

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA**

**OPERE DI SOSTEGNO**

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 78 CL MU5900 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M.Piscitelli	Dicembre 2019	Danisi/Maccaroni <i>[Signature]</i>	Dicembre 2019	F.Sparacino <i>[Signature]</i>	Dicembre 2019	Tiberti Dicembre 2019

File: RS3E50D78CLMU590001A

n. Elab.: 808

ITAFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Generale  
UO Infrastrutture Sud  
Dott. Ing. Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10475

## INDICE

1.	GENERALITA' .....	4
2.	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	4
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	5
4.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	6
5.	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	7
5.1	INTERAZIONE TERRENO-FONDAZIONE .....	8
6.	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	9
6.1	VITA NOMINALE .....	10
6.2	CLASSE D'USO .....	11
6.3	PERIODO DI RIFERIMENTO .....	12
6.4	VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	12
6.5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO .....	13
6.6	PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO .....	14
7.	MATERIALI .....	15
8.	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE .....	17
8.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	17
8.2	AZIONI .....	18
8.2.1	<i>Peso proprio (cond. di carico 1)</i> .....	18
8.2.2	<i>Permanenti (cond. di carico 2)</i> .....	18
8.2.3	<i>Spinta del terreno in fase statica (cond. di carico 3/4)</i> .....	19
8.2.4	<i>Spinta in presenza di falda (cond. di carico 5)</i> .....	19
8.2.5	<i>Azioni Sismiche (cond. di carico 6/7)</i> .....	19
8.3	APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA .....	21
8.4	COMBINAZIONI DI CARICO .....	21
8.5	VERIFICA ALLO SCORRIMENTO .....	21
8.6	CARICO LIMITE DI FONDAZIONI DIRETTE .....	23

8.7	VERIFICHE A SOLLEVAMENTO DEL SOLETTONE DI FONDO .....	25
9.	RISULTATI, ANALISI E VERIFICHE .....	26
9.1	MODELLO DI CALCOLO.....	26
9.2	SOLLECITAZIONI DI CALCOLO.....	28
9.3	ARMATURE DI PROGETTO.....	30
9.4	VERIFICHE DI RESISTENZA E FESSURAZIONE.....	30
9.5	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	31
	9.5.1 Verifiche a sollevamento solettone di fondo scavo.....	31
	9.5.2 Verifica a scorrimento.....	33
	9.5.3 Verifiche a carico limite.....	38
10.	TABULATI DI CALCOLO .....	39



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	4 di 99

## 1. GENERALITA'

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo relativo alla tratta a semplice binario Dittaino – Catenanuova del Nuovo Collegamento Palermo – Catania. L'intera tratta Dittaino – Catenanuova ha uno sviluppo complessivo di circa 22,8 km.

L'opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle inserite nella categoria denominata "Opere di sostegno".

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all'opera.

## 2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento al tratto in Trincea con muro a "U" previsto lungo l'asse principale di progetto dalla pk. 20+450 alla pk. 20+575.

### 3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Di seguito si riportano in tabella le principali informazioni geometriche delle sezioni di calcolo presenti lungo lo sviluppo dell'opera, ed a seguire alcune immagini rappresentative. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento:

WBS	OPERA	pk. [m]	B (m)	S <sub>P,sx</sub> (m)	S <sub>P,dx</sub> (m)	H <sub>P,sx</sub> (m)	H <sub>P,dx</sub> (m)	S <sub>F</sub> (m)
MU59	MURO AD "U"	20+450 – 20+575	14.1	Var. 1.0 – 1.20 – 1.40	Var. 1.0 – 1.20	var. 4.0 - 10.50	var. 4.0 – 8.0	1.7

Tra le pk. 20+450 e pk. 20+408 circa, è inoltre previsto un dente di fondazione in c.a. dello spessore di 1,50m e profondità di 1,70m (da intradosso fondazione).

Dove si è indicato con:

B : Larghezza interna dell'opera

H<sub>p</sub>: Altezza piedritti da estradosso fondazione (dx=destro; sx=sinistro),

S<sub>p</sub>, S<sub>F</sub> : Spessore piedritti (dx=destro; sx=sinistro), fondazione

La sezione di calcolo analizzata nel seguito è la sez. di altezza massima, che risulta essere la più gravosa per condizioni di carico tra quelle presenti lungo lo sviluppo dell'opera.

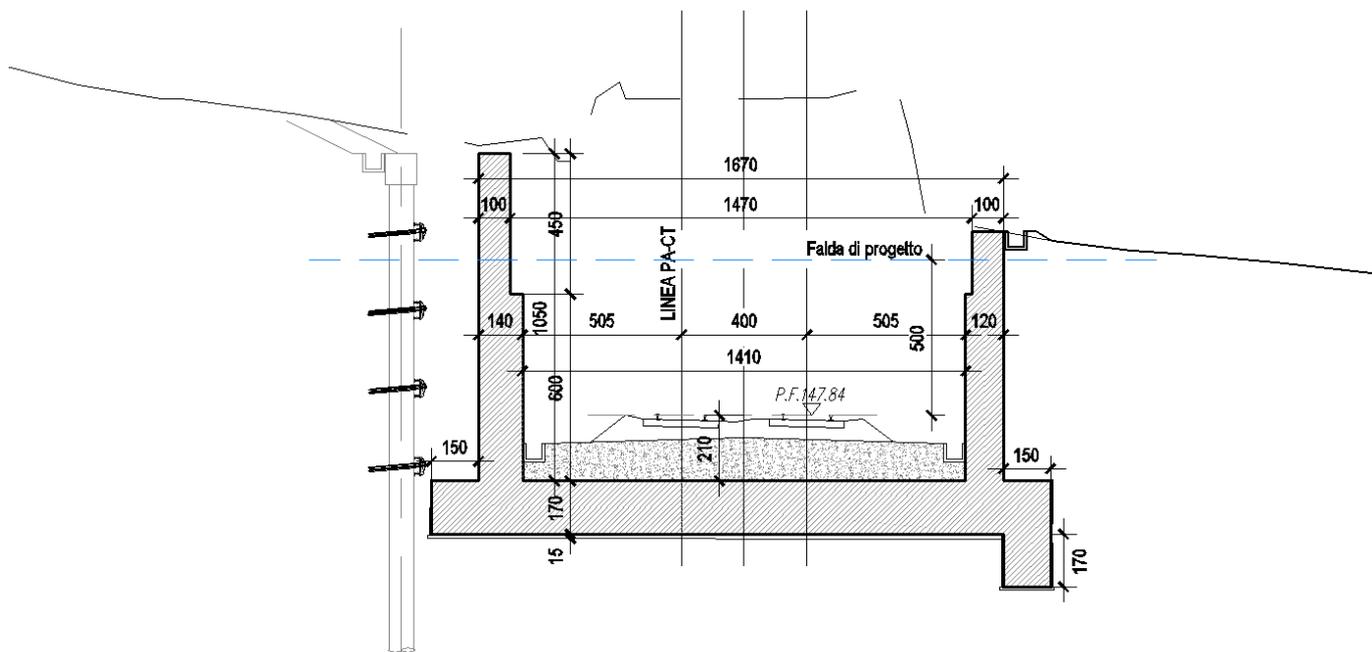


Figura 1 – Sezione trasversale di calcolo

\*La paratia provvisoria sul lato sx dell'opera è stata trascurata ai fini delle analisi.

## 4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 Documenti Referenziati

Di seguito si riporta l'elenco generale delle Normative Nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento, quale riferimento per la redazione degli elaborati tecnici e/o di calcolo dell'intero progetto nell'ambito della quale si inserisce l'opera oggetto della presente relazione:

#### Normative e Documenti tecnici generali

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture dei Trasporti, DM 14 gennaio 2008 – «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
- Rif. [2] Circolare Applicativa n 617 del 2 Febbraio 2009 - «Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008»
- Rif. [3] UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

#### Documenti Tecnici RFI e/o di ambito ferroviario

- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 B – rev 22/12/2017)
- Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture ( RFI DTC SI PS MA IFS 001 B – rev 22/12/2017)
- Rif. [6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 B – rev 22/12/2017)
- Rif. [7] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 B – rev 22/12/2017)
- Rif. [8] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A – rev 30/12/2016)
- Rif. [9] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 B– rev 22/12/2017)
- Rif. [10] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 7 / Geologia (RFI DTC SI CS GE IFS 001 A – rev 22/12/2017)
- Rif. [11] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [12] Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili (RFIDTCSICSSPIFS005 B - rev 22/12/2017)

## 5. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Dall'esame di quanto riportato nella relazione geotecnica di riferimento e in relazione alle progressive in esame, emerge che il volume di terreno direttamente interagente con l'opera, è costituito dall'unità bni che presenta le seguenti proprietà:

### Unità bni – Depositi terrazzati ghiaioso sabbiosi

$\gamma_{\text{nat}} = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 35 \div 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$k = 1.5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità
$V_s = 200 \div 450 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 80 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 800 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

I moduli di deformabilità "operativi" ( $E'$ ) da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a  $1/3 \div 1/5$  di quello iniziale ( $E_o$ ).

In relazione alle quote di falda locali, il livello di falda locale è variabile lungo lo sviluppo longitudinale dell'opera. In particolare, nel caso in esame si sono assunti i seguenti livelli di falda:

SEZIONE	pk. [m]	Q' m
247	12+300	5.0
248	12+350	2.0
249	12+400	1.5

Q' : Stima della quota relativa del livello di falda rispetto al piano ferro secondo profilo geotecnico di progetto

In fase di analisi è stato dunque considerato il seguente modello geotecnico:

Terreno	Litotipo	$\gamma$	$\varphi'$	$c'$	$E'$	$k_w$
		( $\text{kN/m}^3$ )	( $^\circ$ )	( $\text{kPa}$ )	( $\text{MPa}$ )	( $\text{kPa/m}$ )
Terreno di Rinfianco	Bni	19.5	36	0	100	0
Terreno di Fondazione	Bni	19.5	36	0	100	6728

Falda: + 5.0m da P.F. ovvero a circa 8.8 m al di sopra del piano di posa delle fondazioni.

Dove  $k_w$  è la costante di sottofondo definita al paragrafo seguente.

## 5.1 interazione terreno-fondazione

Per le analisi d'interazione struttura-terreno in direzione verticale, il coefficiente di sottofondo alla Winkler può essere determinato con la seguente relazione:

$$k_w = \frac{E}{(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t}$$

dove:

$E'$  = modulo di deformazione elastico del terreno;

$\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.3;

$B$  = larghezza della fondazione.

$c_t$  = fattore di forma, coefficiente adimensionale ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (vedasi tabella seguente).

Fondazione Rigida	$c_t$
- rettangolare con $L/B \leq 10$	$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$
- rettangolare con $L/B > 10$	$c_t = 2 + 0.0089 (L/B)$
dove $L$ è il lato maggiore della fondazione.	

Sulla base della geometria della fondazione e delle condizioni geotecniche locali verrà valutato il modulo di deformazione elastico per il calcolo dei coefficienti di sottofondo.

In particolare il modulo di deformazione elastico potrà essere determinato dal modulo di deformazione elastico iniziale ( $E_0$ ) come  $E = E_0 / (3 \div 5)$ .

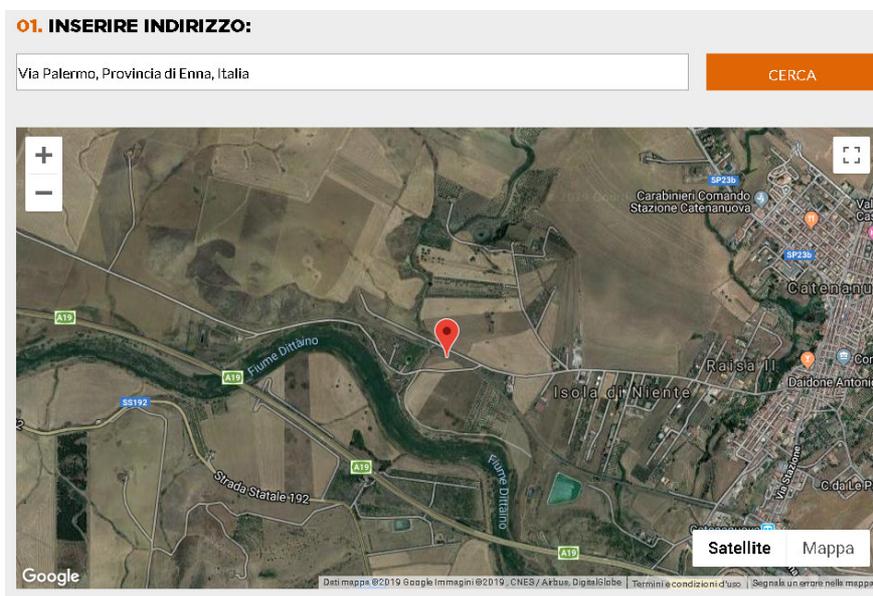
Di seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, sulla scorta del valore di progetto di  $E$  attribuito allo strato di Fondazione, avendo considerato una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaboranti:

$E'(\text{KN/m}^2) =$	100000
$\nu =$	0.25
$B \text{ (m)} =$	19.7
$L \text{ (m)} =$	20.0
$c_t =$	0.86
$K_w \text{ [kN/m}^3] =$	6288

## 6. CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo si riporta la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del D.M. 14 gennaio 2008.

L'opera oggetto della presente relazione presenta le seguenti coordinate geografiche:



LATITUDINE

37.568

LONGITUDINE

14.673

COMUNE

Catenanuova

PROVINCIA

ENNA

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  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.

Nei paragrafi seguenti è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica per la zona sismica di riferimento in cui ricade l'opera.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	10 di 99

## 6.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è 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. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda al "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI" - RFI DTC SI PS MA IFS 001 B.

Tabella 1 Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale [ $V_N$ ] <sup>(1)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITA' CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' ( $V < 250$ km/h)	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' ( $V \geq 250$ Km/h)	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(2)</sup>
(1) - La medesima $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI.	

Tenendo conto delle indicazioni precedenti le strutture di progetto avranno vita nominale  $V_N = 75$ .

## 6.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per la definizione della Classe di uso da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria esistente si rimanda al "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI" - RFI DTC SI PS MA IFS 001 B.

Tabella 2 Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione per l'infrastruttura ferroviaria

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [CU]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Facendo riferimento all'Allegato 5 della specifica alla pagina 151 del "MANUALE DI PROGETTAZIONE DI PONTI E STRUTTURE" - RFI DTC SICS MA IFS 001 B si ricade in classe d'uso tipo **Classe III con coefficiente d'uso CU=1,5**.

### 6.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1.50 = 112.5 \text{ anni (periodo di riferimento).}$$

### 6.4 Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{V_R}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = - \frac{C_U \cdot V_g}{\ln(1 - P_{V_g})}$$

da cui si ottiene la seguente Tabella:

Tabella 3 Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  al variare dello stato limite considerato

	STATO LIMITE	probabilità di superamento $P_{V_R}$	Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$
SLE	SLO - Stato Limite di Operatività	81%	68
	SLD - Stato Limite di Danno	63%	113
SLU	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	1068
	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%	2193

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati si ha:

STATO LIMITE	SLV
VITA NOMINALE $V_N$	75
CLASSE D'USO	C III
COEFFICIENTE D'USO $C_U$	1.5
VITA DI RIFERIMENTO $V_R$	112.5

## 6.5 Caratterizzazione sismica del terreno

### Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2008.

### Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2008 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente  $S = S_S \cdot S_T$  e di  $C_C$  in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle Tab.18 e 19 che sono riportate di seguito:

Tabella 4 Tabella delle espressioni per  $S_S$  e  $C_C$

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_S$  e di  $C_C$

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 5 Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica  $S_T$

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nel caso in esame:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

B

CATEGORIA TOPOGRAFICA

T1

## 6.6 Parametri sismici di calcolo

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.170 g
$F_c$	2.511
$T_c$	0.529 s
$S_s$	1.200
$C_c$	1.249
$S_T$	1.000
$q$	1.000

### Parametri dipendenti

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_a$	0.220 s
$T_c$	0.661 s
$T_D$	2.281 s

Tabella 1 – Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto.

## 7. MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM DM 14/01/2008 e del "Manuale di progettazione delle opere civili" RFI DTC SI MA IFS 001 B.

Calcestruzzo armato Opere	
Classe di resistenza	C 30/37
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 17.0 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 32836 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 B)	$\sigma_c = 0.55f_{ck} = 16.5 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara)
Tensione massima di compressione in esercizio (NTC 2008)	$\sigma_c = 0.60f_{ck} = 18.0 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara)

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B 450 C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{yd} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yd} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 B)	$\sigma_{lim} = 0.75 f_{yk} = 337.5 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (NTC 2008)	$\sigma_{lim} = 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

In merito alla verifica a fessurazione, la verifica consiste nel controllo dell'ampiezza massima delle fessure per le combinazioni di carico di esercizio i cui valori limite sono stabiliti, nell'ambito del progetto di opere ferroviarie, nel documento RFI DTC SICS MA IFS 001 B – 2.5.1.8.3.2.4 (*Manuale di progettazione delle opere civili del 22/12/2017*).

In particolare l'apertura convenzionale delle fessure  $\sigma_f$  dovrà rispettare i seguenti limiti:

- $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$  per tutte le strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive (così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.01.2008 – Tab 4.1.III), per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie.

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

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 4.1.III – DM 14.01.2008

In definitiva, nel caso in esame, con riferimento alle indicazioni della tabella di cui in precedenza, si adotta il limite  $w_1=0,20 \text{ mm}$  sia per le parti in elevazione che per quelle in fondazione, in quanto in entrambi i casi trattasi di strutture a permanente contatto col terreno.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	17 di 99

## 8. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/09.

### 8.1 Metodologia di calcolo

Le analisi finalizzate al dimensionamento delle strutture sono state condotte con il programma di calcolo "SCAT - Analisi Strutture Scatolari- Versione 14.0" della Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS).

La struttura viene discretizzata in elementi tipo trave. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione e di rinfiacco vengono inserite delle molle alla Winkler non reagenti a trazione.

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi. Il terreno di fondazione viene schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa. A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento,  $K_e$ , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura  $K$ . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali  $p$ . Indicando con  $u$  il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti  $u$

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

L'analisi che viene effettuata è un'analisi al passo per tener conto delle molle che devono essere eliminate (molle in trazione). L'analisi fornisce i risultati in termini di spostamenti. Dagli spostamenti si risale alle sollecitazioni nodali ed alle pressioni sul terreno.

Il calcolo degli scatolari viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle pressioni in calotta (per gli scatolari ricoperti da terreno);
- Calcolo della spinta del terreno;
- Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali (fondazione, piedritti e traverso);
- Progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

## 8.2 Azioni

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno sono le seguenti:

CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	
1	Peso Proprio
2	Permanenti
3	Spinta terreno sinistra
4	Spinta terreno destra
5	Spinta Falda
6	Sisma sinistra
7	Sisma destra

Per quanto riguarda tuttavia la condizione 7, proposta di default dal software di calcolo utilizzato, nel caso in esame non assume significato.

Nel seguito si andranno ad esporre in dettaglio, le valutazioni di calcolo effettuate per ciascuna delle condizioni citate.

### 8.2.1 Peso proprio (cond. di carico 1)

Il peso proprio delle strutture è determinato automaticamente dal programma di calcolo, avendo considerato un peso dell'unità di volume del c.a.  $\gamma_{cls} = 25 \text{ KN/m}^3$ .

### 8.2.2 Permanenti (cond. di carico 2)

Il ricoprimento dato dal massetto in calcestruzzo e Ballast all'interno del muro ad U è stato considerato come peso permanente non strutturale G2 sulla base del peso specifico del ballast ( $18 \text{ kN/m}^2$ ) e del massetto ( $24 \text{ kN/m}^2$ ):  
 $G2 = 18 \text{ kN/m}^2 \times 0.7 + 24 \times 2.1 \text{ m} \approx 60 \text{ kN/m}^2$ .

### 8.2.3 Spinta del terreno in fase statica (cond. di carico 3/4)

Per la valutazione delle Spinte del terreno sui piedritti, in considerazione della ridotta capacità de formativa dell'opera, si è assunto che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. L'espressione della spinta esercitata da un terrapieno, di peso di volume  $\gamma$ , su una parete di altezza H, risulta espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione (per terreno incoerente) :

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0$$

Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:  $K_0 = 1 - \sin \phi$

Dove  $\phi$  rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfiacco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono:

$$\sigma = \gamma \cdot z \cdot K_0 + p_v \cdot K_0$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0 + p_v \cdot K_0 \cdot H$$

dove  $p_v$  è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

### 8.2.4 Spinta in presenza di falda (cond. di carico 5)

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

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

dove  $\gamma_{sat}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua.

Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

### 8.2.5 Azioni Sismiche (cond. di carico 6/7)

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k.

#### Forze d'inerzia

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h \cdot W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v \cdot W$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	20 di 99

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

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

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

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

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

Nel caso specifico, in accordo a quanto già riportato al paragrafo 6 risulta:

Condizione	Categoria sottosuolo	$a_g/g$	$S=S_s S_t$	$a_{max}/g$	$\beta_m$ (-)	$K_h$ (-)
SLV	B	0.17	1.20	0.204	1.00	0.204

dove:

- $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- $\beta$  è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 14/01/2008). Nel caso in esame si è assunto cautelativamente  $\beta_m = 1$

### Spinta sismica terreno

In corrispondenza di un evento sismico è necessario tener conto dell'amplificazione/deamplificazione delle spinte del terreno a monte e a valle dell'opera. Si trascurano gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la struttura di sostegno (DM 14/01/2008).

Le spinte del terreno in fase sismica, sono state determinate con la **teoria di Mononobe Okabe**, con  $\beta_m = 1$ , tenendo conto della pendenza naturale del terreno e considerando attrito terra-muro  $\delta = 0$ :

$$k_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \vartheta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \vartheta)}{\cos(\delta + \alpha + \vartheta) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2} \quad \text{se } \beta \leq \phi - \theta$$

$$k_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \vartheta)} \quad \text{se } \beta > \phi - \theta$$

dove  $\theta$  = angolo sismico, definito secondo la seguente espressione (in assenza di falda) in funzione dei coefficienti sismici

$k_h$  e  $k_v$ :

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

In fase di analisi la spinta sismica è dunque valutata e la spinta sismica deve essere valutata come contributo di spinta statica attiva e incremento sismico calcolato con Mononobe Okabe (con  $\beta$  pari a 1).

$$\Delta S_E = \left[ \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H,$$

### 8.3 Approcci progettuali e metodi di verifica

Come prescritto dal DM 14/01/2008 per le verifiche dell'opera è stata considerata la combinazione A1-M1-R3 con i coefficienti di combinazione riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 14/01/2008.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV). Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni sono pari all'unità.

### 8.4 Combinazioni di carico

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 14/01/2008, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite ultimi e di esercizio in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

- combinazione fondamentale (SLU)
- combinazione sismica (SLV): il coefficiente di combinazione per il carico variabile  $Q_1$  è pari a 0
- coefficienti di partecipazione  $\Psi$  per carichi di tipo variabile :

Per un riepilogo delle Combinazioni di Calcolo considerate nelle analisi si rimanda ai tabulati di calcolo in allegato.

Come evidenziato nei tabulati, i carichi all'interno del muro ad U sono da considerati "favorevoli".

### 8.5 Verifica allo scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro, sia minore di tutte le forze resistenti lungo la stessa direzione.

La verifica a scorrimento risulta in particolare soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento ( $F_r$ ) fattorizzata secondo un opportuno coefficiente parziale  $\gamma_r$  stabilito dalla normativa e la risultante delle forze mobilitanti ( $F_s$ ) risulti non inferiore all'unità:

$$(F_r / \gamma_r) / F_s \geq 1$$

ovvero che il rapporto  $F_r/F_s$  risulti non inferiore di  $\gamma_r$ , fissato dalla normativa pari ad 1,1.

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione.

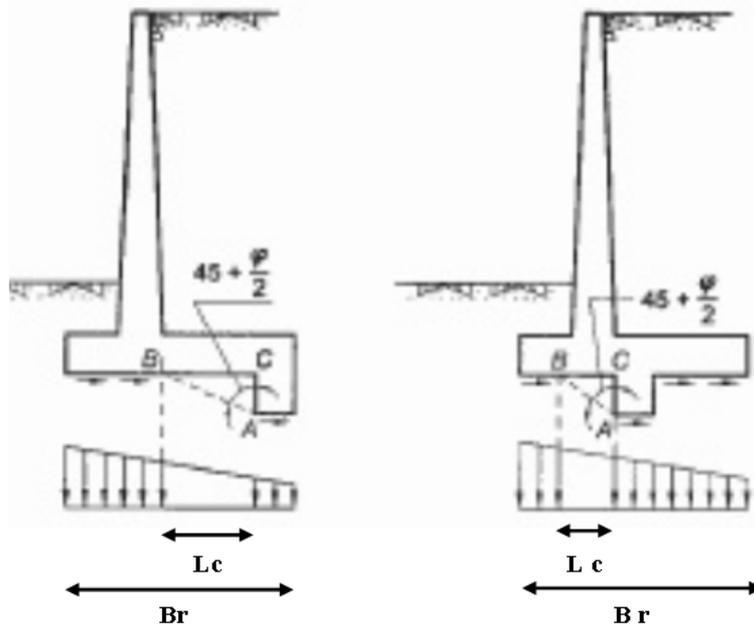
Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagenti, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

In casi particolari specificati dalla normativa, è possibile eventualmente tener conto della resistenza passiva  $S_p$  del terreno a valle del muro.

La valutazione delle azioni resistenti e di quelle mobilitanti, dovrà tener conto dei coefficienti  $A$  ed  $M$  fissati dalla normativa per la combinazioni di verifica specifica.

Nel caso di fondazione con dente, è possibile in linea generale tener conto della resistenza passiva sviluppatasi lungo il cuneo passante per lo spigolo inferiore del dente, secondo quanto riportato negli schemi delle figure seguenti:



Il procedimento utilizzato fa riferimento in particolare alle teorie di Lancellotta-Calavera, per i cui dettagli si rimanda alla letteratura tecnica; nella fattispecie, la procedura di calcolo implementata, prevede la definizione dello schema geometrico del cuneo di rottura, attraverso un procedimento iterativo volto a determinare il coefficiente di sicurezza a scorrimento minimo.

In dipendenza della geometria della fondazione e del dente, dei parametri geotecnici del terreno e del carico risultante in fondazione, tale cuneo può avere forma triangolare o trapezoidale.

Detta pertanto  $N$  la componente normale del carico agente sul piano di posa della fondazione,  $Q$  l'aliquota di carico gravante sul cuneo passivo,  $S_p$  la resistenza passiva,  $L_c$  l'ampiezza del cuneo e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come:

$$Fr = (N - Q) \cdot \operatorname{tg}(\delta_f) + S_p + c_a \cdot L_r$$

con  $L_r = B_r - L_c$

Per quanto riguarda l'attrito fondazione muro – terreno considerato ai fini delle verifiche di scorrimento sul piano di posa della fondazione, si è assunto quanto segue:

- per  $\phi < 30^\circ$   $\mu = \operatorname{tg} \phi'$ ;
- per  $\phi > 35^\circ$   $\mu = 0.85 \operatorname{tg} \phi'$ ;
- per  $30^\circ \leq \phi \leq 35^\circ$   $\mu$  si ricava per interpolazione lineare

Infine l'adesione  $c_a$  terra-opera è stata assunta pari al valore di coesione del terreno di fondazione.

## 8.6 Carico limite di fondazioni dirette

Per la valutazione del carico limite delle fondazioni dirette si utilizza il criterio di **Meyerhof**, di cui nel seguito si riporta la relativa trattazione teorica:

Dette:

- $c$  Coesione
- $c_a$  Adesione lungo la base della fondazione ( $c_a \leq c$ )
- $\theta$  Angolo che la retta d'azione del carico forma con la verticale
- $\phi$  Angolo d'attrito
- $\delta$  Angolo di attrito terreno fondazione
- $\gamma$  Peso specifico del terreno
- $K_p$  Coefficiente di spinta passiva espresso da  $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$
- $B$  Larghezza della fondazione
- $L$  Lunghezza della fondazione
- $D$  Profondità del piano di posa della fondazione
- $\eta$  inclinazione piano posa della fondazione
- $P$  Pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione
- $q_{ult}$  Carico ultimo della fondazione

Meyerhof propone per la valutazione di  $q_{ult}$ , le seguenti espressioni generali:

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	24 di 99

### Carico verticale

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

### Carico inclinato

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot i_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

in cui  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_\gamma$  sono i fattori di profondità,  $s_c$ ,  $s_q$  e  $s_\gamma$  sono i fattori di forma,  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono i fattori di inclinazione del carico,

In particolare risulta:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

### Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$$

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$d_q = d_\gamma = 1$	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$

### Fattori di forma

$$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B}{L}$$

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$s_q = s_\gamma = 1$	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B}{L}$

### Fattori inclinazione del carico

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$i_\gamma = 0$	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\phi}\right)^2$

L'espressione di Meyerhof presuppone pertanto l'orizzontalità del piano di posa, condizione verificata per il caso in esame.

## 8.7 Verifiche a Sollevamento del solettone di fondo

Il § 6.2.4.2. del DM 14.01.2008 specifica che le opere geotecniche devono essere verificate, ove ricorrano le condizioni, anche che nei riguardi di possibili stati limite di sollevamento o di sifonamento.

In presenza di scavi a valle di opere di sostegno di terreni in falda, quando il piano finale di scavo da progetto è inferiore al livello della falda in sito, si possono avere risalite d'acqua nel corpo ferroviario. Per bloccare le risalite è prevista la realizzazione di un solettone di fondo in c.a. in tal caso si configura il problema del *sollevamento del solettone di fondo*. La verifica consiste in un equilibrio tra le azioni Instabilizzanti, costituite dalle pressioni alla quota intradosso solettone di fondazione, e le azioni stabilizzanti, costituite invece dal peso proprio della soletta strutturali e dai carichi permanenti agenti su di essa.

A tal fine, nella valutazione delle pressioni interstiziali e delle quote piezometriche caratteristiche, si devono assumere le condizioni più sfavorevoli, considerando i possibili effetti delle condizioni stratigrafiche.

Per la **stabilità al sollevamento** deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante ( $V_{inst,d}$ ) ovvero sia della risultante delle pressioni idrauliche ottenuta considerando separatamente la parte permanente ( $G_{inst,d}$ ) e quella variabile ( $Q_{inst,d}$ ), sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti ( $G_{stb,d}$ ) e delle resistenze ( $R_d$ ), ovvero:

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad [6.2.4]$$

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \quad [6.2.5]$$

Per le verifiche di stabilità al sollevamento, i relativi coefficienti parziali sulle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.III.

**Tabella 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	SOLLEVAMENTO (UPL)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Al fine del calcolo della resistenza di progetto  $R_d$ , tali coefficienti devono essere combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici ( $M_2$ ).

Ove necessario, il calcolo della resistenza va eseguito in accordo a quanto indicato negli specifici paragrafi della normativa dedicata alle fondazioni su pali e per gli ancoraggi.

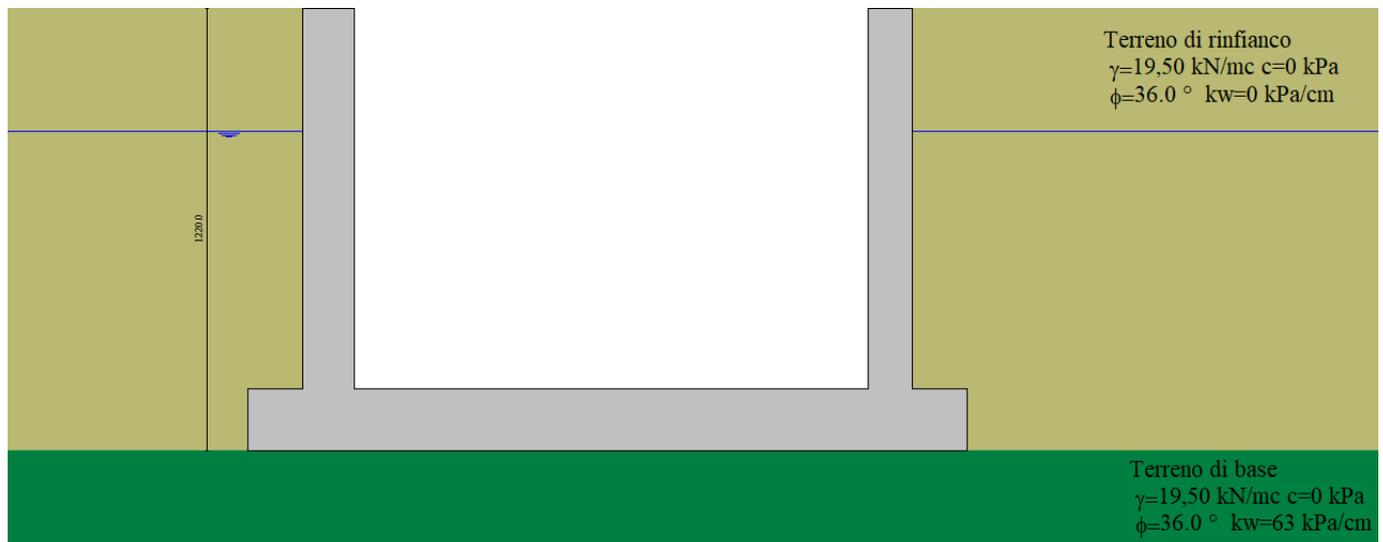
Le verifiche descritte nel presente paragrafo, sono state eseguite, mediante impiego di fogli di calcolo excel autoprodotti.

## 9. RISULTATI, ANALISI E VERIFICHE

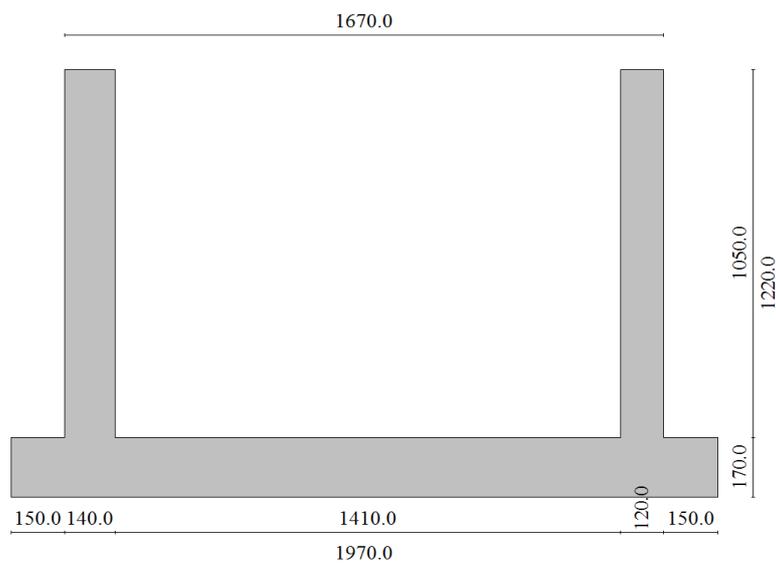
Di seguito di riporta una descrizione della modellazione effettuata mediante ausilio del software di calcolo SCAT v.11 prodotto dalla AZTEC Informativa, con una descrizione del modello strutturale implementato, sollecitazioni di calcolo ottenute e risultati delle verifiche effettuate.

### 9.1 MODELLO DI CALCOLO

Di seguito di riporta una descrizione del modello geometrico/geotecnico considerato ai fini del dimensionamento:



*Modello Geometrico Geotecnico di Riferimento – 1/2*



*Modello Geometrico Geotecnico di Riferimento – 2/2 (quote in mm)*

Non potendo, nel software di calcolo utilizzato, modellare piedritti di altezza diversa tra loro e con sezione variabile lungo l'altezza, i piedritti sono stati modellati considerando per entrambi i piedritti l'altezza massima (10.5m) e la sezione di larghezza massima pari a 1.40m per il piedritto di sinistra e 1,20m per il piedritto di destra.

Per tener conto della rastremazione dei piedritti lungo l'altezza e della diversa altezza dei piedritti sono state introdotte sui piedritti delle azioni aggiuntive definite nel modo seguente:

- 1- Sforzi assiali di trazione sui piedritti pari al peso della parte di cls aggiuntiva rispetto a quella reale.

 Carichi struttura - condizione nr. 8

N°	Tipo	Destinazione	Descrizione
1	Concentrato	P.Sinistro	Y=12,20 m - Fy=-45,00 kN - Fx=0,00 kN - M=0,00 kNm
2	Concentrato	P.Destro	Y=12,20 m - Fy=-137,50 kN - Fx=0,00 kN - M=0,00 kNm

- 2- Distribuzione di azione trapezoidale su piedritto di destra atta ad annullare la spinta a riposo della parte di terreno a quota superiore la reale altezza del piedritto.

 Carichi struttura - condizione nr. 9

N°	Tipo	Destinazione	Descrizione
1	Distribuito	P.Destro	Yi=9,70 m - Yf=12,20 m - Vni=20,10 kN/m - Vnf=0,00 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m
2	Distribuito	P.Destro	Yi=0,00 m - Yf=9,70 m - Vni=20,10 kN/m - Vnf=20,10 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m

- 3- Forze di inerzia e spinta sismica (M.O.) in senso opposto alle azioni sismiche definite dal software della parte di piedritti aggiuntiva rispetto a quella reale.

 Carichi struttura - condizione nr. 11

N°	Tipo	Destinazione	Descrizione
1	Distribuito	P.Destro	Yi=1,70 m - Yf=12,20 m - Vni=3,51 kN/m - Vnf=3,51 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m
2	Distribuito	P.Destro	Yi=0,00 m - Yf=12,20 m - Vni=11,10 kN/m - Vnf=11,10 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m
3	Distribuito	P.Sinistro	Yi=7,70 m - Yf=12,20 m - Vni=2,04 kN/m - Vnf=2,04 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m

Condizione nr.11

Nome | sisma da dx

Tipo

Permanente strutturale  Variabile da traffico

Variabile  Termica

Permanente non strutturale

 Carichi struttura - condizione nr. 12

N°	Tipo	Destinazione	Descrizione
1	Distribuito	P.Sinistro	Yi=7,70 m - Yf=12,20 m - Vni=2,04 kN/m - Vnf=2,04 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m
2	Distribuito	P.Destro	Yi=1,70 m - Yf=12,20 m - Vni=3,51 kN/m - Vnf=3,51 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m
3	Distribuito	P.Destro	Yi=0,00 m - Yf=12,20 m - Vni=11,10 kN/m - Vnf=11,10 kN/m - Vti=0,00 kN/m - Vtf=0,00 kN/m

Condizione nr.12

Nome | Sisma da sx (add)

Tipo

Permanente strutturale  Variabile da traffico

Variabile  Termica

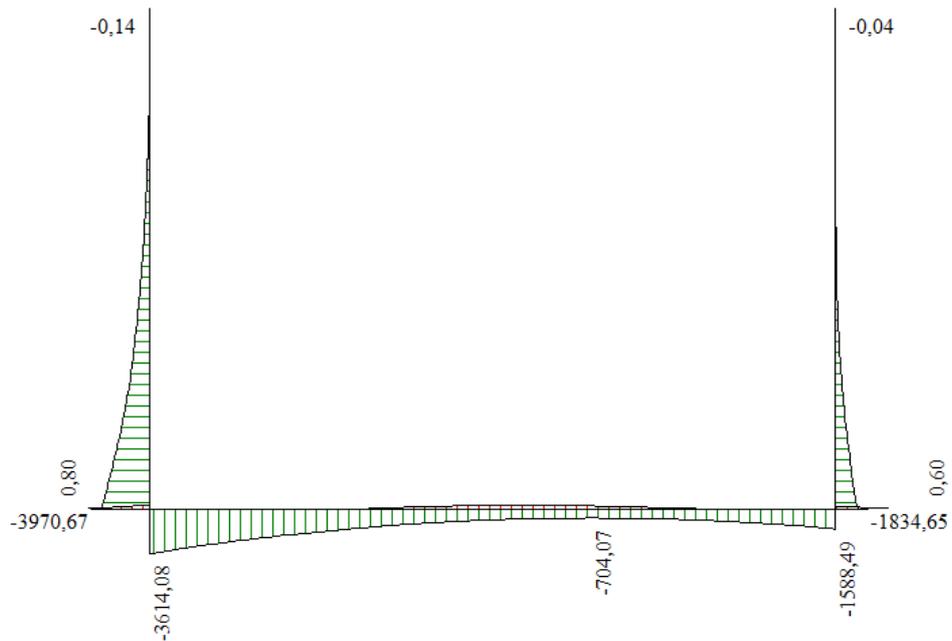
Permanente non strutturale

Inoltre sul terreno a monte del piedritto lato sx, è applicato un carico permanente di 20 kPa uniformemente distribuito equivalente al peso del terreno al di sopra della quota di testa del piedritto valutato rispetto ad una altezza equivalente media pari a circa 1.0 m.

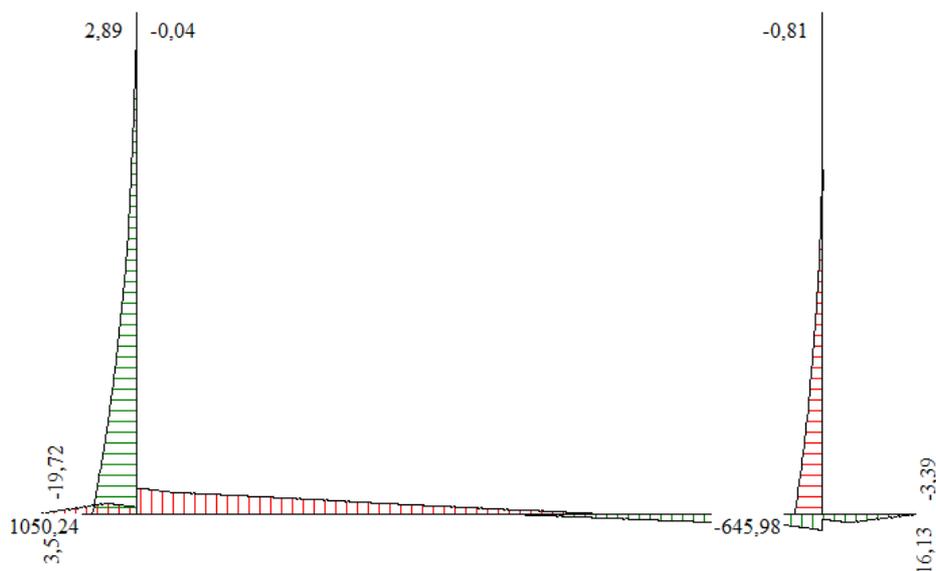
 Carichi profilo - condizione nr. 10

N°	Tipo	Carico distribuito		Carico concentrato			
		Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN/m]	Qf [kN/m]	X [m]	Fy [kN]
1	DISTRIBUITO	-10.00	1.50	20.0000	20.0000		

## 9.2 SOLLECITAZIONI DI CALCOLO



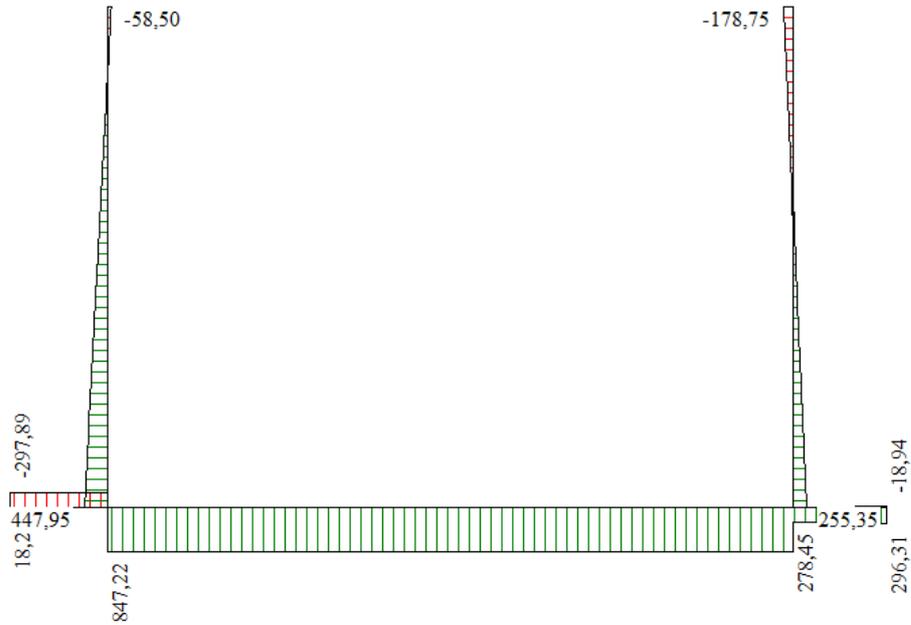
*Inviluppo diagrammi del momento flettente – SLU statico e sismico*



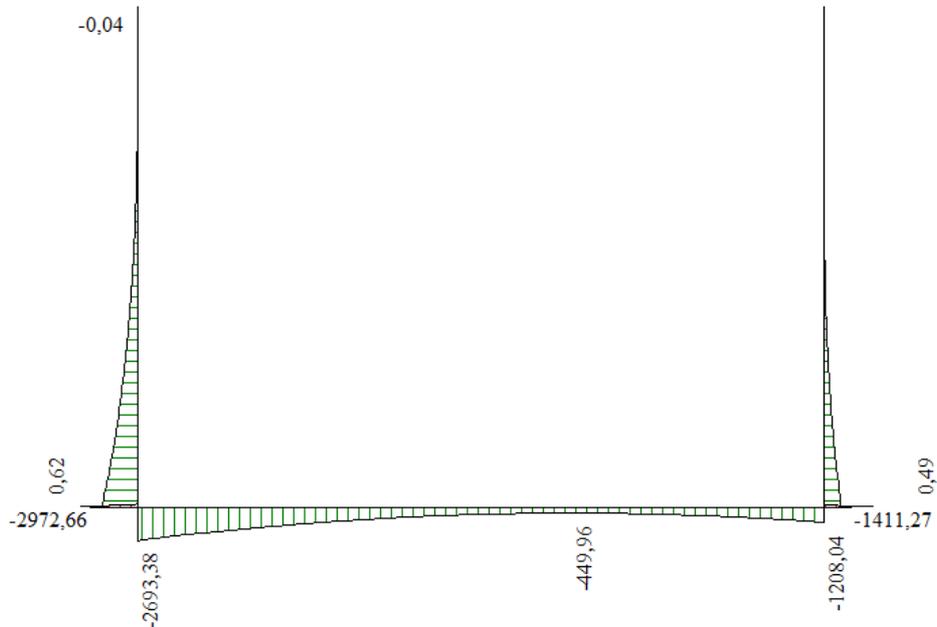
*Inviluppo diagrammi del taglio – SLU statico e sismico*

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	29 di 99



*Involuppo diagrammi dello sforzo normale – SLU statico e sismico*



*Involuppo diagrammi del momento flettente – SLE*



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	30 di 99

### 9.3 ARMATURE DI PROGETTO

Nella tabella seguente si riportano le armature di progetto previste per la sezione di calcolo in questione, come desumibili dagli elaborati grafici di armatura delle opere relative:

Elemento	Armatura a flessione		Armatura a taglio
	Af 1	Af 2	Af t
PIEDRITTI	I strato (tutta altezza): $\Phi 30/10$ cm II strato (fino a metà altezza piedritti): $\Phi 30/10$ cm	$\Phi 30/10$ cm	Spilli $\phi 12/20 \times 40$ cm
FONDAZIONE	I strato : $\Phi 30/10$ cm II strato: $\Phi 30/10$ cm	$\Phi 30/10$ cm	Spilli 6 $\phi 8$ mq

**Af1 : Armatura lato esterno (terreno)**

**Af2 : Armatura lato interno**

Per l'incidenza dell'opera oggetto della presente relazione di calcolo fare riferimento all'elaborato dal titolo: Tabella Incidenza Armature opere civili.

### 9.4 VERIFICHE DI RESISTENZA E FESSURAZIONE

Il software esegue in automatico tutte le verifiche strutturali sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di esercizio.

Per i risultati delle verifiche si rimanda ai tabulati di calcolo in allegato. I criteri generali di verifica adottati dal Software, sono quelli esposti al paragrafo 8.1.

Per quanto riguarda il taglio il programma prevede sia la verifica per elementi non armati a taglio e sia quella per elementi dotati di apposita armatura a taglio, disponendo tuttavia ferri sagomati resistenti a taglio e non staffe o tiranti. Per questo motivo le verifiche a taglio vengono eseguite manualmente attraverso l'ausilio di fogli di calcolo strutturati ad hoc sulla base del DM2008:

Verifica a taglio						
Sezione	$V_{Ed}$	b	h	$V_{Rd}$	Verificato	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Fondazione	645	100	170	790.5	SI	Spilli 6 $\phi 8$ mq
Piedritto dx	1050	100	120	1667.9	SI	Spilli $\phi 12/20 \times 40$ cm
Piedritto sx	645	100	170	1418.9	SI	Spilli $\phi 12/20 \times 40$ cm

\*Verificati come elementi in c.a. non armato a taglio ( $V_{Ed} < V_{Rct}$ ). Tuttavia si considera un minimo di armatura a taglio costituito da Spilli 6  $\phi 8$  mq.

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio si è provveduto a verificare che le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio siano inferiori ai valori massimi pari rispettivamente a 17.9 MPa (per calcestruzzo di classe C30/37 combinazioni rare) e di 360 MPa (per acciaio B 450 C), nonché di verificare che l'apertura delle fessure sia inferiore al valore limite di  $w_1=0,2\text{mm}$  (Classe di esposizione XC2 ed armature poco sensibili).

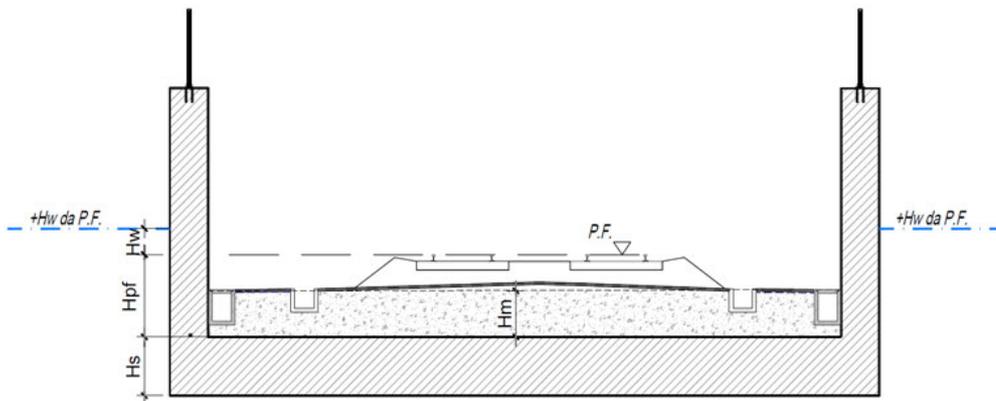
Come si evince dai tabulati le verifiche risultano soddisfatte.

## 9.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 9.5.1 Verifiche a sollevamento solettone di fondo scavo

Il calcolo viene effettuato trascurando cautelativamente in peso delle pareti laterali e gli effetti dell'attrito

#### SCHEMA GRAFICO DI RIFERIMENTO



#### DATI DI LAVORO

$\gamma_w(\text{KN/m}^3) =$	<b>10.0</b>	Peso unità volume acqua
$\gamma_s(\text{KN/m}^3) =$	<b>25.0</b>	Peso unità volume soletta
$\gamma_b(\text{KN/m}^3) =$	<b>18.0</b>	Peso unità ballast
$\gamma_m(\text{KN/m}^3) =$	<b>24.0</b>	Peso unità magrone

#### SOLETTA INFERIORE

<b>Hs (m) =</b>	<b>1.70</b>	spessore soletta
<b>B (m)=</b>	<b>14.10</b>	larghezza netta interna muri ad U
<b>B1 (m)=</b>	<b>1.50</b>	larghezza dente lato sx
<b>B2 (m)=</b>	<b>1.50</b>	larghezza dente lato dx
<b>Hpf (m) =</b>	<b>2.10</b>	distanza estradosso solettone/piano ferro
<b>Hm (m) =</b>	<b>1.25</b>	spessore medio magrone su soletta
<b>Hb (m) =</b>	<b>0.70</b>	spessore medio ballast su soletta
<b>B tot (m) =</b>	<b>19.7</b>	larghezza complessiva soletta di fondo

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	32 di 99

### PARETI VERTICALI

<b>S1 (m)=</b>	<b>1.25</b>	spessore medio paramento lato sx
<b>H1 (m)=</b>	<b>10.50</b>	altezza media paramento lato sx
<b>S2 (m)=</b>	<b>1.15</b>	spessore medio paramento lato dx
<b>H2 (m)=</b>	<b>8.00</b>	altezza media paramento lato dx
FALDA		
<b>Hw (m) =</b>	<b>5.0</b>	(distanza falda rispetto al P.F. / negativa se più bassa)
<b>BW(m) =</b>	<b>8.8</b>	H <sub>pf</sub> +H <sub>w</sub> +H <sub>s</sub> (battente idraulico complessivo rispetto al piano di posa soletta)

### CALCOLO DELLE AZIONI STABILIZZANTI

$\gamma_{G1}$ =	<b>0.9</b>	coefficiente Parziali azioni permanenti favorevoli
$\gamma_F$ =	<b>0.9</b>	coefficiente Parziali azioni resistenze favorevoli
<b>R'd (KN/m<sup>2</sup>) =</b>	<b>0.0</b>	Resistenze di progetto caratteristiche
<b>Rd (KN/m<sup>2</sup>) =</b>	<b>0</b>	R' <sub>d</sub> · $\gamma_F$

### PESO ELEMENTI

Soletta fondo =	<b>837.3</b>	KN/m
Parete sx =	<b>328.125</b>	KN/m
Parete dx =	<b>230</b>	KN/m
Magrone =	<b>423.0</b>	KN/m
ballast =	<b>113.4</b>	KN/m
Terreno dente sx =	<b>315.0</b>	KN/m
Terreno dente dx =	<b>240.0</b>	KN/m
P tot =	<b>2486.8</b>	KN/m

A stab (KN/m) = **2238.1** P x  $\gamma_{G1}$

### CALCOLO DELLE AZIONI INSTABILIZZANTI

$\gamma_{G1}$ =	<b>1.1</b>	coefficiente Parziali azioni permanenti Sfavorevoli
<b>a inst (KN/m<sup>2</sup>) =</b>	<b>96.8</b>	Azione instabilizzante unitaria(B <sub>w</sub> x $\gamma_w$ x $\gamma_{G1}$ )
<b>A inst (KN/m) =</b>	<b>1907.0</b>	Azione instabilizzante complessiva

Coefficiente di sicurezza = **1.17** (A<sub>stab</sub>/A<sub>inst</sub>)

**Verifica a Sollevamento Soddisfatta**



### Coefficienti sismici

$$K_h \text{ [--]} = \boxed{0,204} \quad (\beta_m = 1,00)$$

$$K_v \text{ [--]} = \boxed{0,102}$$

### Terrapieno spingente

(BNI)

$\varepsilon =$	$\boxed{13,00}$	$^\circ$
$\gamma =$	$\boxed{19,5}$	KN/m <sup>3</sup>
$\varphi =$	$\boxed{36}$	$^\circ$
$\delta/\varphi =$	$\boxed{0,6}$	$^\circ$
$\delta =$	$\boxed{22,2}$	$^\circ$
$c' =$	$\boxed{0}$	Kpa

### Coefficienti di Spinta STAT

$K_o \text{ [--]} =$	$\boxed{0,412}$
$K_a \text{ [--]} =$	$\boxed{0,274}$
$K_p \text{ [--]} =$	$\boxed{9,693}$

### Coefficienti di Spinta SISM (valutati con $\delta=0$ )

$K'a \text{ [--]} =$	$\boxed{0,501}$	$\Delta k_a =$	$\boxed{0,228}$
$K'p \text{ [--]} =$	$\boxed{3,380}$		

Condizioni di spinta statica (R=riposo/A=attiva)=

**R**

$$H_c' = \boxed{0,00} \text{ m} \quad (\text{altezza non spingente per effetto coesione})$$

### Sovraccarichi

Permanenti

$q_{sx} =$	$\boxed{0}$	KPa
$q_{dx} =$	$\boxed{0}$	KPa

Variabili

$q_{sx} =$	$\boxed{0}$	KPa
$q_{dx} =$	$\boxed{0}$	KPa

### Terrapieno fondazione

(BNI)

$\gamma =$	$\boxed{19,5}$	KN/m <sup>3</sup>
$\varphi =$	$\boxed{36}$	$^\circ$
$c' =$	$\boxed{0}$	KPa

### Falda

$$h_w = \boxed{8,80} \text{ m}$$

### VERIFICA A SCORRIMENTO FASE SISMICA (Azioni per metro)

#### - AZIONI INSTABILIZZANTI F (Sisma da sx)

K = 0,274 (coefficiente di spinta)

#### Terreno di rinfiacco (F1)

H' = 12,2 m (altezza effettiva di spinta per tener conto c'>0)

H = 12,20 m (altezza complessiva spingente)

$\sigma$  = 65,14 KN/m<sup>2</sup> (tensione orizzontale a base muro ad U)

F1 = 397,3 KN

#### Sovraccarico permanente (F2)

F2 = 0,0 KN (Spinta data dal sovraccarico permanente a monte qsx)

#### Sovraccarico variabile (F3)

F3 = 0 KN (Spinta data dal sovraccarico variabile a monte qsx)

#### Incremento Sismico Terreno (F4)

F4a = 330,4 KN (Incremento sismico alla M.O.)

F4b = 62,7 KN (inerzia terreno su dente sx)

F4c = 47,7 KN (inerzia terreno su dente dx)

#### Incremento Sismico Sovracc permanente (F5)

F5 = 0,0 KN

#### Incremento Sismico Sovracc variabile(F6)

F6 = 0,0 KN

#### Sisma su parete sx (F7)

F7 = 65,9 KN

#### Sisma su parete dx (F8)

F8 = 46,9 KN

#### Sisma su soletta inferiore (F9)

F9 = 170,8 KN

#### Sisma su magorne (F10)

F10 = 86,3 KN

#### Sisma su ballast (F11)

F11 = 23,1 KN

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	36 di 99

Sisma su dente (F12)

F11= 13,0 KN

**F = 1244** KN (Azione Instabilizzante Complessiva)

**- CARICHI VERTICALI N** (con sisma negativo)

Parete sx (N1)

N1= 289,9 KN

Parete dx (N2)

N2= 206,5 KN

Soletta inferiore (N3)

N3= 751,9 KN

Dente di fondazione (N4)

N4= 0,0 KN

Magrone (N5)

N5= 379,9 KN

Ballast (N6)

N6= 101,8 KN

Terreno su mensola sx (N7)

N7= 275,8 KN

Terreno su mensola dx (N8)

N8= 210,1 KN

Sovraccarico perm su mensola sx(N9)

N9= 0,0 KN

Sovraccarico perm su mensola dx(N9)

N10= 0,0 KN

Sottospinta Idraulica (N11)

N10= -1733,6 KN

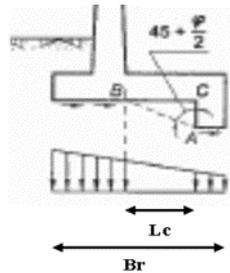
**N = 482,3** KN (Carico Verticale Totale in fondazione)

**- CALCOLO RESISTENZA PER ATTRITO SU PIANO DI POSA (R1)**

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	37 di 99

$\varphi = 36$   
 $\alpha(\varphi) = 1$   
 $c' = 0$  KPa  
 $\alpha(c') = 0$   
 Brid = 14,86 m



$\gamma R1 = 1,1$

$R1 k = 350,4$  KN (resistenza complessiva scorrimento su piano di posa - valore caratteristico)

$R1 d = 318,6$  KN (resistenza complessiva scorrimento su piano di posa - valore di progetto)

#### - CALCOLO RESISTENZA PASSIVA LATO VALLE (R2)

$H = 11,400$  m  
 $Kp = 3,380$   
 $\alpha Kp = 0,5$  (aliquota di calcolo spinta passiva)  
 $c' = 0$  Kpa  
 $\alpha c' = 0$  (aliquota di calcolo spinta passiva)

$R2 a = 2141,3$  KN (risultante diagramma triangolare)  
 $R2 b = 0,0$  KN (risultante diagramma costante 1 - contributo coesione )  
 $R2 c = 0,0$  KN (risultante diagramma costante 2 - contributo sovraccarico perm. )

$\gamma R2 = 1,4$

$R2 k = 2141,3$  KN (Resistenza passiva complessiva lato valle - valore caratteristico)

$R2 d = 1529,5$  KN (Resistenza passiva complessiva lato valle - valore di progetto)

$R = 1848,1$  KN (Resistenza passiva totale di progetto)

**Coefficiente di Sicurezza allo Scorrimento :**

$R / F = 1,49$



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	38 di 99

### 9.5.3 Verifiche a carico limite

La verifica a carico limite è stata eseguita in automatico dal software di calcolo attraverso l'utilizzo di della formula di Meyerhof, Per i risultati delle verifiche si rimanda ai tabulati di calcolo in allegato.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	39 di 99

## 10. TABULATI DI CALCOLO

### Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software impiegati ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. Le stesse società produttrici hanno verificato l'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati sono contenuti in apposita documentazione fornita a corredo dell'acquisto del prodotto, che per brevità espositiva si omette di allegare al presente documento.

### Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni espone nel documento sono state inoltre sottoposte a controlli dal sottoscritto utente del software.

Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali, che per brevità espositiva si omette dall'allegare al presente documento.

Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, Il Progettista dichiara pertanto che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, validando conseguentemente i risultati dei calcoli esposti nella presente.

### Geometria scatolare

Descrizione:	Scatolare tipo vasca	
Altezza esterna	12,20	[m]
Larghezza esterna	16,70	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	1,50	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	1,50	[m]
Spessore piedritto sinistro	1,40	[m]
Spessore piedritto destro	1,20	[m]
Spessore fondazione	1,70	[m]

### Caratteristiche strati terreno

#### Strato di rinfianco

Descrizione	Terreno di rinfianco	
Peso di volume	19,5000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	19,5000	[kN/mc]
Angolo di attrito	36,00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	21,60	[°]
Coesione	0	[kPa]
Costante di Winkler	0	[kPa/cm]

#### Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	19,5000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	19,5000	[kN/mc]
Angolo di attrito	36,00	[°]

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	41 di 99

Angolo di attrito terreno struttura	31,00	[°]
Coesione	0	[kPa]
Costante di Winkler	63	[kPa/cm]
Tensione limite	1000	[kPa]

### Falda

Quota falda (rispetto al piano di posa)	8,80	[m]
---	------	-----

### Caratteristiche materiali utilizzati

#### *Materiale calcestruzzo*

R <sub>ck</sub> calcestruzzo	30000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24,5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	30976850	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	431499	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls tesoro/compresso (n')	0,50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15,00	
Coefficiente dilatazione termica	0,0000120	

### Condizioni di carico

#### *Convenzioni adottate*

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura

Carichi verticali positivi se diretti verso il basso

Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra

Coppie concentrate positive se antiorarie

Ascisse X (espresse in m) positive verso destra



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	42 di 99

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

Carichi concentrati espressi in kN

Coppie concentrate espressi in kNm

Carichi distribuiti espressi in kN/m

### *Simbologia adottata e unità di misura*

#### *Forze concentrate*

- X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati  
Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati  
 $F_y$  componente Y del carico concentrato  
 $F_x$  componente X del carico concentrato  
M momento

#### *Forze distribuite*

- $X_i, X_f$  ascisse del punto iniziale e finale per carichi distribuiti verticali  
 $Y_i, Y_f$  ordinate del punto iniziale e finale per carichi distribuiti orizzontali  
 $V_{ni}$  componente normale del carico distribuito nel punto iniziale  
 $V_{nf}$  componente normale del carico distribuito nel punto finale  
 $V_{ti}$  componente tangenziale del carico distribuito nel punto iniziale  
 $V_{tf}$  componente tangenziale del carico distribuito nel punto finale  
 $D_{te}$  variazione termica lembo esterno espressa in gradi centigradi  
 $D_{ti}$  variazione termica lembo interno espressa in gradi centigradi

### Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

### Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

### Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

### Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

### Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

### Condizione di carico n°6 (Spinta falda)

### Condizione di carico n° 7 (ballast)

Distr Fondaz.  $X_i= 3,00$   $X_f= 16,80$   $V_{ni}= 60,00$   $V_{nf}= 60,00$   $V_{ti}= 0,00$   $V_{tf}= 0,00$

### Condizione di carico n° 8 (Peso piedritti)

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	43 di 99

Conc Pied\_S Y= 12,20 F<sub>y</sub>= -45,00 F<sub>x</sub>= 0,00 M= 0,00

Conc Pied\_D Y= 12,20 F<sub>y</sub>= -137,50 F<sub>x</sub>= 0,00 M= 0,00

Condizione di carico n° 9 (spinte terreno)

Distr Pied\_D Y<sub>i</sub>= 9,70 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= 20,10 V<sub>nf</sub>= 0,00 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Distr Pied\_D Y<sub>i</sub>= 0,00 Y<sub>f</sub>= 9,70 V<sub>ni</sub>= 20,10 V<sub>nf</sub>= 20,10 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Condizione di carico n° 10 (carico monte)

Distr Terreno X<sub>i</sub>= -10,00 X<sub>f</sub>= 1,50 V<sub>ni</sub>= 20,00 V<sub>nf</sub>= 20,00

Condizione di carico n° 11 (sisma da dx)

Distr Pied\_D Y<sub>i</sub>= 1,70 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= 3,51 V<sub>nf</sub>= 3,51 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Distr Pied\_D Y<sub>i</sub>= 0,00 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= 11,10 V<sub>nf</sub>= 11,10 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Distr Pied\_S Y<sub>i</sub>= 7,70 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= 2,04 V<sub>nf</sub>= 2,04 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Condizione di carico n° 12 (Sisma da sx (add))

Distr Pied\_S Y<sub>i</sub>= 7,70 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= 2,04 V<sub>nf</sub>= 2,04 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Distr Pied\_D Y<sub>i</sub>= 1,70 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= -3,51 V<sub>nf</sub>= -3,51 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

Distr Pied\_D Y<sub>i</sub>= 0,00 Y<sub>f</sub>= 12,20 V<sub>ni</sub>= -11,10 V<sub>nf</sub>= -11,10 V<sub>ti</sub>= 0,00 V<sub>tf</sub>= 0,00

## Impostazioni di progetto

Verifica materiali:

**Stato Limite Ultimo**

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo  $\gamma_c$  1.50

Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica 0.83

Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo 0.85

Coefficiente di sicurezza acciaio 1.15

Coefficiente di sicurezza per la sezione 1.00

Verifica Taglio - Metodo dell'inclinazione variabile del traliccio

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	44 di 99

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot (\text{ctg}(\theta) + \text{ctg}(\alpha)) / (1.0 + \text{ctg} \theta^2)$$

con:

d altezza utile sezione [mm]

b<sub>w</sub> larghezza minima sezione [mm]

σ<sub>cp</sub> tensione media di compressione [N/mm<sup>2</sup>]

ρ<sub>l</sub> rapporto geometrico di armatura

A<sub>sw</sub> area armatura trasversale [mm<sup>2</sup>]

s interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]

α<sub>c</sub> coefficiente maggiorativo, funzione di f<sub>cd</sub> e σ<sub>cp</sub>

$$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$$

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

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

### Stato Limite di Esercizio

Criteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare) 0.60 f<sub>ck</sub>

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.) 0.45 f<sub>ck</sub>

Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare) 0.80 f<sub>yk</sub>

Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure w<sub>1</sub>=0,20 w<sub>2</sub>=0,20 w<sub>3</sub>=0,20

Verifiche secondo :

Norme Tecniche 2008 - Approccio 2



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	45 di 99

Copriferro sezioni 6,00 [cm]

## Descrizione combinazioni di carico

### Simbologia adottata

- $\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione  
 $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione  
 $C$  Coefficiente totale di partecipazione della condizione

### Norme Tecniche 2008

### Simbologia adottata

- $\gamma_{G1sfav}$  Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti  
 $\gamma_{G1fav}$  Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti  
 $\gamma_{G2sfav}$  Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti non strutturali  
 $\gamma_{G2fav}$  Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti non strutturali  
 $\gamma_Q$  Coefficiente parziale sulle azioni variabili  
 $\gamma_{tan\phi}$  Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato  
 $\gamma_e$  Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata  
 $\gamma_{cu}$  Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata  
 $\gamma_{qu}$  Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1fav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G1sfav}$	1,30	1,00
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2fav}$	0,00	0,00
Permanenti non strutturali	Sfavorevole	$\gamma_{G2sfav}$	1,50	1,30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qifav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qisfav}$	1,50	1,30
Variabili da traffico	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	47 di 99

Variabili da traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,35	1,15
Termici	Favorevole	$\gamma_{\epsilon fav}$	0,00	0,00
Termici	Sfavorevole	$\gamma_{\epsilon sfav}$	1,20	1,20

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

**Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche**

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1fav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G1sfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G2fav}$	0,00	0,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G2sfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qifav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qisfav}$	1,00	1,00
Variabili da traffico	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili da traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00
Termici	Favorevole	$\gamma_{\epsilon fav}$	0,00	0,00
Termici	Sfavorevole	$\gamma_{\epsilon sfav}$	1,00	1,00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	48 di 99

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coazione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
ballast	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
spinte terreno	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Peso piedritti	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
carico monte	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 2 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900.001	A	49 di 99

ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sx (add)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sx (add)	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900.001	A	50 di 99

Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
sisma da dx	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
sisma da dx	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLE (Quasi Permanente)

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900.001	A	51 di 99

carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
--------------	-------------	------	------	------

Combinazione n° 7 SLE (Frequente)

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLE (Rara)

	<b>Effetto</b>	$\gamma$	$\Psi$	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ballast	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Peso piedritti	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
spinte terreno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
carico monte	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

## Analisi della spinta e verifiche

### *Simbologia adottata ed unità di misura*

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura

Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti verso destra

Le forze verticali sono considerate positive se agenti verso il basso

$X$  ascisse (espresse in m) positive verso destra

$Y$  ordinate (espresse in m) positive verso l'alto

$M$  momento espresso in kNm

$V$  taglio espresso in kN

$SN$  sforzo normale espresso in kN

$ux$  spostamento direzione X espresso in cm

$uy$  spostamento direzione Y espresso in cm

$\sigma_t$  pressione sul terreno espressa in kPa

### Tipo di analisi

Pressione in calotta

Pressione geostatica

I carichi applicati sul terreno sono stati diffusi secondo **angolo di attrito**

Metodo di calcolo della portanza

Meyerhof

### Spinta sui piedritti

a Riposo [combinazione 1]

Attiva [combinazione 2]

Attiva [combinazione 3]

Attiva [combinazione 4]

Attiva [combinazione 5]

a Riposo [combinazione 6]

a Riposo [combinazione 7]

a Riposo [combinazione 8]

### Sisma

### **Combinazioni SLU**

Accelerazione al suolo  $a_g =$

1.67 [m/s<sup>2</sup>]

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	53 di 99

Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S_s) = 20.40$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 10.20$

### Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.00 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	1.00
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S_s) = 0.00$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.00$
Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare
Spinta sismica	Mononobe-Okabe
Angolo diffusione sovraccarico	30,00 [°]

### Coefficienti di spinta

N°combinazione	Statico	Sismico
1	0,412	0,000
2	0,235	0,400
3	0,235	0,362
4	0,235	0,400
5	0,235	0,362
6	0,412	0,000
7	0,412	0,000



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	54 di 99

8

0,412

0,000

Discretizzazione strutturale

Numero elementi fondazione	206
Numero elementi piedritto sinistro	116
Numero elementi piedritto destro	116
Numero molle piedritto sinistro	117
Numero molle piedritto destro	117

## Spostamenti

### Spostamenti fondazione (Combinazione n° 1)

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	3,585	0,882
2,20	3,586	1,134
4,39	3,582	1,328
6,57	3,579	1,428
8,76	3,575	1,465
10,94	3,572	1,463
13,13	3,568	1,431
15,31	3,565	1,372
17,51	3,561	1,272
19,70	3,560	1,148

### Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 1)

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	3,586	1,134
3,69	4,092	1,137
6,53	4,801	1,138
9,36	5,577	1,139
12,20	6,367	1,139

### Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 1)

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	3,561	1,267
3,67	3,280	1,269

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	56 di 99

6,53	2,884	1,269
9,40	2,465	1,269
12,20	2,058	1,268

**Spostamenti fondazione (Combinazione n° 2)**

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	5,260	0,520
2,20	5,261	0,767
4,39	5,259	0,961
6,57	5,257	1,072
8,76	5,254	1,130
10,94	5,251	1,157
13,13	5,249	1,166
15,31	5,246	1,159
17,51	5,243	1,131
19,70	5,242	1,087

**Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 2)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	5,261	0,767
3,69	5,744	0,769
6,53	6,421	0,770
9,36	7,175	0,771
12,20	7,946	0,771

**Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 2)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	5,243	1,129

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	57 di 99

3,67	5,106	1,130
6,53	4,889	1,131
9,40	4,652	1,131
12,20	4,417	1,130

### Spostamenti fondazione (Combinazione n° 3)

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	4,852	0,315
2,20	4,853	0,545
4,39	4,851	0,727
6,57	4,848	0,831
8,76	4,846	0,884
10,94	4,844	0,904
13,13	4,841	0,902
15,31	4,838	0,882
17,51	4,836	0,838
19,70	4,834	0,779

### Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 3)

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	4,853	0,545
3,69	5,302	0,546
6,53	5,929	0,548
9,36	6,623	0,548
12,20	7,334	0,548

### Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 3)

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
-------	---------------------	---------------------

---

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	58 di 99

0,85	4,836	0,836
3,67	4,678	0,837
6,53	4,441	0,837
9,40	4,183	0,837
12,20	3,928	0,836

**Spostamenti fondazione (Combinazione n° 4)**

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	-0,323	1,195
2,20	-0,323	1,185
4,39	-0,325	1,156
6,57	-0,327	1,105
8,76	-0,328	1,051
10,94	-0,330	1,006
13,13	-0,332	0,973
15,31	-0,334	0,946
17,51	-0,335	0,912
19,70	-0,335	0,870

**Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 4)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	-0,323	1,185
3,69	-0,265	1,187
6,53	-0,138	1,188
9,36	0,008	1,189
12,20	0,156	1,189

**Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 4)**

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	59 di 99

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	-0,335	0,910
3,67	-0,449	0,912
6,53	-0,614	0,912
9,40	-0,786	0,912
12,20	-0,953	0,912

**Spostamenti fondazione (Combinazione n° 5)**

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	0,009	0,856
2,20	0,009	0,869
4,39	0,007	0,863
6,57	0,006	0,833
8,76	0,004	0,797
10,94	0,002	0,766
13,13	0,000	0,744
15,31	-0,001	0,728
17,51	-0,003	0,709
19,70	-0,003	0,686

**Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 5)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	0,009	0,869
3,69	0,097	0,871
6,53	0,255	0,872
9,36	0,431	0,872
12,20	0,609	0,872

**Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 5)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	-0,003	0,708
3,67	-0,077	0,709
6,53	-0,179	0,709
9,40	-0,277	0,709
12,20	-0,370	0,708

**Spostamenti fondazione (Combinazione n° 6)**

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	2,630	0,607
2,20	2,631	0,785
4,39	2,628	0,920
6,57	2,626	0,987
8,76	2,623	1,010
10,94	2,620	1,006
13,13	2,618	0,984
15,31	2,615	0,943
17,51	2,612	0,873
19,70	2,611	0,786

**Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 6)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	2,631	0,785
3,69	2,996	0,787
6,53	3,511	0,788
9,36	4,076	0,789

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	61 di 99

12,20                      4,651                      0,789

**Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 6)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	2,612	0,870
3,67	2,406	0,871
6,53	2,111	0,872
9,40	1,798	0,872
12,20	1,494	0,871

**Spostamenti fondazione (Combinazione n° 7)**

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	2,630	0,607
2,20	2,631	0,785
4,39	2,628	0,920
6,57	2,626	0,987
8,76	2,623	1,010
10,94	2,620	1,006
13,13	2,618	0,984
15,31	2,615	0,943
17,51	2,612	0,873
19,70	2,611	0,786

**Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 7)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	2,631	0,785
3,69	2,996	0,787
6,53	3,511	0,788

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	62 di 99

9,36	4,076	0,789
12,20	4,651	0,789

**Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 7)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	2,612	0,870
3,67	2,406	0,871
6,53	2,111	0,872
9,40	1,798	0,872
12,20	1,494	0,871

**Spostamenti fondazione (Combinazione n° 8)**

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,00	2,630	0,607
2,20	2,631	0,785
4,39	2,628	0,920
6,57	2,626	0,987
8,76	2,623	1,010
10,94	2,620	1,006
13,13	2,618	0,984
15,31	2,615	0,943
17,51	2,612	0,873
19,70	2,611	0,786

**Spostamenti piedritto sinistro (Combinazione n° 8)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	2,631	0,785
3,69	2,996	0,787



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	63 di 99

6,53	3,511	0,788
9,36	4,076	0,789
12,20	4,651	0,789

**Spostamenti piedritto destro (Combinazione n° 8)**

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0,85	2,612	0,870
3,67	2,406	0,871
6,53	2,111	0,872
9,40	1,798	0,872
12,20	1,494	0,871

## Sollecitazioni

### Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 1)

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	2,6049	-203,0202
2,20	-3614,0838	-621,7948	847,2188
4,39	-2480,2952	-447,6490	847,2188
6,57	-1622,7625	-326,7198	847,2188
8,76	-1040,1703	-196,8720	847,2188
10,94	-744,3367	-64,9208	847,2188
13,13	-734,8344	64,5489	847,2188
15,31	-1002,2578	187,7026	847,2188
17,51	-1557,0229	364,6801	847,2188
19,70	0,0000	-3,3901	201,2383

### Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 1)

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-3970,6678	1050,2390	447,9480
3,69	-1689,3268	581,8029	321,3360
6,53	-532,2036	257,8388	194,7240
9,36	-89,5596	77,1383	68,0877
12,20	0,0000	0,0000	-58,5000

### Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 1)

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1834,6492	-645,9805	255,3483
3,67	-550,6252	-288,6152	147,5164
6,53	-70,4483	-72,0464	38,2991

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	65 di 99

9,40	-0,0422	-0,4574	-71,7493
12,20	0,0000	0,0000	-178,7500

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 2)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	1,5358	-297,8925
2,20	-3219,1479	-541,3969	555,8554
4,39	-2194,6635	-415,1355	574,4780
6,57	-1385,4226	-317,0086	593,0513
8,76	-803,4204	-207,7322	611,6246
10,94	-466,6231	-92,8957	630,1988
13,13	-383,5044	24,2529	648,7741
15,31	-556,7701	141,5171	667,3493
17,51	-1004,4746	299,8101	686,0885
19,70	0,0000	-3,2088	296,3053

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 2)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-3518,5334	835,0390	384,3192
3,69	-1653,3282	495,6259	276,9894
6,53	-614,9856	252,2284	169,6596
9,36	-134,0630	100,2214	62,3092
12,20	0,0000	0,0000	-45,0000

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 2)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1203,0575	-408,3706	230,4879
3,67	-388,6963	-183,0116	139,0781

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	66 di 99

6,53	-81,4541	-48,3613	46,4939
9,40	-19,9240	-9,6505	-46,7948
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 3)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	0,9293	-274,7749
2,20	-2945,6562	-473,4217	532,8193
4,39	-2057,5358	-360,1886	551,4419
6,57	-1354,6525	-276,1996	570,0152
8,76	-847,2653	-181,8629	588,5885
10,94	-551,6152	-82,8113	607,1628
13,13	-474,0118	17,3691	625,7380
15,31	-614,1047	116,0276	644,3132
17,51	-985,0710	253,6323	663,0525
19,70	0,0000	-2,2997	273,2693

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 3)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-3256,6115	788,8854	304,8315
3,69	-1505,9971	461,0107	217,3736
6,53	-549,5051	229,1516	129,9158
9,36	-117,6991	88,6852	42,4411
12,20	0,0000	0,0000	-45,0000

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 3)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1203,0575	-408,3706	162,3556

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	67 di 99

3,67	-388,6963	-183,0116	87,8702
6,53	-81,4541	-48,3613	12,4278
9,40	-19,9240	-9,6505	-63,5887
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 4)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	3,5291	18,2684
2,20	-1384,7843	-464,4999	495,5258
4,39	-577,2399	-297,2912	476,9033
6,57	-44,4812	-184,6871	458,3300
8,76	250,0017	-79,4759	439,7567
10,94	322,0365	18,9139	421,1824
13,13	185,0140	111,9690	402,6072
15,31	-150,8957	200,9806	384,0319
17,51	-698,0037	329,1927	365,2927
19,70	0,0000	-2,5691	-18,9445

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 4)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1594,2961	495,9663	384,3192
3,69	-570,9447	241,3214	276,9894
6,53	-133,9262	82,6921	169,6596
9,36	-13,8442	15,4695	62,3092
12,20	0,0000	0,0000	-45,0000

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 4)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
-------	---------	--------	--------

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	68 di 99

0,85	-929,2908	-365,6499	230,4879
3,67	-232,6139	-146,4181	139,0781
6,53	-12,3784	-24,0174	46,4939
9,40	-3,1366	2,3505	-46,7948
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 5)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	2,5285	-0,5305
2,20	-1354,8774	-412,5350	476,7269
4,39	-636,9116	-268,6913	458,1043
6,57	-146,0423	-176,2056	439,5310
8,76	147,6443	-88,4712	420,9578
10,94	254,7586	-5,4452	402,3835
13,13	184,5659	73,9251	383,8083
15,31	-56,1956	150,7639	365,2330
17,51	-482,1585	268,5751	346,4938
19,70	0,0000	-2,0251	-0,1499

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 5)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1594,2961	495,9663	304,8315
3,69	-570,9447	241,3214	217,3736
6,53	-133,9262	82,6921	129,9158
9,36	-13,8442	15,4695	42,4411
12,20	0,0000	0,0000	-45,0000

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 5)**

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	69 di 99

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-715,9475	-328,0563	162,3556
3,67	-112,0971	-118,1630	87,8702
6,53	40,9574	-5,2207	12,4278
9,40	9,8255	11,6169	-63,5887
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 6)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	1,7933	-148,9587
2,20	-2693,3809	-484,9174	644,5216
4,39	-1802,2570	-351,2618	644,5216
6,57	-1134,4262	-252,8061	644,5216
8,76	-688,7112	-148,5805	644,5216
10,94	-472,4318	-43,2447	644,5216
13,13	-484,7311	60,2208	644,5216
15,31	-718,9610	159,3313	644,5216
17,51	-1182,6557	294,1899	644,5216
19,70	0,0000	-2,3198	147,6135

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 6)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-2972,6636	793,4803	344,5754
3,69	-1253,5280	436,7438	247,1815
6,53	-388,9633	191,1396	149,7877
9,36	-63,7879	55,7389	52,3752
12,20	0,0000	0,0000	-45,0000

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	70 di 99

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 6)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1411,2686	-496,9081	196,4217
3,67	-423,5578	-222,0117	113,4742
6,53	-54,1910	-55,4203	29,4609
9,40	-0,0325	-0,3519	-55,1918
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 7)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	1,7933	-148,9587
2,20	-2693,3809	-484,9174	644,5216
4,39	-1802,2570	-351,2618	644,5216
6,57	-1134,4262	-252,8061	644,5216
8,76	-688,7112	-148,5805	644,5216
10,94	-472,4318	-43,2447	644,5216
13,13	-484,7311	60,2208	644,5216
15,31	-718,9610	159,3313	644,5216
17,51	-1182,6557	294,1899	644,5216
19,70	0,0000	-2,3198	147,6135

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 7)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-2972,6636	793,4803	344,5754
3,69	-1253,5280	436,7438	247,1815
6,53	-388,9633	191,1396	149,7877
9,36	-63,7879	55,7389	52,3752

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	71 di 99

12,20            0,0000            0,0000            -45,0000

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 7)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1411,2686	-496,9081	196,4217
3,67	-423,5578	-222,0117	113,4742
6,53	-54,1910	-55,4203	29,4609
9,40	-0,0325	-0,3519	-55,1918
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

**Sollecitazioni fondazione (Combinazione n° 8)**

X [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,00	0,0000	1,7933	-148,9587
2,20	-2693,3809	-484,9174	644,5216
4,39	-1802,2570	-351,2618	644,5216
6,57	-1134,4262	-252,8061	644,5216
8,76	-688,7112	-148,5805	644,5216
10,94	-472,4318	-43,2447	644,5216
13,13	-484,7311	60,2208	644,5216
15,31	-718,9610	159,3313	644,5216
17,51	-1182,6557	294,1899	644,5216
19,70	0,0000	-2,3198	147,6135

**Sollecitazioni piedritto sinistro (Combinazione n° 8)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-2972,6636	793,4803	344,5754
3,69	-1253,5280	436,7438	247,1815
6,53	-388,9633	191,1396	149,7877



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
OPERE DI SOSTEGNO

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	72 di 99

9,36            -63,7879            55,7389            52,3752

12,20            0,0000            0,0000            -45,0000

**Sollecitazioni piedritto destro (Combinazione n° 8)**

Y [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]
0,85	-1411,2686	-496,9081	196,4217
3,67	-423,5578	-222,0117	113,4742
6,53	-54,1910	-55,4203	29,4609
9,40	-0,0325	-0,3519	-55,1918
12,20	0,0000	0,0000	-137,5000

## Pressioni terreno

### Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 1)

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
0,00	56
2,20	71
4,39	84
6,57	90
8,76	92
10,94	92
13,13	90
15,31	86
17,51	80
19,70	72

### Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 2)

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
0,00	33
2,20	48
4,39	61
6,57	68
8,76	71
10,94	73
13,13	73
15,31	73
17,51	71
19,70	68

### Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 3)

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
-------	------------------

---

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	74 di 99

0,00	20
2,20	34
4,39	46
6,57	52
8,76	56
10,94	57
13,13	57
15,31	56
17,51	53
19,70	49

**Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 4)**

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
0,00	75
2,20	75
4,39	73
6,57	70
8,76	66
10,94	63
13,13	61
15,31	60
17,51	57
19,70	55

**Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 5)**

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
0,00	54
2,20	55
4,39	54

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	75 di 99

6,57	52
8,76	50
10,94	48
13,13	47
15,31	46
17,51	45
19,70	43

**Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 6)**

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
0,00	38
2,20	49
4,39	58
6,57	62
8,76	64
10,94	63
13,13	62
15,31	59
17,51	55
19,70	49

**Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 7)**

X [m]	$\sigma_t$ [kPa]
0,00	38
2,20	49
4,39	58
6,57	62
8,76	64
10,94	63

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	76 di 99

13,13	62
15,31	59
17,51	55
19,70	49

**Pressioni sul terreno di fondazione (Combinazione n° 8)**

<b>X [m]</b>	<b><math>\sigma_t</math> [kPa]</b>
0,00	38
2,20	49
4,39	58
6,57	62
8,76	64
10,94	63
13,13	62
15,31	59
17,51	55
19,70	49

## Verifiche combinazioni SLU

Simbologia adottata ed unità di misura

$N^\circ$	Indice sezione
$X$	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in cm
$M$	Momento flettente, espresso in kNm
$V$	Taglio, espresso in kN
$N$	Sforzo normale, espresso in kN
$N_u$	Sforzo normale ultimo, espressa in kN
$M_u$	Momento ultimo, espressa in kNm
$A_{fi}$	Area armatura inferiore, espressa in cmq
$A_{fs}$	Area armatura superiore, espressa in cmq
$CS$	Coeff. di sicurezza sezione
$V_{Rd}$	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi senza armature trasversali, espressa in kN
$V_{Rcd}$	Aliquota taglio assorbita dal calcestruzzo in elementi con armature trasversali, espressa in kN
$V_{Rsd}$	Aliquota taglio assorbita armature trasversali, espressa in kN
$A_{sw}$	Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq

### Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 1 - SLU (Approccio 2)]

Base sezione  $B = 100$  cm

Altezza sezione  $H = 170,00$  cm

#### Verifiche presso-flessione

$N^\circ$	$X$	$M$	$N$	$N_u$	$M_u$	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$CS$
1	0,00	0,00 (-3,84)	-203,02	-4473,74	-659,18	141,37	70,69	22,04
2	2,203614,08 (3614,08)	847,22	2209,87	9426,93	141,37	70,69	2,61	
3	4,392480,30 (3141,03)	847,22	2599,11	9636,08	141,37	70,69	3,07	
4	6,571622,76 (2105,00)	847,22	4171,75	10365,13	141,37	70,69	4,92	
5	8,761040,17 (1330,75)	847,22	7064,46	11096,38	141,37	70,69	8,34	
6	10,94 744,34 (840,16)	847,22	10791,04	10701,13	141,37	70,69	12,74	
7	13,13 734,83 (830,11)	847,22	10886,73	10666,86	141,37	70,69	12,85	

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	78 di 99

8	15,311002,26 (1279,31)	847,22	7376,97	11139,29	141,37	70,69	8,71
9	17,511557,02 (2095,29)	847,22	4194,03	10372,42	141,37	70,69	4,95
10	19,70 0,00 (5,00)	201,24	26267,34	-3184,69	141,37	70,69	130,53

### Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 1 - SLU (Approccio 2)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-3970,67 (-3970,67)	447,95	788,91	-6993,00	70,69	141,37	1,76	
2	3,69-1689,33 (-2390,98)	321,34	948,29	-7055,97	70,69	141,37	2,95	
3	6,53 -532,20 (-843,16)	194,72	908,51	-3933,87	70,69	70,69	4,67	
4	9,36 -89,56 (-182,59)	68,09	1625,91	-4360,15	70,69	70,69	23,88	
5	12,20 0,00 (0,00)	-58,50	-5304,50	0,00	70,69	70,69	90,68	

### Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 1 - SLU (Approccio 2)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-1834,65 (-1834,65)	255,35	817,71	-5875,12	70,69	141,37	3,20	
2	3,67 -550,63 (-846,74)	147,52	1035,07	-5941,28	70,69	141,37	7,02	
3	6,53 -70,45 (-144,37)	38,30	878,70	-3312,23	70,69	70,69	22,94	
4	9,40 -0,04 (-0,51)	-71,75	-5235,50	-37,33	70,69	70,69	72,97	
5	12,20 0,00 (0,00)	-178,75	-5304,50	0,00	70,69	70,69	29,68	

**Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 2 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo ]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,00	0,00 (2,27)	-297,89	-4817,00	-387,72	141,37	70,69	16,21
2	2,203219,15 (3219,15)	555,86	1568,23	9082,15	141,37	70,69	2,82	
3	4,392194,66 (2807,40)	574,48	1894,33	9257,38	141,37	70,69	3,30	
4	6,571385,42 (1853,33)	593,05	3184,05	9950,39	141,37	70,69	5,37	
5	8,76 803,42 (1110,03)	611,62	5999,34	10888,16	141,37	70,69	9,81	
6	10,94 466,62 (603,74)	630,20	11053,19	10589,08	141,37	70,69	17,54	
7	13,13 383,50 (419,30)	648,77	14131,99	9133,49	141,37	70,69	21,78	
8	15,31 556,77 (765,65)	667,35	9640,66	11060,73	141,37	70,69	14,45	
9	17,511004,47 (1446,99)	686,09	5051,06	10652,93	141,37	70,69	7,36	
10	19,70 0,00 (-4,74)	296,31	26686,92	-1664,53	141,37	70,69	90,31	

**Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 2 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo ]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-3518,53 (-3518,53)	384,32	762,69	-6982,65	70,69	141,37	1,98	
2	3,69-1653,33 (-2251,05)	276,99	864,14	-7022,72	70,69	141,37	3,12	
3	6,53 -614,99 (-919,17)	169,66	703,64	-3812,13	70,69	70,69	4,15	
4	9,36 -134,06 (-254,93)	62,31	970,51	-3970,71	70,69	70,69	15,58	
5	12,20 0,00 (0,00)	-45,00	-5304,50	0,00	70,69	70,69	117,88	

**Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 2 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS	
1	0,85-1203,06	(-1203,06)	230,49	1144,65	-5974,64	70,69	141,37	4,97	
2	3,67	-388,70	(-576,47)	139,08	1464,96	-6072,13	70,69	141,37	10,53
3	6,53	-81,45	(-131,07)	46,49	1239,37	-3493,96	70,69	70,69	26,66
4	9,40	-19,92	(-29,83)	-46,79	-2435,25	-1552,14	70,69	70,69	52,04
5	12,20	0,00	(0,00)	-137,50	-5304,50	0,00	70,69	70,69	38,58

**Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 3 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS	
1	0,00	0,00	(-1,37)	-274,77	-4784,96	-413,06	141,37	70,69	17,46
2	2,202945,66	(2945,66)	532,82	1650,84	9126,54	141,37	70,69	3,10	
3	4,392057,54	(2589,17)	551,44	1981,62	9304,28	141,37	70,69	3,59	
4	6,571354,65	(1762,32)	570,02	3225,63	9972,73	141,37	70,69	5,66	
5	8,76	847,27	(1115,69)	588,59	5714,73	10832,52	141,37	70,69	9,71
6	10,94	551,62	(673,84)	607,16	9894,65	10981,33	141,37	70,69	16,30
7	13,13	474,01	(499,65)	625,74	12446,18	9938,21	141,37	70,69	19,89
8	15,31	614,10	(785,36)	644,31	9189,87	11201,64	141,37	70,69	14,26
9	17,51	985,07	(1359,43)	663,05	5223,39	10709,33	141,37	70,69	7,88
10	19,70	0,00	(-3,39)	273,27	26643,15	-1823,12	141,37	70,69	97,78

**Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 3 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-3256,61 (-3256,61)	304,83	649,41	-6937,90	70,69	141,37	2,13	
2	3,69-1506,00 (-2061,98)	217,37	734,96	-6971,69	70,69	141,37	3,38	
3	6,53 -549,51 (-825,86)	129,92	588,97	-3744,00	70,69	70,69	4,53	
4	9,36 -117,70 (-224,65)	42,44	722,27	-3823,21	70,69	70,69	17,02	
5	12,20 0,00 (0,00)	-45,00	-5304,50	0,00	70,69	70,69	117,88	

**Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 3 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-1203,06 (-1203,06)	162,36	791,80	-5867,24	70,69	141,37	4,88	
2	3,67 -388,70 (-576,47)	87,87	899,33	-5899,97	70,69	141,37	10,23	
3	6,53 -81,45 (-131,07)	12,43	285,72	-3013,47	70,69	70,69	22,99	
4	9,40 -19,92 (-29,83)	-63,59	-2841,12	-1332,58	70,69	70,69	44,68	
5	12,20 0,00 (0,00)	-137,50	-5304,50	0,00	70,69	70,69	38,58	

**Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 4 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

Verifiche presso-flessione

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	82 di 99

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,00	0,00 (5,21)	18,27	8327,94	-9907,21	141,37	70,69	476,67
2	2,201384,78 (1384,78)	495,53	3647,63	10193,58	141,37	70,69	7,36	
3	4,39 577,24 (1016,04)	476,90	4990,97	10633,26	141,37	70,69	10,47	
4	6,57 44,48 (317,08)	458,33	13582,55	9396,61	141,37	70,69	29,63	
5	8,76 -250,00 (-324,84)	439,76	15031,12	-11103,09	141,37	70,69	34,18	
6	10,94 -322,04 (-324,84)	421,18	14554,65	-11225,26	141,37	70,69	34,56	
7	13,13 -185,01 (-324,84)	402,61	13897,84	-11213,22	141,37	70,69	34,52	
8	15,31 150,90 (447,54)	384,03	9522,72	11097,59	141,37	70,69	24,80	
9	17,51 698,00 (1183,89)	365,29	3047,59	9877,07	141,37	70,69	8,34	
10	19,70 0,00 (3,79)	-18,94	-2254,31	-2414,37	141,37	70,69	124,22	

**erifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 4 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo ]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-1594,30 (-1594,30)	384,32	1780,12	-7384,58	70,69	141,37	4,63	
2	3,69 -570,94 (-861,98)	276,99	2459,18	-7652,85	70,69	141,37	8,88	
3	6,53 -133,93 (-233,65)	169,66	4099,66	-5646,00	70,69	70,69	24,16	
4	9,36 -13,84 (-32,50)	62,31	11877,34	-6195,20	70,69	70,69	190,62	
5	12,20 0,00 (0,00)	-45,00	-5304,50	0,00	70,69	70,69	117,88	

**Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 4 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo ]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

Verifiche presso-flessione

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	83 di 99

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85	-929,29 (-929,29)	230,49	1509,40	-6085,65	70,69	141,37	6,55
2	3,67	-232,61 (-382,84)	139,08	2298,00	-6325,68	70,69	141,37	16,52
3	6,53	-12,38 (-37,02)	46,49	6560,12	-5223,42	70,69	70,69	141,10
4	9,40	-3,14 (-5,55)	-46,79	-4350,89	-515,86	70,69	70,69	92,98
5	12,20	0,00 (0,00)	-137,50	-5304,50	0,00	70,69	70,69	38,58

**Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 5 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,00	0,00 (3,73)	-0,53	-251,13	-3998,53	141,37	70,69	189,14
2	2,20	1354,88 (1354,88)	476,73	3575,07	10160,50	141,37	70,69	7,50
3	4,39	636,91 (1033,50)	458,10	4666,12	10526,94	141,37	70,69	10,19
4	6,57	146,04 (406,12)	439,53	11323,49	10462,78	141,37	70,69	25,76
5	8,76	-147,64 (-255,58)	420,96	17204,22	-10445,54	141,37	70,69	40,87
6	10,94	-254,76 (-255,58)	402,38	16722,57	-10621,78	141,37	70,69	41,56
7	13,13	-184,57 (-255,58)	383,81	16216,83	-10799,06	141,37	70,69	42,25
8	15,31	56,20 (278,72)	365,23	12802,58	9770,13	141,37	70,69	35,05
9	17,51	482,16 (878,58)	346,49	4075,37	10333,58	141,37	70,69	11,76
10	19,70	0,00 (2,99)	-0,15	146,24	-4309,40	141,37	70,69	225,91

**Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 5 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

Verifiche presso-flessione

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	84 di 99

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85-1594,30 (-1594,30)	304,83	1381,86	-7227,25	70,69	141,37	4,53	
2	3,69 -570,94 (-861,98)	217,37	1871,33	-7420,62	70,69	141,37	8,61	
3	6,53 -133,93 (-233,65)	129,92	2817,86	-5067,91	70,69	70,69	21,69	
4	9,36 -13,84 (-32,50)	42,44	8775,81	-6720,30	70,69	70,69	206,78	
5	12,20 0,00 (0,00)	-45,00	-5304,50	0,00	70,69	70,69	117,88	

**Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 5 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo]**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	A <sub>ri</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
1	0,85 -715,95 (-715,95)	162,36	1370,46	-6043,36	70,69	141,37	8,44	
2	3,67 -112,10 (-233,33)	87,87	2393,08	-6354,62	70,69	141,37	27,23	
3	6,53 40,96 (41,57)	12,43	1010,05	3378,42	70,69	70,69	81,27	
4	9,40 9,83 (21,74)	-63,59	-3250,05	1111,37	70,69	70,69	51,11	
5	12,20 0,00 (0,00)	-137,50	-5304,50	0,00	70,69	70,69	38,58	

## Verifiche combinazioni SLE

*Simbologia adottata ed unità di misura*

$N^\circ$	Indice sezione
$X$	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m
$M$	Momento flettente, espresso in kNm
$V$	Taglio, espresso in kN
$N$	Sforzo normale, espresso in kN
$A_{fi}$	Area armatura inferiore, espressa in cmq
$A_{fs}$	Area armatura superiore, espressa in cmq
$\sigma_{fi}$	Tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo inferiore, espresse in kPa
$\sigma_{fs}$	Tensione nell'armatura disposta in corrispondenza del lembo superiore, espresse in kPa
$\sigma_c$	Tensione nel calcestruzzo, espresse in kPa
$\tau_c$	Tensione tangenziale nel calcestruzzo, espresse in kPa
$A_{sw}$	Area armature trasversali nella sezione, espressa in cmq

### Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 6 - SLE (Quasi Permanente)]

Base sezione  $B = 100$  cm

Altezza sezione  $H = 170,00$  cm

#### Verifiche presso-flessione

$N^\circ$	$X$	$M$	$N$	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_{fs}$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_c$
1	0,00	0,00	-148,96	141,37	70,69	10592	5240	0
2	2,20	2693,38	644,52	141,37	70,69	69658	110342	5100
3	4,39	1802,26	644,52	141,37	70,69	48441	68021	3524
4	6,57	1134,43	644,52	141,37	70,69	32359	36645	2332
5	8,76	688,71	644,52	141,37	70,69	21382	16415	1521
6	10,94	472,43	644,52	141,37	70,69	15933	7451	1121
7	13,13	484,73	644,52	141,37	70,69	16243	7926	1144
8	15,31	718,96	644,52	141,37	70,69	22138	17740	1577

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	86 di 99

9	17,51	1182,66	644,52	141,37	70,69	33530	38888	2419
10	19,70	0,00	147,61	141,37	70,69	1214	992	81

### Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 6 - SLE (Quasi Permanente)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,85	-2972,66	344,58	70,69	141,37	165165	98353	7380
2	3,69	-1253,53	247,18	70,69	141,37	66737	42619	3183
3	6,53	-388,96	149,79	70,69	70,69	35355	16151	1238
4	9,36	-63,79	52,38	70,69	70,69	4254	2888	215
5	12,20	0,00	-45,00	70,69	70,69	3183	3183	0

### Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 6 - SLE (Quasi Permanente)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,85	-1411,27	196,42	70,69	141,37	92639	59289	4515
2	3,67	-423,56	113,47	70,69	141,37	26249	18485	1398
3	6,53	-54,19	29,46	70,69	70,69	5541	2891	224
4	9,40	-0,03	-55,19	70,69	70,69	3908	3900	0
5	12,20	0,00	-137,50	70,69	70,69	9726	9726	0

### Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 7 - SLE (Frequente)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,00	0,00	-148,96	141,37	70,69	10592	5240	0
2	2,20	2693,38	644,52	141,37	70,69	69658	110342	5100
3	4,39	1802,26	644,52	141,37	70,69	48441	68021	3524
4	6,57	1134,43	644,52	141,37	70,69	32359	36645	2332
5	8,76	688,71	644,52	141,37	70,69	21382	16415	1521
6	10,94	472,43	644,52	141,37	70,69	15933	7451	1121
7	13,13	484,73	644,52	141,37	70,69	16243	7926	1144
8	15,31	718,96	644,52	141,37	70,69	22138	17740	1577
9	17,51	1182,66	644,52	141,37	70,69	33530	38888	2419
10	19,70	0,00	147,61	141,37	70,69	1214	992	81

### Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 7 - SLE (Frequente)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,85	-2972,66	344,58	70,69	141,37	165165	98353	7380
2	3,69	-1253,53	247,18	70,69	141,37	66737	42619	3183
3	6,53	-388,96	149,79	70,69	70,69	35355	16151	1238
4	9,36	-63,79	52,38	70,69	70,69	4254	2888	215
5	12,20	0,00	-45,00	70,69	70,69	3183	3183	0

### Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 7 - SLE (Frequente)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,85	-1411,27	196,42	70,69	141,37	92639	59289	4515
2	3,67	-423,56	113,47	70,69	141,37	26249	18485	1398
3	6,53	-54,19	29,46	70,69	70,69	5541	2891	224
4	9,40	-0,03	-55,19	70,69	70,69	3908	3900	0
5	12,20	0,00	-137,50	70,69	70,69	9726	9726	0

### Verifica sezioni fondazione [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,00	0,00	-148,96	141,37	70,69	10592	5240	0
2	2,20	2693,38	644,52	141,37	70,69	69658	110342	5100
3	4,39	1802,26	644,52	141,37	70,69	48441	68021	3524
4	6,57	1134,43	644,52	141,37	70,69	32359	36645	2332
5	8,76	688,71	644,52	141,37	70,69	21382	16415	1521
6	10,94	472,43	644,52	141,37	70,69	15933	7451	1121
7	13,13	484,73	644,52	141,37	70,69	16243	7926	1144
8	15,31	718,96	644,52	141,37	70,69	22138	17740	1577
9	17,51	1182,66	644,52	141,37	70,69	33530	38888	2419
10	19,70	0,00	147,61	141,37	70,69	1214	992	81

### Verifica sezioni piedritto sinistro [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,85	-2972,66	344,58	70,69	141,37	165165	98353	7380
2	3,69	-1253,53	247,18	70,69	141,37	66737	42619	3183
3	6,53	-388,96	149,79	70,69	70,69	35355	16151	1238
4	9,36	-63,79	52,38	70,69	70,69	4254	2888	215
5	12,20	0,00	-45,00	70,69	70,69	3183	3183	0

### Verifica sezioni piedritto destro [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

#### Verifiche presso-flessione

N°	X	M	N	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>fs</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>c</sub>
1	0,85	-1411,27	196,42	70,69	141,37	92639	59289	4515
2	3,67	-423,56	113,47	70,69	141,37	26249	18485	1398
3	6,53	-54,19	29,46	70,69	70,69	5541	2891	224
4	9,40	-0,03	-55,19	70,69	70,69	3908	3900	0
5	12,20	0,00	-137,50	70,69	70,69	9726	9726	0

## Verifiche fessurazione

Simbologia adottata ed unità di misura

$N^{\circ}$	Indice sezione
$X_i$	Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m
$M_p$	Momento, espresse in kNm
$M_n$	Momento, espresse in kNm
$w_k$	Ampiezza fessure, espresse in mm
$w_{lim}$	Apertura limite fessure, espresse in mm
$s$	Distanza media tra le fessure, espresse in mm
$\epsilon_{sm}$	Deformazione nelle fessure, espresse in [%]

### Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	w <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0,06	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	-0,62	0,00	100,00	0,00	0,000
2	2,20	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	2693,38	0,08	100,00	123,19	0,038
3	4,39	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	1802,26	0,03	100,00	123,19	0,013
4	6,57	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	1134,43	0,00	100,00	0,00	0,000
5	8,76	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	688,71	0,00	100,00	0,00	0,000
6	10,94	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	472,43	0,00	100,00	0,00	0,000
7	13,13	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	484,73	0,00	100,00	0,00	0,000
8	15,31	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	718,96	0,00	100,00	0,00	0,000
9	17,51	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	1182,66	0,00	100,00	0,00	0,000
10	19,64	141,37	70,69	1732,67	-1554,21	-0,49	0,00	100,00	0,00	0,000

### Verifica fessurazione piedritto sinistro [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	w <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
----	---	-----------------	-----------------	----------------	----------------	---	---	------------------	----------------	-----------------

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	91 di 99

1	0,85	70,69	141,37	1092,74	-1237,82	-2972,66	0,15	100,00	123,19	0,071
2	3,69	70,69	141,37	1092,74	-1237,82	-1253,53	0,03	100,00	123,19	0,013
3	6,53	70,69	70,69	1054,48	-1054,48	-388,96	0,00	100,00	0,00	0,000
4	9,36	70,69	70,69	1054,48	-1054,48	-63,79	0,00	100,00	0,00	0,000
5	12,20	70,69	70,69	1054,48	-1054,48	0,00	0,00	100,00	0,00	0,000

**Verifica fessurazione piedritto destro [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]**

N°	X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M <sub>p</sub>	M <sub>n</sub>	M	w	W <sub>lim</sub>	S <sub>m</sub>	ε <sub>sm</sub>
1	0,85	70,69	141,37	827,65	-950,28	-1411,27	0,07	100,00	123,19	0,033
2	3,67	70,69	141,37	827,65	-950,28	-423,56	0,00	100,00	0,00	0,000
3	6,53	70,69	70,69	796,83	-796,83	-54,19	0,00	100,00	0,00	0,000
4	9,40	70,69	70,69	796,83	-796,83	-0,03	0,00	100,00	0,00	0,000
5	12,20	70,69	70,69	796,83	-796,83	0,00	0,00	100,00	0,00	0,000

## Inviluppo spostamenti nodali

### Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	$u_{Xmin}$ [cm]	$u_{Xmax}$ [cm]	$u_{Ymin}$ [cm]	$u_{Ymax}$ [cm]
0,00	-0,3226	5,2601	0,3147	1,1950
2,20	-0,3226	5,2613	0,5448	1,1845
4,39	-0,3246	5,2590	0,7274	1,3284
6,57	-0,3266	5,2566	0,8314	1,4278
8,76	-0,3284	5,2541	0,7970	1,4653
10,94	-0,3302	5,2515	0,7658	1,4629
13,13	-0,3319	5,2488	0,7435	1,4315
15,31	-0,3336	5,2461	0,7277	1,3715
17,51	-0,3351	5,2433	0,7090	1,2720
19,61	-0,3352	5,2420	0,6858	1,1480

### Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	$u_{Xmin}$ [cm]	$u_{Xmax}$ [cm]	$u_{Ymin}$ [cm]	$u_{Ymax}$ [cm]
0,85	-0,3226	5,2613	0,5448	1,1845
3,69	-0,2654	5,7435	0,5465	1,1867
6,53	-0,1378	6,4215	0,5476	1,1881
9,36	0,0081	7,1747	0,5482	1,1889
12,20	0,1564	7,9462	0,5482	1,1889

### Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	$u_{Xmin}$ [cm]	$u_{Xmax}$ [cm]	$u_{Ymin}$ [cm]	$u_{Ymax}$ [cm]
0,85	-0,3352	5,2432	0,7080	1,2671
3,67	-0,4493	5,1060	0,7090	1,2686

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	93 di 99

6,53	-0,6140	4,8891	0,7094	1,2693
9,40	-0,7856	4,6518	0,7092	1,2692
12,20	-0,9527	4,4171	0,7084	1,2683

### Inviluppo sollecitazioni nodali

#### Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]	V <sub>min</sub> [kN]	V <sub>max</sub> [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
0,00	0,00	0,00	0,93	3,53	-297,89	18,27
2,20	-3614,08	-1354,88	-621,79	-412,53	476,73	847,22
4,39	-2480,30	-577,24	-447,65	-268,69	458,10	847,22
6,57	-1622,76	-44,48	-326,72	-176,21	439,53	847,22
8,76	-1040,17	250,00	-207,73	-79,48	420,96	847,22
10,94	-744,34	322,04	-92,90	18,91	402,38	847,22
13,13	-734,83	185,01	17,37	111,97	383,81	847,22
15,31	-1002,26	-56,20	116,03	200,98	365,23	847,22
17,51	-1557,02	-482,16	253,63	364,68	346,49	847,22
19,70	0,00	0,00	-3,39	-2,03	-18,94	296,31

#### Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]	V <sub>min</sub> [kN]	V <sub>max</sub> [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
0,85	-3970,67	-1594,30	495,97	1050,24	304,83	447,95
3,69	-1689,33	-570,94	241,32	581,80	217,37	321,34
6,53	-614,99	-133,93	82,69	257,84	129,92	194,72
9,36	-134,06	-13,84	15,47	100,22	42,44	68,09
12,20	0,00	0,00	0,00	0,00	-58,50	-45,00

#### Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	94 di 99

Y [m]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]	V <sub>min</sub> [kN]	V <sub>max</sub> [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]
0,85	-1834,65	-715,95	-645,98	-328,06	162,36	255,35
3,67	-550,63	-112,10	-288,62	-118,16	87,87	147,52
6,53	-81,45	40,96	-72,05	-5,22	12,43	46,49
9,40	-19,92	9,83	-9,65	11,62	-71,75	-46,79
12,20	0,00	0,00	0,00	0,00	-178,75	-137,50

### Inviluppo pressioni terreno

#### Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione

X [m]	$\sigma_{\min}$ [kPa]	$\sigma_{\max}$ [kPa]
0,00	20	75
2,20	34	75
4,39	46	84
6,57	52	90
8,76	50	92
10,94	48	92
13,13	47	90
15,31	46	86
17,51	45	80
19,70	43	72

### Inviluppo verifiche stato limite ultimo (SLU)

#### Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 170,00 cm

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	95 di 99

X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0,00	141,37	70,69	16,21
2,20	141,37	70,69	2,61
4,39	141,37	70,69	3,07
6,57	141,37	70,69	4,92
8,76	141,37	70,69	8,34
10,94	141,37	70,69	12,74
13,13	141,37	70,69	12,85
15,31	141,37	70,69	8,71
17,51	141,37	70,69	4,95
19,70	141,37	70,69	90,31

X	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	A <sub>sw</sub>
0,00	560,54	0,00	0,00	0,00
2,20	560,54	0,00	0,00	0,00
4,39	865,85	0,00	0,00	0,00
6,57	865,85	0,00	0,00	0,00
8,76	865,85	0,00	0,00	0,00
10,94	865,85	0,00	0,00	0,00
13,13	865,85	0,00	0,00	0,00
15,31	865,85	0,00	0,00	0,00
17,51	865,85	0,00	0,00	0,00
19,70	619,04	0,00	0,00	0,00

**Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)**

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	96 di 99

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0,85	70,69	141,37	1,76
3,69	70,69	141,37	2,95
6,53	70,69	70,69	4,15
9,36	70,69	70,69	15,58
12,20	70,69	70,69	90,68

Y	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	A <sub>sw</sub>
0,85	731,78	0,00	0,00	0,00
3,69	713,60	0,00	0,00	0,00
6,53	557,73	0,00	0,00	0,00
9,36	539,55	0,00	0,00	0,00
12,20	521,37	0,00	0,00	0,00

### Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0,85	70,69	141,37	3,20
3,67	70,69	141,37	7,02
6,53	70,69	70,69	22,94
9,40	70,69	70,69	44,68
12,20	70,69	70,69	29,68

Y	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	A <sub>sw</sub>
0,85	649,73	0,00	0,00	0,00
3,67	634,36	0,00	0,00	0,00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	97 di 99

6,53	492,27	0,00	0,00	0,00
9,40	476,58	0,00	0,00	0,00
12,20	461,34	0,00	0,00	0,00

### Inviluppo verifiche stato limite esercizio (SLE)

#### Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione  $B = 100$  cm

Altezza sezione  $H = 170,00$  cm

X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
0,00	141,37	70,69	0	5240	10592
2,20	141,37	70,69	5100	110342	69658
4,39	141,37	70,69	3524	68021	48441
6,57	141,37	70,69	2332	36645	32359
8,76	141,37	70,69	1521	16415	21382
10,94	141,37	70,69	1121	7451	15933
13,13	141,37	70,69	1144	7926	16243
15,31	141,37	70,69	1577	17740	22138
17,51	141,37	70,69	2419	38888	33530
19,70	141,37	70,69	81	992	1214

X	$\tau_c$	$A_{sw}$
0,00	-11	0,00
2,20	-348	0,00
4,39	-252	0,00
6,57	-181	0,00
8,76	-107	0,00
10,94	-31	0,00

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	98 di 99

13,13	43	0,00
15,31	114	0,00
17,51	211	0,00
19,70	9	0,00

### Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 140,00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
0,85	70,69	141,37	7380	98353	165165
3,69	70,69	141,37	3183	42619	66737
6,53	70,69	70,69	1238	16151	35355
9,36	70,69	70,69	215	2888	4254
12,20	70,69	70,69	0	3183	3183

Y	τ <sub>c</sub>	A <sub>sw</sub>
0,85	697	0,00
3,69	383	0,00
6,53	168	0,00
9,36	49	0,00
12,20	0	0,00

### Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 120,00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
0,85	70,69	141,37	4515	59289	92639

Relazione di calcolo Trincea con muro a "U" da pk. 20+450 a pk. 20+575

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 26 CL	MU5900 001	A	99 di 99

3,67	70,69	141,37	1398	18485	26249
6,53	70,69	70,69	224	2891	5541
9,40	70,69	70,69	0	3900	3908
12,20	70,69	70,69	0	9726	9726

Y	$\tau_c$	$A_{sw}$
0,85	-513	0,00
3,67	-229	0,00
6,53	-57	0,00
9,40	0	0,00
12,20	0	0,00

## Verifiche geotecniche

### Simbologia adottata

$IC$  Indice della combinazione

$N_c, N_q, N_g$  Fattori di capacità portante

$N_c, N_q, N_g$  Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.

$q_u$  Portanza ultima del terreno, espressa in [kPa]

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

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

$FS$  Fattore di sicurezza a carico limite

IC	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$	$q_u$	$Q_u$	$Q_y$	FS
1	50,59	37,75	44,43	45,08	30,35	18,95	6276	123641,76	1646,08	75,11
2	50,59	37,75	44,43	33,10	22,29	4,91	3566	70255,96	1291,79	54,39
3	50,59	37,75	44,43	28,60	19,26	1,73	2845	56042,14	976,64	57,38
4	50,59	37,75	44,43	60,60	40,80	45,36	9921	195452,62	1291,79	151,30
5	50,59	37,75	44,43	62,85	42,32	49,76	10671	210227,76	976,64	215,26