

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

Opere di sostegno di linea

TR05: Muro a U MU72

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 78 CL MU7200 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Gen-2020	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Gen-2020	A.Barreca <i>A. Barreca</i>	Gen-2020	D.Tiberti Apr-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Apr-2020	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Apr-2020	A.Barreca <i>A. Barreca</i>	Apr-2020	

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Generale  
UO Infrastrutture Sud  
Dist. Ing. Daniele Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 1187/8

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	1 di 82

1. PREMESSA .....	3
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	6
5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	8
5.1 CALCESTRUZZO MURI .....	8
5.2 ACCIAIO D'ARMATURA .....	9
6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	10
7. COMBINAZIONI DI CALCOLO .....	12
8. CRITERI DI VERIFICA.....	13
8.1 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE .....	13
8.1.1 <i>Verifica a carico limite della fondazione</i> .....	13
8.2 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLV) IN CONDIZIONI SISMICHE .....	13
8.3 VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE).....	14
8.4 VERIFICHE STRUTTURALI SLU .....	14
8.4.1 <i>Criteri di verifica delle sezioni in c.a.</i> .....	15
8.4.2 <i>Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione - pressoflessione</i> .....	15
8.4.3 <i>Verifica agli stati limite ultimi a taglio</i> .....	15
8.5 VERIFICHE STRUTTURALI (SLE) .....	17
8.5.1 <i>Verifiche alle tensioni</i> .....	17
8.5.2 <i>Verifiche a fessurazione</i> .....	18
9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	19
9.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	19
9.2 PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	19
10. MURO A U $H_{MAX}=5.00$ M .....	22

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	2 di 82

Relazione di calcolo

10.1	MODELLAZIONE ADOTTATA.....	22
10.2	ANALISI DEI CARICHI .....	24
10.2.1	<i>Peso proprio della struttura</i> .....	24
10.2.2	<i>Carichi permanenti portati</i> .....	24
10.2.3	<i>Ballast</i> .....	25
10.2.4	<i>Spinta orizzontale dovuta al ballast</i> .....	26
10.2.5	<i>Spinta del terreno</i> .....	27
10.2.6	<i>Sovraccarico ferroviario su soletta inferiore</i> .....	29
10.2.7	<i>Verifica requisiti s.t.i. per opere minori sottobinario: carico equivalente</i> .....	30
10.2.8	<i>Incremento di spinta dovuta al carico accidentale</i> .....	33
10.2.9	<i>Azione sismica</i> .....	34
10.3	COMBINAZIONI DI CALCOLO .....	37
10.4	RISULTATI E VERIFICHE .....	39
10.4.1	<i>Verifica piedritti s.0.8m</i> .....	42
10.4.2	<i>Verifica piedritti s.0.4m</i> .....	53
10.4.3	<i>Verifica soletta inferiore</i> .....	63
10.5	VERIFICA A CARICO LIMITE.....	76



TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	4 di 82

Relazione di calcolo

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

La sezione tipologica analizzata è riportata nella seguente figura:

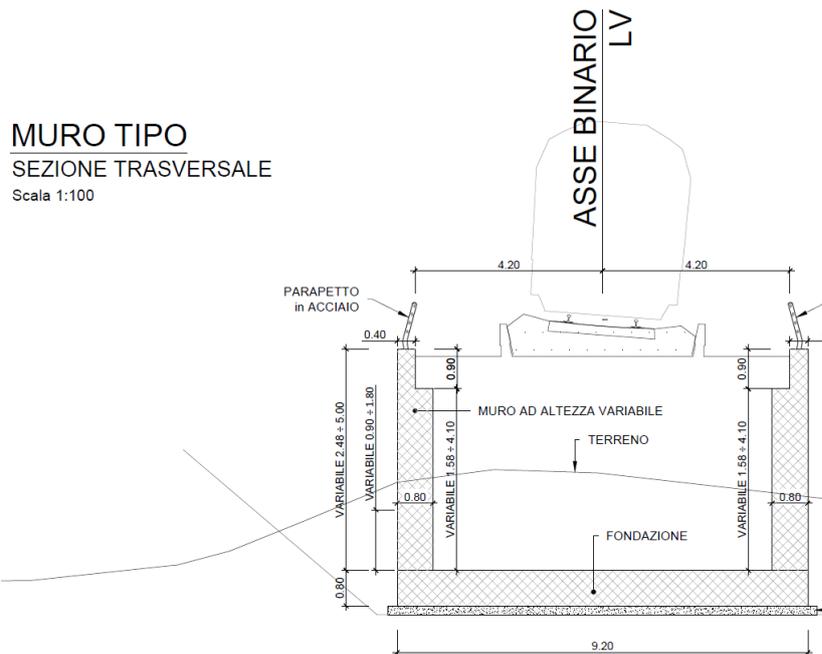


Figura 1-3 – Sezione MU72

L'altezza massima del paramento è pari a 5.00 m, lo spessore dei piedritti allo spiccatto è pari a 0.8 m e in sommità, per i restanti 90 cm, è di 0.4 m. La soletta di fondo è larga complessivamente 9.20 m e ha uno spessore di 0.8 m.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
TR05 – Muro ad U MU72:  Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>5 di 82</b>

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

**Norme Tecniche per le Costruzioni** - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

**Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019** - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

**Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea**. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

**Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2**

**RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18** - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.

## 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

RS3T.3.0.D.78.P9.MU.72.0.0.001: "Opere di sostegno di linea – Lotto 3b – TR05: Muro a U MU72 – Pianta, prospetto e sezioni"

RS3T.3.0.D.78.GE.GE.00.0.0.002: "Geotecnica – Elaborati generali – Relazione geotecnica generale – Lotto 3b"

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

#### 4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

unità di misura principali

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

unità di misura derivate **kN**

(kiloNewton)	10 <sup>3</sup> N
<b>MN</b> (megaNewton)	10 <sup>6</sup> N
<b>kgf</b> (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b> (centimetro)	10 <sup>-2</sup> m
<b>mm</b> (millimetro)	10 <sup>-3</sup> m
<b>Pa</b> (Pascal)	1 N/m <sup>2</sup>
<b>kPa</b> (kiloPascal)	10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup>
MPa (megaPascal)	10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup>
N/m <sup>3</sup>	(peso specifico)
<b>g</b> (accelerazione di gravità)	~9.81 m/s <sup>2</sup>

corrispondenze notevoli

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>  <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>  <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>  <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b></p>					
<p>TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30 D 26</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU 72 0 0 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 7 di 82</p>

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m <sup>3</sup> )	
$\sigma$ (sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )	
$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm <sup>2</sup> )	
$\varepsilon$ (epsilon)	deformazione	(m/m)	-
$\phi$ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Calcestruzzo muri

Classe di resistenza = C32/40;

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 40 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83  $R_{ck}$  = 33.20 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8$  = 41.20 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cd}$  =  $\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$  = 18,81 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media =  $0.30 \times f_{ck}^{2/3}$  = 3.10 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cfm}$  = resistenza a traz. per flessione media =  $1.20 \times f_{ctm}$  = 3.72 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cfk}$  = resistenza a traz. per flessione carati. =  $0.70 \times f_{cfm}$  = 2.60 N/ mm<sup>2</sup>;

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e 0.40 $f_{cm}$  =  $22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$  = 33642.78 N/ mm<sup>2</sup>;

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Classe di esposizione XC4

Copriferro minimo  $c_{min}$  = 50 mm

Condizioni ambientali: aggressive

### CALCOLO COPRIFERRO - § C4.1.6.1.3 ISTRUZIONI NTC 2018

- Elemento strutturale: fondazione ed elevazione muro a U

Diametro (o diametro equivalente) barre longitudinali: 26 [mm]

Diametro staffe: 14 [mm]

Classe Calcestruzzo: C32/40

Condizioni ambientali: Aggressive

Vita nominale costruzione: 75 [anni]

Tolleranza di posa: 10 [mm]

#### Copriferro staffe:

Copriferro minimo  $c_{min}$ : 50 [mm]

Copriferro nominale Netto Staffe: 64 [mm]

#### Copriferro barre longitudinali:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

Copriferro nominale Netto barre longitudinali: 78 [mm]

**Copriferro nominale dal Baricentro della Barra longitudinale: 91 [mm]**

## 5.2 Acciaio d'armatura

L'acciaio utilizzato è ad aderenza migliorata tipo B450C ed è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura:

$f_{y, nom}$  450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{t, nom}$  540 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo dell'acciaio per la verifica agli SLU ( $\gamma_s=1.15$ ):

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$  0.186%

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	10 di 82

Relazione di calcolo

## 6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica: Si riportano di seguito i terreni su cui poggia il muro a U lungo il tracciato, con i parametri fisici e meccanici ad essi assegnati. Da un'analisi dei dati a disposizione emerge che lo strato di terreno sul quale verrà impostato il piano di posa della fondazione del muro è caratterizzato dai valori dei parametri di calcolo riportati in Tabella. Per quanto riguarda i parametri meccanici assunti nel calcolo si sono considerati i valori medi dell'intervallo di variabilità riportato nel profilo geotecnico.

In mancanza dei risultati del sondaggio 3a-s41 si considera a favore di sicurezza il deposito superficiale a2 per le verifiche strutturali, a carico limite e dei cedimenti.

U.G.	da	a	$\gamma$	$c'$	$c_u$	$\phi'$	$E_{op}$	$\nu$
[-]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
a2	0	10	19	15	75	25	25	0.3
TRV	10	40	21	22	200	20	150	0.3

in cui:

$\gamma$  = peso specific del terreno;

$c'_k$  = coesione efficace;

$c_u$  = coesione non drenata;

$\phi'_k$  = angolo d'attrito efficace;

$E'_{op}$  = modulo di Young

La falda è posta ad una profondità di 4.00 metri dal piano campagna.

Nel tratto in esame il terreno spingente si trova all'interno del muro a U ed è costituito da rilevato ferroviario, le cui caratteristiche sono:

- peso volume,  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ;
- angolo d'attrito,  $\phi' = 38^\circ$ ;
- coesione efficace  $c' = 0 \text{ kPa}$ .

Per l'inquadramento geotecnico si rimanda alla "Relazione geotecnica generale" e ai relativi profili geotecnici.

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	11 di 82

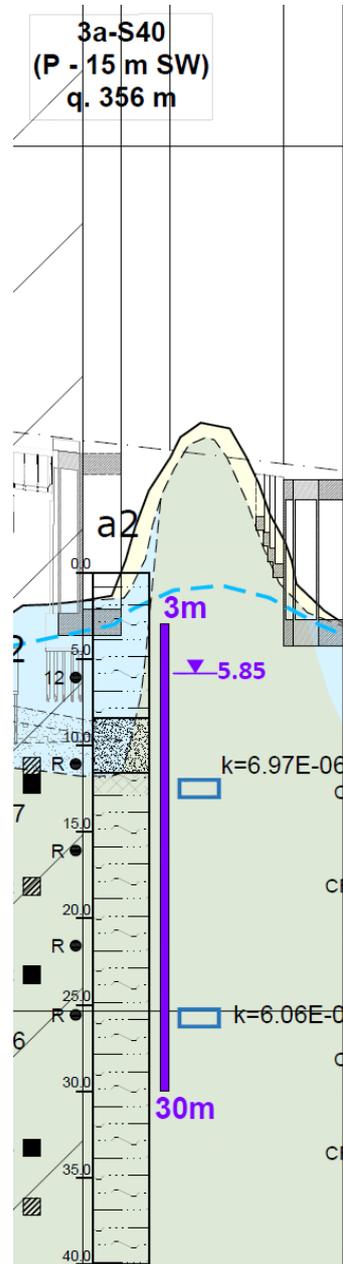


Figura 6-1 – Stralcio del profilo geotecnico.

Per l'unità geotecnica a2, il modulo di Young, non essendo fornito, è stato ricavato a partire dal modulo dinamico ( $E_{op} = E_0/10$ ).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## 7. COMBINAZIONI DI CALCOLO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

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

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

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

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica a Fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

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

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

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## 8. CRITERI DI VERIFICA

### 8.1 Verifiche geotecniche (slu) in condizioni statiche

Nelle verifiche di sicurezza si è preso in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo sia a breve termine sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle opere di sostegno si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono le opere stesse.

Per i **muri a U su fondazione diretta** si considera lo stato limite ultimo di tipo geotecnico (GEO) il collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno e lo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR) il raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica a carico limite è effettuata secondo la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.I, 6.4.II e 6.4.VI delle NTC18.

#### 8.1.1 Verifica a carico limite della fondazione

Per il calcolo della capacità portante della fondazione si è fatto riferimento alla formula di Brinch-Hansen (1970) integrata dai coefficienti sismici di Paolucci e Pecker (1995), di seguito riportata:

$$q_{lim} = c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q + 0.5 \gamma B N_{s_y} d_y i_y b_y g_y z_y$$

$$F_s = q_{lim} / q_{es}$$

con  $q_{es} = N / (B \cdot L')$  la pressione dovuta al carico verticale.

### 8.2 Verifiche geotecniche (slv) in condizioni sismiche

L'azione sismica agente sulle masse strutturali è stata considerata con un approccio di tipo pseudo-statico. Esso consente di rappresentare il sisma mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$ , rispettivamente, coefficiente sismico orizzontale e verticale, pari a

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g \text{ coefficiente sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \text{ coefficiente sismico verticale}$$

Nelle espressioni precedenti  $a_{max}$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito mentre  $\beta_m$  è il coefficiente di riduzione di tale accelerazione valutato in funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti relativi rispetto al terreno. Per l'analisi della struttura in esame  $\beta_m$  è stato posto pari ad 1. L'accelerazione orizzontale massima è stata valutata con la relazione:

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

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

in cui  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido e  $S$  un coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto, della massa associata al peso proprio e delle masse associate al carico permanente.

Inoltre, l'incremento di spinta dovuto al sisma è stato valutato utilizzando la teoria di Wood. Secondo tale teoria la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma, su una parete di altezza  $H_s$ , viene determinato attraverso la relazione  $\Delta S_E = (a_{\max}/g) \cdot \gamma \cdot H_{\text{tot}}^2$  ( $H_{\text{tot}}$  = distanza p.c. – intradosso soletta inferiore).

### 8.3 Verifiche geotecniche (sle)

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo  $E_d$  e  $C_d$  rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, dovranno essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

Per i lavori e le opere da realizzare in prossimità di linee ferroviarie già in esercizio, le verifiche agli SLE dovranno essere condotte assumendo come limite degli spostamenti indotti durante la costruzione sui binari in esercizio i valori limite dei difetti riferiti al secondo livello di qualità descritti nella specifica tecnica RFI TCAR ST AR 01 001 D "Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h" e relativi allegati.

Qualora vengano superati i limiti riferiti al primo livello di qualità, il progetto dovrà prevedere l'esecuzione di un monitoraggio del binario durante la costruzione al fine di controllare l'effettivo andamento delle deformazioni.

### 8.4 Verifiche strutturali sl<sub>u</sub>

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 72 0 0 001	REV. B

#### 8.4.1 Criteri di verifica delle sezioni in c.a.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

#### 8.4.2 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione - pressoflessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

#### 8.4.3 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

- resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\}$$

- valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento:

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

- valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse:

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

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02;$$

$A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa;

$b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

$N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \cot\theta \leq 2.5$  è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave;

$A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

$s$  è il passo delle staffe;

$f_{ywd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$  è la resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;

$\alpha_{cw} = 1$  è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$\sigma_c < 0.55 f_{ck}$  per combinazione di carico caratteristica (rara);

$\sigma_c < 0.40 f_{ck}$  per combinazione di carico quasi permanente;

$\sigma_s < 0.75 f_k$  per combinazione di carico caratteristica (rara).

Nel secondo caso, si assume che le condizioni ambientali del sito in cui sorge l'opera siano ordinarie e aggressive, rispettivamente per la zattera di fondazione e per il paramento verticale, e si verifica che il valore limite di apertura della fessura, calcolato per armature poco sensibili, sia al più pari ai seguenti valori nominali:

$w_1 = 0.2$  mm per condizioni ambientali aggressive (comb. Frequente e quasi permanente);

$w_2 = 0.3$  mm per condizioni ambientali ordinarie (comb. Frequente e quasi permanente).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## 8.5 Verifiche strutturali (sle)

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

### 8.5.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Manuale di progettazione opere civili"

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$

Per il caso in esame risulta in particolare:

- Muro di sostegno:

#### CALCESTRUZZO

$$\sigma_{cmax\ QP} = (0,40 f_{ck}) = \mathbf{13.28} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{cmax\ R} = (0,55 f_{ck}) = \mathbf{18.26} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

#### ACCIAIO

$$\sigma_{s\ max} = (0,75 f_{yk}) = \mathbf{337.5} \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 8.5.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

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

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 8-1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali.

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dalle specifiche RFI (Manuale di progettazione delle opere civili parte II sezione 2 – Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\text{Combinazione Caratteristica (Rara)} \quad \delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura prevista al punto " C4.1.2.2.4.5 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.7/19.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
TR05 – Muro ad U MU72:  Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>19 di 82</b>

## 9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

### 9.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

In accordo con quanto riportato al punto 2.5.1.1 del Manuale di Progettazione delle Opere Civili –Ponti e Strutture, per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $V_N = 75$  anni (categoria 2: "Altre opere nuove a velocità  $V < 250$  Km/h") e una classe d'uso III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a  $C_U = 1.5$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni.

### 9.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali), dipendono, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (periodo di riferimento per valutazione azione sismica) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

Categoria sottosuolo C

Grazie all'applicazione di GeoStru, si ottengono per il sito in esame i valori delle caratteristiche sismiche:

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	20 di 82

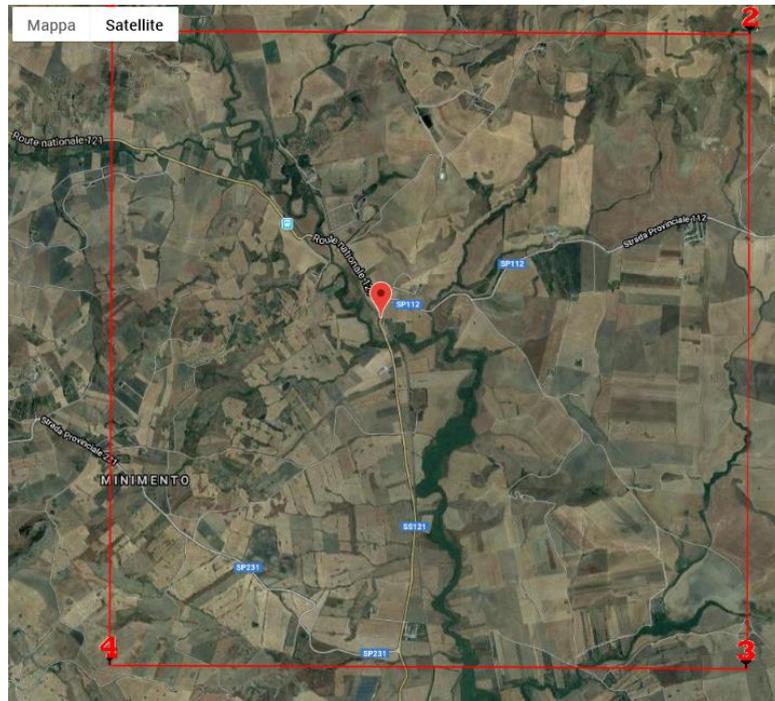


Figura 9-1 – Stralcio planimetrico zona interessata alla realizzazione dell'opera.

I valori delle caratteristiche sismiche ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per gli stati limite di normativa sono dunque:

#### Stati limite

 Classe Edificio				
III. Affollamento significativo...				
 Vita Nominale	75			
 Interpolazione	Media ponderata			
<b>CU = 1.5</b>				
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	68	0.044	2.467	0.283
Danno (SLD)	113	0.053	2.488	0.306
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.106	2.634	0.397
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.128	2.687	0.422
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 112.5				

$a_g$  → accelerazione orizzontale massima del terreno, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0$  → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	21 di 82

	SLO	SLD	SLV	SLC
 Cat. Sottosuolo				C
 Cat. Topografica				T1
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,55	1,42	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]			 0.6	
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.037	0.061	0.000
kv	--	0.019	0.030	--
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.644	0.779	1.563	1.869
Beta	--	0.470	0.380	--

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## 10. MURO A U $H_{MAX}=5.00$ M

### 10.1 Modellazione adottata

Per l'analisi della struttura è stato sviluppato un modello di calcolo nel quale l'interazione struttura-terreno è stata simulata attraverso molle reagenti solo a compressione (analisi non lineare); la costante di sottofondo è stata assunta pari a 3327 kN/m<sup>3</sup>.

Tale valore è stato determinato, a partire dal valore di E dello strato di fondazione, attraverso la seguente relazione:

$$\frac{E}{(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_t} \quad (\text{formulazione di Vesic, rif. "Fondazioni" – Bowles})$$

dove:

E = modulo elastico del terreno;

$\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.3;

B = larghezza della fondazione.

$c_t$  = fattore di forma, coefficiente adimensionale valutato con le relazione  $c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$  (per  $L/B \leq 10$  con L lunghezza singolo concio).

unità	E	$\nu$	B	L	L/B	$c_t$	$k_w$
(-)	(MPa)	(-)	(m)	(m)	(-)	(-)	(kN/m <sup>3</sup> )
a2	25	0.3	9.2	10	1.09	0.89	3327

L'analisi delle strutture è stata condotta mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000, prodotto dalla Computer and Structures inc. di Berkeley, California, USA.

Lo schema statico impiegato è quello di telaio costituito da elementi frame; in corrispondenza della intersezione tra tali elementi il programma genera in automatico dei nodi per garantire la continuità strutturale. Ad ogni elemento è assegnata la corrispondente sezione rettangolare in calcestruzzo, la cui geometria è definita dallo spessore dell'elemento stesso per una larghezza unitaria, dal momento che la struttura è risolta come piana.

Per le verifiche delle sezioni si è adottato il programma RC-SEC – Autore GEOSTRU.

La dimensione interna è di 5 m, l'altezza totale, a partire dal piano campagna, è pari 5.8 m, la soletta inferiore ha spessore pari a 0.80 m e i piedritti hanno uno spessore pari a 0.8 m allo spiccato e 0.4 m in sommità per gli ultimi 0.9 m.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
TR05 – Muro ad U MU72:  Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>23 di 82</b>

In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera.



*Figura 10-1 – Modello di calcolo.*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72:  Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## 10.2 Analisi dei carichi

### 10.2.1 *Peso proprio della struttura*

Il peso proprio della struttura è valutato automaticamente dal programma di calcolo attribuendo al c.a. un peso dell'unità di volume di 25 kN/m<sup>3</sup>.

### 10.2.2 *Carichi permanenti portati*

Nella Tabella sottostante si riportano i carichi.

PERMANENTI PORTATI		
soletta inferiore		
$\gamma_3$	20.00	kN/m <sup>3</sup>
$S_3$	5	m Spessore terreno
$W_3$	100	kN/m <sup>2</sup>

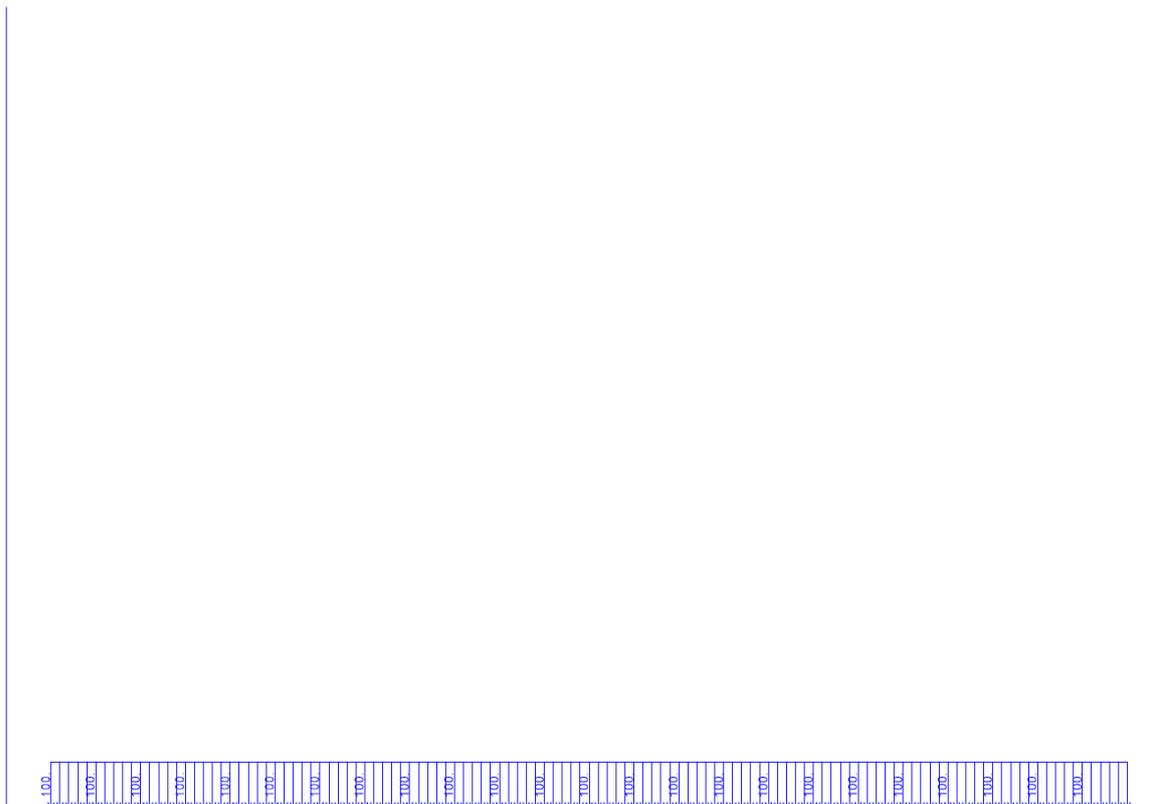


Figura 10-2 – Carichi permanenti sulla soletta inferiore.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>												
<p>TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 26</td> <td>CL</td> <td>MU 72 0 0 001</td> <td>B</td> <td>25 di 82</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	25 di 82
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	25 di 82								

### 10.2.3 Ballast

Il ballast è stato valutato considerando uno sviluppo in altezza di 0.8 m:  $p_b = 18 \cdot 0.8 = 14.4 \text{ kN/m}^2$

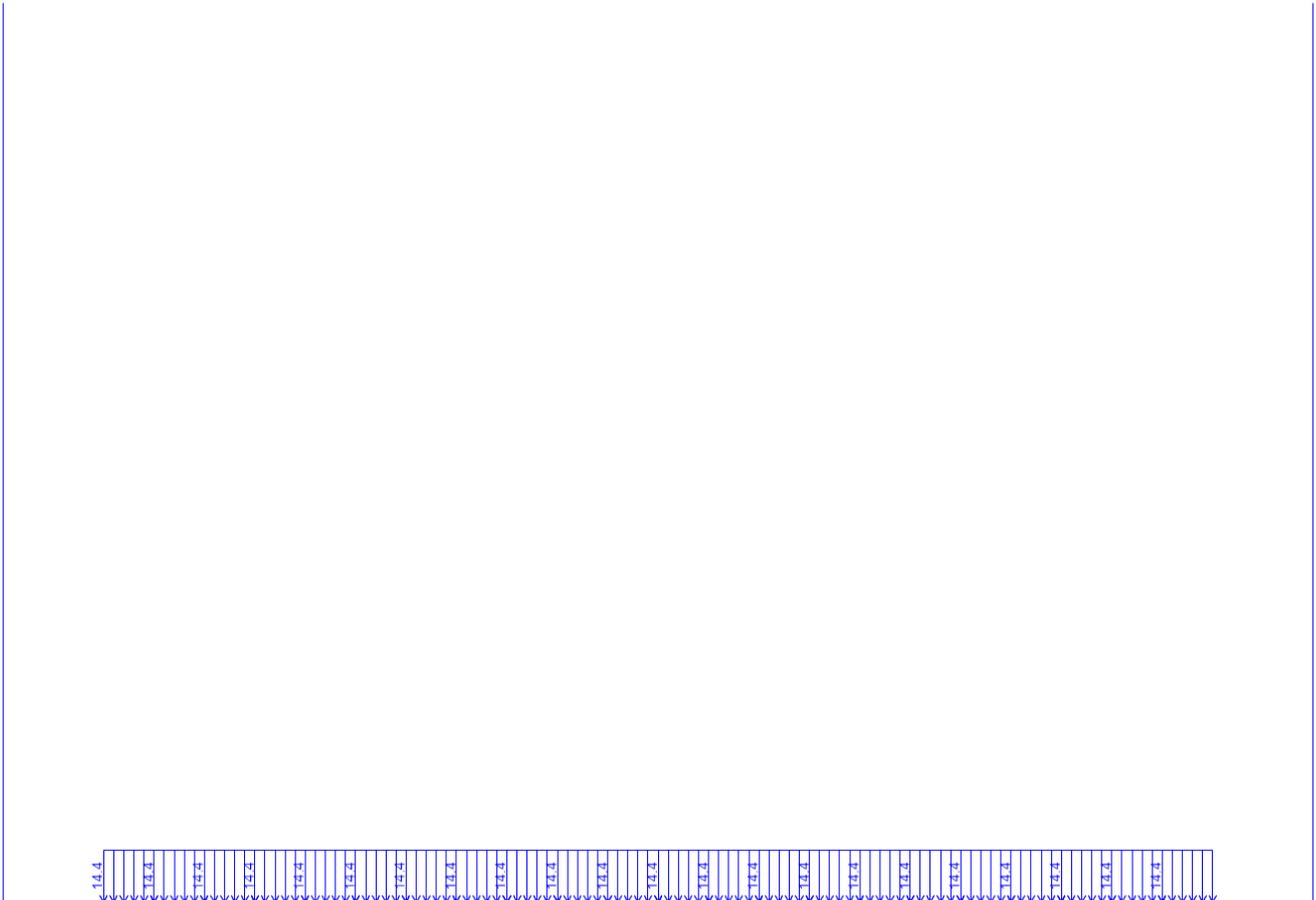


Figura 10-3 – Ballast.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.2.4 Spinta orizzontale dovuta al ballast

Il ballast produce una spinta orizzontale sul piedritto sinistro, valutata a partire dal peso del ballast calcolato in precedenza.

Spinta statica aggiuntiva	
	Ballast
K <sub>0</sub>	0.38
p <sub>b</sub>	14.4 kN/m <sup>2</sup>
Δp <sub>d</sub>	5.53 kN/m <sup>2</sup>



Figura 6 1 – Ballast.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.2.5 Spinta del terreno

Per la valutazione della spinta esercitata dal terreno quest'ultimo è stato considerato in condizioni di riposo pertanto il coefficiente di spinta è dato dalla relazione  $k_0 = 1 - \text{sen}\phi'$ .

SPINTA RIPOSO E SPINTA H <sub>2</sub> O			
$\gamma_t$	20.00	kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\Phi'_k$	38	°	angolo attrito caratteristico
$\Phi'_d$	38	°	angolo attrito di progetto
$k_0$	0.38	-	

z da p.c. (m)	$\sigma_{h,tot}$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0.00
0.9	6.92
5.4	41.51



Figura 6 1 – Spinta del terreno sul piedritto sinistro.

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	28 di 82

Relazione di calcolo



Figura 10-4 – Spinta del terreno sul piedritto destro.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.2.6 Sovraccarico ferroviario su soletta inferiore

Le azioni variabili su opere di sostegno sono definite dal par. 3.5.2.3.4 del Manuale di progettazione Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale.

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il carico verticale dovuto al treno di carico SW2 uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano campagna. Il treno di carico SW2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Il treno di carico SW2 è schematizzato nella figura seguente.

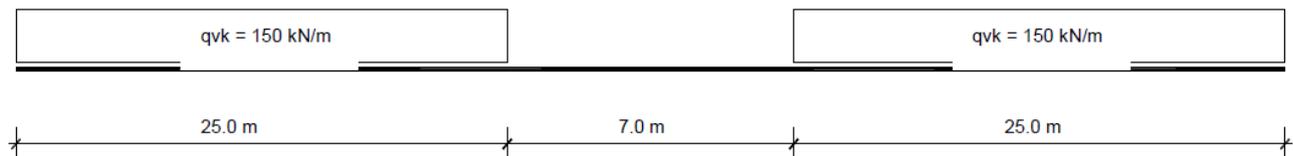


Figura 10-5 – Treno di carico SW2.

Per la ripartizione si considera

- $B_t = 2.40 \text{ m} + 2 \times 0.40 \text{ m} \times 1/4 = 2.60 \text{ m}$

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente  $\alpha$  che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 10-6 – Coefficienti  $\alpha$  per modelli di carico.

Il valore considerato di carico distribuito in corrispondenza della zona sopra la soletta, risulta dunque:

$$Q = 150 \text{ kN} \quad q_{var} = (150/2.60) \cdot 1.0 = 57.7 \text{ kN/m}^2$$

Di seguito, si effettua la valutazione del carico equivalente previsto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilità con cui si dà evidenza che le opere appartenenti alla tratta in esame sono idonee a sostenere tale carico.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.2.7 Verifica requisiti s.t.i. per opere minori sottobinario: carico equivalente

Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

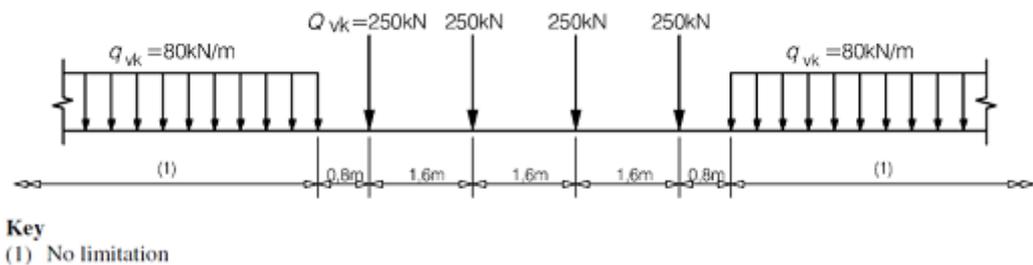
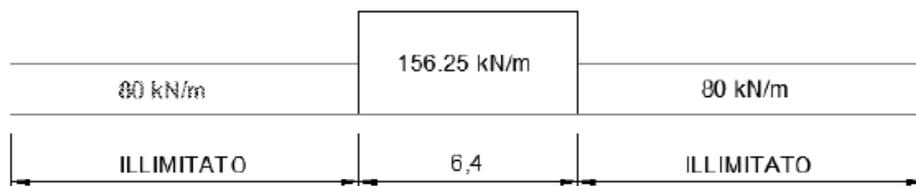


Figura 10-7 – Treno di carico LM71.

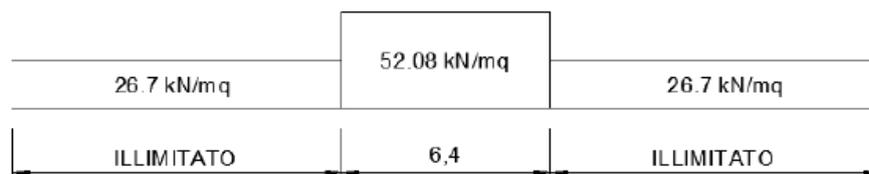
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da  $250 \text{ kN}$  e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a  $70 \text{ cm}$  dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \cdot 250}{4 \cdot 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di  $3.0 \text{ m}$  secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



A tali carichi si deve applicare il coefficiente  $\alpha$  relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	31 di 82

Relazione di calcolo

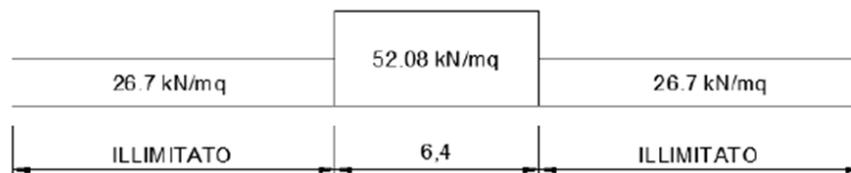
Tabella 11

Fattore alfa ( $\alpha$ ) per la progettazione di strutture nuove

Tipo di traffico	Valore minimo del fattore alfa ( $\alpha$ )
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	Punto in sospeso
P1600	1,1
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	Punto in sospeso
F1600	1,1

Tabella 10-1 – Fattore alfa per la progettazione di strutture nuove.

Nel caso in esame, il coefficiente  $\alpha$  è pari ad 1.0 perché le categorie di traffico sono P2-P4 per il traffico passeggeri ed F1 per il traffico merci per cui, alle opere si applicano i seguenti carichi equivalenti:



Considerando la ripartizione dei carichi attraverso il sottostante rilevato fino alla quota della testa dell'opera di sostegno con un angolo pari all'angolo di attrito interno del terreno ( $38^\circ$ ) si ottiene un carico in corrispondenza del piano orizzontale alla quota della testa dell'opera di sostegno pari a:

$$q_{var} = (52,08 \text{ kN/m}^2 \times 3,0\text{m}) / (3,0\text{m}) = 52,08 \text{ kN/m}^2$$

Ai fini delle verifiche del carico equivalente si considera, in tutte le relazioni di calcolo specifiche, a favore di sicurezza, il carico equivalente SW2 pari a  $57,7 \text{ kN/m}^2$  a vantaggio di sicurezza rispetto ai  $52,08 \text{ kN/m}^2$  calcolati con riferimento alle STI.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>												
<p>TR05 – Muro ad U MU72:          Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 26</td> <td>CL</td> <td>MU 72 0 0 001</td> <td>B</td> <td>32 di 82</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	32 di 82
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	32 di 82								

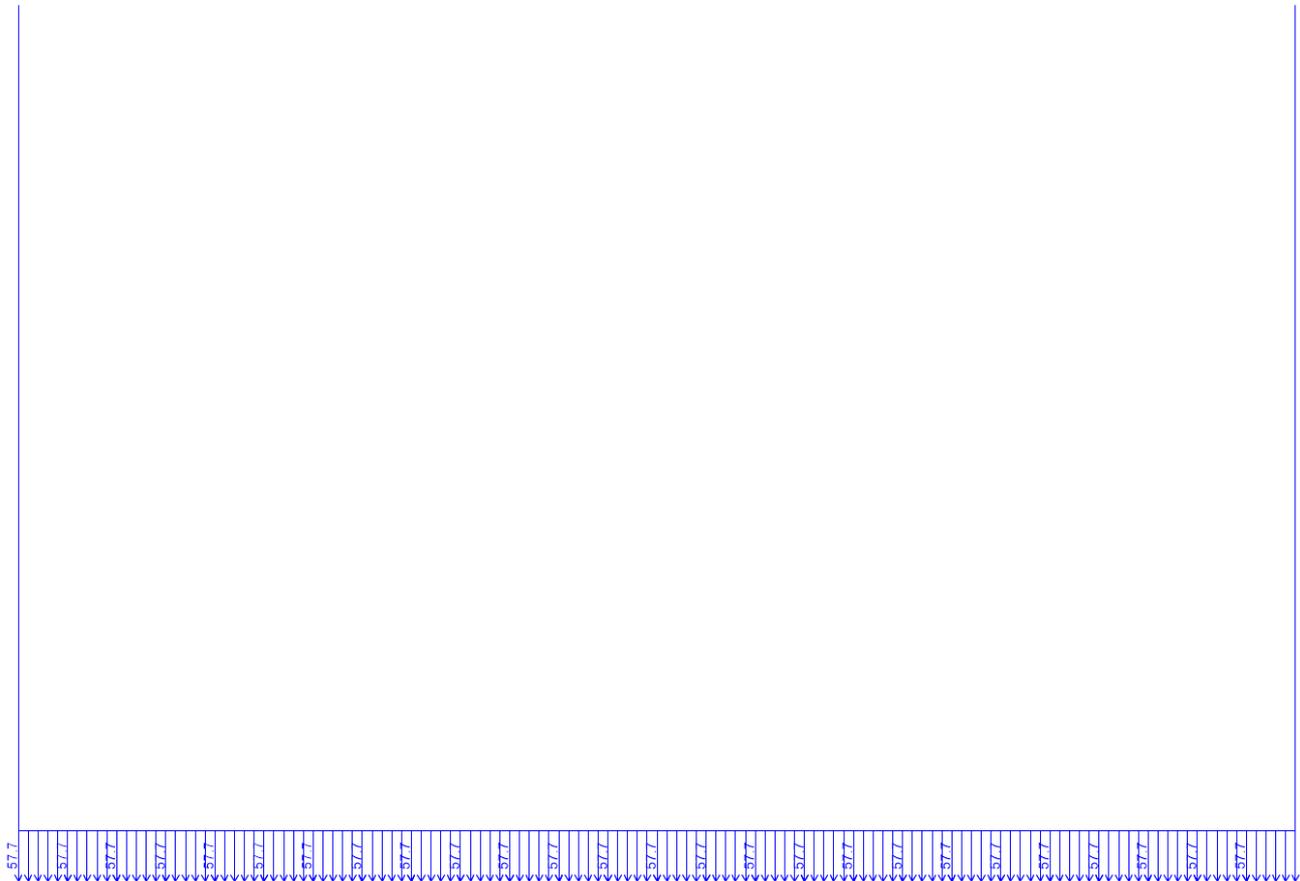


Figura 10-8 – Treno di carico SW2 singolo binario.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.2.8 Incremento di spinta dovuta al carico accidentale

Il carico accidentale che transita internamente, produce sul muro in sinistra una spinta orizzontale calcolata considerando la larghezza di ripartizione del carico alla quota di intersezione del carico diffuso con il piedritto.

Spinta statica dovuta al treno SW/2	
$q_{v1}$	57.7 kN/m <sup>2</sup>
$k_0$	0.38
$\Delta p_d$	22.17 kN/m <sup>2</sup>

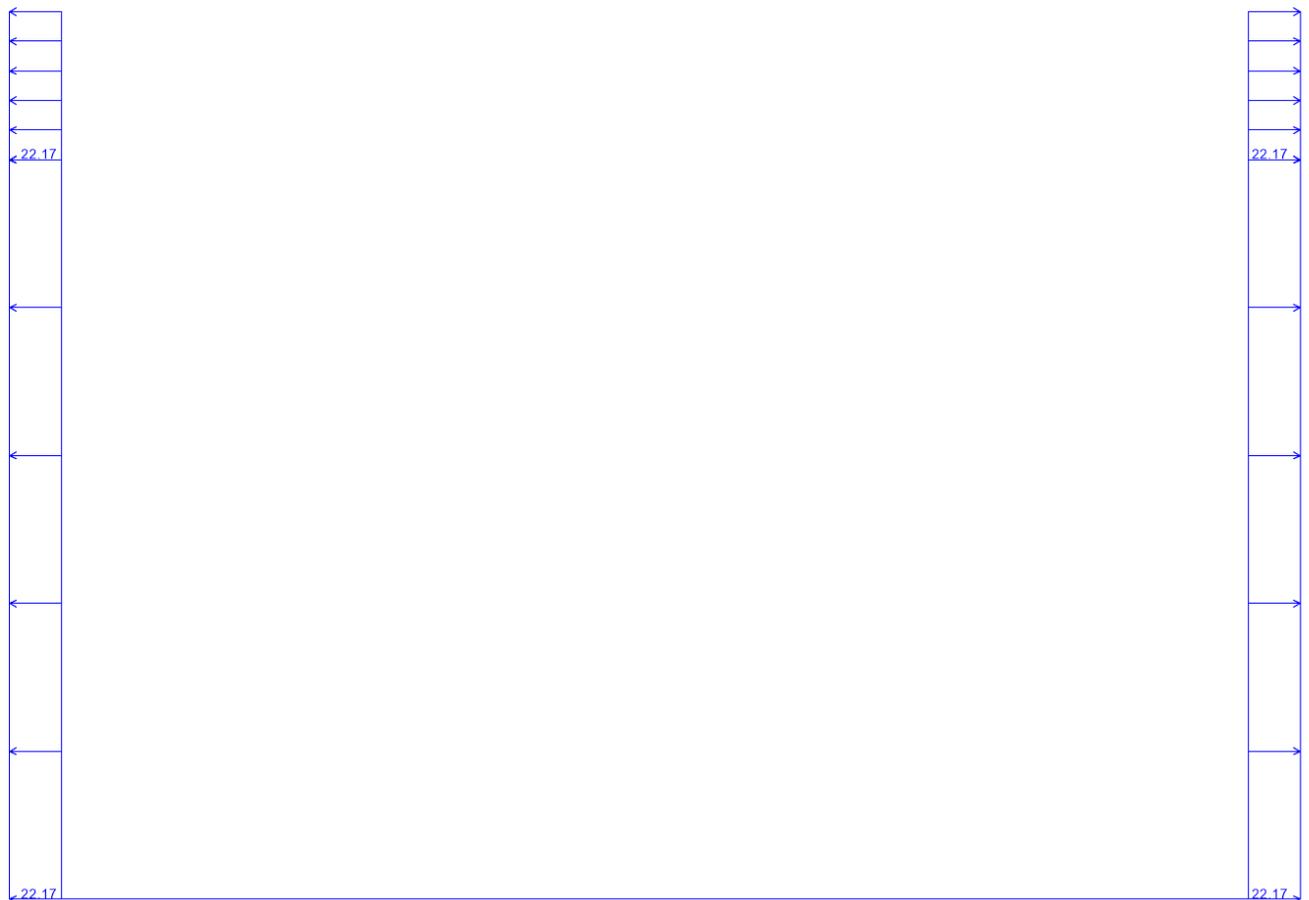


Figura 10-9 – Incremento spinta treno di carico SW2 singolo binario.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.2.9 Azione sismica

L'azione sismica agente sulle masse strutturali è stata considerata con un approccio di tipo pseudo-statico. Esso consente di rappresentare il sisma mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$ , rispettivamente, coefficiente sismico orizzontale e verticale, pari a

$k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g$  coefficiente sismico orizzontale

$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$  coefficiente sismico verticale

Nelle espressioni precedenti  $a_{max}$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito mentre  $\beta_m$  è il coefficiente di riduzione di tale accelerazione valutato in funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti relativi rispetto al terreno. Per l'analisi della struttura in esame  $\beta_m$  è stato posto pari ad 1. L'accelerazione orizzontale massima è stata valutata con la relazione:

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

in cui  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido e  $S$  un coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto, della massa associata al peso proprio e delle masse associate al carico permanente.

Inoltre, l'incremento di spinta dovuto al sisma è stato valutato utilizzando la teoria di Wood. Secondo tale teoria la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma, su una parete di altezza  $H_s$ , viene determinato attraverso la relazione  $\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H_{tot}^2$  ( $H_{tot}$  = distanza p.c. – intradosso soletta inferiore).

$a_g$	0.106	g
$S_S$	1.5	
$S_T$	1	
$a_{max}$	0.158	g
$\beta_m$	1	
$k_h$	0.158	
$k_v$	0.079	

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	35 di 82

INERZIA ORIZZONTALE			
Piedritti			
$k_h \cdot W_{P1}$	1.58	kN/m <sup>2</sup>	peso proprio s. 0.4m
$k_h \cdot W_{P2}$	3.16	kN/m <sup>2</sup>	peso proprio s. 0.8m
SOVRASPINTA SISMICA (WOOD)			
$h_{tot}$	5.8	m	altezza complessiva
$\Delta p_d$	18.33	kN/m <sup>2</sup>	incremento di spinta

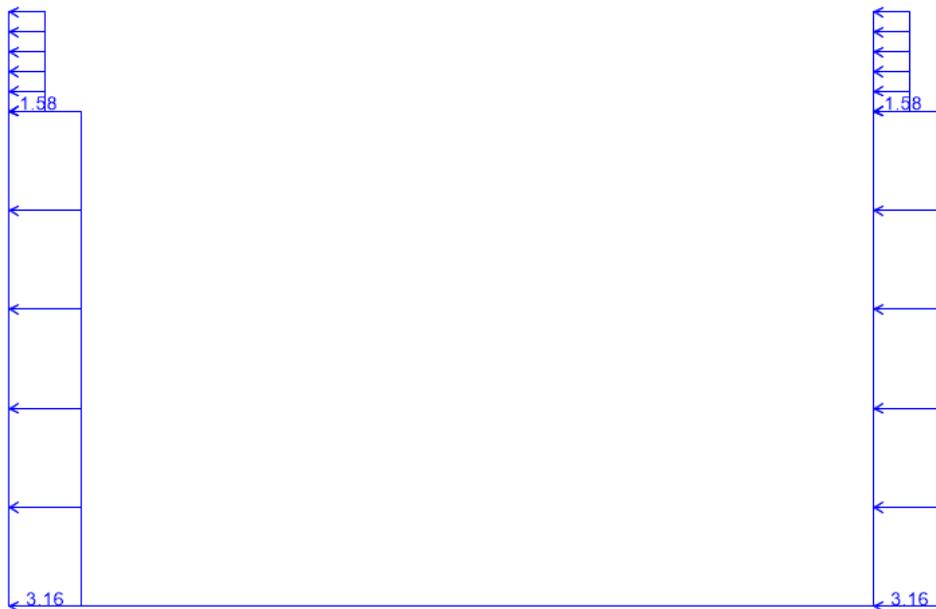


Figura 10-10 – Sisma orizzontale.

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	36 di 82

Relazione di calcolo



Figura 10-11 – Incremento di spinta dovuto al sisma.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.3 Combinazioni di calcolo

Le azioni impiegate nella definizione delle combinazioni di carico sono riepilogate nella **Errore. 'origine riferimento non è stata trovata..**

azione	Load Case Name
peso proprio	DEAD
carichi permanenti sulla soletta inferiore (terreno)	PERM_TERR
ballast	BALLAST
spinta a riposo del terreno sul piedritto sinistro e destro	SPINTA_K0
spinta orizzontale dovuta al ballast	SPINTA_BALLAST
azione verticale dovuta al sovraccarico ferroviario agente su tutta la soletta inferiore	ACC_SW2
spinta orizzontale dovuta al treno	SPINTA_SW2
azione sismica orizzontale dovuta al peso proprio e ai carichi permanenti	SISMA_H
incremento di spinta sul piedritto sinistro dovuto al sisma	SISMA_SOVRASPINTA

Tabella 10-2 – Riepilogo carichi.

Nelle Tabelle seguenti sono elencate le combinazioni di carico impiegate nelle verifiche.

combinazioni di carico agli SLU in condizioni statiche					
	slu1	slu2	slu3	slu4	slu5
DEAD	1.35	1	1.35	1	1.35
PERM_TERR	1.35	1.35	1.35	1.35	1
BALLAST	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SPINTA_K0	1.35	1.35	1.35	1.35	1
SPINTA-BALLAST	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ACC_SW2	0	0	1.45	1.45	1.45
SPINTA_SW2	0	0	1.45	1.45	1.45

Tabella 10-3 – Combinazioni di carico agli SLU in condizioni statiche.

combinazioni di carico agli SLV			
	sis1	sis2	sis3
DEAD	1	1	1
PERM_TERR	1	1	1
BALLAST	1	1	1
SPINTA_K0	1	1	1
SPINTA-BALLAST	1	1	1
ACC_SW2	0	0	0.2
SPINTA_SW2	0	0	0.2
sisma_H	1	0.3	1

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	38 di 82

sovraspinta_sismica	1	0.3	1
---------------------	---	-----	---

Tabella 10-4 – Combinazioni di carico agli SLV

combinazioni di carico agli SLE					
	rar1	rar2	fre1	fre2	qpe1
DEAD	1	1	1	1	1
PERM_TERR	1	1	1	1	1
BALLAST	1	1	1	1	1
SPINTA_K0	1	1	1	1	1
SPINTA-BALLAST	1	1	1	1	1
ACC_SW2	0	1	0.8	0	0
SPINTA_SW2	0	1	0.8	0	0

Tabella 10-5 – Combinazioni di carico agli SLE.

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	39 di 82

Relazione di calcolo

## 10.4 Risultati e verifiche

Nelle immagini a seguire si riportano i digrammi di involuppo delle sollecitazioni per gli stati limite ultimi statici e sismici e per gli stati limite d'esercizio.

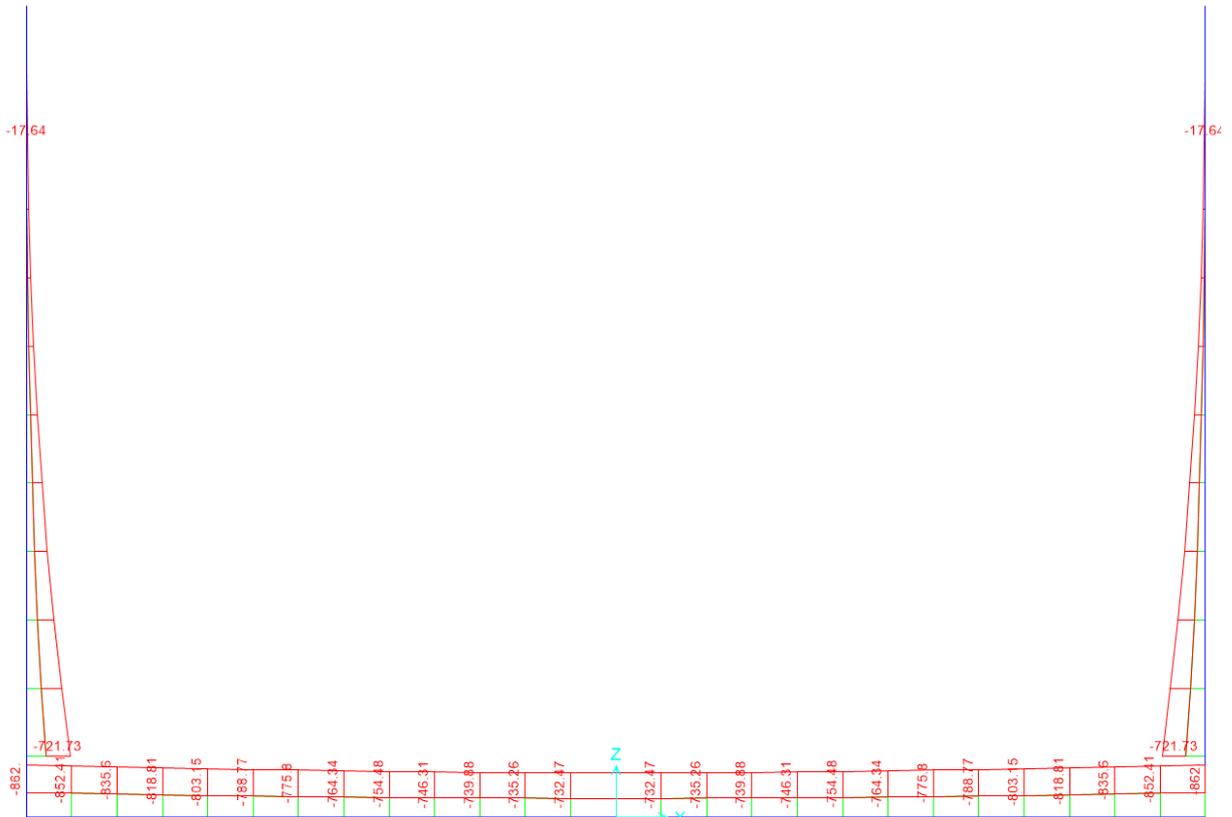


Figura 10-12 – Momento flettente env-SLU.

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	40 di 82

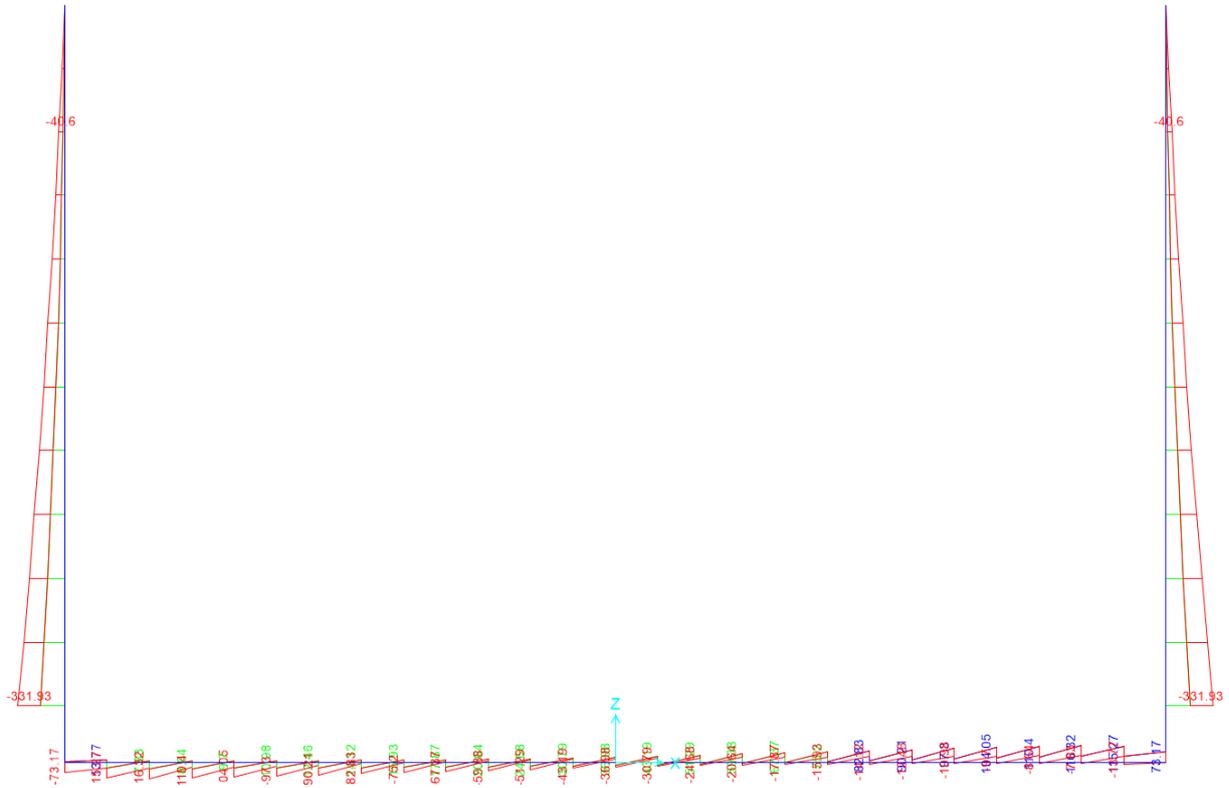
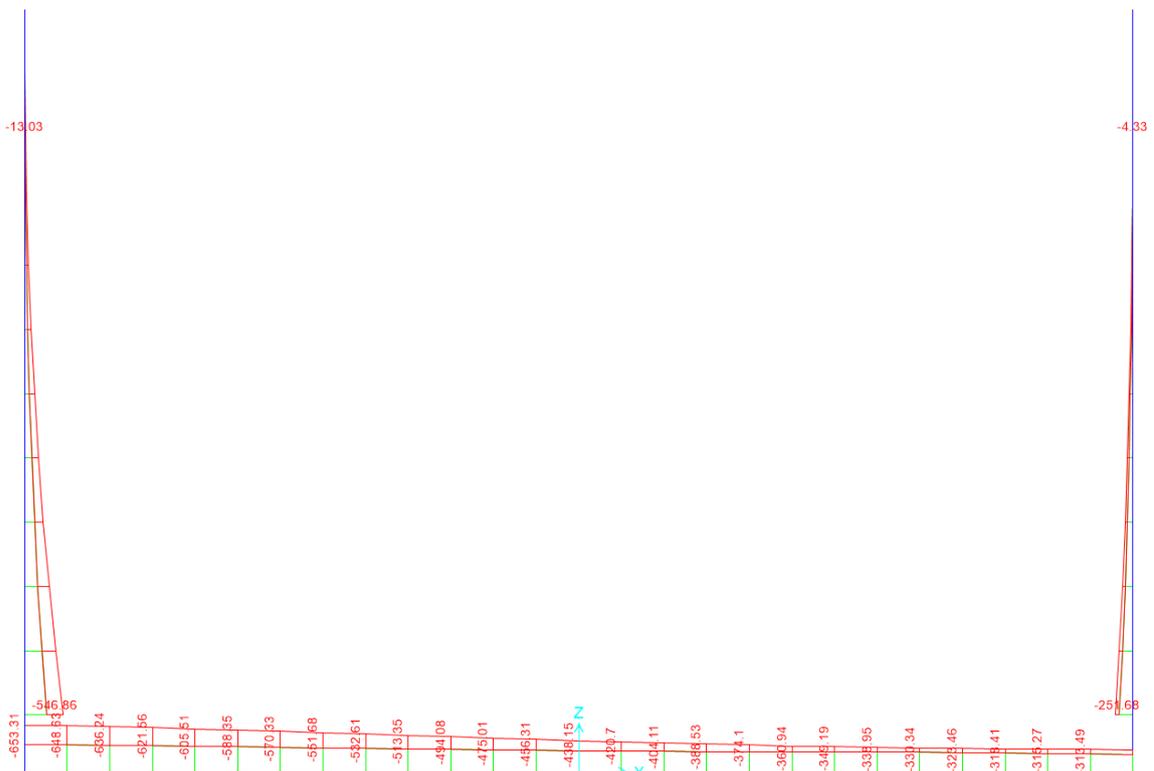


Figura 10-13 – Taglio enve-SLU.



TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	41 di 82

Figura 10-14 – Momento flettente enve-SLV.

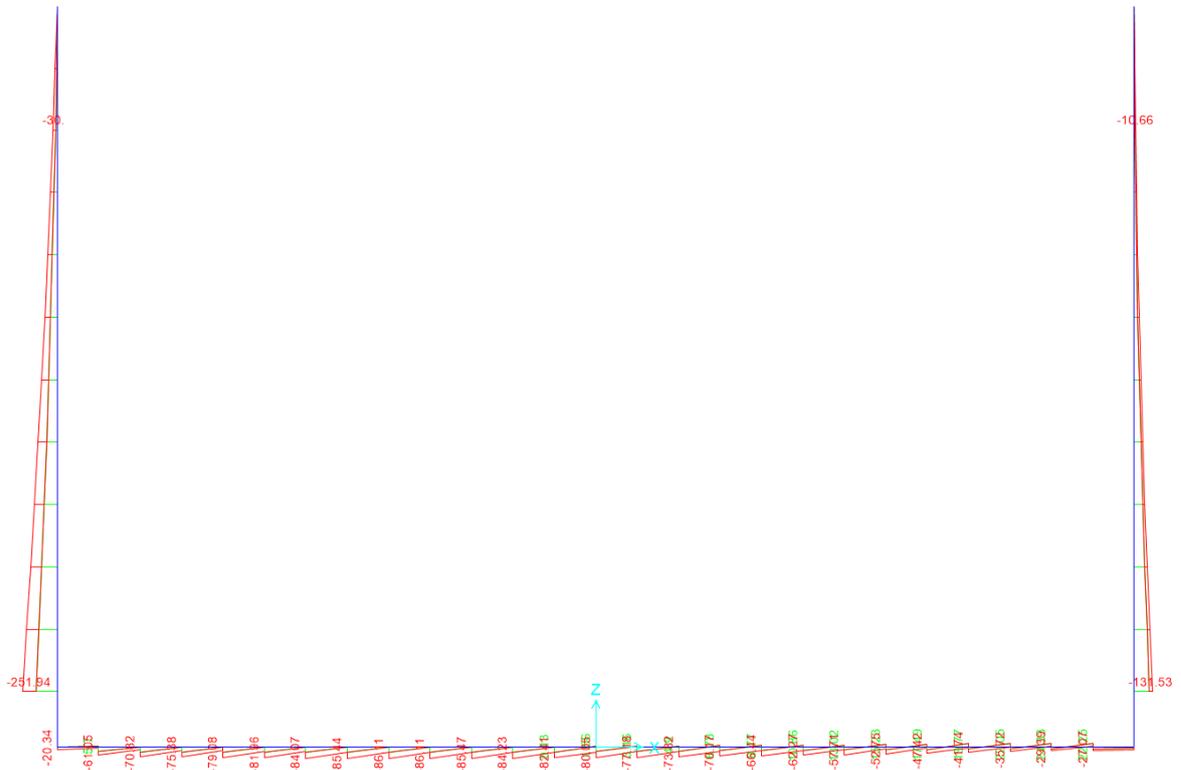
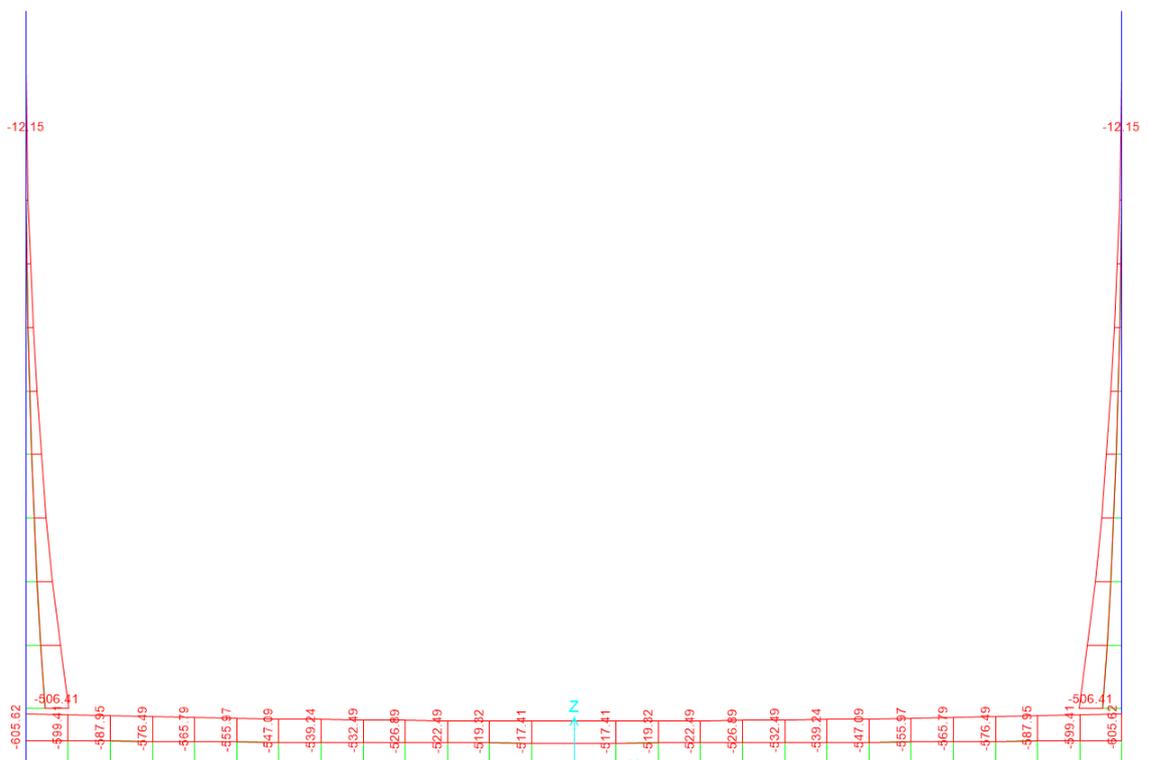


Figura 10-15 – Taglio enve-SLV.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

Figura 10-16 – Momento flettente enve-SLE.

#### 10.4.1 Verifica piedritti s.0.8m

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni massime di momento, taglio e sforzo normale, derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

SLV			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLV</b>	-9.00	-6.67	<b>-2.53</b>	64	4.50	sis1_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>		-90.97	-251.94	<b>-546.86</b>	62	0.40	sis3_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		-9.00	<b>-6.67</b>	-2.53	64	4.50	sis1_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		-90.97	<b>-251.94</b>	-546.86	62	0.40	sis3_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>-9.00</b>	-26.01	-11.24	62	4.50	sis1_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>-90.97</b>	-229.77	-491.44	62	0.40	sis1_nl

SLU			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLU</b>	-12.15	-11.67	<b>-4.62</b>	62	4.50	slu1_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>		-122.81	-331.93	<b>-721.73</b>	62	0.40	slu3_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		-12.15	<b>-11.67</b>	-4.62	62	4.50	slu1_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		-122.81	<b>-331.93</b>	-721.73	62	0.40	slu3_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>-9.00</b>	-11.67	-4.62	62	4.50	slu2_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>-122.81</b>	-171.20	-319.90	62	0.40	slu1_nl

SLE - RARA			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLE RAR</b>	-9.00	-8.09	<b>-3.17</b>	62	4.50	rar1_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>		-90.97	-234.59	<b>-506.41</b>	62	0.40	rar2_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		-9.00	<b>-8.09</b>	-3.17	62	4.50	rar1_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		-90.97	<b>-234.59</b>	-506.41	62	0.40	rar2_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>-9.00</b>	-8.09	-3.17	62	4.50	rar1_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>-90.97</b>	-123.74	-229.28	62	0.40	rar1_nl

SLE - FREQUENTE			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLE FRE</b>	-9.00	-8.09	<b>-3.17</b>	62	4.50	fre2_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>		-90.97	-212.42	<b>-450.98</b>	62	0.40	fre1_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		-9.00	<b>-8.09</b>	-3.17	62	4.50	fre2_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		-90.97	<b>-212.42</b>	-450.98	62	0.40	fre1_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>-9.00</b>	-24.05	-10.36	62	4.50	fre1_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>-90.97</b>	-212.42	-450.98	62	0.40	fre1_nl

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	43 di 82

Relazione di calcolo

SLE - Q.P.			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLE</b>	-9.00	-8.09	<b>-3.17</b>	62	4.50	qpe1_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>	<b>QPE</b>	-90.97	-123.74	<b>-229.28</b>	62	0.40	qpe1_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		-9.00	<b>-8.09</b>	-3.17	62	4.50	qpe1_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		-90.97	<b>-123.74</b>	-229.28	62	0.40	qpe1_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>-9.00</b>	-8.09	-3.17	62	4.50	qpe1_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>-90.97</b>	-123.74	-229.28	62	0.40	qpe1_nl

#### 10.4.1.1 Verifica in condizioni statiche

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettagolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	c32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	188.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	336428	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	37.20	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	182.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	182.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	132.80	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>	

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	44 di 82

Relazione di calcolo

Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø26	(26.5 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	1215	-429	-1058	0
2	12281	-72171	-33192	0
3	1215	-429	-1058	0
4	12281	-72171	-33192	0
5	900	-462	-1167	0
6	12281	-26383	-13756	0

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	900	-317
2	9097	-50639
3	900	-317
4	9097	-50639
5	900	-317
6	9097	-22927

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	900	-317 (-85390)
2	9097	-45097 (-53358)
3	900	-317 (-85390)
4	9097	-45097 (-53358)
5	900	-1036 (-58951)
6	9097	-45097 (-53358)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

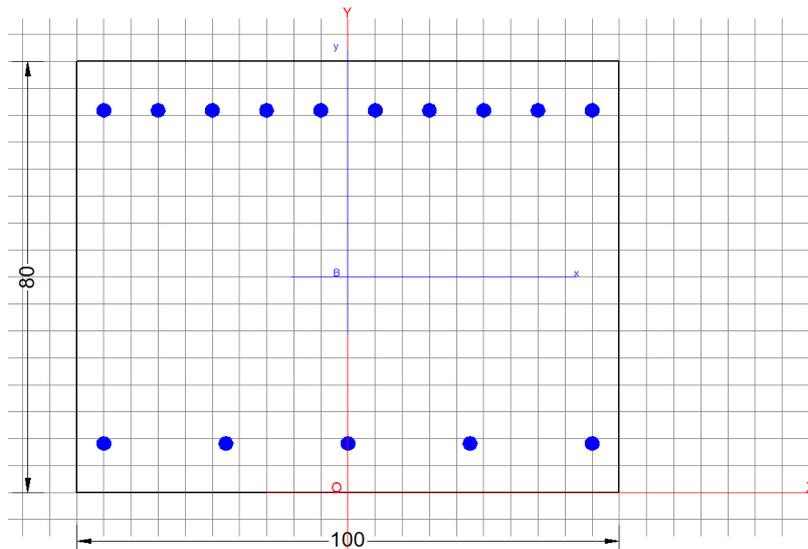
N°Comb.	N	Mx
---------	---	----

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	45 di 82

Relazione di calcolo

1	900	-317 (-85390)
2	9097	-22927 (-54881)
3	900	-317 (-85390)
4	9097	-22927 (-54881)
5	900	-317 (-85390)
6	9097	-22927 (-54881)



## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.7	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.7	cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	1215	-429	1201	-136325	302.670	11.3	0.16	0.70	53.1 (15.2)
2	S	12281	-72171	12299	-139727	1.933	11.7	0.17	0.70	53.1 (15.2)
3	S	1215	-429	1201	-136325	302.670	11.3	0.16	0.70	53.1 (15.2)
4	S	12281	-72171	12299	-139727	1.933	11.7	0.17	0.70	53.1 (15.2)
5	S	900	-462	885	-136229	285.084	11.3	0.16	0.70	53.1 (15.2)
6	S	12281	-26383	12299	-139727	5.261	11.7	0.17	0.70	53.1 (15.2)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA**

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	46 di 82

Relazione di calcolo

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00069	9.1	-0.01840	70.9
2	0.00350	0.0	0.00078	9.1	-0.01766	70.9
3	0.00350	0.0	0.00069	9.1	-0.01840	70.9
4	0.00350	0.0	0.00078	9.1	-0.01766	70.9
5	0.00350	0.0	0.00069	9.1	-0.01842	70.9
6	0.00350	0.0	0.00078	9.1	-0.01766	70.9

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata  
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vwct Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
d Altezza utile sezione [cm]  
bw Larghezza minima sezione [cm]  
Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]  
Scp Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm²]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	-1058	38182	70.9	100.0	0.0075	0.0
2	S	-33192	39653	70.9	100.0	0.0075	0.2
3	S	-1058	38182	70.9	100.0	0.0075	0.0
4	S	-33192	39653	70.9	100.0	0.0075	0.2
5	S	-1167	38020	70.9	100.0	0.0075	0.0
6	S	-13756	39653	70.9	100.0	0.0075	0.2

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm²)]  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm²)]  
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm²]  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
2	S	55.4	0.0	0.0	25.9	-1447	9.1	18.0	1805	53.1	9.1
3	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
4	S	55.4	0.0	0.0	25.9	-1447	9.1	18.0	1805	53.1	9.1
5	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
6	S	25.6	0.0	0.0	27.4	-613	9.1	17.6	1757	53.1	9.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	47 di 82

Relazione di calcolo

Ver Esito verifica  
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
K2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
srm Distanza massima in mm tra le fessure  
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
M fess. Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000	0.50	0.60	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
2	S	-0.00087	0.00042	0.50	0.60	0.000434 (0.000434)	415	0.180 (0.20)	-53191
3	S	0.00000	0.00000	0.50	0.60	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
4	S	-0.00087	0.00042	0.50	0.60	0.000434 (0.000434)	415	0.180 (0.20)	-53191
5	S	0.00000	0.00000	0.50	0.60	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
6	S	-0.00037	0.00019	0.50	0.60	0.000184 (0.000184)	411	0.076 (0.20)	-54881

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
2	S	49.4	0.0	0.0	26.0	-1280	9.1	18.0	1800	53.1	9.1
3	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
4	S	49.4	0.0	0.0	26.0	-1280	9.1	18.0	1800	53.1	9.1
5	S	1.2	0.0	0.0	32.9	-24	9.1	16.5	1647	53.1	9.1
6	S	49.4	0.0	0.0	26.0	-1280	9.1	18.0	1800	53.1	9.1

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000	0.50	0.60	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
2	S	-0.00077	0.00037	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	415	0.159 (0.20)	-53358
3	S	0.00000	0.00000	0.50	0.60	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
4	S	-0.00077	0.00037	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	415	0.159 (0.20)	-53358
5	S	-0.00001	0.00001	0.50	0.60	0.000007 (0.000007)	402	0.003 (0.20)	-58951
6	S	-0.00077	0.00037	0.50	0.60	0.000384 (0.000384)	415	0.159 (0.20)	-53358

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
2	S	25.6	0.0	0.0	27.4	-613	9.1	17.6	1757	53.1	9.1
3	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
4	S	25.6	0.0	0.0	27.4	-613	9.1	17.6	1757	53.1	9.1
5	S	0.4	0.0	0.0	57.4	-3	9.1	10.6	1056	53.1	9.1
6	S	25.6	0.0	0.0	27.4	-613	9.1	17.6	1757	53.1	9.1

#### COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000	0.50	0.40	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
2	S	-0.00037	0.00019	0.50	0.40	0.000184 (0.000184)	411	0.076 (0.20)	-54881
3	S	0.00000	0.00000	0.50	0.40	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390
4	S	-0.00037	0.00019	0.50	0.40	0.000184 (0.000184)	411	0.076 (0.20)	-54881
5	S	0.00000	0.00000	0.50	0.40	0.000001 (0.000001)	353	0.000 (0.20)	-85390

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	48 di 82

Relazione di calcolo

6 S -0.00037 0.00019 0.50 0.40 0.000184 (0.000184) 411 0.076 (0.20) -54881

## VERIFICA A TAGLIO

### Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$  332 kN  
 $N_{Ed}$  122 kN

Calcestruzzo

**c32/40**

$R_{ck}$  40 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{ck}$  33.2 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$  18.81 N/mm<sup>2</sup>

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$  1.5

Altezza sezione

$h$  800 mm

Copriferro

$c$  91 mm

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$  1000 mm

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$  709 mm

Area Calcestruzzo

$A_c$  800000 mm<sup>2</sup>

Armatura longitudinale tesa

n 10

$\emptyset$  26 mm

$A_{sl}$  5306.6 mm<sup>2</sup>

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$  0.0075 ≤ 0.02 ok

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$  0.1525 ≤ 0.2  $f_{cd}$  ok

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

$k$  1.53 ≤ 2 ok

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

$v_{\min}$  0.27

$V_{Rd}$  396.35 kN

**Verifica:**

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

**VERIFICATA**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

#### 10.4.1.2 Verifica in condizioni sismiche

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	c32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	188.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	336428	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	37.20	daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	80.0	cm
Barre inferiori:	5Ø26	(26.5 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	900	-253	-667	0
2	9097	-59422	-27088	0
3	900	-253	-667	0
4	9097	-59422	-27088	0
5	900	-1277	-2942	0
6	9097	-53880	-24871	0

#### RISULTATI DEL CALCOLO

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.7	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.7	cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx re	Momento resistente sost. elastico [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: non richiesto per calcolo non dissipativo
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	900	-253	911	-130334	484.734	23.4	0.33	0.85	53.1 (15.2)
2	S	9097	-59422	9085	-132639	2.229	23.8	0.34	0.86	53.1 (15.2)
3	S	900	-253	911	-130334	484.734	23.4	0.33	0.85	53.1 (15.2)
4	S	9097	-59422	9085	-132639	2.229	23.8	0.34	0.86	53.1 (15.2)
5	S	900	-1277	911	-130334	100.819	23.4	0.33	0.85	53.1 (15.2)
6	S	9097	-53880	9085	-132639	2.457	23.8	0.34	0.86	53.1 (15.2)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00096	0.0	0.00059	9.1	-0.00196	70.9
2	0.00099	0.0	0.00061	9.1	-0.00196	70.9
3	0.00096	0.0	0.00059	9.1	-0.00196	70.9
4	0.00099	0.0	0.00061	9.1	-0.00196	70.9
5	0.00096	0.0	0.00059	9.1	-0.00196	70.9
6	0.00099	0.0	0.00061	9.1	-0.00196	70.9

### VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
--------	-----	-----	------	---	----	----	-----



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	51 di 82

Relazione di calcolo

1	S	-667	38020	70.9	100.0	0.0075	0.0
2	S	-27088	39229	70.9	100.0	0.0075	0.1
3	S	-667	38020	70.9	100.0	0.0075	0.0
4	S	-27088	39229	70.9	100.0	0.0075	0.1
5	S	-2942	38020	70.9	100.0	0.0075	0.0
6	S	-24871	39229	70.9	100.0	0.0075	0.1

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	52 di 82

Relazione di calcolo

## VERIFICA A TAGLIO

### Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$	252 kN
$N_{Ed}$	91 kN

Calcestruzzo

**C32/40**

$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------------------

$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
----------	------------------------

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$	18.81 N/mm <sup>2</sup>
----------	-------------------------

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$	1.5
------------	-----

Altezza sezione

$h$	800 mm
-----	--------

Copriferro

$c$	91 mm
-----	-------

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$	1000 mm
-------	---------

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$	709 mm
-----	--------

Area Calcestruzzo

$A_c$	800000 mm <sup>2</sup>
-------	------------------------

Armatura longitudinale tesa

n **10**

$\emptyset$	26 mm
-------------	-------

$A_{sl}$	5306.6 mm <sup>2</sup>
----------	------------------------

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$	0.0075 ≤ 0.02	ok
----------	---------------	----

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$	0.1138 ≤ 0.2 $f_{cd}$	ok
---------------	-----------------------	----

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

$k$	1.53 ≤ 2	ok
-----	----------	----

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

$V_{\min}$	0.27
------------	------

$V_{Rd}$	392.23 kN
----------	-----------

**Verifica:**

$V_{Rd} > V_{Ed}$

**VERIFICATA**

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	53 di 82

Relazione di calcolo

### 10.4.2 Verifica piedritti s.0.4m

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

SLV			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLV	0.00	0.00	<b>0.00</b>	63	0.90	sis1_nl
M3	min		-9.00	-30.00	<b>-13.03</b>	63	0.00	sis3_nl
V2	max		0.00	<b>0.00</b>	0.00	63	0.90	sis2_nl
V2	min		-9.00	<b>-30.00</b>	-13.03	63	0.00	sis3_nl
P	max		<b>0.00</b>	0.00	0.00	63	0.90	sis3_nl
P	min		<b>-9.00</b>	-26.01	-11.24	63	0.00	sis1_nl

SLU			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLU	0.00	0.00	<b>0.00</b>	63	0.90	slu3_nl
M3	min		-12.15	-40.60	<b>-17.64</b>	63	0.00	slu3_nl
V2	max		0.00	<b>0.00</b>	0.00	65	0.90	slu5_nl
V2	min		-12.15	<b>-40.60</b>	-17.64	63	0.00	slu3_nl
P	max		<b>0.00</b>	0.00	0.00	65	0.90	slu3_nl
P	min		<b>-12.15</b>	-11.67	-4.62	63	0.00	slu1_nl

SLE - RARA			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLE RAR	0.00	0.00	<b>0.00</b>	63	0.90	rar1_nl
M3	min		-9.00	-28.04	<b>-12.15</b>	63	0.00	rar2_nl
V2	max		0.00	<b>0.00</b>	0.00	63	0.90	rar2_nl
V2	min		-9.00	<b>-28.04</b>	-12.15	63	0.00	rar2_nl
P	max		<b>0.00</b>	0.00	0.00	63	0.90	rar1_nl
P	min		<b>-9.00</b>	-8.09	-3.17	63	0.00	rar1_nl

SLE - FREQUENTE			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLE FRE	0.00	0.00	<b>0.00</b>	63	0.90	fre2_nl
M3	min		-9.00	-24.05	<b>-10.36</b>	63	0.00	fre1_nl
V2	max		0.00	<b>0.00</b>	0.00	63	0.90	fre2_nl
V2	min		-9.00	<b>-24.05</b>	-10.36	63	0.00	fre1_nl
P	max		<b>0.00</b>	0.00	0.00	63	0.90	fre1_nl
P	min		<b>-9.00</b>	-24.05	-10.36	63	0.00	fre1_nl

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	54 di 82

Relazione di calcolo

SLE - Q.P.			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLE</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>	63	0.90	qpe1_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>	<b>QPE</b>	-9.00	-8.09	<b>-3.17</b>	65	0.00	qpe1_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		0.00	<b>0.00</b>	0.00	63	0.90	qpe1_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		-9.00	<b>-8.09</b>	-3.17	63	0.00	qpe1_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>0.00</b>	0.00	0.00	63	0.90	qpe1_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>-9.00</b>	-8.09	-3.17	63	0.00	qpe1_nl

#### 10.4.2.1 Verifica in condizioni statiche

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettagonolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	188.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	336428 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	31.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	182.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	182.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	132.80 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. a snervamento fyk:		4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
Resist. caratt. a rottura ftk:		4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
Resist. a snerv. di progetto fyd:		3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
Resist. ultima di progetto ftd:		3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensioni-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istant. β1*β2:		1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2:		0.50
Comb.Rare - Sf Limite:		3375.0 daN/cm <sup>2</sup>

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	55 di 82

Relazione di calcolo

Altezza:	40.0	cm
Barre inferiori:	5Ø26	(26.5 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	1215	-1764	-4060	0
2	1215	-1764	-4060	0
3	1215	-462	-1167	0

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	900	-1215
2	900	-1215
3	900	-317

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	900	-1036 (-11452)
2	900	-1036 (-11452)
3	900	-1036 (-11452)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

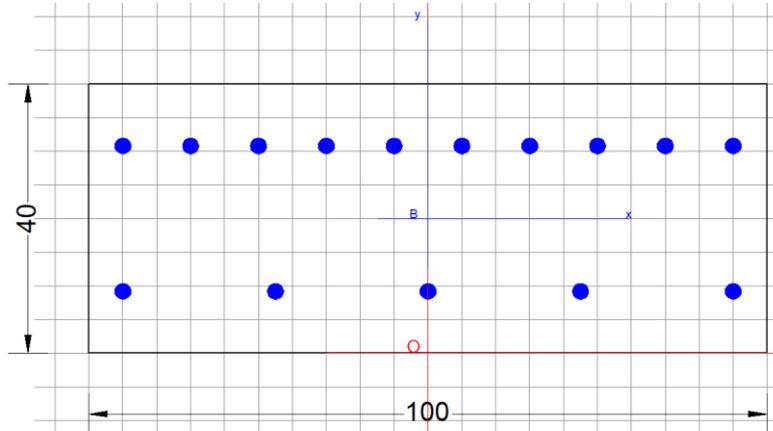
N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	900	-317 (-13055)
2	900	-317 (-13055)
3	900	-317 (-13055)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	56 di 82

Relazione di calcolo



## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.7	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.7	cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	1215	-1764	1201	-52984	29.825	11.3	0.37	0.90	53.1 (5.5)
2	S	1215	-1764	1201	-52984	29.825	11.3	0.37	0.90	53.1 (5.5)
3	S	1215	-462	1201	-52984	111.588	11.3	0.37	0.90	53.1 (5.5)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.0	0.00069	9.1	-0.00605	30.9
2	0.00350	0.0	0.00069	9.1	-0.00605	30.9
3	0.00350	0.0	0.00069	9.1	-0.00605	30.9

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	57 di 82

Relazione di calcolo

### VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata  
 Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
 Vwct Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
 d Altezza utile sezione [cm]  
 bw Larghezza minima sezione [cm]  
 Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]  
 Scp Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm<sup>2</sup>]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	-4060	25898	30.9	100.0	0.0172	0.0
2	S	-4060	25898	30.9	100.0	0.0172	0.0
3	S	-1167	25898	30.9	100.0	0.0172	0.0

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\varnothing/2)$  e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.6	0.0	0.0	16.2	-82	9.1	8.1	814	53.1	9.1
2	S	5.6	0.0	0.0	16.2	-82	9.1	8.1	814	53.1	9.1
3	S	1.5	0.0	0.0	19.1	-15	9.1	7.2	717	53.1	9.1

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00007	0.00004	0.50	0.60	0.000025 (0.000025)	333	0.008 (0.20)	-11362
2	S	-0.00007	0.00004	0.50	0.60	0.000025 (0.000025)	333	0.008 (0.20)	-11362
3	S	-0.00001	0.00001	0.50	0.60	0.000005 (0.000005)	325	0.001 (0.20)	-13055

### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.8	0.0	0.0	16.3	-69	9.1	8.1	808	53.1	9.1
2	S	4.8	0.0	0.0	16.3	-69	9.1	8.1	808	53.1	9.1
3	S	4.8	0.0	0.0	16.3	-69	9.1	8.1	808	53.1	9.1

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	58 di 82

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00005	0.00004	0.50	0.60	0.000021 (0.000021)	332	0.007 (0.20)	-11452
2	S	-0.00005	0.00004	0.50	0.60	0.000021 (0.000021)	332	0.007 (0.20)	-11452
3	S	-0.00005	0.00004	0.50	0.60	0.000021 (0.000021)	332	0.007 (0.20)	-11452

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	1.5	0.0	0.0	19.1	-15	9.1	7.2	717	53.1	9.1
2	S	1.5	0.0	0.0	19.1	-15	9.1	7.2	717	53.1	9.1
3	S	1.5	0.0	0.0	19.1	-15	9.1	7.2	717	53.1	9.1

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00001	0.00001	0.50	0.40	0.000005 (0.000005)	325	0.001 (0.20)	-13055
2	S	-0.00001	0.00001	0.50	0.40	0.000005 (0.000005)	325	0.001 (0.20)	-13055
3	S	-0.00001	0.00001	0.50	0.40	0.000005 (0.000005)	325	0.001 (0.20)	-13055

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	59 di 82

Relazione di calcolo

## VERIFICA A TAGLIO

### Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$  41 kN

$N_{Ed}$  13 kN

Calcestruzzo

**c32/40**

$R_{ck}$  40 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  33.2 N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$  18.81 N/mm<sup>2</sup>

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$  1.5

Altezza sezione

$h$  400 mm

Copriferro

$c$  91 mm

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$  1000 mm

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$  309 mm

Area Calcestruzzo

$A_c$  400000 mm<sup>2</sup>

Armatura longitudinale tesa

n 10

$\emptyset$  26 mm

$A_{sl}$  5306.6 mm<sup>2</sup>

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$  0.0172 ≤ 0.02 ok

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$  0.0325 ≤ 0.2  $f_{cd}$  ok

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

$k$  1.80 ≤ 2 ok

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

$V_{\min}$  0.30

$V_{Rd}$  259.04 kN

**Verifica:**

$V_{Rd} > V_{Ed}$

**VERIFICATA**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

#### 10.4.2.2 Verifica in condizioni sismiche

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	188.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	336428	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	31.00	daN/cm <sup>2</sup>	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito		

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	40.0	cm
Barre inferiori:	5Ø26	(26.5 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	10Ø26	(53.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	9.1	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione			
MT	Momento torcente [daN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	900	-1303	-3000	0
2	900	-1303	-3000	0
3	900	-1124	-2601	0

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.7 cm

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	61 di 82

Relazione di calcolo

Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 3.7 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx re Momento resistente sost. elastico [daNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: non richiesto per calcolo non dissipativo  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]  
As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N re	Mx re	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	900	-1303	872	-51750	39.433	14.7	0.48	1.00	53.1 (5.5)
2	S	900	-1303	872	-51750	39.433	14.7	0.48	1.00	53.1 (5.5)
3	S	900	-1124	872	-51750	45.660	14.7	0.48	1.00	53.1 (5.5)

### DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00178	0.0	0.00068	9.1	-0.00196	30.9
2	0.00178	0.0	0.00068	9.1	-0.00196	30.9
3	0.00178	0.0	0.00068	9.1	-0.00196	30.9

### VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata  
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vwct Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23) NTC]  
d Altezza utile sezione [cm]  
bw Larghezza minima sezione [cm]  
Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]  
Scp Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm<sup>2</sup>]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	-3000	25758	30.9	100.0	0.0172	0.0
2	S	-3000	25758	30.9	100.0	0.0172	0.0
3	S	-2601	25758	30.9	100.0	0.0172	0.0

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	62 di 82

Relazione di calcolo

### VERIFICA A TAGLIO

#### Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$	30 kN
$N_{Ed}$	9 kN

Calcestruzzo

**C32/40**

$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$	18.81 N/mm <sup>2</sup>
----------	-------------------------

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$	1.5
------------	-----

Altezza sezione

$h$	400 mm
-----	--------

Copriferro

$c$	91 mm
-----	-------

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$	1000 mm
-------	---------

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$	309 mm
-----	--------

Area Calcestruzzo

$A_c$	400000 mm <sup>2</sup>
-------	------------------------

Armatura longitudinale tesa

$n$  10

$\varnothing$	26 mm
---------------	-------

$A_{sl}$	5306.6 mm <sup>2</sup>
----------	------------------------

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$	0.0172 ≤ 0.02	ok
----------	---------------	----

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$	0.0225 ≤ 0.2 $f_{cd}$	ok
---------------	-----------------------	----

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

$k$	1.80 ≤ 2	ok
-----	----------	----

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

$v_{\min}$	0.30
------------	------

$V_{Rd}$	258.58 kN
----------	-----------

Verifica:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

**VERIFICATA**



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
 OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	63 di 82

Relazione di calcolo

### 10.4.3 Verifica soletta inferiore

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

SLV			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLV	126.30	6.61	<b>-250.57</b>	23	0.30	sis1_nl
M3	min		150.25	-61.05	<b>-648.63</b>	29	0.00	sis3_nl
V2	max		137.25	<b>24.33</b>	-273.26	22	0.30	sis2_nl
V2	min		150.25	<b>-86.11</b>	-532.61	2	0.00	sis3_nl
P	max		<b>150.25</b>	-85.44	-551.68	1	0.00	sis3_nl
P	min		<b>126.30</b>	-29.39	-253.99	23	0.00	sis1_nl

SLU			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLU	196.10	24.39	<b>-304.01</b>	6	0.30	slu2_nl
M3	min		369.69	92.87	<b>-852.41</b>	23	0.30	slu3_nl
V2	max		369.69	<b>116.32</b>	-820.88	22	0.30	slu4_nl
V2	min		369.69	<b>-116.32</b>	-820.88	25	0.00	slu4_nl
P	max		<b>369.69</b>	-72.95	-764.34	1	0.00	slu3_nl
P	min		<b>196.10</b>	-39.15	-366.75	1	0.00	slu1_nl

SLE - RARA			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLE RAR	141.94	19.40	<b>-257.15</b>	6	0.30	rar1_nl
M3	min		261.66	64.88	<b>-599.41</b>	23	0.30	rar2_nl
V2	max		261.66	<b>67.01</b>	-587.95	22	0.30	rar2_nl
V2	min		261.66	<b>-67.01</b>	-587.95	25	0.00	rar2_nl
P	max		<b>261.66</b>	-51.32	-539.24	1	0.00	rar2_nl
P	min		<b>141.94</b>	-11.10	-265.04	13	0.00	rar1_nl

SLE - FREQUENTE			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
M3	max	SLE FRE	141.94	19.40	<b>-257.15</b>	6	0.30	fre2_nl
M3	min		237.72	57.69	<b>-536.49</b>	23	0.30	fre1_nl
V2	max		237.72	<b>60.17</b>	-526.66	22	0.30	fre1_nl
V2	min		237.72	<b>-60.17</b>	-526.66	25	0.00	fre1_nl
P	max		<b>237.72</b>	-46.66	-484.40	1	0.00	fre1_nl
P	min		<b>141.94</b>	-11.10	-265.04	13	0.00	fre2_nl

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	64 di 82

Relazione di calcolo

SLE - Q.P.			P	V2	M3	Frame	Station	OutputCase
			KN	KN	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	<b>SLE</b>	141.94	19.40	<b>-257.15</b>	6	0.30	qpe1_nl
<b>M3</b>	<b>min</b>	<b>QPE</b>	141.94	28.95	<b>-284.81</b>	23	0.30	qpe1_nl
<b>V2</b>	<b>max</b>		141.94	<b>32.78</b>	-281.52	22	0.30	qpe1_nl
<b>V2</b>	<b>min</b>		141.94	<b>-32.78</b>	-281.52	25	0.00	qpe1_nl
<b>P</b>	<b>max</b>		<b>141.94</b>	-28.01	-265.04	1	0.00	qpe1_nl
<b>P</b>	<b>min</b>		<b>141.94</b>	-11.10	-265.04	13	0.00	qpe1_nl

### 10.4.3.1 Verifica in condizioni statiche

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

Descrizione Sezione:  
Metodo di calcolo resistenza: Resistenze agli Stati Limite Ultimi  
Tipologia sezione: Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica  
Normativa di riferimento: N.T.C.  
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
Condizioni Ambientali: Poco aggressive  
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
Riferimento alla sismicit : Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

**CALCESTRUZZO -**

Classe:	C32/40
Resis. compr. di progetto fcd:	188.00 daN/cm <sup>2</sup>
Resis. compr. ridotta fcd':	94.00 daN/cm <sup>2</sup>
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
Def.unit. ultima ecu:	0.0035
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec:	336428 daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	31.00 daN/cm <sup>2</sup>
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	182.60 daN/cm <sup>2</sup>
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	182.60 daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	132.80 daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

**ACCIAIO -**

Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3375.0 daN/cm <sup>2</sup>

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	65 di 82

Relazione di calcolo

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	80.0
3	50.0	80.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-40.8	9.2	28
2	-40.8	70.8	28
3	40.8	70.8	28
4	40.8	9.2	28

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	10	28
2	2	3	10	28

#### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 14 mm  
 Passo staffe: 20.0 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-19610	-30401	0	2439	0
2	-36969	-85241	0	9287	0
3	-36969	-82088	0	11632	0
4	-36969	-82088	0	-11632	0
5	-36969	-76434	0	-7295	0
6	-19610	-36675	0	-3915	0

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	66 di 82

Relazione di calcolo

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	-14194	-25715	0
2	-26166	-59941	0
3	-26166	-58795	0
4	-26166	-58795	0
5	-26166	-53924	0
6	-14194	-26504	0

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	-14194	-25715 (-45453)	0 (0)
2	-23772	-53649 (-46175)	0 (0)
3	-23772	-52666 (-46119)	0 (0)
4	-23772	-52666 (-46119)	0 (0)
5	-23772	-48440 (-45856)	0 (0)
6	-14194	-26504 (-45561)	0 (0)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

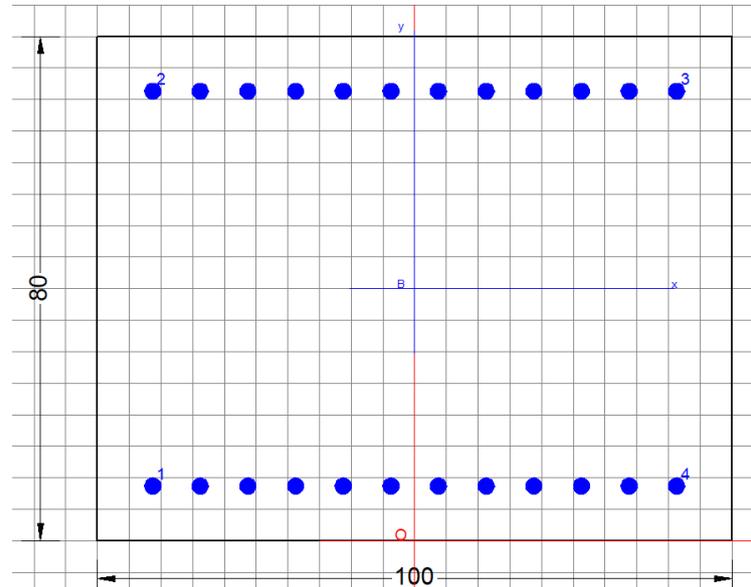
N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	-14194	-25715 (-45453)	0 (0)
2	-14194	-28481 (-45806)	0 (0)
3	-14194	-28152 (-45767)	0 (0)
4	-14194	-28152 (-45767)	0 (0)
5	-14194	-26504 (-45561)	0 (0)
6	-14194	-26504 (-45561)	0 (0)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	67 di 82

Relazione di calcolo



## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.6 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6.4 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sn Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	-19610	-30401	0	-19619	-179799	0	5.91	73.9(16.0)
2	S	-36969	-85241	0	-36950	-174464	0	2.05	73.9(16.0)
3	S	-36969	-82088	0	-36950	-174464	0	2.13	73.9(16.0)
4	S	-36969	-82088	0	-36950	-174464	0	2.13	73.9(16.0)
5	S	-36969	-76434	0	-36950	-174464	0	2.28	73.9(16.0)
6	S	-19610	-36675	0	-19619	-179799	0	4.90	73.9(16.0)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere  $< 0.45$   
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	68 di 82

Relazione di calcolo

es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.160	-50.0	0.0	0.00066	-40.8	9.2	-0.01838	-40.8	70.8
2	0.00350	0.155	-50.0	0.0	0.00057	-40.8	9.2	-0.01902	-40.8	70.8
3	0.00350	0.155	-50.0	0.0	0.00057	-40.8	9.2	-0.01902	-40.8	70.8
4	0.00350	0.155	-50.0	0.0	0.00057	-40.8	9.2	-0.01902	-40.8	70.8
5	0.00350	0.155	-50.0	0.0	0.00057	-40.8	9.2	-0.01902	-40.8	70.8
6	0.00350	0.160	-50.0	0.0	0.00066	-40.8	9.2	-0.01838	-40.8	70.8

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000308982	0.003500000	0.160	0.700
2	0.000000000	-0.000318144	0.003500000	0.155	0.700
3	0.000000000	-0.000318144	0.003500000	0.155	0.700
4	0.000000000	-0.000318144	0.003500000	0.155	0.700
5	0.000000000	-0.000318144	0.003500000	0.155	0.700
6	0.000000000	-0.000308982	0.003500000	0.160	0.700

#### VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 14 mm  
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [daN] = proiezi. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	2439	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	1.0	15.4(0.0)
2	S	9287	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	3.7	15.4(0.0)
3	S	11632	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	4.7	15.4(0.0)
4	S	11632	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	4.7	15.4(0.0)
5	S	7295	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	2.9	15.4(0.0)
6	S	3915	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	1.6	15.4(0.0)

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	69 di 82

Relazione di calcolo

Ver S = comb. verificata / N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	19.5	50.0	0.0	-652	-11.1	70.8	1950	73.9
2	S	46.3	50.0	0.0	-1475	-26.0	70.8	1900	73.9
3	S	45.3	50.0	0.0	-1450	11.1	70.8	1900	73.9
4	S	45.3	50.0	0.0	-1450	11.1	70.8	1900	73.9
5	S	41.3	50.0	0.0	-1344	11.1	70.8	1900	73.9
6	S	20.2	50.0	0.0	-669	33.4	70.8	1950	73.9

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e\_sm - e\_cm)$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00039	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.076 (0.20)	-45453	0
2	S	-0.00088	0	0.500	28.0	78	0.00044 (0.00044)	388	0.172 (0.20)	-46219	0
3	S	-0.00086	0	0.500	28.0	78	0.00044 (0.00044)	388	0.169 (0.20)	-46162	0
4	S	-0.00086	0	0.500	28.0	78	0.00044 (0.00044)	388	0.169 (0.20)	-46162	0
5	S	-0.00080	0	0.500	28.0	78	0.00040 (0.00040)	388	0.156 (0.20)	-45893	0
6	S	-0.00040	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.078 (0.20)	-45561	0

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	19.5	50.0	0.0	-652	-11.1	70.8	1950	73.9
2	S	41.4	50.0	0.0	-1322	11.1	70.8	1900	73.9
3	S	40.6	50.0	0.0	-1301	-3.7	70.8	1900	73.9
4	S	40.6	50.0	0.0	-1301	-3.7	70.8	1900	73.9
5	S	37.1	50.0	0.0	-1209	33.4	70.8	1900	73.9
6	S	20.2	50.0	0.0	-669	33.4	70.8	1950	73.9

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00039	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.076 (0.20)	-45453	0
2	S	-0.00079	0	0.500	28.0	78	0.00040 (0.00040)	388	0.154 (0.20)	-46175	0

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	70 di 82

3	S	-0.00077	0	0.500	28.0	78	0.00039 (0.00039)	388	0.151 (0.20)	-46119	0
4	S	-0.00077	0	0.500	28.0	78	0.00039 (0.00039)	388	0.151 (0.20)	-46119	0
5	S	-0.00072	0	0.500	28.0	78	0.00036 (0.00036)	388	0.141 (0.20)	-45856	0
6	S	-0.00040	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.078 (0.20)	-45561	0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	19.5	50.0	0.0	-652	-11.1	70.8	1950	73.9
2	S	21.8	50.0	0.0	-712	33.4	70.8	1900	73.9
3	S	21.5	50.0	0.0	-705	33.4	70.8	1950	73.9
4	S	21.5	50.0	0.0	-705	33.4	70.8	1950	73.9
5	S	20.2	50.0	0.0	-669	33.4	70.8	1950	73.9
6	S	20.2	50.0	0.0	-669	33.4	70.8	1950	73.9

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00039	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.076 (0.20)	-45453	0
2	S	-0.00042	0	0.500	28.0	78	0.00021 (0.00021)	388	0.083 (0.20)	-45806	0
3	S	-0.00042	0	0.500	28.0	78	0.00021 (0.00021)	391	0.083 (0.20)	-45767	0
4	S	-0.00042	0	0.500	28.0	78	0.00021 (0.00021)	391	0.083 (0.20)	-45767	0
5	S	-0.00040	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.078 (0.20)	-45561	0
6	S	-0.00040	0	0.500	28.0	78	0.00020 (0.00020)	391	0.078 (0.20)	-45561	0

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	71 di 82

Relazione di calcolo

## VERIFICA A TAGLIO

### Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$	117 kN
$N_{Ed}$	370 kN

Calcestruzzo

**C32/40**

$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------------------

$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
----------	------------------------

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$	18.81 N/mm <sup>2</sup>
----------	-------------------------

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$	1.5
------------	-----

Altezza sezione

$h$	800 mm
-----	--------

Copriferro

$c$	91 mm
-----	-------

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$	1000 mm
-------	---------

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$	709 mm
-----	--------

Area Calcestruzzo

$A_c$	800000 mm <sup>2</sup>
-------	------------------------

Armatura longitudinale tesa

n **12**

$\emptyset$	28 mm
-------------	-------

$A_{sl}$	7385.28 mm <sup>2</sup>
----------	-------------------------

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$	0.0104 ≤ 0.02	ok
----------	---------------	----

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$	0.4625 ≤ 0.2 $f_{cd}$	ok
---------------	-----------------------	----

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

$k$	1.53 ≤ 2	ok
-----	----------	----

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

$V_{\min}$	0.27
------------	------

$V_{Rd}$	473.60 kN
----------	-----------

**Verifica:**

$V_{Rd} > V_{Ed}$

**VERIFICATA**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</b>					
	TR05 – Muro ad U MU72: Relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 72 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

### 10.4.3.2 Verifica in condizioni sismiche

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di progetto fcd:	188.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	94.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	336428	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	31.00	daN/cm <sup>2</sup>	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	80.0
3	50.0	80.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-40.8	9.2	28
2	-40.8	70.8	28
3	40.8	70.8	28
4	40.8	9.2	28

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA**

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	73 di 82

Relazione di calcolo

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	10	28
2	2	3	10	28

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 14 mm  
 Passo staffe: 20.0 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-12630	-25057	0	661	0
2	-15025	-64863	0	-6105	0
3	-13725	-27326	0	2433	0
4	-15025	-53261	0	-8611	0
5	-15025	-55168	0	-8544	0
6	-12630	-25399	0	-2939	0

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.6 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 6.4 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sn Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
 Mx Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	-12630	-25057	0	-12630	-175796	0	7.02	73.9(16.0)
2	S	-15025	-64863	0	-15024	-175112	0	2.70	73.9(16.0)
3	S	-13725	-27326	0	-13753	-175475	0	6.42	73.9(16.0)
4	S	-15025	-53261	0	-15024	-175112	0	3.29	73.9(16.0)
5	S	-15025	-55168	0	-15024	-175112	0	3.17	73.9(16.0)
6	S	-12630	-25399	0	-12630	-175796	0	6.92	73.9(16.0)

### METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	74 di 82

Relazione di calcolo

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00099	0.337	-50.0	0.0	0.00061	-40.8	9.2	-0.00196	-40.8	70.8
2	0.00099	0.336	-50.0	0.0	0.00061	-40.8	9.2	-0.00196	-40.8	70.8
3	0.00099	0.336	-50.0	0.0	0.00061	-40.8	9.2	-0.00196	-40.8	70.8
4	0.00099	0.336	-50.0	0.0	0.00061	-40.8	9.2	-0.00196	-40.8	70.8
5	0.00099	0.336	-50.0	0.0	0.00061	-40.8	9.2	-0.00196	-40.8	70.8
6	0.00099	0.337	-50.0	0.0	0.00061	-40.8	9.2	-0.00196	-40.8	70.8

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000041685	0.000994816	0.337	0.861
2	0.000000000	-0.000041602	0.000988900	0.336	0.860
3	0.000000000	-0.000041646	0.000992039	0.336	0.861
4	0.000000000	-0.000041602	0.000988900	0.336	0.860
5	0.000000000	-0.000041602	0.000988900	0.336	0.860
6	0.000000000	-0.000041685	0.000994816	0.337	0.861

#### VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 14 mm  
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Ved Taglio di progetto [daN] = proiezione di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
 Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	661	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	0.3	15.4(0.0)
2	S	6105	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	2.4	15.4(0.0)
3	S	2433	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	1.0	15.4(0.0)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	75 di 82

Relazione di calcolo

4	S	8611	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	3.5	15.4(0.0)
5	S	8544	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	3.4	15.4(0.0)
6	S	2939	299484	38382	70.8	100.0	1.000	1.000	1.2	15.4(0.0)

## VERIFICA A TAGLIO

### Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$  **87 kN**

$N_{Ed}$  **151 kN**

Calcestruzzo

**C32/40**

$R_{ck}$  **40 N/mm<sup>2</sup>**

$f_{ck}$  **33.2 N/mm<sup>2</sup>**

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$  **18.81 N/mm<sup>2</sup>**

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$  **1.5**

Altezza sezione

$h$  **800 mm**

Copriferro

$c$  **91 mm**

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$  **1000 mm**

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$  **709 mm**

Area Calcestruzzo

$A_c$  **800000 mm<sup>2</sup>**

Armatura longitudinale tesa

$n$  **12**

$\emptyset$  **28 mm**

$A_{sl}$  **7385.28 mm<sup>2</sup>**

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$  **0.0104 ≤ 0.02** **ok**

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$  **0.1888 ≤ 0.2 f<sub>cd</sub>** **ok**

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

$k$  **1.53 ≤ 2** **ok**

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

$v_{\min}$  **0.27**

$V_{Rd}$  **444.49 kN**

**Verifica:**

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

**VERIFICATA**

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	76 di 82

## 10.5 Verifica a carico limite

SLU - SLV		FX	FZ	MY	OutputCase
		KN	KN	KN-m	Text
<b>MY</b>	<b>max</b>	130.27	1258.95	<b>345.32</b>	sis1_nl
<b>M Y</b>	<b>min</b>	0.00	2244.91	<b>0.00</b>	slu3_nl
<b>FZ</b>	<b>max</b>	0.00	<b>2244.91</b>	0.00	slu3_nl
<b>FZ</b>	<b>min</b>	0.00	<b>1168.94</b>	0.00	fre2_nl
<b>FX</b>	<b>max</b>	<b>130.27</b>	1168.94	345.32	sis1_nl
<b>FX</b>	<b>min</b>	<b>0.00</b>	2121.04	0.00	slu4_nl

Condizioni drenate

### Fondazioni Dirette Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = Ml/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

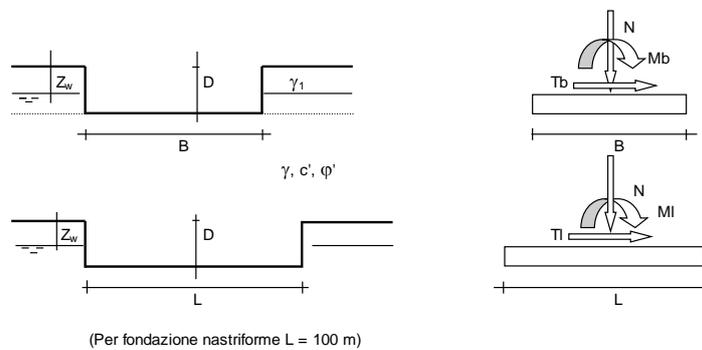
#### coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze			
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr		
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	○		1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista	⊙		1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	77 di 82



B = 9.20 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 1.50 (m)

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	2244.90		2244.90
Mb [kNm]	0.00		0.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	0.00		0.00
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1$  = 19.00 (kN/mc)  
 $\gamma$  = 19.00 (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c'$  = 15.00 (kN/mq)  
 $\varphi'$  = 25.00 (°)

*Valori di progetto*

$c'$  = 15.00 (kN/mq)  
 $\varphi'$  = 25.00 (°)

*Profondità della falda*

$Z_w$  = 4.00 (m)

$e_B$  = 0.00 (m)  
 $e_L$  = 0.00 (m)

$B^*$  = 9.20 (m)  
 $L^*$  = 1.00 (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

q = 28.50 (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma$  = 11.72 (kN/mc)

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	78 di 82

Relazione di calcolo

$$Nq = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$$

$$Nq = 10.66$$

$$Nc = (Nq - 1) / \tan \varphi'$$

$$Nc = 20.72$$

$$N\gamma = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N\gamma = 10.88$$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot Nq / (L \cdot Nc)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L^*$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot B^* / L^*$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00 \quad \theta = \arctg(Tb/Tl) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

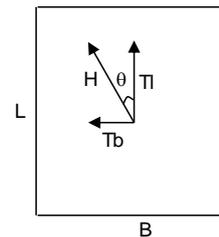
$$i_q = 1.00$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (Nq - 1)$$

$$i_c = 1.00$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L^* \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 1.00$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$$

$$d_q = 1.31$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (Nc \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.34$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	79 di 82

Relazione di calcolo

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi)$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \varphi)$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 876.05 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B \cdot L^*$$

$$q = 244.01 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 380.89 \geq q = 244.01 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica soddisfatta

TR05 – Muro ad U MU72:

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	80 di 82

## Condizioni non drenate

### Fondazioni Dirette Verifica in tensioni totali

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q$$

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = M_b/N$ )

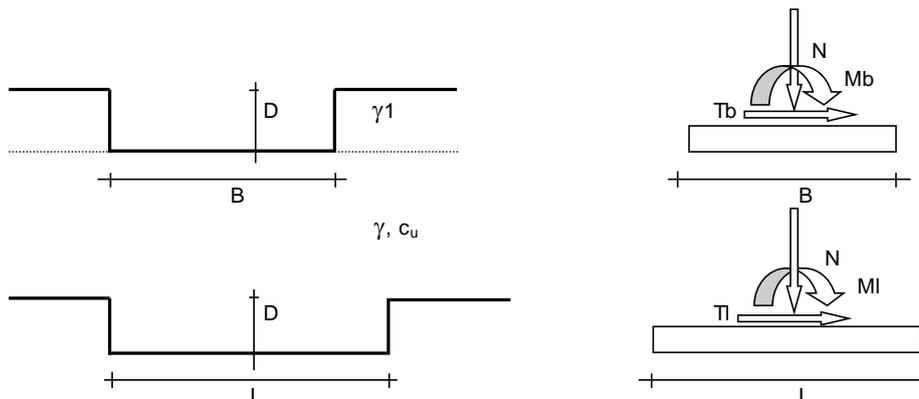
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = M_l/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

#### coefficienti parziali

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno	resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.40	1.80
	SISMA	○	1.00	1.00	1.40	1.80
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	2.30
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	2.30
Tensioni Ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista	●	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



(Per fondazioni nastriformi  $L=100$  m)

B = 9.20 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 1.50 (m)

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	81 di 82

Relazione di calcolo

### AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	2244.90		2244.90
Mb [kNm]			0.00
MI [kNm]			0.00
Tb [kN]			0.00
TI [kN]			0.00
H [kN]	0.00	0.00	0.00

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 75.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 75.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 9.20 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 28.50 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 19.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

TR05 – Muro ad U MU72:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 72 0 0 001	B	82 di 82

Relazione di calcolo

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

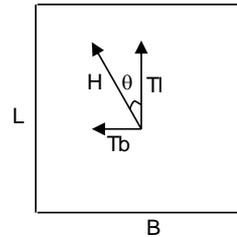
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 1.00$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.39$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 15.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 0.97$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 15.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 0.93$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 608.81 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 244.01 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 264.7 \geq q = 244.01 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Verifica sofsiffatta