

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA**

INTERFERENZE

**RISOLUZIONE INTERFERENZE**

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS3E	50	D	78	CL	SI0100	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M.Piscitelli	Dicembre 2019	A.lorio L.Fanelli	Dicembre 2019	F.Sparacino	Dicembre 2019	D. Tiberti Dicembre 2019



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 INTERFERENZE  
 RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	2 di 67

## INDICE

1.	GENERALITA' .....	5
2.	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	6
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	6
4.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	9
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	9
5.	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	10
5.1	MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO .....	11
6.	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	13
6.1	VITA NOMINALE.....	14
6.2	CLASSE D'USO .....	15
6.3	PERIODO DI RIFERIMENTO .....	16
6.4	VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	16
6.5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO .....	17
6.6	PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO .....	18
7.	MATERIALI .....	19
7.1	CALCESTRUZZO ARMATO OPERE .....	19
7.2	ACCIAIO PER BARRE D'ARMATURA .....	20
8.	ANALISI DEI CARICHI .....	21
8.1	PERMANENTI.....	21
8.2	SPINTA DEL TERRENO SUI PIEDRITTI.....	21
8.3	SPINTA IN PRESENZA DI FALDA (COND. DI CARICO 5) .....	21
8.4	AZIONI SISMICHE (COND. DI CARICO 6/7).....	22
9.	APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA.....	23
10.	ANALISI E VERIFICHE MURO AD "U" .....	24
10.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	24

10.2	AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO .....	26
10.3	MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	26
10.4	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE .....	26
10.5	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	26
10.6	MODELLO GEOMETRICO E GEOTECNICO.....	27
10.7	CONDIZIONI DI CARICO .....	29
10.8	COMBINAZIONI DI CARICO .....	30
10.9	IMPOSTAZIONI DI PROGETTO .....	33
10.10	ANALISI DELLA SPINTA E VERIFICHE .....	35
10.11	RISULTATI ANALISI STRUTTURALE.....	38
10.12	ARMATURE DI PROGETTO.....	42
10.13	INCIDENZA ARMATURE .....	42
10.14	INVILUPPO VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO (SLU).....	43
10.15	INVILUPPO VERIFICHE STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE).....	44
10.16	VERIFICA FONDAZIONE GEO.....	46
11.	ANALISI E SCATOLARE A PROTEZIONE TUBAZIONE ESISTENTE .....	48
11.1	METODOLOGIA DI CALCOLO .....	48
11.2	AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO .....	50
11.3	MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	50
11.4	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE .....	50
11.5	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	50



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	4 di 67

11.6	MODELLO GEOMETRICO E GEOTECNICO.....	51
11.7	CONDIZIONI DI CARICO .....	53
11.8	IMPOSTAZIONI DI PROGETTO .....	54
11.9	ANALISI DELLA SPINTA E VERIFICHE .....	56
11.10	RISULTATI ANALISI STRUTTURALE.....	59
11.11	ARMATURE DI PROGETTO.....	62
11.12	INCIDENZA ARMATURE .....	63
11.13	INVILUPPO VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO (SLU).....	63
11.14	INVILUPPO VERIFICHE STATO LIMITE ESERCIZIO (SLE) .....	64
11.15	VERIFICA FONDAZIONE GEO.....	66



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	5 di 67

## 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 "INTERFERENZE – Risoluzione Interferenze".

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 sistema di risoluzione dell'interferenza costituita dal torrente Petroso in corrispondenza del viadotto VI20 sito alla pk. 22+193 circa dell'asse principale di progetto.

## 3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il sistema di risoluzione dell'interferenza consiste in una struttura a "C" che accoglie la sede del torrente Petroso, e in uno scatolare in c.a. a protezione di una tubazione esistente. Nel seguito si riportano alcune immagini significative dell'opera in esame:

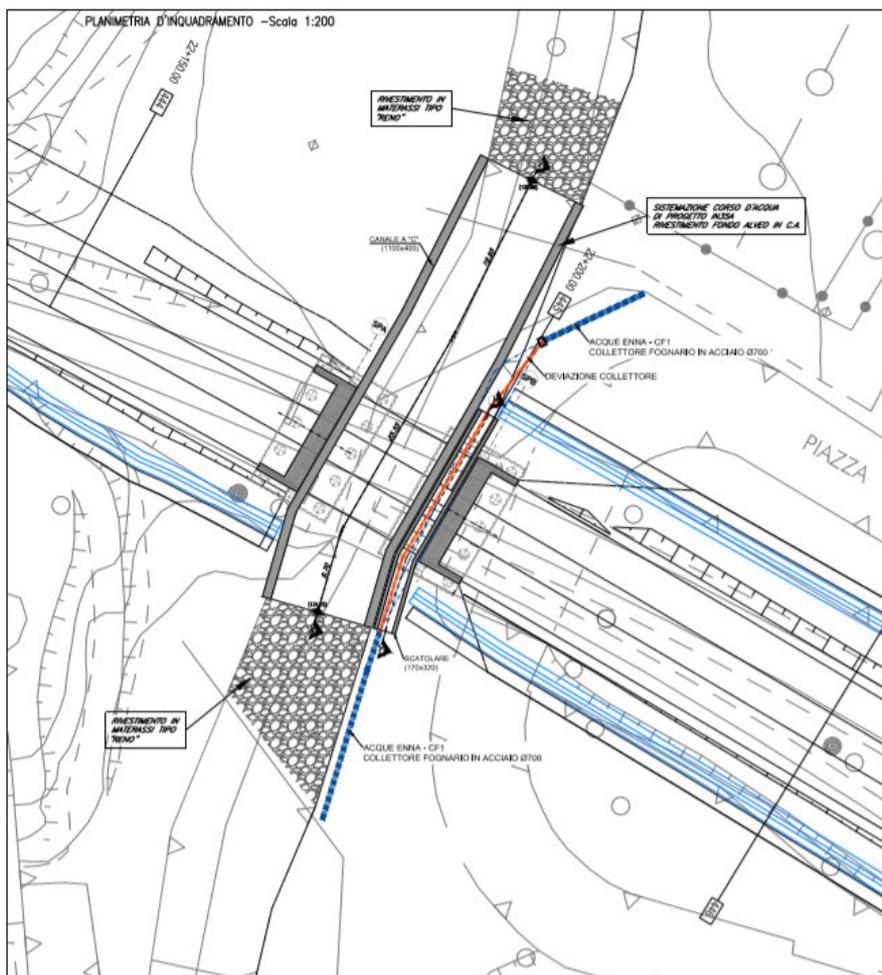


Figura 1 – Inquadramento planimetrico

SEZIONE TRASVERSALE IN ASSE V120 -Scala 1:100

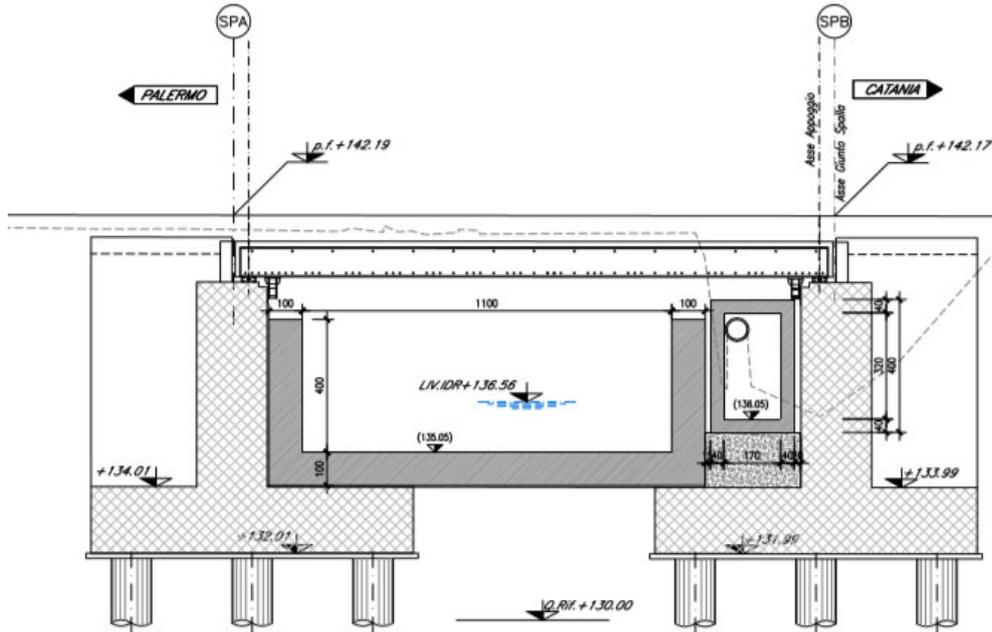
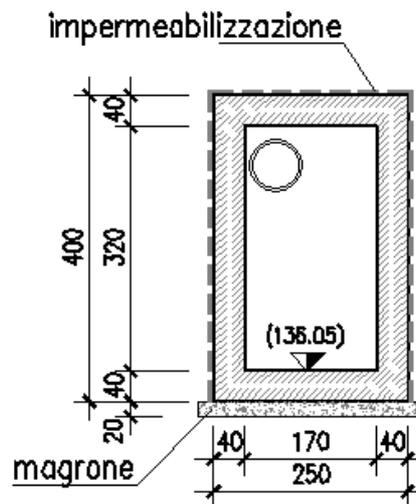


Figura 2 – Sezione trasversale

SEZIONE TRASVERSALE SCATOLARE

Scala 1:100



## SEZIONE TRASVERSALE CANALE A "C"

Scala 1:100

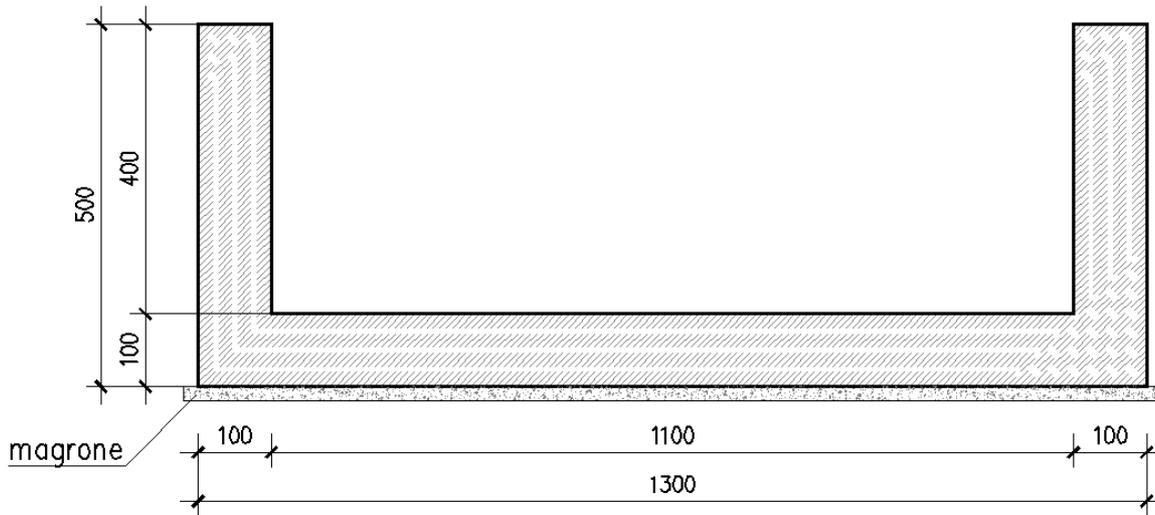


Figura 3 – Sezione trasversale singole opere

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento:



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	9 di 67

## 4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 Documenti Referenziati

Di seguito è riportato l'elenco delle Normative e dei Documenti assunti come riferimento per il progetto delle opere trattate nell'ambito del presente documento:

#### 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 (RFI DTC SI CS SP IFS 005 B - rev 22/12/2017)



$c'$  = coesione drenata

$\varphi'$  = angolo di resistenza al taglio

$V_s$  = velocità delle onde di taglio

$G_0$  = modulo di deformazione a taglio iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E_0$  = modulo di deformazione elastico iniziale, ovvero a piccole deformazioni

$E'_{op,1}$  = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni dirette

$E'_{op,2}$  = modulo di deformazione operativo per il calcolo dei cedimenti dei rilevati.

(\*\*) da prova S7-MASW

(I) per il calcolo della portata laterale

(II) per il calcolo della portata alla base

## 5.1 Modello Geotecnico di progetto

In relazione all'ubicazione dell'opera, e alle quote di approfondimento delle fondazioni, la stratigrafia assunta in fase di progetto è la seguente:

Nota: quota 0 coincidente con il piano di posa delle fondazioni (circa 134.18 m s.l.m.)

Unità	$Z_{top}$ [m]	$Z_{bottom}$ [m]	Spessore medio strato [m]
bbc	0	-1.50	1.50
bbi	-1.50	-14.0	12.5
AAC	-14.0	max	-

A ciascuna unità sono stati attribuiti dei valori dei parametri fisico – meccanici di calcolo utili ai fini delle analisi da effettuare, tenendo conto di quanto specificato per ciascuna di esse dalla caratterizzazione geotecnica generale già riportata al precedente paragrafo. In particolare si ha:

PARAMETRI ASSUNTI IN PROGETTO					
Unità	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	E	E'
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
bbc	19.5	5	24	150	50
bbi	20.0	0	36	450	150
AAC	20.5	10	22	600	200

Dove E' è il moduli di deformabilità "operativo" da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, assunto pari a 1/3÷1/5 di quello iniziale ( $E_0$ ).

Per il terreno di rinfianco si considera, in via cautelativa, il terreno in sito costituito dall'unità bbc, assumendo  $c'=0$  in virtù del rimaneggiamento a cui è sottoposto il terreno nelle operazioni di scavo e ritombamento.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	12 di 67

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

<i>Terreno</i>	<i>Litotipo</i>	$\gamma$	$\varphi'$	$c'$	$E'$	$k_w$
		<i>(kN/m<sup>3</sup>)</i>	<i>(°)</i>	<i>(kPa)</i>	<i>(MPa)</i>	<i>(kPa/m)</i>
<b>Terreno di Rinfianco</b>	bbc	19.5	24	0	50	0
<b>Terreno di Fondazione</b>	bbi	20.0	36	0	150	14578

Il livello di falda è assunto cautelativamente in corrispondenza del piano di posa delle fondazioni.

Dove  $k_w$  è la costante di sottofondo definita al paragrafo 10.1.

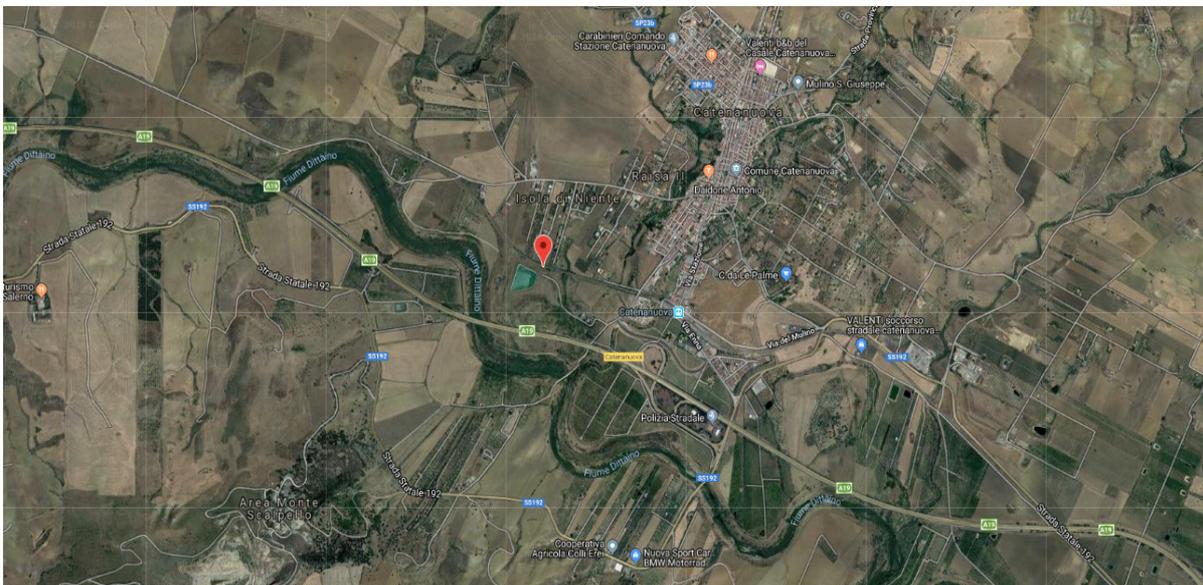
Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	13 di 67

## 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

37.5625

LONGITUDINE

14.68705

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  
 INTERFERENZE  
 RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	14 di 67

## 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 $[V_N]^{(1)}$
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  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

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

da cui si ottiene la seguente Tabella:

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

	STATO LIMITE	probabilità di superamento $P_{VR}$	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
$a_g$	0.175 g
$F_0$	2.502
$T_C^*$	0.526 s
$S_S$	1.200
$C_C$	1.251
$S_T$	1.000
$q$	1.000

### Parametri dipendenti

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.219 s
$T_C$	0.658 s
$T_D$	2.302 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 14/01/2008 e del "Manuale di progettazione delle opere civili" RFI DTC SI MA IFS 001 B.

### 7.1 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)	$\sigma_c = 0.55 f_{ck} = 16.5 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara)
Tensione massima di compressione in esercizio (NTC 2008)	$\sigma_c = 0.60 f_{ck} = 18.0 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara)

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  $\delta_f$  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 14.1.2008 – 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.

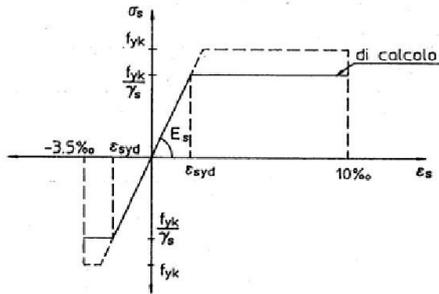
Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

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.

## 7.2 Acciaio per barre d'armatura



### ACCIAIO B450C

Caratteristiche di resistenza

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} = 540 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1.15$$

$$f_{yk} = 391.3 \text{ MPa}$$

Modulo elastico	E	210 GPa
Coefficiente di Poisson	v	0.3
Modulo di elasticità tangenziale $E/[2 \times (1 + v)]$	G	80.769 GPa
Peso specifico	δ	7850.00 kg/m <sup>3</sup>

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare, riportata di seguito nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

## 8. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico.

### 8.1 Permanenti

PESI PROPRI	Spessore [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
peso proprio piedritti	1.00	25.00
peso proprio soletta inf	1.00	25.00

### 8.2 Spinta del terreno sui piedritti

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. A vantaggio di sicurezza è stato considerato il terreno di rinfianco per tutta l'altezza del piedritto.

Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin (24) = 0.593$$

dove  $\varphi$  rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

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

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0 \quad \text{----->} \quad S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

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

### 8.3 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:

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

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  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.

Nel caso in esame, in relazione a quanto specificato al paragrafo 5, il regime di spinta non è influenzato dalla presenza della falda.

#### 8.4 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  $F_v = k_v \cdot W$

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

$$k_h = a_{max} / g \quad k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:  $a_{max} = S \cdot a = S_s \cdot S_t \cdot a_g$

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

Condizione	Categoria sottosuolo	$a_g/g$	$S=S_s S_t$	$a_{max}/g$	$\beta_m$ (-)	$K_h$ (-)	$K_v$ (-)
SLV	B	0.175	1.20	0.210	1.00	0.210	$\pm 0.105$

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 assume  $\beta=1$  in accordo alla teoria di Wood.

##### 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 Wood**, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza  $H$  viene determinata con la seguente espressione:  $\Delta P_a = K_h \cdot \gamma \cdot H^2$ .

L'effetto del sisma è ottenuto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Wood, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera. Utilizzando la formulazione seguente:

$$\Delta P_a = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2 = E$$

Dove  $\gamma$  rappresenta il peso del volume di terreno che interagisce con l'opera,  $H$  rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso),  $S$  è il coeff. di amplificazione locale mentre  $a_g$  è la PGA.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	23 di 67

## 9. 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.



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	24 di 67

## 10. ANALISI E VERIFICHE MURO AD “U”

L'analisi della struttura scatolare è stata condotta con un programma agli elementi finiti:

Titolo SCAT - Analisi Strutture Scatolari  
Versione 14.0  
Produttore Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)  
Utente PROGIN S.P.A.

### 10.1 Metodologia di calcolo

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.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alla 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).



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	25 di 67

Fondazione Rigida	ct
- rettangolare con $L/B \leq 10$	$ct = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$
- rettangolare con $L/B > 10$	$ct = 2 + 0.0089 (L/B)$
dove L é 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.

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:

<b>E(KN/m<sup>2</sup>)</b> =	150000
<b>n</b> =	0.25
<b>B (m)</b> =	13.0
<b>L (m)</b> =	55.0
<b>ct</b> =	1.62
<b>Kw [kN/m<sup>3</sup>]</b> =	<b>7582</b>

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);

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.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	26 di 67

## 10.2 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

## 10.3 Modalità di presentazione dei risultati

L'output di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

## 10.4 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

## 10.5 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

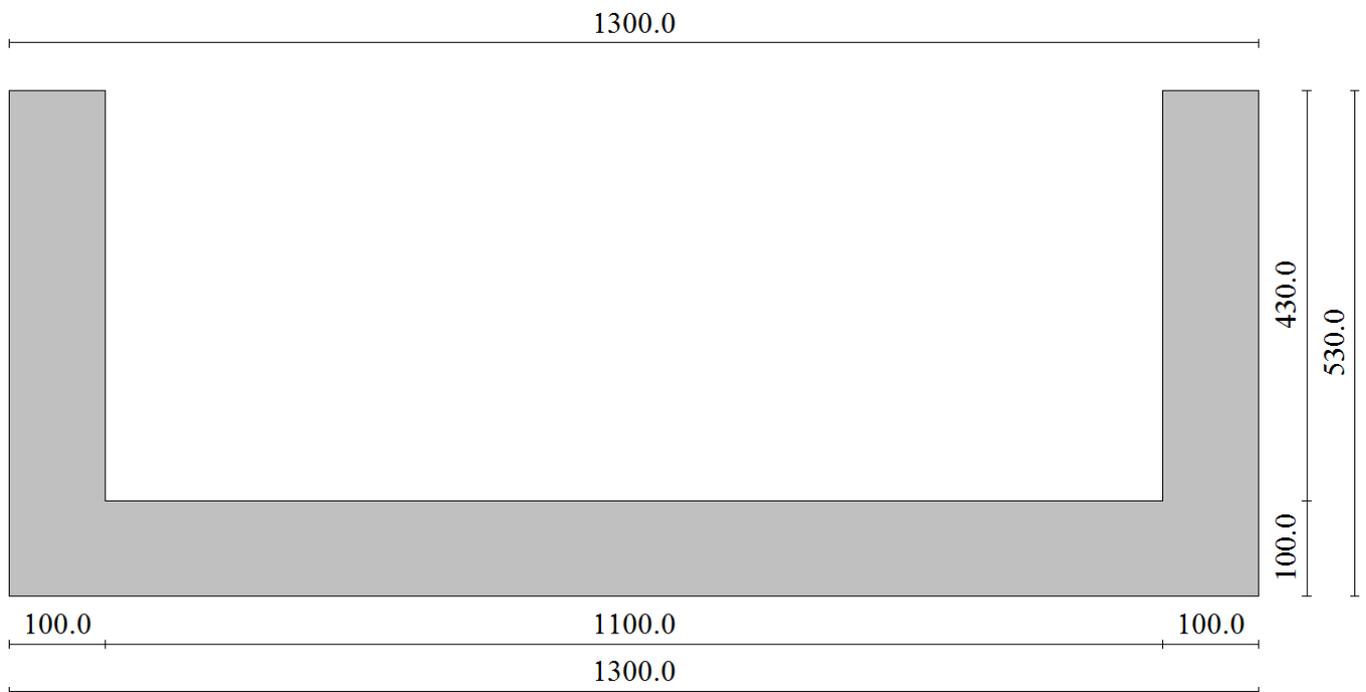
I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, 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, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

## 10.6 Modello Geometrico e Geotecnico



*Modello Geotecnico*



*Geometria (quote in cm)*

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	28 di 67

### Geometria scatolare

Descrizione:	Scatolare tipo vasca	
Altezza esterna	5.30	[m]
Larghezza esterna	13.00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0.00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0.00	[m]
Spessore piedritto sinistro	1.00	[m]
Spessore piedritto destro	1.00	[m]
Spessore fondazione	1.00	[m]

### Caratteristiche materiali utilizzati

#### Materiali calcestruzzo

R <sub>ck</sub> calcestruzzo	37000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24.5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	32532520	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	431499	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0.50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15.00	
Coefficiente dilatazione termica	0.0000120	

### 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	24.00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	14.40	[°]
Coesione	0	[kPa]
Costante di Winkler	0	[kPa/cm]

#### Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	20.0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20.0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	36.00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	28.80	[°]
Coesione	0	[kPa]
Costante di Winkler	76	[kPa/cm]
Tensione limite	1000	[kPa]

### Falda

Quota falda (rispetto al piano di posa)	0.00	[m]
---	------	-----



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	29 di 67

## 10.7 Condizioni di carico

### *Convenzioni adottate*

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura

Carichi verticali positivi se diretti verso il basso

Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra

Coppie concentrate positive se antiorarie

Ascisse X (espresse in m) positive verso destra

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

Carichi concentrati espressi in kN

Coppie concentrate espressi in kNm

Carichi distribuiti espressi in kN/m

### *Simbologia adottata e unità di misura*

#### *Forze concentrate*

X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati

Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati

$F_y$  componente Y del carico concentrato

$F_x$  componente X del carico concentrato

M momento

#### *Forze distribuite*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 INTERFERENZE  
 RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	30 di 67

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)

## 10.8 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.

Nel seguito si riporta un riepilogo delle Combinazioni di Calcolo considerate nelle analisi.

### Simbologia adottata

$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione
$C$	Coefficiente totale di partecipazione della condizione
$\gamma_{G1sfav}$	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
$\gamma_{c'}$	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 Opera in corrispondenza del torrente Petroso	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	31 di 67

Variabili da traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.45	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		$\gamma_g$	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	$\gamma_{Qsfav}$	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

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

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

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	32 di 67

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

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

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

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

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

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

## 10.9 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

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

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

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

con:

d	altezza utile sezione [mm]
$b_w$	larghezza minima sezione [mm]
$\sigma_{cp}$	tensione media di compressione [N/mm <sup>2</sup> ]
$\rho_l$	rapporto geometrico di armatura
$A_{sw}$	area armatura trasversale [mm <sup>2</sup> ]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo, funzione di $f_{cd}$ e $\sigma_{cp}$

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

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

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	34 di 67

### Stato Limite di Esercizio

#### Criteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)  $0.55 f_{ck}$

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)  $0.40 f_{ck}$

Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)  $0.75 f_{yk}$

#### Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure  $w_1=0.20$

#### Verifiche secondo :

Norme Tecniche 2008 - Approccio 2

Copriferro sezioni 7.00 [cm]

## 10.10 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

$\sigma_i$  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]

a Riposo [combinazione 2]

a Riposo [combinazione 3]

a Riposo [combinazione 4]

a Riposo [combinazione 5]

a Riposo [combinazione 6]

a Riposo [combinazione 7]

a Riposo [combinazione 8]



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	36 di 67

## Sisma

### Identificazione del sito

Latitudine	37.562500
Longitudine	14.687050
Comune	Catenanuova
Provincia	Enna
Regione	Sicilia
Punti di interpolazione del reticolo	47638 - 47860 - 47861 - 47639

### Tipo di opera

Tipo di costruzione	Opera ordinaria
Vita nominale	75 anni
Classe d'uso pericolose	III - Affollamenti significativi e industrie non
Vita di riferimento	113 anni

### Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.72 [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)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S_s) = 21.00$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 10.50$

Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare
Spinta sismica	Wood
Angolo diffusione sovraccarico	30.00 [°]

Coefficienti di spinta

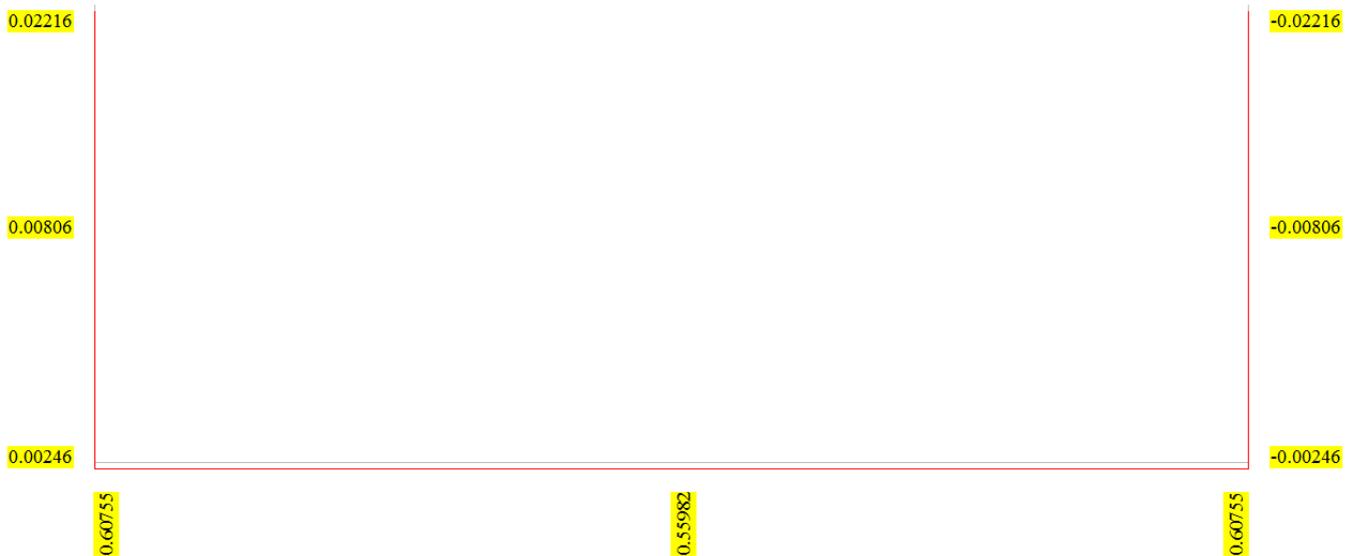
<b>N°combinazione</b>	<b>Statico</b>	<b>Sismico</b>
1	0.593	0.000
2	0.593	0.842
3	0.593	0.842
4	0.593	0.842
5	0.593	0.842
6	0.593	0.000
7	0.593	0.000
8	0.593	0.000

Discretizzazione strutturale

Numero elementi fondazione	124
Numero elementi piedritto sinistro	50
Numero elementi piedritto destro	50
Numero molle piedritto sinistro	51
Numero molle piedritto destro	51

### 10.11 Risultati analisi strutturale

Per facilità di lettura, di seguito sono esposti i risultati dell'analisi strutturale più significativi in termini di sollecitazioni e deformazioni.



Deformata – CMB8

#### Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	$u_{Xmin}$ [cm]	$u_{Xmax}$ [cm]	$u_{Ymin}$ [cm]	$u_{Ymax}$ [cm]
0.50	-2.5828	2.5896	0.2617	0.8530
3.46	-2.5846	2.5881	0.4321	0.7529
6.50	-2.5865	2.5865	0.5300	0.7278
9.54	-2.5881	2.5846	0.4321	0.7529
12.42	-2.5896	2.5828	0.2617	0.8530

#### Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

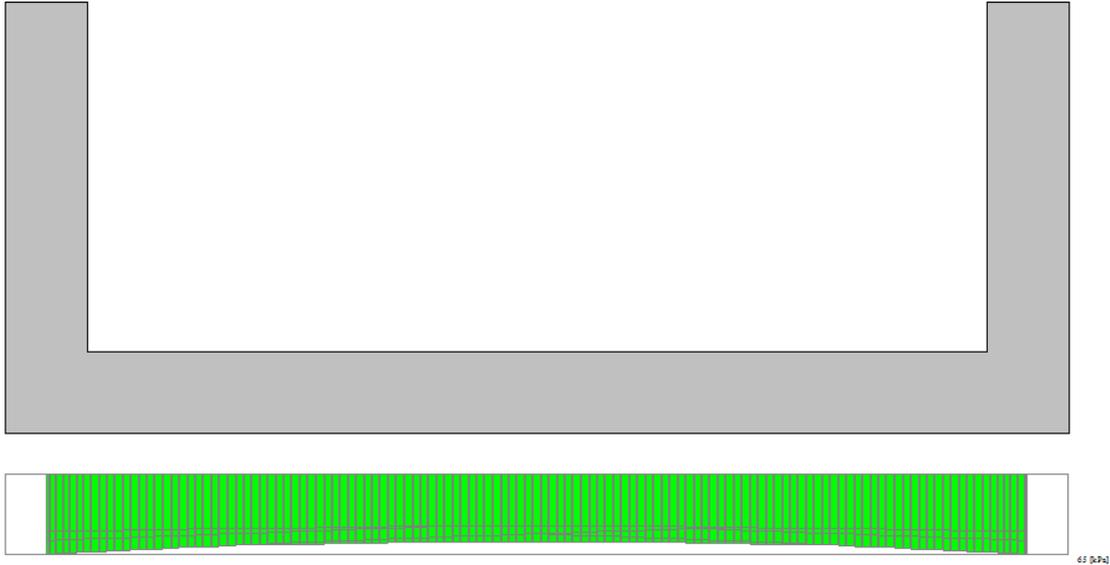
Y [m]	$u_{Xmin}$ [cm]	$u_{Xmax}$ [cm]	$u_{Ymin}$ [cm]	$u_{Ymax}$ [cm]
0.50	-2.5828	2.5896	0.2617	0.8530
2.90	-2.6599	2.8200	0.2623	0.8537
5.30	-2.7323	3.0780	0.2625	0.8540

#### Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	$u_{Xmin}$ [cm]	$u_{Xmax}$ [cm]	$u_{Ymin}$ [cm]	$u_{Ymax}$ [cm]
0.50	-2.5896	2.5828	0.2617	0.8530
2.90	-2.8200	2.6599	0.2623	0.8537
5.30	-3.0780	2.7323	0.2625	0.8540

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	39 di 67



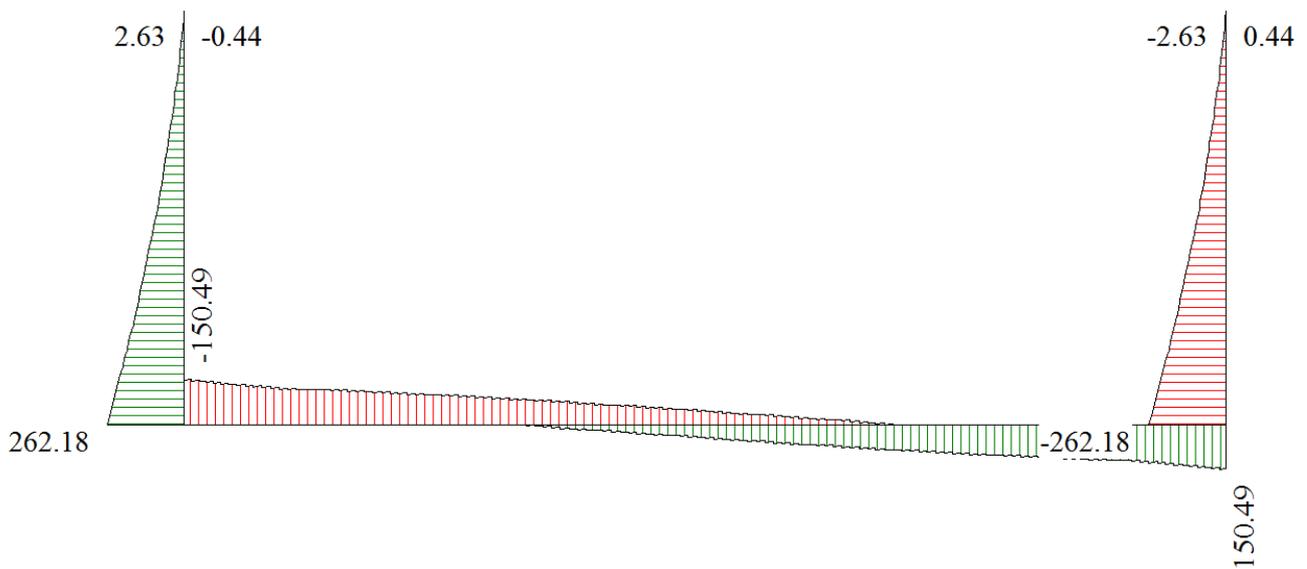
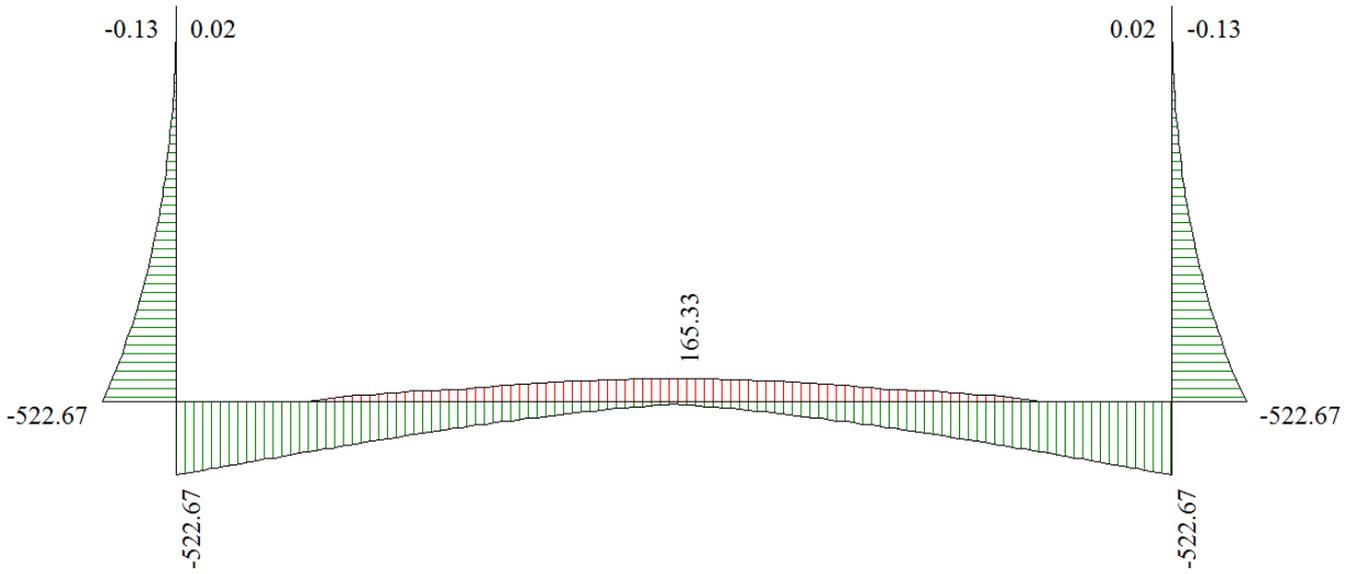
*Pressioni fondazione –INV SLU –  $\sigma_{max}=65$  KPa*

**Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione**

X [m]	$\sigma_{min}$ [kPa]	$\sigma_{max}$ [kPa]
0.50	20	65
3.46	33	57
6.50	40	55
9.54	33	57
12.50	20	65

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	40 di 67





## Sollecitazioni massime

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2)						
Spinte e Pressioni	Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max			
	M [kNm]	Comb.	T [kN]	Comb.	N [kN]	Comb.
Fondazione	-522.67	( 3 )	153.14	( 1 )	216.12	( 5 )
Piedritto sinistro	-522.67	( 2 )	262.18	( 2 )	152.99	( 1 )
Piedritto centrale	...	...	...	...	...	...
Piedritto destro	-522.67	( 5 )	-262.18	( 5 )	152.99	( 1 )
Traverso	...	...	...	...	...	...

Combinazioni analizzate 8

<< >> Chiudi Help

## 10.12 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	Φ20/10 cm	Φ20/20 cm	Spilli φ 12/20x20cm
FONDAZIONE	Φ20/10 cm	Φ20/20 cm	Spilli 6 φ 8 mq

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

**Af2 : Armatura lato interno**

## 10.13 Incidenza armature

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	43 di 67

## 10.14 Inviluppo verifiche stato limite ultimo (SLU)

### Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione  $B = 100$  cm

Altezza sezione  $H = 100.00$  cm

X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	CS
0.50	31.42	15.71	2.27
3.46	31.42	15.71	4.53
6.50	31.42	15.71	5.80
9.54	31.42	15.71	4.48
12.50	31.42	15.71	2.27

### Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione  $B = 100$  cm

Altezza sezione  $H = 100.00$  cm

Y	$A_{fi}$	$A_{fs}$	CS
0.50	15.71	31.42	2.17
2.90	15.71	31.42	6.34
5.30	15.71	31.42	1000.00

### Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione  $B = 100$  cm

Altezza sezione  $H = 100.00$  cm

Y	$A_{fi}$	$A_{fs}$	CS
0.50	15.71	31.42	2.17
2.90	15.71	31.42	6.34
5.30	15.71	31.42	1000.00

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. Le sollecitazioni taglianti sono valutate a filo elementi e sono intese come inviluppo tra le sollecitazioni taglianti delle varie combinazioni di calcolo considerate:

VERIFICA A TAGLIO						
Sezione	$V_{Ed}$	b	h	$V_{Rd}$	Verificato	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Piedritti	522.7	100	100	812.5	SI	Spilli $\phi$ 10/20x40cm
*Fondazione	153.2	100	100	426.3	SI	Spilli 6 $\phi$ 8 mq

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

### 10.15 Inviluppo verifiche stato limite esercizio (SLE)

#### Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 100.00 cm

X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
0.50	31.42	15.71	1933	60959	22226
3.46	31.42	15.71	370	4956	2322
6.50	31.42	15.71	1347	14648	53634
9.54	31.42	15.71	370	4956	2322
12.50	31.42	15.71	1933	60959	22226

#### Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 100.00 cm

Y	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
0.50	15.71	31.42	1926	21965	63065
2.90	15.71	31.42	243	3156	2904
5.30	15.71	31.42	0	0	0

#### Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 100.00 cm

Y	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
0.50	15.71	31.42	1926	21965	63065
2.90	15.71	31.42	243	3156	2904
5.30	15.71	31.42	0	0	0

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	45 di 67

## 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

$\varepsilon_{sm}$  Deformazione nelle fessure, espresse in [%]

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

$N^\circ$	X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$M_p$	$M_n$	M	w	$w_{lim}$	$S_m$	$\varepsilon_{sm}$
1	0.50	31.42	15.71	547.12	-525.52	213.29	0.00	100.00	0.00	0.000
2	3.46	31.42	15.71	547.12	-525.52	-42.39	0.00	100.00	0.00	0.000
3	6.50	31.42	15.71	547.12	-525.52	-127.17	0.00	100.00	0.00	0.000
4	9.54	31.42	15.71	547.12	-525.52	-42.39	0.00	100.00	0.00	0.000
5	12.50	31.42	15.71	547.12	-525.52	213.29	0.00	100.00	0.00	0.000

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

$N^\circ$	X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$M_p$	$M_n$	M	w	$w_{lim}$	$S_m$	$\varepsilon_{sm}$
1	0.50	15.71	31.42	525.52	-547.12	-213.29	0.00	100.00	0.00	0.000
2	2.90	15.71	31.42	525.52	-547.12	-26.68	0.00	100.00	0.00	0.000
3	5.30	15.71	31.42	525.52	-547.12	0.00	0.00	100.00	0.00	0.000

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

$N^\circ$	X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$M_p$	$M_n$	M	w	$w_{lim}$	$S_m$	$\varepsilon_{sm}$
1	0.50	15.71	31.42	525.52	-547.12	-213.29	0.00	100.00	0.00	0.000
2	2.90	15.71	31.42	525.52	-547.12	-26.68	0.00	100.00	0.00	0.000
3	5.30	15.71	31.42	525.52	-547.12	0.00	0.00	100.00	0.00	0.000

## 10.16 Verifica Fondazione GEO

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
- ca Adesione lungo la base della fondazione ( $c_a \leq c$ )
- $\theta$  Angolo che la retta d'azione del carico forma con la verticale
- $\varphi$  Angolo d'attrito
- $\delta$  Angolo di attrito terreno fondazione
- $\gamma$  Peso specifico del terreno
- $K_p$  Coefficiente di spinta passiva espresso da  $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$
- 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:

### 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 forma

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

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

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	47 di 67

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 inclinazione del carico

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

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

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

*Simbologia adottata*

*IC* Indice della combinazione

*N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub>* Fattori di capacità portante

*N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub>* Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.

*qu* Portanza ultima del terreno, espressa in [kPa]

*Q<sub>U</sub>* Portanza ultima del terreno, espressa in [kN]/m

*Q<sub>Y</sub>* Carico verticale al piano di posa, espressa in [kN]/m

*FS* Fattore di sicurezza a carico limite

IC	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>γ</sub>	N' <sub>c</sub>	N' <sub>q</sub>	N' <sub>γ</sub>	qu	Q <sub>U</sub>	Q <sub>Y</sub>	FS
1	50.59	37.75	44.43	100.41	55.27	65.04	14167	184177.18	688.44	267.53
2	50.59	37.75	44.43	35.29	24.52	9.23	3372	43835.68	585.18	74.91
3	50.59	37.75	44.43	31.14	21.63	4.95	2534	32945.29	473.95	69.51
4	50.59	37.75	44.43	35.29	24.52	9.23	3372	43835.68	585.18	74.91
5	50.59	37.75	44.43	31.14	21.63	4.95	2534	32945.29	473.95	69.51



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	48 di 67

## 11. ANALISI E SCATOLARE A PROTEZIONE TUBAZIONE ESISTENTE

L'analisi della struttura scatolare è stata condotta con un programma agli elementi finiti:

Titolo SCAT - Analisi Strutture Scatolari  
Versione 14.0  
Produttore Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)  
Utente PROGIN S.P.A.

### 11.1 Metodologia di calcolo

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.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alla 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).



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	49 di 67

Fondazione Rigida	ct
- rettangolare con $L/B \leq 10$	$ct = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$
- rettangolare con $L/B > 10$	$ct = 2 + 0.0089 (L/B)$
dove L é 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.

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:

<b>E(KN/m<sup>2</sup>)</b> =	150000
<b>n</b> =	0.25
<b>B (m)</b> =	2.50
<b>L (m)</b> =	27.0
<b>ct</b> =	2.09

<b>Kw [kN/m<sup>3</sup>]</b> =	<b>30533</b>
--------------------------------	--------------

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);

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.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

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



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	50 di 67

## 11.2 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

## 11.3 Modalità di presentazione dei risultati

L'output di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

## 11.4 Informazioni generali sull'elaborazione

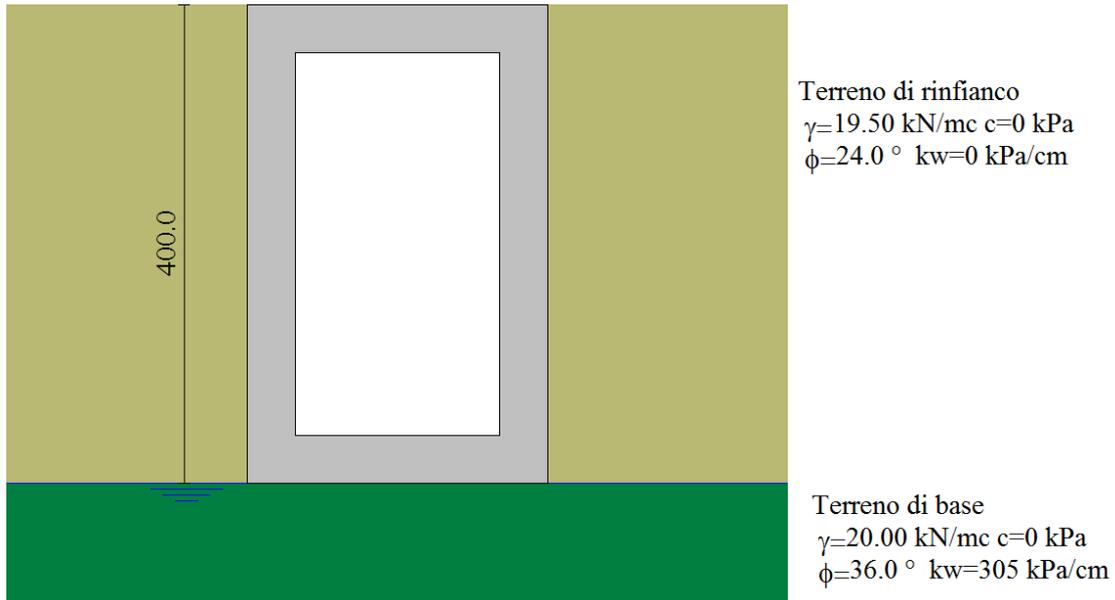
Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

## 11.5 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

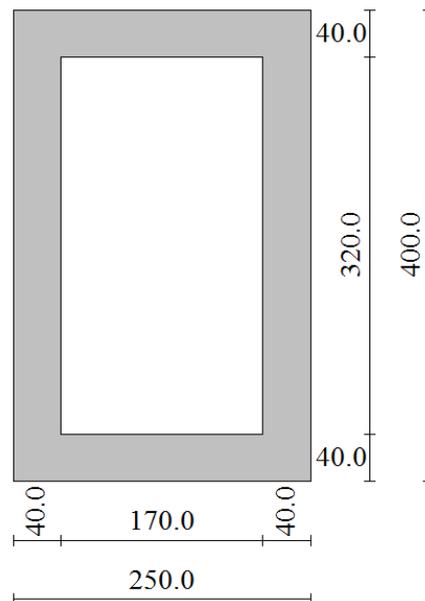
I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, 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, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

## 11.6 Modello Geometrico e Geotecnico



*Modello Geotecnico*



*Geometria (quote in cm)*

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	52 di 67

### Geometria scatolare

Descrizione:	Scatolare semplice	
Altezza esterna	4.00	[m]
Larghezza esterna	2.50	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0.00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0.00	[m]
Spessore piedritto sinistro	0.40	[m]
Spessore piedritto destro	0.40	[m]
Spessore fondazione	0.40	[m]
Spessore traverso	0.40	[m]

### Caratteristiche materiali utilizzati

#### Materiali calcestruzzo

R <sub>ck</sub> calcestruzzo	37000	[kPa]
Peso specifico calcestruzzo	24.5170	[kN/mc]
Modulo elastico E	32532520	[kPa]
Tensione di snervamento acciaio	431499	[kPa]
Coeff. omogeneizzazione cls teso/compresso (n')	0.50	
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls (n)	15.00	
Coefficiente dilatazione termica	0.0000120	

### Caratteristiche strati terreno

#### Strato di rinfiacco

Descrizione	Terreno di rinfiacco	
Peso di volume	19.5000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	19.5000	[kN/mc]
Angolo di attrito	24.00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	14.40	[°]
Coesione	0	[kPa]
Costante di Winkler	1	[kPa/cm]

#### Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	20.0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20.0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	36.00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	28.80	[°]
Coesione	0	[kPa]
Costante di Winkler	305	[kPa/cm]
Tensione limite	1000	[kPa]

### Falda

Quota falda (rispetto al piano di posa)	0.00	[m]
---	------	-----



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	53 di 67

## 11.7 Condizioni di carico

### *Convenzioni adottate*

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura

Carichi verticali positivi se diretti verso il basso

Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra

Coppie concentrate positive se antiorarie

Ascisse X (espresse in m) positive verso destra

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

Carichi concentrati espressi in kN

Coppie concentrate espressi in kNm

Carichi distribuiti espressi in kN/m

### *Simbologia adottata e unità di misura*

#### *Forze concentrate*

X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati

Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati

$F_y$  componente Y del carico concentrato

$F_x$  componente X del carico concentrato

M momento

#### *Forze distribuite*

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

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

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

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

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

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

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

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

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	54 di 67

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)

## 11.8 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

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

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

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

con:

d	altezza utile sezione [mm]
$b_w$	larghezza minima sezione [mm]
$\sigma_{cp}$	tensione media di compressione [N/mm <sup>2</sup> ]



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	55 di 67

$\rho_l$  rapporto geometrico di armatura  
 $A_{sw}$  area armatura trasversale [mmq]  
 $s$  interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]  
 $\alpha_c$  coefficiente maggiorativo, funzione di  $f_{cd}$  e  $\sigma_{cp}$   
 $f_{cd}'=0.5*f_{cd}$   
 $k=1+(200/d)^{1/2}$   
 $v_{min}=0.035*k^{3/2}*f_{ck}^{1/2}$

### Stato Limite di Esercizio

#### Criteri di scelta per verifiche tensioni di esercizio:

Ambiente moderatamente aggressivo

Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. rare)	0.55 $f_{ck}$
Limite tensioni di compressione nel calcestruzzo (comb. quasi perm.)	0.40 $f_{ck}$
Limite tensioni di trazione nell'acciaio (comb. rare)	0.75 $f_{yk}$

#### Criteri verifiche a fessurazione:

Armatura poco sensibile

Apertura limite fessure espresse in [mm]

Apertura limite fessure  $w_1=0.20$

#### Verifiche secondo :

Norme Tecniche 2008 - Approccio 2

Copriferro sezioni 7.00 [cm]

## 11.9 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

$\sigma_i$  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]

a Riposo [combinazione 2]

a Riposo [combinazione 3]

a Riposo [combinazione 4]

a Riposo [combinazione 5]

a Riposo [combinazione 6]

a Riposo [combinazione 7]

a Riposo [combinazione 8]



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	57 di 67

## Sisma

### Identificazione del sito

Latitudine	37.562500
Longitudine	14.687050
Comune	Catenanuova
Provincia	Enna
Regione	Sicilia
Punti di interpolazione del reticolo	47638 - 47860 - 47861 - 47639

### Tipo di opera

Tipo di costruzione	Opera ordinaria
Vita nominale	75 anni
Classe d'uso pericolose	III - Affollamenti significativi e industrie non
Vita di riferimento	113 anni

### Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.72 [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)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S_s) = 21.00$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 10.50$

Forma diagramma incremento sismico	Rettangolare
Spinta sismica	Wood
Angolo diffusione sovraccarico	30.00 [°]



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	58 di 67

### Coefficienti di spinta

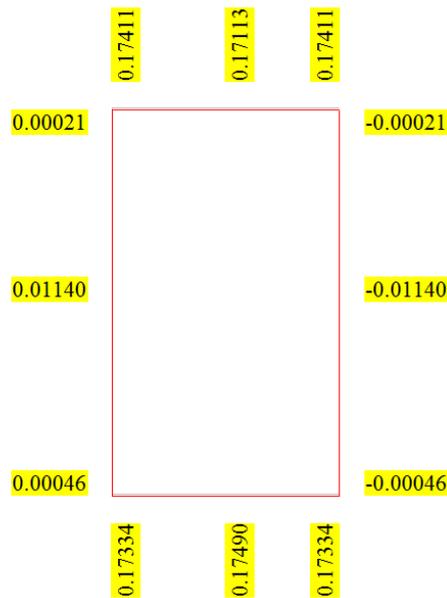
N°combinazione	Statico	Sismico
1	0.593	0.000
2	0.593	0.842
3	0.593	0.842
4	0.593	0.842
5	0.593	0.842
6	0.593	0.000
7	0.593	0.000
8	0.593	0.000

### Discretizzazione strutturale

Numero elementi fondazione	24
Numero elementi traverso	14
Numero elementi piedritto sinistro	38
Numero elementi piedritto destro	38
Numero molle fondazione	25
Numero molle piedritto sinistro	39
Numero molle piedritto destro	39

### 11.10 Risultati analisi strutturale

Per facilità di lettura, di seguito sono esposti i risultati dell'analisi strutturale più significativi in termini di sollecitazioni e deformazioni.



*Deformata – CMB8 (SLE-rara)*

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

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0.20	0.000	0.173
0.68	0.000	0.175
1.25	0.000	0.175
1.82	0.000	0.175
2.30	0.000	0.173

#### Spostamenti traverso (Combinazione n° 8)

X [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0.20	0.000	0.174
0.74	0.000	0.172
1.25	0.000	0.171
1.76	0.000	0.172
2.30	0.000	0.174

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

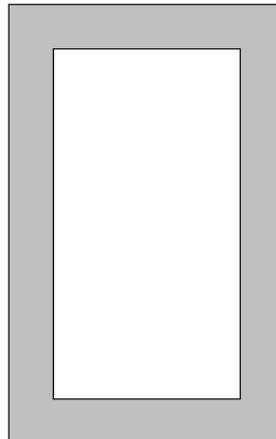
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	60 di 67

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

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0.20	0.000	0.173
2.00	0.011	0.174
3.80	0.000	0.174

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

Y [m]	u <sub>x</sub> [cm]	u <sub>y</sub> [cm]
0.20	0.000	0.173
2.00	-0.011	0.174
3.80	0.000	0.174



53 [kPa]

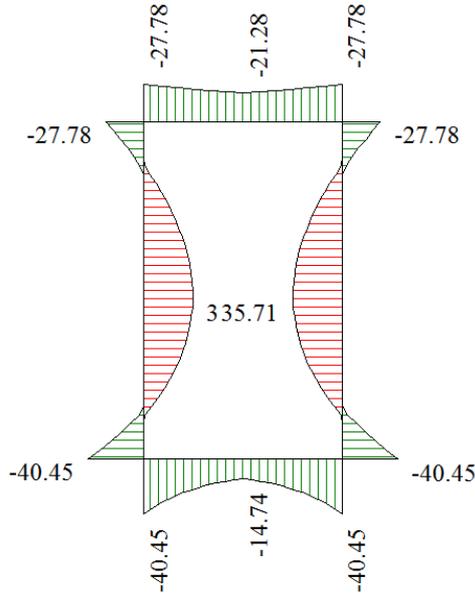
Pressioni fondazione –INV SLU –  $\sigma_{max}=53$  KPa

**Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione**

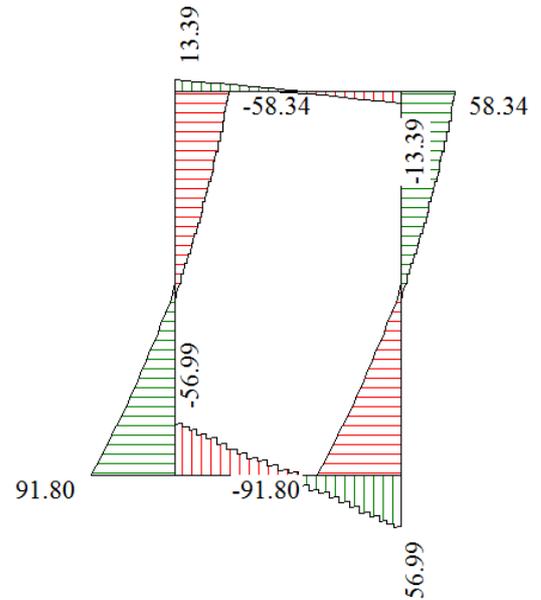
X [m]	$\sigma_{min}$ [kPa]	$\sigma_{max}$ [kPa]
0.20	35	69
0.68	42	69
1.25	48	69
1.82	42	69
2.30	35	69

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

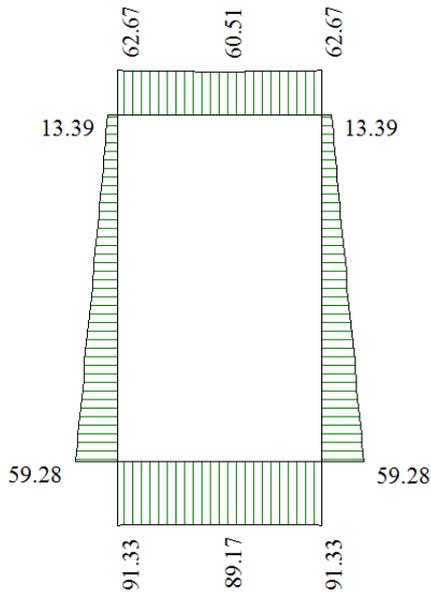
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	61 di 67



Momento flettente - INV SLU



Taglio - INV SLU



Sforzo normale - INV SLU

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2)

	Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max			
	M [kNm]	Comb.	T [kN]	Comb.	N [kN]	Comb.
Fondazione	-40.45	(4)	57.84	(1)	91.33	(4)
Piedritto sinistro	-40.45	(2)	91.80	(2)	59.28	(1)
Piedritto centrale	...	...	...	...	...	...
Piedritto destro	-40.45	(4)	-91.80	(4)	59.28	(1)
Traverso	-27.78	(5)	-13.39	(1)	62.67	(5)

Combinazioni analizzate: 8

Buttons: << >> Chiudi Help

Sollecitazioni massime

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	62 di 67

### 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]
0.20	-40.45	-24.87	-56.99	-38.07	57.19	91.33
0.68	-23.24	-7.88	-28.79	-17.04	57.19	90.34
1.25	-14.74	-0.89	-2.14	7.21	57.19	89.17
1.82	-23.24	-7.88	22.13	35.33	57.19	90.34
2.30	-40.45	-24.87	38.07	56.99	57.19	91.33

### Inviluppo sollecitazioni traverso

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]
0.20	-27.78	-13.89	7.64	13.39	26.10	62.67
0.74	-23.23	-9.76	2.90	7.11	26.10	61.56
1.25	-21.28	-8.49	-1.58	1.58	26.10	60.51
1.76	-23.23	-9.76	-7.11	-2.90	26.10	61.56
2.30	-27.78	-13.89	-13.39	-7.64	26.10	62.67

### 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]
0.20	-40.45	-24.87	57.19	91.80	39.23	59.28
2.00	18.10	35.69	-5.48	-1.79	23.43	36.33
3.80	-27.78	-13.89	-58.34	-26.10	7.64	13.39

### Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

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]
0.20	-40.45	-24.87	-91.80	-57.19	39.23	59.28
2.00	18.10	35.69	1.79	5.48	23.43	36.33
3.80	-27.78	-13.89	26.10	58.34	7.64	13.39

## 11.11 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
TRAVERSO	Φ16/20 cm	Φ16/20 cm	
PIEDRITTI	Φ16/20 cm	Φ16/20 cm	Spilli φ 12/20x20cm
FONDAZIONE	Φ16/20 cm	Φ16/20 cm	Spilli 6 φ 8 mq

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

**Af2 : Armatura lato interno**



NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA  
PROGETTO DEFINITIVO  
INTERFERENZE  
RISOLUZIONE INTERFERENZE

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	63 di 67

## 11.12 Incidenza armature

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

## 11.13 Inviluppo verifiche stato limite ultimo (SLU)

### Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0.20	10.05	10.05	4.53
0.68	10.05	10.05	7.28
1.25	10.05	10.05	22.72
1.82	10.05	10.05	6.82
2.30	10.05	10.05	4.53

### Verifica sezioni traverso (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

X	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0.20	10.05	10.05	6.67
0.74	10.05	10.05	7.84
1.25	10.05	10.05	9.74
1.76	10.05	10.05	7.84
2.30	10.05	10.05	6.67

### Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0.20	10.05	10.05	3.77
2.00	10.05	10.05	3.89
3.80	10.05	10.05	3.22

### Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	CS
0.20	10.05	10.05	3.77
2.00	10.05	10.05	3.89
3.80	10.05	10.05	3.22

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. Le sollecitazioni taglianti sono valutate a filo elementi e sono intese come involuppo tra le sollecitazioni taglianti delle varie combinazioni di calcolo considerate:

<b>*VERIFICA A TAGLIO</b>						
Sezione	$V_{Ed}$	b	h	$V_{Rd}$	Verificato	Armatura a taglio
[-]	[kN]	[cm]	[cm]	[kN]	[-]	[-]
Traverso	91.8	100	40	150.6		Spilli 6 $\phi$ 8 mq
Piedritti	91.8	100	40	150.6	SI	Spilli 6 $\phi$ 8 mq
Fondazione	57.8	100	40	150.6	SI	Spilli 6 $\phi$ 8 mq

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

## 11.14 Involuppo verifiche stato limite esercizio (SLE)

### Verifica sezioni fondazione (Involuppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
0.20	10.05	10.05	1824	53938	10111
0.68	10.05	10.05	481	3133	5017
1.25	10.05	10.05	164	1696	2293
1.82	10.05	10.05	481	3133	5017
2.30	10.05	10.05	1824	53938	10111

### Verifica sezioni traverso (Involuppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

X	$A_{fi}$	$A_{fs}$	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
0.20	10.05	10.05	1028	5156	32948
0.74	10.05	10.05	709	4256	19446
1.25	10.05	10.05	609	3949	15335
1.76	10.05	10.05	709	4256	19446
2.30	10.05	10.05	1028	5156	32948

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	65 di 67

### Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
0.20	10.05	10.05	1841	9131	59536
2.00	10.05	10.05	1346	45894	6176
3.80	10.05	10.05	1043	3663	40826

### Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm

Altezza sezione H = 40.00 cm

Y	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
0.20	10.05	10.05	1841	9131	59536
2.00	10.05	10.05	1346	45894	6176
3.80	10.05	10.05	1043	3663	40826

### **Verifiche fessurazione**

Simbologia adottata ed unità di misura

N° Indice sezione

X<sub>i</sub> Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m

M<sub>p</sub> Momento, espresse in kNm

M<sub>n</sub> Momento, espresse in kNm

w<sub>k</sub> Ampiezza fessure, espresse in mm

w<sub>lim</sub> Apertura limite fessure, espresse in mm

s Distanza media tra le fessure, espresse in mm

ε<sub>sm</sub> 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	0.20	10.05	10.05	83.07	-83.07	24.87	0.00	100.00	0.00	0.000
2	0.68	10.05	10.05	83.07	-83.07	7.88	0.00	100.00	0.00	0.000
3	1.25	10.05	10.05	83.07	-83.07	0.89	0.00	100.00	0.00	0.000
4	1.82	10.05	10.05	83.07	-83.07	7.88	0.00	100.00	0.00	0.000
5	2.30	10.05	10.05	83.07	-83.07	24.87	0.00	100.00	0.00	0.000

### Verifica fessurazione traverso [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	0.20	10.05	10.05	83.07	-83.07	-13.89	0.00	100.00	0.00	0.000
2	0.74	10.05	10.05	83.07	-83.07	-9.76	0.00	100.00	0.00	0.000
3	1.25	10.05	10.05	83.07	-83.07	-8.49	0.00	100.00	0.00	0.000
4	1.76	10.05	10.05	83.07	-83.07	-9.76	0.00	100.00	0.00	0.000
5	2.30	10.05	10.05	83.07	-83.07	-13.89	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>
1	0.20	10.05	10.05	83.07	-83.07	-24.87	0.00	100.00	0.00	0.000
2	2.00	10.05	10.05	83.07	-83.07	18.10	0.00	100.00	0.00	0.000
3	3.80	10.05	10.05	83.07	-83.07	-13.89	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	0.20	10.05	10.05	83.07	-83.07	-24.87	0.00	100.00	0.00	0.000
2	2.00	10.05	10.05	83.07	-83.07	18.10	0.00	100.00	0.00	0.000
3	3.80	10.05	10.05	83.07	-83.07	-13.89	0.00	100.00	0.00	0.000

### 11.15 Verifica Fondazione GEO

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
- ca Adesione lungo la base della fondazione ( $ca \leq c$ )
- θ Angolo che la retta d'azione del carico forma con la verticale
- φ Angolo d'attrito
- δ Angolo di attrito terreno fondazione
- γ Peso specifico del terreno
- K<sub>p</sub> Coefficiente di spinta passiva espresso da  $K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$
- B Larghezza della fondazione
- L Lunghezza della fondazione
- D Profondità del piano di posa della fondazione
- η inclinazione piano posa della fondazione
- P Pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione
- q<sub>ult</sub> Carico ultimo della fondazione

Meyerhof propone per la valutazione di q<sub>ult</sub>, le seguenti espressioni generali:

#### 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:

Relazione di calcolo Opera in corrispondenza del torrente Petroso

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	SI0100 001	A	67 di 67

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

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

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

#### Fattori di 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 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 inclinazione del carico

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

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

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

#### 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	95.57	53.59	63.06	5756	14391.04	145.34	99.02
2	50.59	37.75	44.43	32.20	19.40	0.23	1436	3589.85	123.54	29.06
3	50.59	37.75	44.43	25.94	15.62	0.55	1149	2873.32	100.06	28.72
4	50.59	37.75	44.43	32.20	19.40	0.23	1436	3589.85	123.54	29.06
5	50.59	37.75	44.43	25.94	15.62	0.55	1149	2873.32	100.06	28.72