	-125,92	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto sinistro [Combinazione n° 63 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-66,15	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-32,01	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-91,01	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto destro [Combinazione n° 63 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-51,77	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-23,51	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-125,92	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 64 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	14,07	10,05	131,79	-128,98	59,07	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,17	10,05	14,07	128,98	-131,79	-47,93	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	10,05	10,05	128,21	-128,21	-91,40	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,08	10,05	18,10	129,73	-135,36	-64,88	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	18,10	10,05	135,36	-129,73	36,38	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 64 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	16,08	16,08	134,75	-134,75	-74,16	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,19	16,08	16,08	134,75	-134,75	-9,01	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	16,08	16,08	134,75	-134,75	4,51	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,03	16,08	16,08	134,75	-134,75	-27,91	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	16,08	16,08	134,75	-134,75	-112,69	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto sinistro [Combinazione n° 64 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-59,07	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-22,49	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-74,16	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto destro [Combinazione n° 64 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	Mp	Mn	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-36,38	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-14,85	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-112,69	0,00	100,00	0,00	0,00000

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**

 PAGINA
64 / 83
Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 65 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	M _p	M _n	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	14,07	10,05	131,79	-128,98	22,64	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,17	10,05	14,07	128,98	-131,79	-39,38	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	10,05	10,05	128,21	-128,21	-60,11	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,08	10,05	18,10	129,73	-135,36	-39,37	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	18,10	10,05	135,36	-129,73	22,66	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 65 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	M _p	M _n	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	16,08	16,08	134,75	-134,75	-70,77	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,19	16,08	16,08	134,75	-134,75	-35,63	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	16,08	16,08	134,75	-134,75	-23,92	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,03	16,08	16,08	134,75	-134,75	-34,79	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	16,08	16,08	134,75	-134,75	-70,79	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto sinistro [Combinazione n° 65 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	M _p	M _n	M	w	W _{lim}	S _m	ε _{sm}
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-22,64	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-10,53	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-70,77	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto destro [Combinazione n° 65 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	M _p	M _n	M	w	w _{lim}	sm	□sm
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-22,66	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-10,51	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-70,79	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 66 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	M _p	M _n	M	w	w _{lim}	sm	□sm
1	0,25	14,07	10,05	131,79	-128,98	51,13	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,17	10,05	14,07	128,98	-131,79	-67,23	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	10,05	10,05	128,21	-128,21	-106,94	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,08	10,05	18,10	129,73	-135,36	-67,23	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	18,10	10,05	135,36	-129,73	51,13	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione traverso [Combinazione n° 66 - SLE (Rara)]

N°	X	A _{fi}	A _{fs}	M _p	M _n	M	w	w _{lim}	sm	□sm
1	0,25	16,08	16,08	134,75	-134,75	-100,41	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,19	16,08	16,08	134,75	-134,75	-6,67	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	2,13	16,08	16,08	134,75	-134,75	24,57	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	3,03	16,08	16,08	134,75	-134,75	-4,40	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	4,00	16,08	16,08	134,75	-134,75	-100,41	0,00	100,00	0,00	0,00000



Verifica fessurazione piedritto sinistro [Combinazione n° 66 - SLE (Rara)]

N°	X	Afi	Afs	Mp	Mn	M	w	wlim	sm	□sm
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-51,13	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-32,23	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-100,41	0,00	100,00	0,00	0,00000

Verifica fessurazione piedritto destro [Combinazione n° 66 - SLE (Rara)]

N°	X	Afi	Afs	Mp	Mn	M	w	wlim	sm	□sm
1	0,25	20,11	16,08	138,34	-135,51	-51,13	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	1,98	16,08	16,08	134,75	-134,75	-32,23	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	3,70	16,08	16,08	134,75	-134,75	-100,41	0,00	100,00	0,00	0,00000

A valle dei risultati ottenuti la verifica a fessurazione risulta essere soddisfatta in quanto le sezioni non superano mai il momento di prima fessurazione.

4.2.2.3.-..Verifica dello stato limite di deformazione

In accordo con il §2.6.2.2.3 del MdP RFI, "le deformazioni massime devono risultare compatibili con la geometria della struttura in relazione alle esigenze del traffico. In tutte le strutture, limitatamente agli elementi principali, si dovrà rispettare il seguente limite di deformazione sotto l'azione dei carichi accidentali di progetto incrementati dinamicamente nella combinazione RARA:"

$$f \leq \frac{L}{700} = \frac{375}{700} = 0,54\text{cm}$$

in cui:

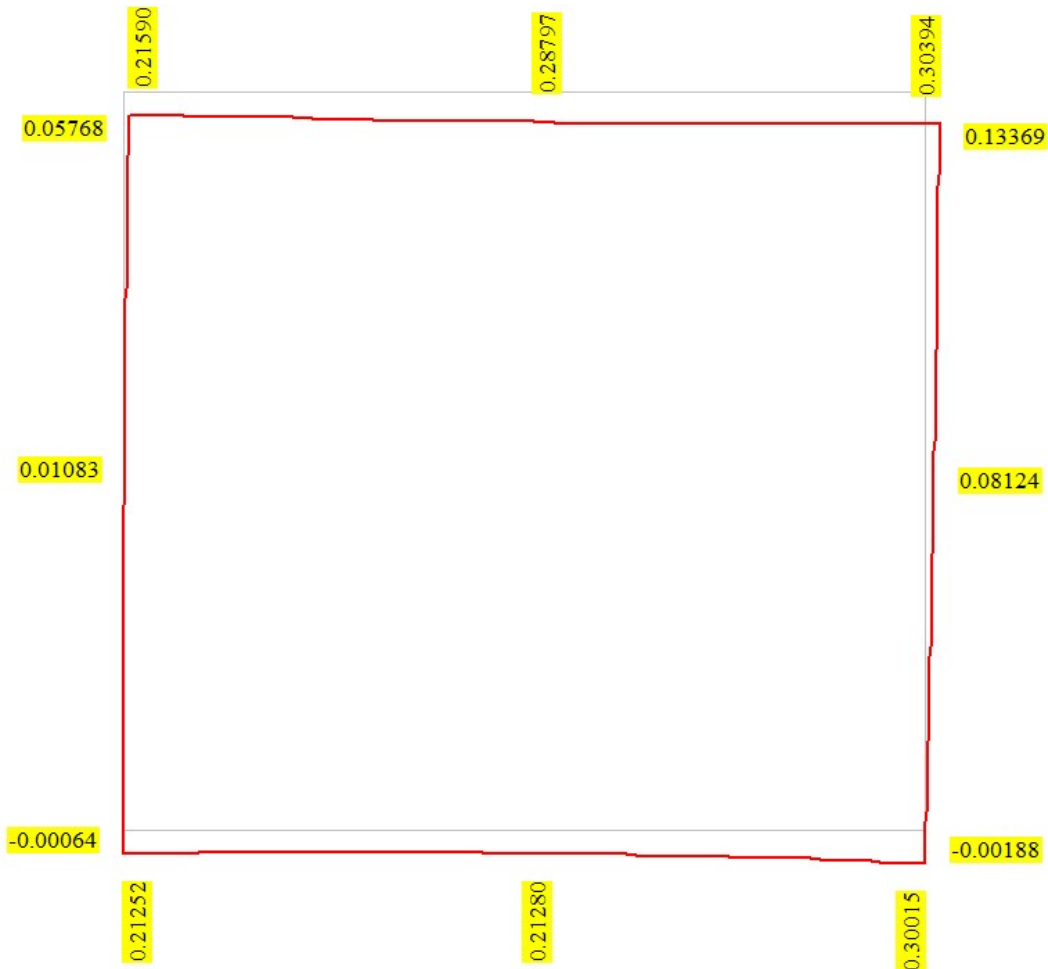
L= luce di calcolo;


f= massima freccia verticale.

In relazione alle analisi effettuate, si ottiene una freccia del trasverso pari a:

$$f=0,29\text{cm}$$

come mostrato dalla figura seguente. Pertanto, la verifica risulta essere soddisfatta.



 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”	ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI
CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007	TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE	PAGINA 67 / 83

4.1.-..VERIFICHE GEOTECNICHE

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche agli Stati Limite Ultimo di tipo GEO. In particolare, in accordo con quanto previsto dalla normativa di riferimento (NTC18) si effettua una verifica a carico limite verticale del terreno di fondazione. Nello specifico, la verifica a carico limite verticale risulta essere soddisfatta se:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

In cui:

- Q_u carico limite
- R risultante verticale dei carichi in fondazione

Nel caso in esame, il carico limite verrà calcolato mediante la formula di Vesic, per cui si ottiene un carico limite per unità di superficie q_u pari a:

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

In cui N_c , N_q ed N_γ sono i coefficienti di carico limite di Terzaghi e sono espressi unicamente in funzione dell'angolo di attrito interno ϕ del terreno di fondazione. Mentre, i fattori s , d , i , g e b sono i coefficienti correttivi della formula trinomia di Terzaghi, che tengono in conto rispettivamente di: forma della fondazione, profondità del piano di posa della fondazione, inclinazione del carico in fondazione, inclinazione del piano campagna ed inclinazione del piano di posa della fondazione.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per le sole combinazioni di carico allo SLU.

Simbologia adottata

- IC Indice della combinazione
- N_c, N_q, N_γ Fattori di capacità portante
- N_c, N_q, N_γ Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.
- q_u Portanza ultima del terreno, espressa in [N/mm²]
- Q_U Portanza ultima del terreno, espressa in [kN]/m
- Q_Y Carico verticale al piano di posa, espressa in [kN]/m
- FS Fattore di sicurezza a carico limite

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007


TITOLO DOCUMENTO

**RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE**


PAGINA

68 / 83

IC	N _c	N _q	N _γ	N' _c	N' _q	N' _γ	q _u	Q _u	Q _γ	FS
1	23,94	13,20	14,47	24,69	13,06	9,83	9,89	4122,42	540,45	7,63
2	17,08	7,96	7,31	17,04	7,84	4,87	5,65	2356,82	446,81	5,27
3	23,94	13,20	14,47	16,40	9,10	5,56	5,11	2131,74	384,64	5,54
4	17,08	7,96	7,31	9,43	4,91	2,32	2,42	1007,18	311,77	3,23
5	23,94	13,20	14,47	31,96	16,54	14,26	16,25	6774,21	221,51	30,58
6	23,94	13,20	14,47	31,96	16,54	14,26	16,25	6774,21	221,51	30,58
7	17,08	7,96	7,31	22,70	10,03	7,16	9,48	3951,32	170,39	23,19
8	17,08	7,96	7,31	22,70	10,03	7,16	9,48	3951,32	170,39	23,19
9	23,94	13,20	14,47	38,64	19,73	12,40	18,58	7744,78	499,95	15,49
10	23,94	13,20	14,47	38,64	19,73	12,40	18,58	7744,78	499,95	15,49
11	17,08	7,96	7,31	26,86	11,63	6,26	10,68	4451,76	411,71	10,81
12	17,08	7,96	7,31	26,86	11,63	6,26	10,68	4451,76	411,71	10,81
13	23,94	13,20	14,47	25,36	13,38	10,22	10,42	4341,19	476,66	9,11
14	23,94	13,20	14,47	25,36	13,38	10,22	10,42	4341,19	476,66	9,11
15	17,08	7,96	7,31	17,54	8,04	5,05	5,95	2480,52	391,52	6,34
16	17,08	7,96	7,31	17,54	8,04	5,05	5,95	2480,52	391,52	6,34
17	23,94	13,20	14,47	18,17	9,95	6,40	6,10	2543,31	352,01	7,23
18	23,94	13,20	14,47	18,17	9,95	6,40	6,10	2543,31	352,01	7,23
19	17,08	7,96	7,31	10,84	5,45	2,74	2,97	1239,39	283,49	4,37
20	17,08	7,96	7,31	10,84	5,45	2,74	2,97	1239,39	283,49	4,37
21	23,94	13,20	14,47	32,03	16,57	14,31	16,30	6794,07	221,51	30,67
22	17,08	7,96	7,31	22,77	10,05	7,19	9,52	3967,30	170,39	23,28
23	23,94	13,20	14,47	38,64	19,73	12,40	18,58	7744,78	444,26	17,43
24	17,08	7,96	7,31	26,86	11,63	6,26	10,68	4451,76	363,44	12,25
25	23,94	13,20	14,47	26,84	14,09	11,08	12,11	5045,53	209,19	24,12
26	23,94	13,20	14,47	26,61	13,98	10,95	11,97	4988,16	216,65	23,02
27	17,08	7,96	7,31	18,57	8,43	5,45	6,93	2889,32	216,65	13,34
28	17,08	7,96	7,31	18,84	8,54	5,56	7,06	2942,97	209,19	14,07
29	23,94	13,20	14,47	32,15	16,63	14,39	15,89	6624,73	209,19	31,67
30	23,94	13,20	14,47	31,71	16,42	14,10	15,79	6582,98	216,65	30,39

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO	PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”							ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI		
CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007	TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE							PAGINA 69 / 83		
31	17,08	7,96	7,31	22,40	9,91	7,03	9,22	3843,73	216,65	17,74
32	17,08	7,96	7,31	22,83	10,08	7,22	9,30	3876,98	209,19	18,53
33	23,94	13,20	14,47	24,68	13,06	9,83	10,68	4449,94	188,41	23,62
34	23,94	13,20	14,47	24,49	12,97	9,72	10,57	4406,89	195,88	22,50
35	17,08	7,96	7,31	16,85	7,77	4,79	6,05	2519,67	188,41	13,37
36	17,08	7,96	7,31	16,62	7,68	4,71	5,94	2477,11	195,88	12,65
37	23,94	13,20	14,47	31,16	16,16	13,75	15,09	6290,07	195,88	32,11
38	23,94	13,20	14,47	30,67	15,92	13,43	14,71	6131,80	188,41	32,54
39	17,08	7,96	7,31	22,02	9,76	6,87	8,75	3646,56	195,88	18,62
40	17,08	7,96	7,31	21,53	9,57	6,66	8,46	3528,03	188,41	18,73
41	23,94	13,20	14,47	28,94	15,10	12,35	14,03	5849,37	166,66	35,10
42	23,94	13,20	14,47	28,65	14,95	12,17	13,82	5761,75	174,13	33,09
43	17,08	7,96	7,31	20,10	9,02	6,07	8,01	3338,09	174,13	19,17
44	17,08	7,96	7,31	20,42	9,15	6,20	8,19	3412,31	166,66	20,47
45	23,94	13,20	14,47	28,85	15,05	12,29	13,97	5822,92	166,66	34,94
46	23,94	13,20	14,47	28,55	14,91	12,11	13,76	5735,81	174,13	32,94
47	17,08	7,96	7,31	20,00	8,99	6,03	7,96	3317,65	174,13	19,05
48	17,08	7,96	7,31	20,33	9,11	6,16	8,14	3391,07	166,66	20,35
49	23,94	13,20	14,47	29,44	15,33	12,66	14,39	5997,21	203,79	29,43
50	23,94	13,20	14,47	29,13	15,19	12,47	14,17	5906,43	211,25	27,96
51	17,08	7,96	7,31	20,79	9,29	6,35	8,39	3498,21	203,79	17,17
52	17,08	7,96	7,31	20,47	9,17	6,22	8,22	3423,93	211,25	16,21
53	23,94	13,20	14,47	29,44	15,33	12,66	14,39	5997,21	203,79	29,43
54	23,94	13,20	14,47	29,13	15,19	12,47	14,17	5906,43	211,25	27,96
55	17,08	7,96	7,31	20,47	9,17	6,22	8,22	3423,93	211,25	16,21
56	17,08	7,96	7,31	20,79	9,29	6,35	8,39	3498,21	203,79	17,17

A valle dei risultati ottenuti, la verifica a carico limite verticale risulta essere soddisfatta.

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO S.O. INGEGNERIA DI PALERMO</p>	<p>PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O DEFINITIVA E/O ESECUTIVA INCLUSE TUTTE LE PRESTAZIONI SPECIALI ED ACCESSORIE DOVUTE, AFFERENTI ALLA SEDE FERROVIARIA E/O ALLE SUE OPERE CIVILI E/O A FABBRICATI E RELATIVI IMPIANTI DI RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A. – GIURISDIZIONE DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE PALERMO - LOTTO N. 9”</p>	<p>ATI SINTAGMA ITALIANA SISTEMI</p>
<p>CODIFICA ELABORATO S01 PD TG-- 11 E0007</p>	<p>TITOLO DOCUMENTO RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</p>	<p>PAGINA 70 / 83</p>

5.-..ANALISI DELLE STRUTTURE SECONDARIE

5.1.-..RAMPE SCALE

Nel presente paragrafo si riportano le verifiche delle rampe delle scale che non fanno parte del modello globale del sottopasso analizzato nei capitoli precedenti.

Esse coprono il dislivello tra la quota della banchina (+161,69m s.l.m. al finito) e la quota del piano calpestabile del sottopasso (+157,24m s.l.m.).

Ognuna delle due scale è composta da tre rampe e due pianerottoli intermedi; la prima rampa, a ridosso del sottopasso, ed entrambi i pianerottoli intermedi poggiano direttamente sul terreno e pertanto non saranno oggetto di calcolo. A valle di ciò, verranno considerate sole due rampe, che sono a soletta piena di spessore 17cm e larghezza 1,80m così come il pianerottolo intermedio di lunghezza pari a circa 1,60m.

Lo schema strutturale, per entrambe le rampe, è quello di trave su due appoggi che si sviluppa in direzione longitudinale alle rampe stesse in quanto risultano non collegate strutturalmente con continuità alle pareti controterra; gli appoggi di cui sopra sono costituiti direttamente dal terreno in sito.

Di seguito si espongono dapprima i carichi agenti su di esse e successivamente tutte le verifiche effettuate.

I carichi permanenti (q_{per}) per metro lineare di soletta risultano:

• peso proprio rampa	= 1,0x0,17x1,0x25x(1/cos29°)	=4,90kN/m
• struttura gradini in c.a.	= 1,0x(0,30X0,165/2)x(1/0,33)x25	=1,90kN/m
• pedate in marmo	= 0,35x0,03x1,0x27x(1/0,33)	=0,86kN/m
• alzate in marmo	= 0,13x0,03x1,0x27x(1/0,33)	=0,32kN/m
• strato di malta (pedate)	= 0,32x0,02x1,0x18x(1/0,33)	=0,35kN/m
• strato di malta (pedate)	= 0,15x0,02x1,0x18x(1/0,33)	= <u>0,16kN/m</u>
	Tot.	8,50kN/m

I sovraccarichi accidentali (q_{acc}), in accordo con quanto previsto dalla normativa di riferimento (NTC18) al §3.1.4, per ambienti di Cat. C5 (Tab. 3.1.II), si ha:

5,00kN/m

Per la verifica allo stato limite ultimo (SLU), la combinazione di carico più gravosa risulta la seguente (combinazione fondamentale):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots + \gamma_{Qj} \cdot \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$$

assumendo come da norma:

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
71 / 83

$$\gamma_{G1} = 1,3 \text{ (carichi permanenti - peso struttura e gradini)}$$

$$\gamma_{Q1} = 1,5 \text{ (carichi variabili - sovraccarico accidentale)}$$

e quindi:

$$q_{tot} = 1,3 \times q_{per} + 1,5 \times q_{acc} = 1,3 \times 8,50 + 1,5 \times 5,00 = 11,05 + 7,50 = 18,55 \text{ kN/m}$$

Le caratteristiche massime della sollecitazione per la rampa, considerando lo schema di trave semplicemente appoggiata di luce (l_1) pari a 2,70m, valgono:

$$M_{max} = q_{tot} \cdot l_1^2 / 8 = 18,55 \cdot 2,70^2 / 8 = 17,00 \text{ kNm/m;}$$

$$V = q_{tot} \cdot l_1 / 2 = 18,5 \cdot 2,70 / 2 = 25,00 \text{ kN/m;}$$

Per una sezione 100x17cm e c=5cm, armata con $A_f = A'_f = 7,70 \text{ cm}^2/\text{m}$, si ha:

$$M_{Rd} = 37,7 \text{ kNm/m; } V_{Rd} = 76,4 \text{ kN/m;}$$

Titolo : **Scala**

N° strati barre **2** Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	17	1	7,70	5
			2	7,70	12

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Metodo di calcolo: S.L.U. Metodo n

Materiali: B450C C32/40

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008					
Materiali					
Calcestruzzo			Acciaio		
R _{ck}	[Mpa]	40	f _{yk}	[Mpa]	450
f _{ck}	[Mpa]	33,2	f _{yd}	[Mpa]	391,3
f _{cd}	[Mpa]	18,8			
Geometria sezione					
b	[mm]	1000	c	[mm]	50
h	[mm]	170	d	[mm]	120
Armatura longitudinale			Sollecitazioni di calcolo		
n° barre	-	5	N _{ed}	[kN]	0
diametro	[mm]	14	V _{ed}	[kN]	25
Area	[mm²]	769,7			
Parametri di verifica					
k	-	2,00	ρ _l	-	0,006
V _{min}	-	0,57	σ _{cp}	-	0,000
VERIFICA					
Sezione non armata a taglio					
V _{Rd}	[kN]	79,8	Verificato		

5.1.-...NUCLEO ASCENSORE

Nel presente paragrafo si riportano le verifiche dei nuclei ascensori che non fanno parte del modello globale del sottopasso analizzato nei capitoli precedenti.

Gli impianti ascensori sono posti per vincere le barriere architettoniche rappresentate dalle rampe scale e, coprono anch'essi il dislivello tra la quota della banchina (+161,69m s.l.m. al finito) e la quota del piano calpestabile del sottopasso (+157,24m s.l.m.).

Ognuno dei due nuclei ascensore è composto da pareti in c.a. in elevazione a formare una struttura scatolare a diretto contatto col terreno su tutti i lati tranne sul lato del sottopasso dove è presente una apertura per consentire l'accesso all'ascensore vero e proprio.

Dal punto di vista computazionale, il nucleo ascensore viene analizzato come una struttura a pareti interrata e pertanto modellato mediante elementi bidimensionali di tipo shell.

Il nucleo ascensore ha la seguente geometria in pianta:

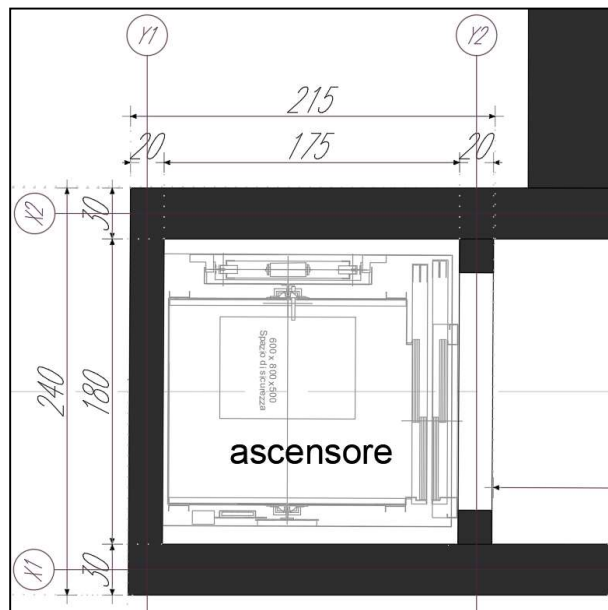


Figura 15 – Pianta nucleo ascensore

e si sviluppa per una altezza di circa 6,50m.

Di seguito si riporta una vista estrusa del modello realizzato.

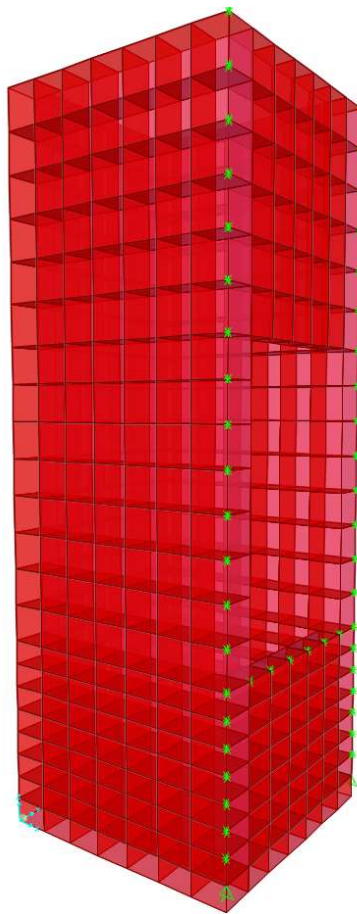


Figura 16 – Vista estrusa modello di calcolo

I carichi agenti sulle pareti del nucleo in c.a. sono:

- P.P. del nucleo in c.a. (tenuto in conto automaticamente dal programma di calcolo);
- Spinta del terreno al contorno, valutata come già esposto in precedenza al §3.1.2.

Questi vengono combinati allo Stato Limite Ultimo (SLU) secondo la combinazione fondamentale dei carichi:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots + \gamma_{Qj} \cdot \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$$

assumendo come da norma:

$$\gamma_{G1} = 1,3 \text{ (carichi permanenti - peso struttura e gradini)}$$

$$\gamma_{Q1} = 1,5 \text{ (carichi variabili - sovraccarico accidentale)}$$

e quindi:

$$\gamma_{G1} \cdot P.P.NUCLEO + \gamma_{G1} \cdot P.P.NUCLEO$$

Di seguito si riportano dapprima i risultati delle analisi e, successivamente, le verifiche effettuate.

Momento M11 (vettore momento in direzione X)

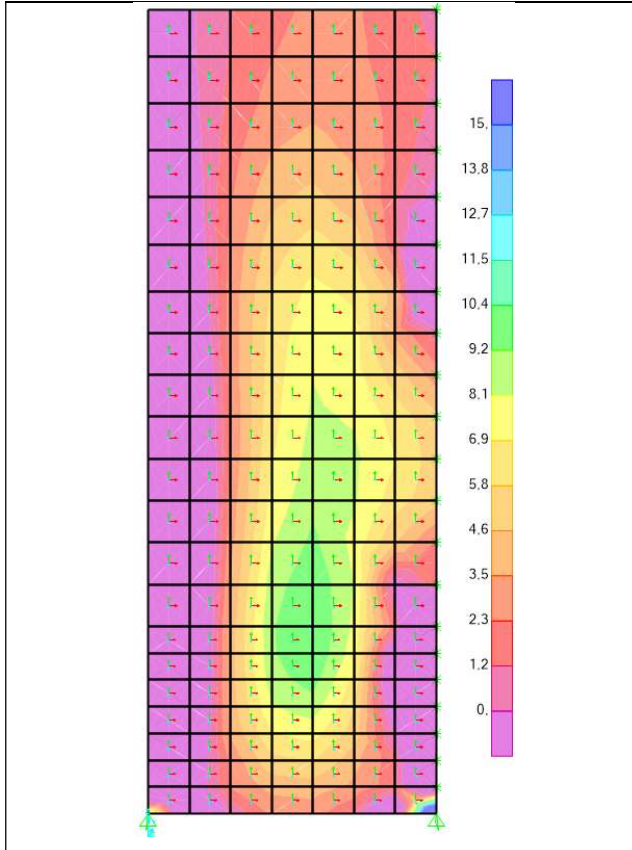


Figura 17 – M11 parete allineamento X1

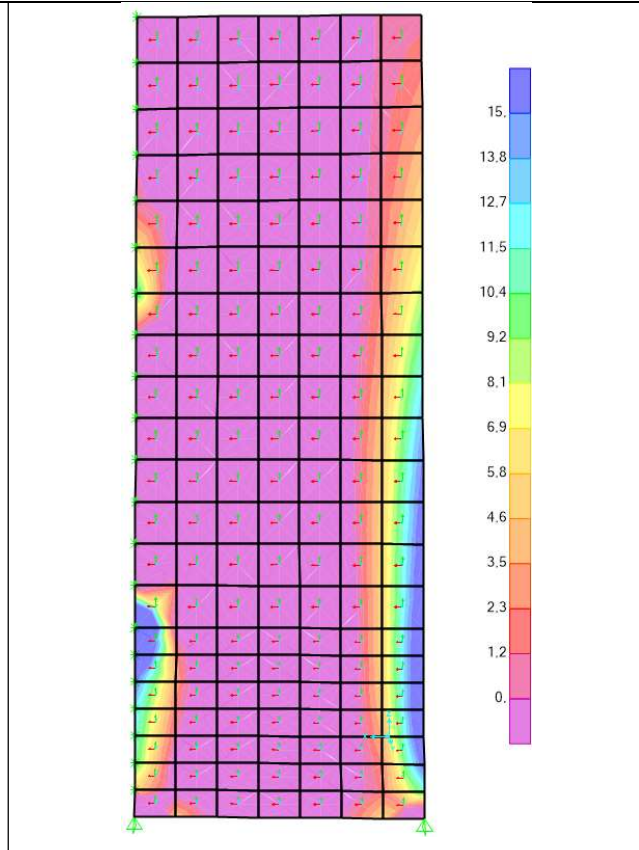


Figura 18 – M11 parete allineamento X2

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
75 / 83

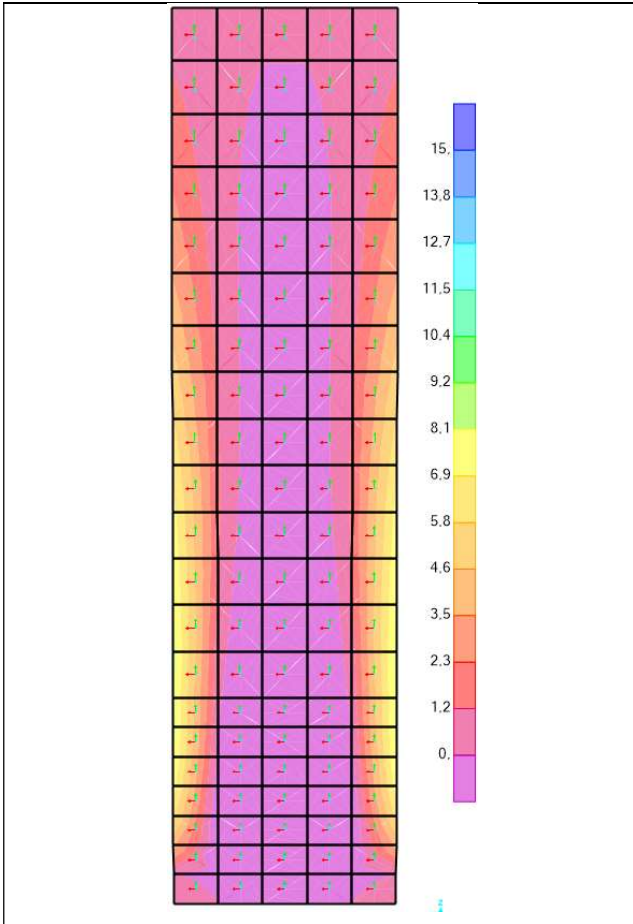


Figura 19 – M11 parete allineamento Y1

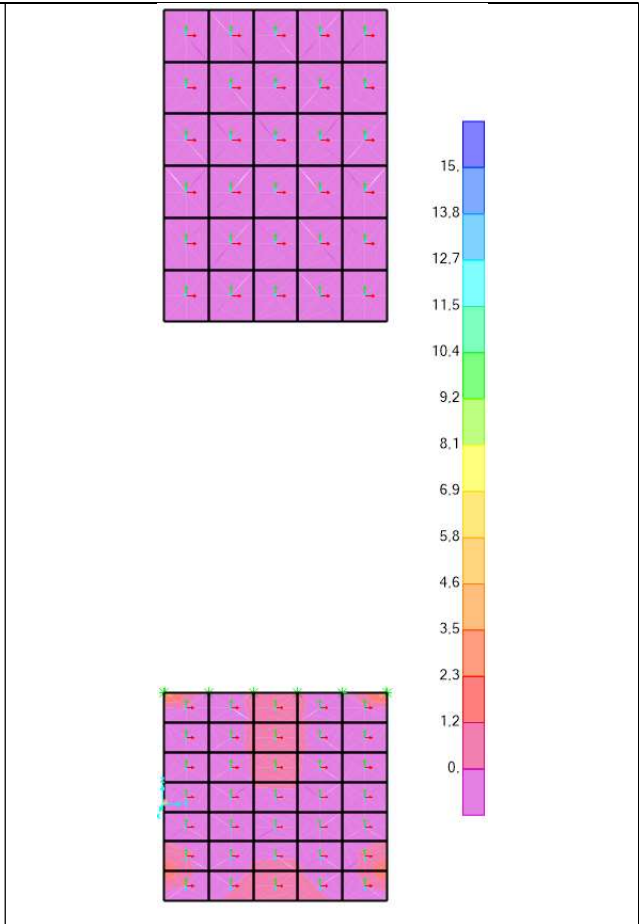
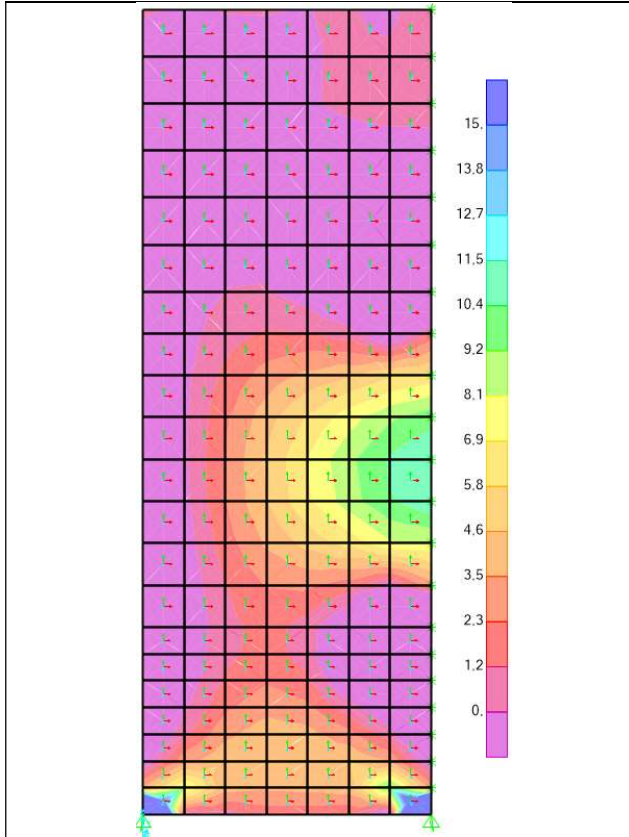
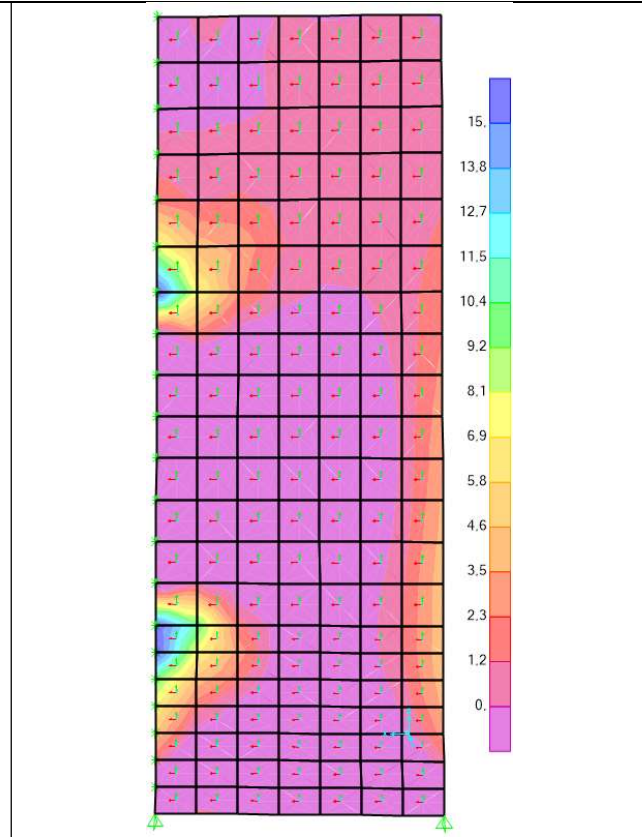


Figura 20 – M11 parete allineamento Y2

Momento M22 (vettore momento in direzione Y)

Figura 21 – M22 parete allineamento X1

Figura 22 – M22 parete allineamento X2

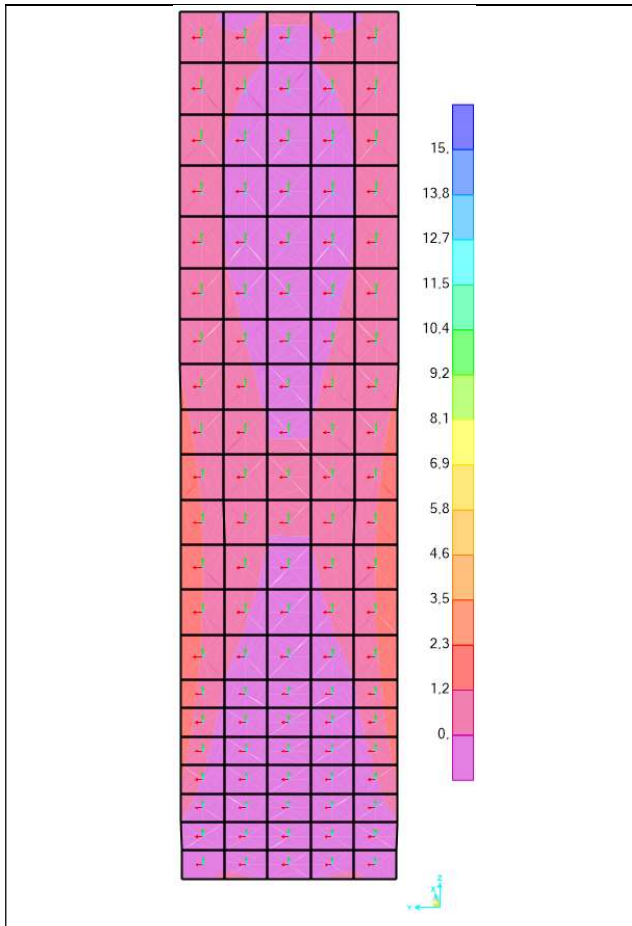


Figura 23 – M22 parete allineamento Y1

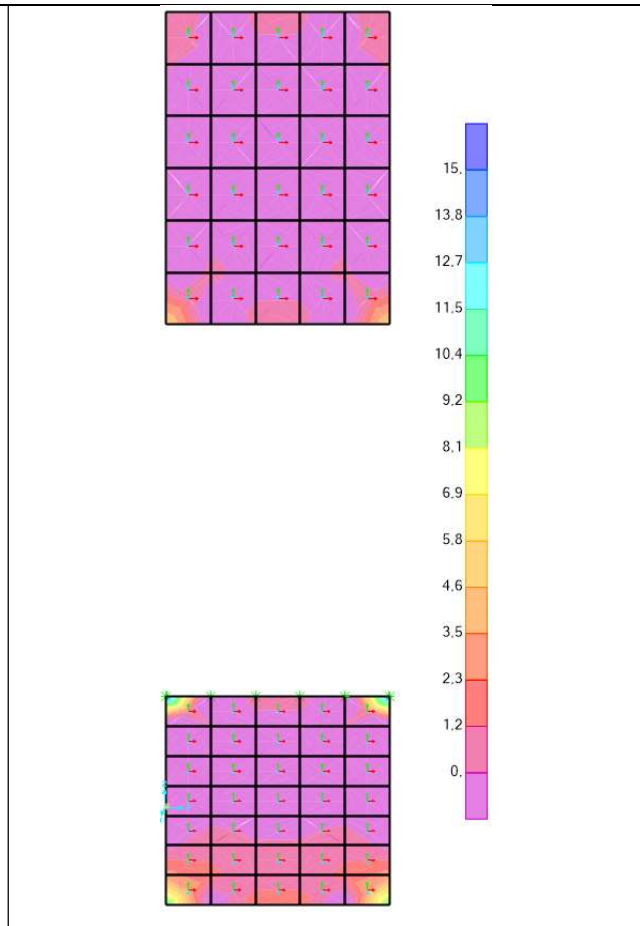


Figura 24 – M22 parete allineamento Y2

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
78 / 83

Taglio V23

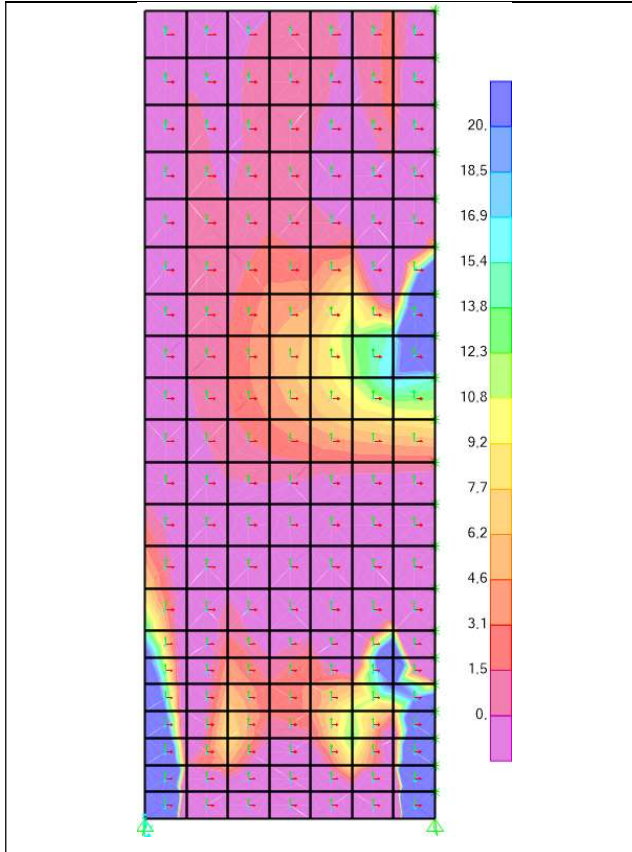


Figura 25 – V23 parete allineamento X1

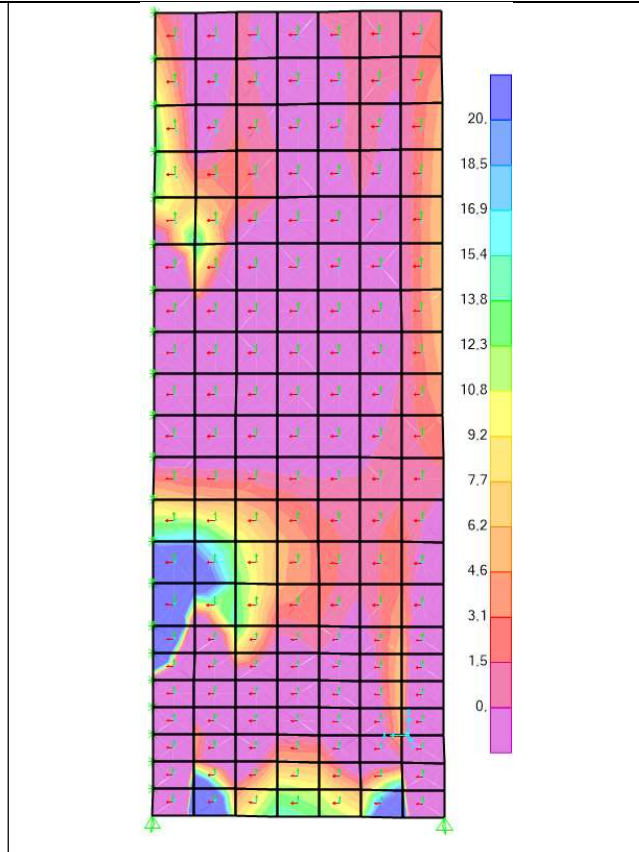


Figura 26 – V23 parete allineamento X2

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
79 / 83

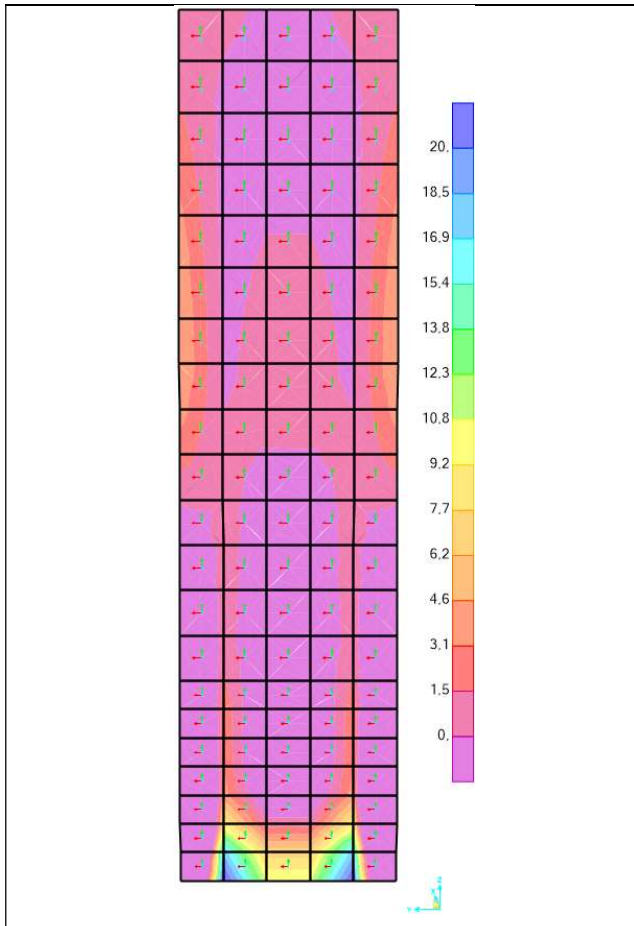


Figura 27 – V23 parete allineamento Y1

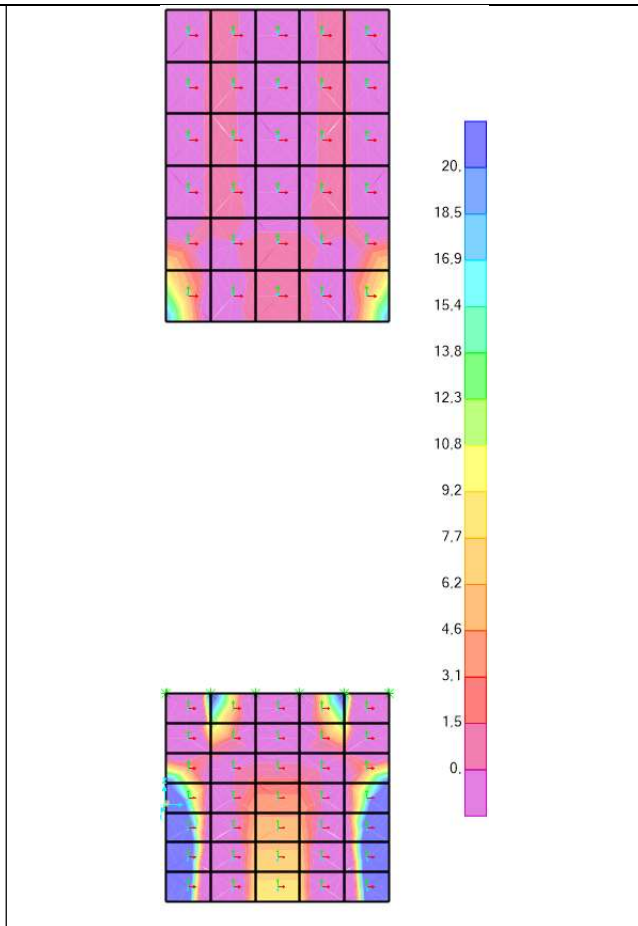


Figura 28 – V23 parete allineamento Y2

Taglio V13

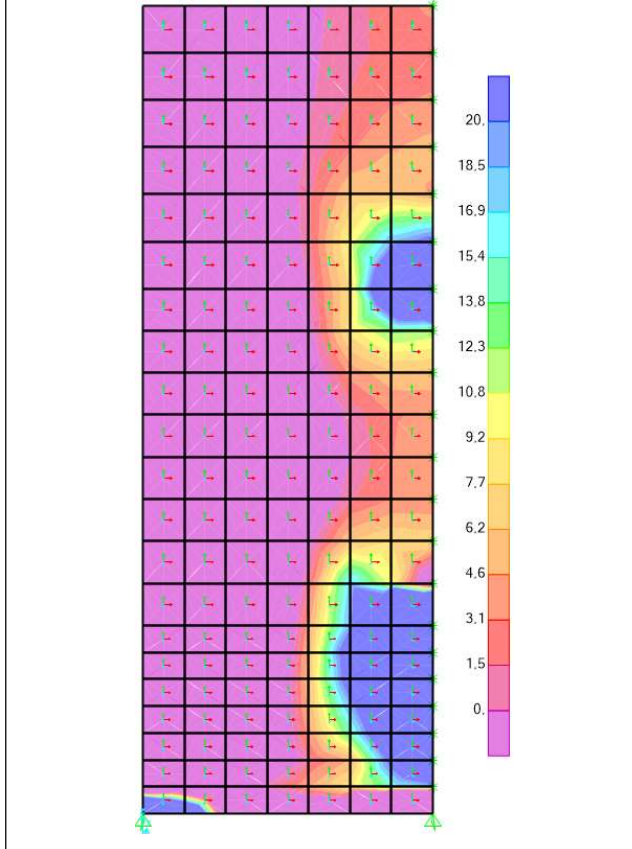


Figura 29 – V13 parete allineamento X1

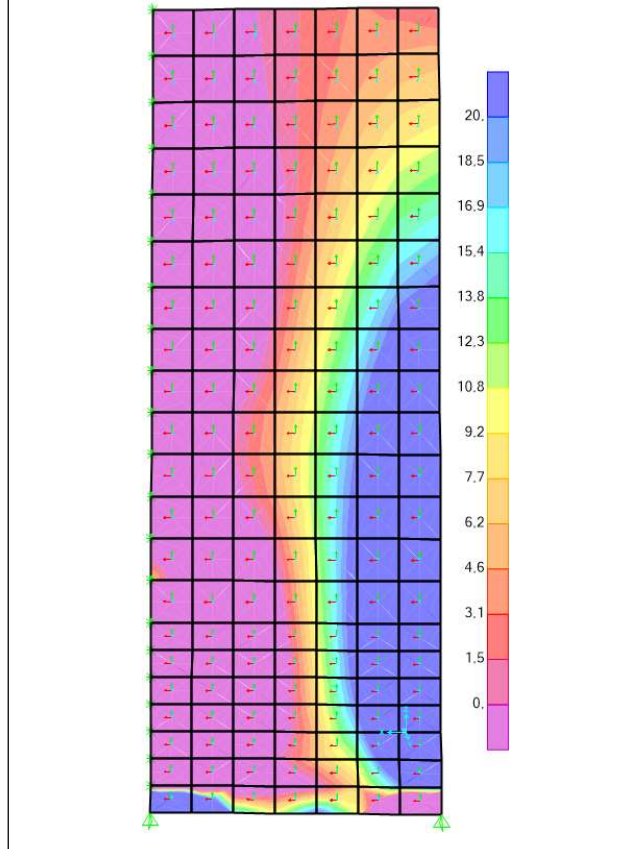
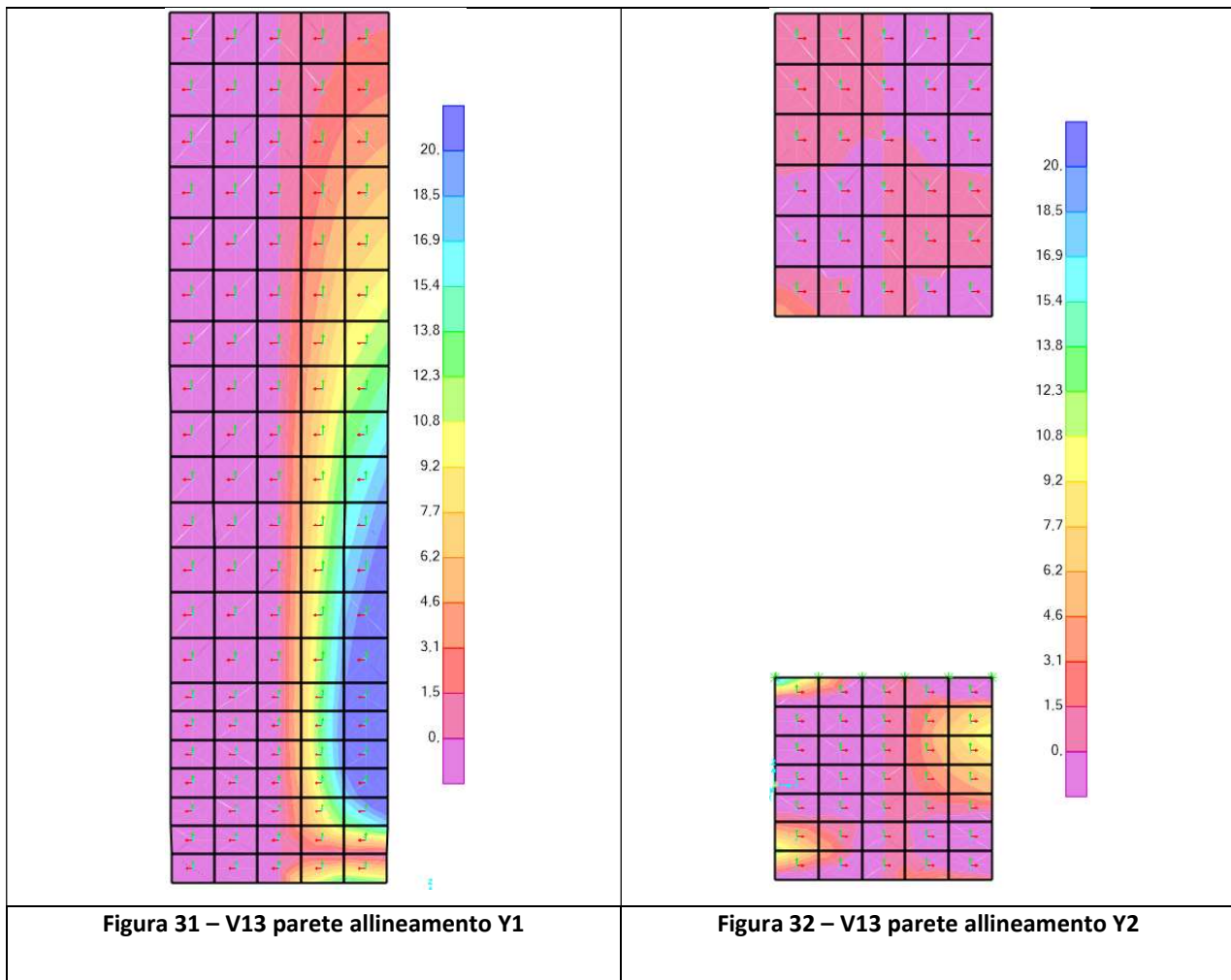


Figura 30 – V13 parete allineamento X2



Per le verifiche strutturali a flessione e taglio si considerano due diverse sezioni: la prima, di altezza 20cm, afferente alle pareti in direzione Y; e la seconda, di altezza 30cm, afferente alle pareti in direzione X.

Le analisi vengono svolte sia in direzione "1" (direzione X) e sia in direzione "2" (direzione Z) della parete analizzata.

Per entrambe le direzioni le analisi si svolgono per metro lineare di elemento.

Con riferimento alle seguenti sezioni b x h:

- 100 x 20 cm sezione pareti in direzione Y
- 100 x 30 cm sezione pareti in direzione X

con copriferro $c=5\text{cm}$ ed armate, in entrambe le direzioni, in maniera simmetrica con $A_f=A'_f=15,71\text{cm}^2$, si hanno i seguenti risultati.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
82 / 83

Analisi in direzione "1" pareti in direzione X

$$M_{E,d,max} = M_{22,max} = 17,0 \text{ kNm/m}; \quad V_{E,d,max} = V_{23,max} = 110,0 \text{ kN/m};$$

Mentre la sezione suddetta presenta le seguenti resistenze:

$$M_{R,d} = 144,6 \text{ kNm/m}; \quad V_{R,d} = 156,5 \text{ kN/m};$$

La resistenza a taglio viene valutata considerando l'elemento non armato a taglio. Sia per la resistenza a flessione che a taglio, a vantaggio di sicurezza, viene trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

Come mostrato di seguito.

Titolo: Nucleo Ascensore

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,71	5
2	15,71	25

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N: Centro

Materiali: B450C, C32/40

M_{xRd} 144,6 kNm

σ_c -18,81 N/mm²
σ_s 391,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 15,43 ‰
d 25 cm
x 4,623 x/d 0,1849
δ 0,7

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008

Materiali			
Calcestruzzo		Acciaio	
R _{ck}	[Mpa]	40	f _{yk} [Mpa] 450
f _{ck}	[Mpa]	33,2	f _{yd} [Mpa] 391,3
f _{cd}	[Mpa]	18,8	
Geometria sezione			
b	[mm]	1000	c [mm] 50
h	[mm]	300	d [mm] 250
Armatura longitudinale		Sollecitazioni di calcolo	
n° barre	-	0	N _{ed} [kN] 0
diametro	[mm]	0	V _{ed} [kN] 110
Area	[mm²]	1571,0	
Parametri di verifica			
k	-	1,89	ρ _l - 0,006
V _{min}	-	0,53	σ _{cp} - 0,000
VERIFICA			
Sezione non armata a taglio			
V _{Rd}	[kN]	156,5	Verificato

Pertanto le verifiche a flessione e taglio risultano essere soddisfatte.

Analisi in direzione "2" pareti in direzione X

$$M_{E,d,max} = M_{11,max} = 38,0 \text{ kNm/m}; \quad V_{E,d,max} = V_{13,max} = 120,0 \text{ kN/m};$$

Mentre la sezione suddetta presenta le seguenti resistenze:

$$M_{R,d} = 144,6 \text{ kNm/m}; \quad V_{R,d} = 156,5 \text{ kN/m};$$

come mostrato precedentemente (la sezione, essendo analizzata per metro lineare ed essendo armata in maniera simmetrica in entrambe le direzioni con la stessa area di armatura $A'_{f1}=A_f$, non cambia nelle due direzioni).

Pertanto, le verifiche a flessione e taglio risultano essere soddisfatte.

La resistenza a taglio viene valutata considerando l'elemento non armato a taglio. Sia per la resistenza a flessione che a taglio, a vantaggio di sicurezza, viene trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

CODIFICA ELABORATO
S01 PD TG-- 11 E0007

TITOLO DOCUMENTO
RIPRISTINO DELLA LINEA PALERMO – TRAPANI VIA MILO
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE

PAGINA
83 / 83

Analisi in direzione "1" pareti in direzione Y

$$M_{E,d,max} = M_{22,max} = 10,0 \text{ kNm/m}; \quad V_{E,d,max} = V_{23,max} = 85,0 \text{ kN/m};$$

Mentre la sezione suddetta presenta le seguenti resistenze:

$$M_{R,d} = 83,13 \text{ kNm/m}; \quad V_{R,d} = 117,5 \text{ kN/m};$$

La resistenza a taglio viene valutata considerando l'elemento non armato a taglio. Sia per la resistenza a flessione che a taglio, a vantaggio di sicurezza, viene trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.

Come mostrato di seguito.

TITOLO : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	15,71	5
			2	15,71	15

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C32/40
E_{su} 67,5 % E_{c2} 2 %
f_{yd} 391,3 N/mm² E_{cu} 3,5 %
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
E_{syd} 1,957 % σ_{c,adm} 12,25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
τ_{c1} 2,114

M_{xRd} 83,13 kNm
σ_c -18,81 N/mm²
σ_s 391,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 7,855 ‰
d 15 cm
x 4,624 x/d 0,3082
δ 0,8253

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. - Metodo n
Tipo flessione Retta Deviata
N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
Precompresso

Verifiche a taglio - D.M. 14-01-2008					
Materiali					
Calcestruzzo			Acciaio		
R _{ck}	[Mpa]	40	f _{yk}	[Mpa]	450
f _{ck}	[Mpa]	33,2	f _{yd}	[Mpa]	391,3
f _{cd}	[Mpa]	18,8			
Geometria sezione					
b	[mm]	1000	c	[mm]	50
h	[mm]	200	d	[mm]	150
Armatura longitudinale			Sollecitazioni di calcolo		
n° barre	-		N _{ed}	[kN]	0
diametro	[mm]		V _{ed}	[kN]	85
Area	[mm²]	1571,0			
Parametri di verifica					
k	-	2,00	ρ _l	-	0,010
V _{min}	-	0,57	σ _{cp}	-	0,000
VERIFICA					
Sezione non armata a taglio					
V _{Rd}	[kN]	117,5	Verificato		

Pertanto le verifiche a flessione e taglio risultano essere soddisfatte.

Analisi in direzione "2" pareti in direzione Y

$$M_{E,d,max} = M_{11,max} = 8,5 \text{ kNm/m}; \quad V_{E,d,max} = V_{13,max} = 30,0 \text{ kN/m};$$

Mentre la sezione suddetta presenta le seguenti resistenze:

$$M_{R,d} = 83,13 \text{ kNm/m}; \quad V_{R,d} = 117,5 \text{ kN/m};$$

come mostrato precedentemente (la sezione, essendo analizzata per metro lineare ed essendo armata in maniera simmetrica in entrambe le direzioni con la stessa area di armatura A'_i=A_r, non cambia nelle due direzioni).

Pertanto, le verifiche a flessione e taglio risultano essere soddisfatte.

La resistenza a taglio viene valutata considerando l'elemento non armato a taglio. Sia per la resistenza a flessione che a taglio, a vantaggio di sicurezza, viene trascurato il contributo favorevole dello sforzo normale di compressione.