

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	Ing. Fabio RIZZO	Ing. Piergiorgio GRASSO

## PROGETTO ESECUTIVO

### ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO- TELESE

FA05 - AREA DI SOCCORSO AL KM 25+135

Relazione di calcolo paratia del piazzale FA05

APPALTATORE	SCALA:
<b>IMPRESA PIZZAROTTI &amp; C. s.p.a.</b> Dott. Ing. <i>Sabino Del Balzo</i> IL DIRETTORE TECNICO Ing. S. Del Balzo 23/06/2020	-

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

I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	F	A	0	5	0	0	0	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	G. Brino	18/06/2020	A. Fernandez	19/06/2020	P. Grasso	23/06/2020	Ing. Fabio RIZZO

File:IF26.1.2.E.ZZ.CL.FA.05.0.0.002

n. Elab.:

## Indice

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b> .....	<b>5</b>
1.1	FASI COSTRUTTIVE DEL TRATTO D'OPERA .....	7
1.2	UNITA' DI MISURA .....	7
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>8</b>
2.1	SOFTWARE IMPIEGATI .....	8
2.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	9
2.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	10
<b>3</b>	<b>MATERIALI</b> .....	<b>11</b>
3.1	CALCESTRUZZO PER PALI, CORDOLI E TRAVE DI FONDAZIONE .....	12
3.2	CALCESTRUZZO PER SOLETTA SUPERIORE .....	13
3.3	CALCESTRUZZO MAGRO .....	14
3.4	ACCIAIO IN BARRE A.M.....	14
3.5	CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI .....	15
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>18</b>
4.1	PARAMETRIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	19
4.2	MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA .....	20
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b> .....	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>INTERAZIONE OPERA-TERRENO</b> .....	<b>25</b>
6.1	MODELLAZIONE STRUTTURALE .....	25
6.1.1	PARATIA.....	25
6.1.2	SOLETTI E TRAVI DI FONDAZIONE .....	26
6.2	MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	26
6.3	MODELLAZIONE SISMICA .....	27
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>31</b>
7.1	G1: PESI PROPRI.....	31
7.2	G2: SPINTA DELLE TERRE.....	31
7.3	Q1: SOVRACCARICHI MOBILI.....	31

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	3 di 70

7.4	E1: CEDIMENTI VINCOLARI.....	31
7.5	ALTRE AZIONI.....	31
<b>8</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>35</b>
9.1	VERIFICHE SLU.....	35
9.2	VERIFICHE SLE.....	37
<b>10</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE .....</b>	<b>40</b>
10.1	VERIFICHE SULLA PARATIA.....	40
10.1.1	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DELL'INSIEME OPERA TERRENO .....	40
10.1.2	VERIFICA GEOTECNICA DI COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA .....	41
10.2	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI .....	41
<b>11</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE .....</b>	<b>45</b>
11.1	SEZIONE FA05 .....	45
11.1.1	GEOMETRIA.....	45
11.1.2	CARATTERISTICHE DEL TERRENO.....	47
11.1.3	CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	47
11.1.4	SIMULAZIONE DELLE FASI COSTRUTTIVE.....	48
11.1.5	RISULTATI DELLE ANALISI.....	52
<b>12</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>55</b>
12.1	SEZIONE PARATIA FA05 .....	55
12.1.1	PARATIA DI PALI.....	55
12.1.2	TRAVE DI FONDAZIONE .....	64
12.1.3	SOLETTA DI TESTA .....	65
<b>13</b>	<b>MONITORAGGIO DELLA PARATIA.....</b>	<b>66</b>
13.1	CARATTERISTICHE DEL PIANO DI MONITORAGGIO .....	66
13.2	PARAMETRI CHIAVE DEL MONITORAGGIO .....	66
13.3	GRANDEZZE MONITORATE .....	67
13.3.1	MISURE DI SPOSTAMENTO E CONVERGENZA CON MIRE OTTICHE .....	67
13.4	STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO .....	67
13.5	FREQUENZE DI LETTURA .....	67

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
 RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
 II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
 PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	4 di 70

**13.6 DEFINIZIONE DEI LIMITI DI ATTENZIONE E DELLE CONTROMISURE .....68**

**14 CONCLUSIONI .....70**

## 1 GENERALITA'

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici del Progetto Esecutivo (PE) per il Raddoppio dell'itinerario Ferroviario Napoli-Bari nella Tratta Cancello-Benevento / 2° Lotto Funzionale Frasso Telesino – Vitulano e si occupa, in particolare, dell'analisi strutturale della paratia di pali presente nell'area di soccorso al km 25+150 (imbocco GA02 lato Benevento).

La presente relazione si occupa, in particolare, dell'analisi geotecnica e strutturale delle opere di sostegno del piazzale FA05 all'imbocco Nord lato Benevento e mette in evidenza le particolari condizioni parietali dell'Opera che, rispetto alle previsioni del Progetto Definitivo, ha richiesto l'introduzione di una paratia di pali in sostituzione del muro di sostegno presente in PD. Questa scelta progettuale è stata presa per non intaccare la stabilità del pendio e non creare problemi di asimmetria sulla galleria artificiale, per cui sono stati previsti interventi aggiuntivi con contrafforti di setti in pali in c.a. per la motivazione di cui sopra.

La stabilizzazione del pendio e la creazione del piazzale è garantita dalla costruzione di una paratia di pali del diametro 1500 mm , disposti con interasse 1.8 m.

Nell'area prossima all'imbocco, i pali hanno una lunghezza totale di 25 m e sono chiusi nell'area superiore da una platea di collegamento con gli ultimi pali della GA02 senza tiranti, mentre nell'area degradante verso il muro di sostegno, la lunghezza sarà variabile da 28m a 14m.

La figura seguente illustra le soluzioni adottate in Progetto Esecutivo.

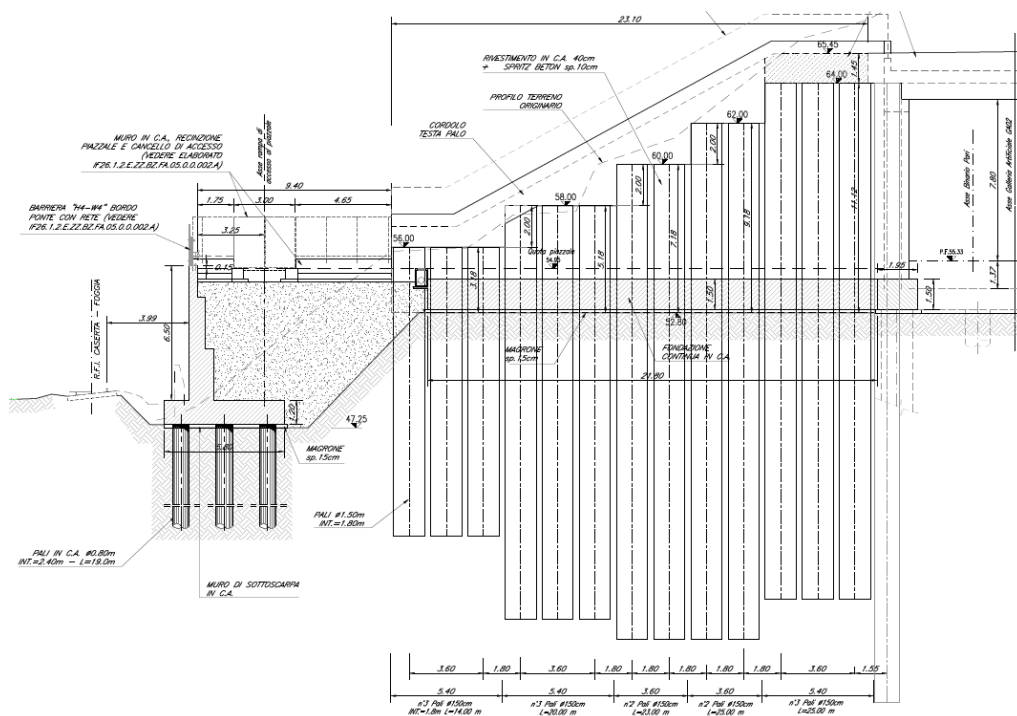


Figura 1: Progetto Esecutivo – Sviluppo longitudinale della paratia del piazzale FA05

**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	6 di 70

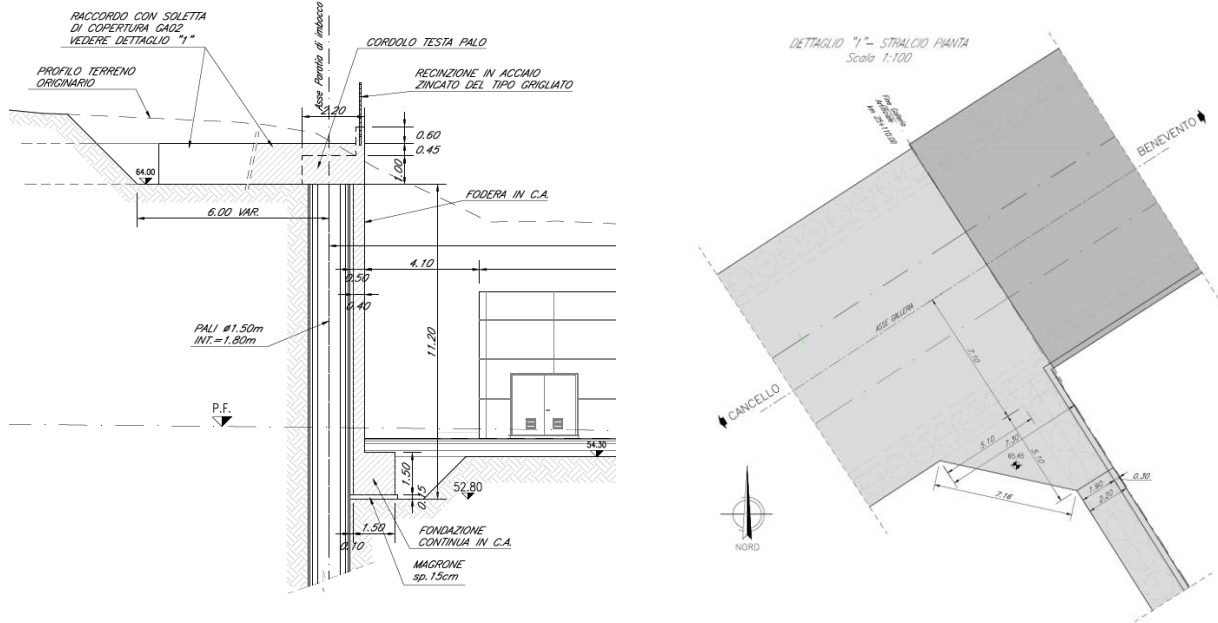


Figura 2: Progetto Esecutivo – Sviluppo longitudinale della paratia del piazzale FA05 e dettaglio della soletta superiore

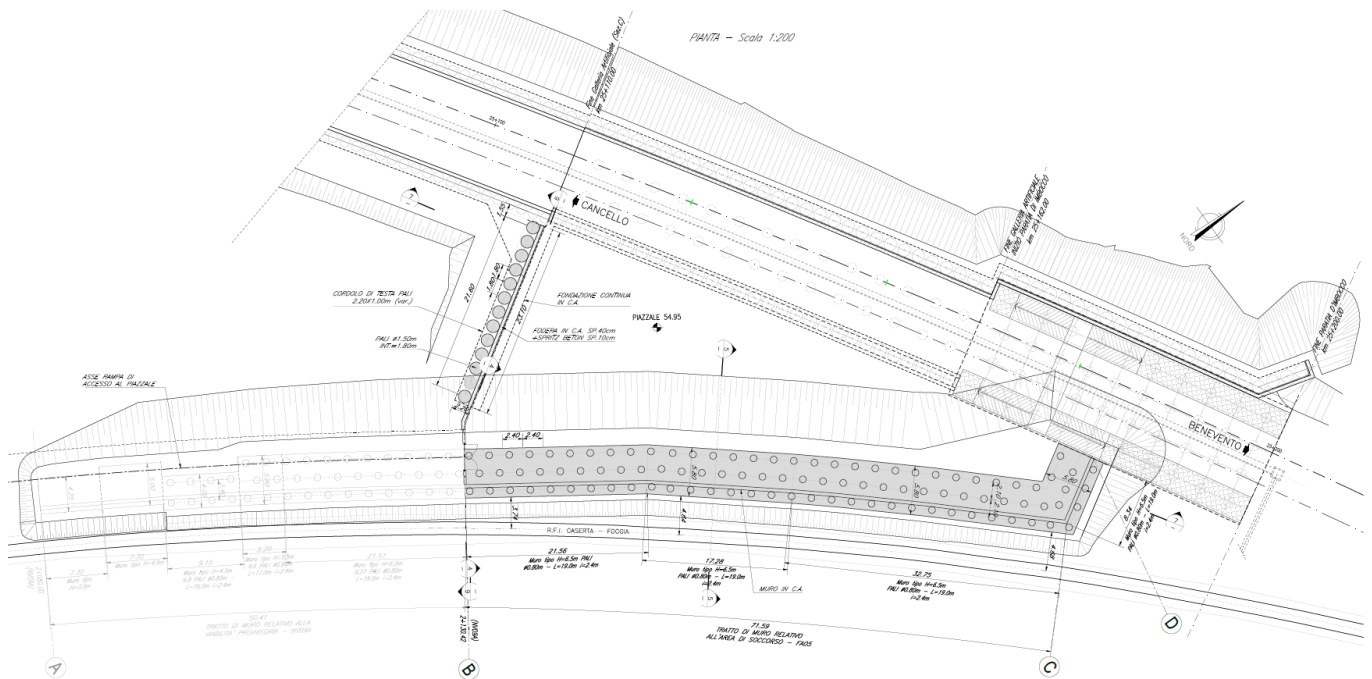


Figura 3: Progetto Esecutivo – Inquadramento planimetrico della paratia del piazzale FA05

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>7 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	7 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	7 di 70								

## 1.1 FASI COSTRUTTIVE DEL TRATTO D'OPERA

La paratia del piazzale FA05 è composta da:

- Zona prossima all'imbocco lato Benevento della GA02:
  - una paratia di sostegno di pali DN1500 mm, disposti ad interasse 1.80m e di lunghezza 25m, bloccata in testa dall'estensione della soletta della GA02;
- Zona degradante verso il muro di sostegno:
  - una paratia di sostegno di pali DN1500 mm, disposti ad interasse 1.80m e di lunghezza variabile da 14m a 28m.

La sezione prossima all'imbocco è stata utilizzata come **sezione di calcolo per l'analisi della paratia del piazzale FA05**, le cui fasi costruttive sono sintetizzate nella seguente tabella.

Tabella 1: Fasi Costruttive - Sezione FA05

FASE	DESCRIZIONE
0	Scavo fino a raggiungere quote di testa pali della paratia
1	Esecuzione dei Pali DN1500 della Paratia di monte; Magrone, Posa Armature e Getto della soletta di testa della paratia
2	Scavo con proiezione del calcestruzzo fino a quota fondo scavo
3	Magrone. getto della fondazione continua di base
4	Riempimento e installazione della pavimentazione del piazzale

La tabella precedente rappresenta, evidentemente, anche le fasi di calcolo dell'Opera che vengono descritte con maggior dettaglio più avanti.

## 1.2 UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- lunghezze ⇒ m, mm
- carichi ⇒ kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- tensioni ⇒ N/mm<sup>2</sup>

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>8 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	8 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	8 di 70								

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 14 gennaio 2008, «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008»
- Rif. [3] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (RFI DTC SI AG MA IFS 001 A – rev 30/12/2016)
- Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture ( RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016 )
- Rif. [6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [7] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- 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 7 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [10] Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere civili: PARTE II – Sezione 7 / Pali e Micropali (RFI DTC SI CS SP IFS 005 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [11] Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere civili: PARTE II – Sezione 8 / Paratie di Pali, Diaframmi e Palancolate (RFI DTC SI CS SP IFS 006 A– rev 30/12/2016)
- Rif. [12] 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
- Rif. [13] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- Rif. [14] UNI 11104: Calcestruzzo : Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1.
- Rif. [15] UNI 11104: Calcestruzzo : Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1.
- Rif. [16] Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### 2.1 SOFTWARE IMPIEGATI

Per la redazione del Progetto Esecutivo dell'imbocco sono stati impiegati i seguenti softwares di calcolo:

- PLAXIS 2D – Versione 2018 Bentley EMEA;
- SAP2000 Ultimate – Versione 21.0.2 Computers and Structures, Inc.



**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	9 di 70

## 2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

I documenti di Progetto Esecutivo citati nel report sono di seguito elencati:

- Rif. [I] IF26.1.2.E.ZZ.RG.GE.00.0.1.001: Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica  
 Rif. [II] IF26.1.2.E.ZZ.SG.GE.00.0.5.001: Dossier indagini  
 Rif. [III] IF26.1.2.E.ZZ.RB.GE.00.0.1.001: Relazione geotecnica generale  
 Rif. [IV] IF26.1.2.E.ZZ.FZ.GE.00.0.5.001-008: Profilo geotecnico di linea – Tavole 1/8, 2/8, 3/8, 4/8, 5/8, 6/8, 7/8, 8/8.  
 Rif. [V] IF26.1.2.E.ZZ.CL.GA.02.0.0.001: Galleria Artificiale GA02 – Relazione Tecnica Generale.  
 Rif. [VI] IF26.1.2.E.ZZ.CL.GA.02.0.0.012: Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D.

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l'insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all'opera in esame e riportati in seguito come estratto dell'elenco elaborati.

Muri di Sostegno in c.a. - Relazione di Calcolo	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	FA	05	0	0	001
Relazione di calcolo paratia del piazzale FA05 – Allegati	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	FA	05	0	0	003
Planimetria generale	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	P	A	FA	05	0	0	001
Pianta e sviluppata muro e paratia micropali	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	A	FA	05	0	0	001
Sviluppata paratia pali, sezione piazzale e particolari	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	Z	FA	05	0	0	001
Sezioni trasversali	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	W	A	FA	05	0	0	001
Muro di sostegno - Carpenteria	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	B	FA	05	0	0	001
Pianta piazzale - Barriere e recinzioni - Particolari	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	Z	FA	05	0	0	002
Planimetria piazzale con sistemazioni idrauliche e particolari costruttivi	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	P	Z	FA	05	0	0	004
Relazione idraulica	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	R	I	FA	05	0	0	001
Monitoraggio Paratia di pali - Sviluppata e sezioni	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	9	FA	05	0	0	001

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>10 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	10 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	10 di 70								

## 2.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Rif. [17] Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G., 1999. The Hardening Soil Model. Formulation and Verification“. Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 Years of PLAXIS, Balkema, Rotterdam.
- Rif. [18] Obrzud R., 2015. Constitutive models for practice. Lausanne, Switzerland.
- Rif. [19] Benz, T., 2018. Parameters of the Hardening Soil Model. Advanced Course on Computational Geotechnics, 19-22 March 2018.
- Rif. [20] Bustamante, M. and Doix, B., 1985. Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés. Bulletin Liaison Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, N.140, pp. 75-92.
- Rif. [21] Mononobe N., 1929. Earthquake Proof Construction of Masonry Dams. Proc., World Engineering Conference, Vol.9.
- Rif. [22] Okabe S., 1926. General Theory of Earth Pressure. Japanese Society of Civil Engineers, Vol.12, N°1.
- Rif. [23] Seed H. B., Withman R. V., 1970. Design of Hearth Retaining Structures for Dynamic Loads. ASCE, Special Conference (Lateral Stresses in the Ground and Design of earth Retaining Structures) pp.103-147. Cornell University, Ithaca. New York.

### 3 MATERIALI

Nella Tabella che segue si riportano in sintesi le Classi dei materiali impiegati per l'analisi strutturale:

Tabella 2: Lista Materiali

<b>ELEMENTO</b>	<b>CALCESTRUZZO</b>
Soletta Superiore	C32/40
Pali e Cordoli	C25/30
Magroni di pulizia	C12/15
<b>ELEMENTO</b>	<b>ACCIAIO IN BARRE A.M.</b>
Tutti	B450C

Le specifiche tecniche dei materiali sopra descritti sono ricavate nei seguenti paragrafi, dove il riferimento principale per le verifiche SLE è stato assunto nelle Prescrizioni del Manuale RFI Parte 2 – Sezione 2 – 2.5.1.8.3.2.1.

### 3.1 CALCESTRUZZO PER PALI, CORDOLI E TRAVE DI FONDAZIONE

Valore Caratteristico Resistenza Cubica a 28gg:  $R_{ck} = 30$  N/mm<sup>2</sup>

Valore Caratteristico Resistenza Cilindrica a 28gg:  $f_{ck} = 25$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a compressione cilindrica media:  $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione assiale:  $f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 2,56$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk,0,05} = 0,70 * f_{ctm} = 1,79$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione per flessione  $f_{cfm} = 1,20 * f_{ctm} = 3,07$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk,0,05} = 0,70 * f_{cfm} = 2,15$  N/mm<sup>2</sup>

**Verifiche agli SLU:**  $\gamma_c = 1,50$

Resistenza di calcolo a compressione  $f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 14,11$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a trazione diretta  $f_{ctd} = f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1,19$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a trazione per flessione  $f_{ctd,f} = 1,20 * f_{ctd} = 1,43$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo di Young secante:  $E_{cm} = 22 * [f_{cm}/10]^{0,3} = 31447$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo di elasticità tangenziale:  $G_{cm} = E / [2(1+\nu)] = 13103$  N/mm<sup>2</sup>

Coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,20$

Coefficiente di dilatazione lineare:  $\alpha = 0,000010$  °C<sup>-1</sup>

Tensione di aderenza acciaio-calcestruzzo:  $\eta = 1,00$

$f_{bd} = 2,25 * f_{ctk} * \eta / \gamma_c = 2,69$  N/mm<sup>2</sup>

**Verifiche agli SLE:**

Combinazioni Quasi Permanenti  $\sigma_{cmax,QP} = 0,40 * f_{ck} = 9,96$  N/mm<sup>2</sup>

Combinazioni Caratteristiche  $\sigma_{cmax,R} = 0,55 * f_{ck} = 13,70$  N/mm<sup>2</sup>

Verifiche a Fessurazione  $\sigma_t = f_{ctm} / 1,2 = 2,13$  N/mm<sup>2</sup>

### 3.2 CALCESTRUZZO PER SOLETTA SUPERIORE

Valore Caratteristico Resistenza Cubica a 28gg:  $R_{ck} = 40$  N/mm<sup>2</sup>

Valore Caratteristico Resistenza Cilindrica a 28gg:  $f_{ck} = 32$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a compressione cilindrica media:  $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 40$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione assiale:  $f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 3,02$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk,0,05} = 0,70 * f_{ctm} = 2,12$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione per flessione  $f_{cfm} = 1,20 * f_{ctm} = 3,63$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{cfk,0,05} = 0,70 * f_{cfm} = 2,54$  N/mm<sup>2</sup>

**Verifiche agli SLU:**  $\gamma_c = 1,50$

Resistenza di calcolo a compressione  $f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 18,13$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a trazione diretta  $f_{ctd} = f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1,41$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a trazione per flessione  $f_{ctd,f} = 1,20 * f_{ctd} = 1,69$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo di Young secante:  $E_{cm} = 22 * [f_{cm}/10]^{0,3} = 33346$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo di elasticità tangenziale:  $G_{cm} = E / [2(1+\nu)] = 13894$  N/mm<sup>2</sup>

Coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,20$

Coefficiente di dilatazione lineare:  $\alpha = 0,000010$  °C<sup>-1</sup>

Tensione di aderenza acciaio-calcestruzzo:  $\eta = 1,00$

$f_{bd} = 2,25 * f_{ctk} * \eta / \gamma_c = 3,18$  N/mm<sup>2</sup>

#### Verifiche agli SLE:

Combinazioni Quasi Permanenti  $\sigma_{cmax,QP} = 0,40 * f_{ck} = 12,80$  N/mm<sup>2</sup>

Combinazioni Caratteristiche  $\sigma_{cmax,R} = 0,55 * f_{ck} = 17,60$  N/mm<sup>2</sup>

Verifiche a Fessurazione  $\sigma_t = f_{ctm} / 1,2 = 2,52$  N/mm<sup>2</sup>

### 3.3 CALCESTRUZZO MAGRO

Valore Caratteristico Resistenza Cubica a 28gg:	$R_{ck} =$	<b>12</b>	N/mm <sup>2</sup>
Valore Caratteristico Resistenza Cilindrica a 28gg:	$f_{ck} =$	<b>15</b>	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica media:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	<b>23</b>	N/mm <sup>2</sup>

### 3.4 ACCIAIO IN BARRE A.M.

Tensione caratteristica di rottura (frattile 5%)	$f_{tk} =$	<b>540</b>	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di snervamento(frattile 5%)	$f_{yk} =$	<b>450</b>	N/mm <sup>2</sup>
Fattore di sovraresistenza	$K = f_{tk}/f_{yk} =$	<b>1,20</b>	N/mm <sup>2</sup>

#### Verifiche agli SLU:

Allungamento a rottura	$\varepsilon_{uk} =$	<b>7,50</b>	%
	$\varepsilon_{ud} = 0,9 * \varepsilon_{uk} =$	<b>6,75</b>	%
Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:	$\gamma_s =$	<b>1,15</b>	
Resistenza di calcolo allo SLU:	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s =$	<b>391,3</b>	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità:	$E_f =$	<b>210000</b>	N/mm <sup>2</sup>

#### Verifiche agli SLE:

Combinazioni Caratteristiche	$\sigma_{smax} = 0,75 * f_{yk} =$	<b>337,5</b>	N/mm <sup>2</sup>
------------------------------	-----------------------------------	--------------	-------------------

		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0500 002	REV. A	FOGLIO 15 di 70

### 3.5 CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI

Con riferimento alle specifiche di cui alla norma UNI 11104, si definiscono di seguito le classe di esposizione del calcestruzzo delle diversi parti della struttura oggetto dei dimensionamenti di cui al presente documento:

Elemento	Classe CLS	Classe di Esp.ne	Ambiente	Diam.Max Aggregati	Max a/c	Min Cemento	Copriferro
				mm		[kg/mc]	[mm]
Soletta Superiore	C32/40	XC4	aggressivo	32	0.50	340	40
Pali e Cordoli	C25/30	XC2	ordinario	25	0.60	300	60

Classe esposizione norma UNI 9658	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>						
1	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C 12/15	
<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b> Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi su può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.						
2 a	XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.	0,60	C 25/30	
2 a	XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	0,60	C 25/30	
5 a	XC3	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2.	0,50	C 32/40	
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>						
5 a	XD1	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XD2	Bagnato, raramente asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (Piscine).	0,50	C 32/40	
5 c	XD3	Ciclicamente bagnato e asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.	0,45	C 35/45	

Classe esposizione norma UNI 9658	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>						
4 a 5 b	XS1	Esposto alla saliscina marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.	0,50	C 32/40	
	XS2	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.	0,45	C 35/45	
	XS3	Zone esposte agli spruzzi o alle maree.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battaglia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.	0,45	C 35/45	
<b>5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti *</b>						
2 b	XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.	0,50	C 32/40	
3	XF2	Moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente disgelante.	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.	0,50	C 25/30	3,0
2 b	XF3	Elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.	0,50	C 25/30	3,0
3	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.	0,45	C 28/35	3,0
<b>6 Attacco chimico **</b>						
5 a	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contentori di fanghi e vasche di decantazione. Contentori e vasche per acque reflue.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.	0,50	C 32/40	
5 c	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contentori di foraggi, mangimi e liquame provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi di gas di scarico industriali.	0,45	C 35/45	

\*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione:  
- moderato: occasionalmente gelato in condizione di saturazione;  
- elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.  
\*\*) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.

Figura 4: Classi di esposizione secondo UNI-EN 206-2006.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>16 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	16 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	16 di 70								

La scelta delle classi di resistenza dei conglomerati riportate in precedenza viene di seguito verificata impiegando il Prospetto 4 della UNI-EN 11104 il quale prescrive, in funzione delle Classi di Esposizione, la resistenza minima delle miscele da adottare:

prospetto 4 Valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri			Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico					
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	Acqua di mare		Cloruri provenienti da altre fonti	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,45	
Minima classe di resistenza <sup>1)</sup>	C12/15	C25/30	C28/35	C32/40	C32/40	C35/45	C28/35	C32/40	C35/45	32/40	25/30	28/35	28/35	32/40	35/45			
Minimo contenuto in cemento (kg/m <sup>3</sup> )	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360			
Contenuto minimo in aria (%)													3,0 <sup>a)</sup>					
Altri requisiti													Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo			È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>b)</sup>		

<sup>1)</sup> Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.  
<sup>a)</sup> Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.  
<sup>b)</sup> Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

Figura 5: Classi di resistenza minima del calcestruzzo secondo UNI – 11104

I copriferri di progetto adottati per le barre di armatura, tengono infine conto inoltre delle prescrizioni di cui alla Tabella C4.1.IV della Circolare n.617 del 02-02-09 redatta dal legislatore per una Vita Nominale di 50 anni:

<i>Vita Nominale = 50 anni</i>			barre c.a. per Piastre		barre c.a. per altri Elem.		cavi c.a.p. per Piastre		cavi c.a.p. per altri Elem.	
Cmin	Co	ambiente	C>=Co	Cmin<=C<Co	C>=Co	Cmin<= C<Co	C>=Co	Cmin<= C<Co	C>=Co	Cmin<=C<Co
25	35	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
28	40	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
35	45	molto aggr.	35	40	40	45	45	50	50	50

Figura 6: Definizioni del Copriferro secondo NTC08

Interpolando per la Vita Nominale di Progetto scelta dal Committente e pari a 75 anni, ed eseguendo il calcolo analitico del copriferro minimo, riportato nella tabella che segue, si evince che i copriferri adottati in PE confermano i copriferri già previsti in PD che già ottemperavano alle richieste normative.



**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	17 di 70

Pali Soletta Sup.

fck =	25	32	N/mm <sup>2</sup>
AMBIENTE =	2	2	Aggressivo
Classe di Esposizione =	XC2	XC4	
Cmin =	28	28	N/mm <sup>2</sup>
Co =	40	40	N/mm <sup>2</sup>
VITA NOMINALE =	75	75	anni
Copriferro base =	35	30	mm
Incr. per Resistenza =	5	0	mm
Incr. per Vita Nominale =	5	5	mm
Incr. per Controllo Qualità =	0	0	mm
Copriferro di Calcolo =	45	35	mm
<b>Copriferro di PE =</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>mm</b>

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La definizione del modello geotecnico per il sottosuolo di riferimento è trattata diffusamente nella specifica sezione dedicata all'opera in esame nella "Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica" [I].

I sondaggi di riferimento per stratigrafia e livello di falda presso l'imbocco lato Benevento sono:

- sondaggio S-PE19;
- sondaggio S-PE32;
- sondaggio S-PE33.

Il livello della falda rilevato è ubicato a quota +50m s.l.m. e si presenta, generalmente, ad una distanza di almeno 5 metri al di sotto delle quote del Piano del Ferro.

La situazione stratigrafica individuata dai sondaggi e dalle indagini viene graficamente rappresentata dal Profilo Geologico sotto riportato relativo alla sola tratta oggetto della presente Relazione.

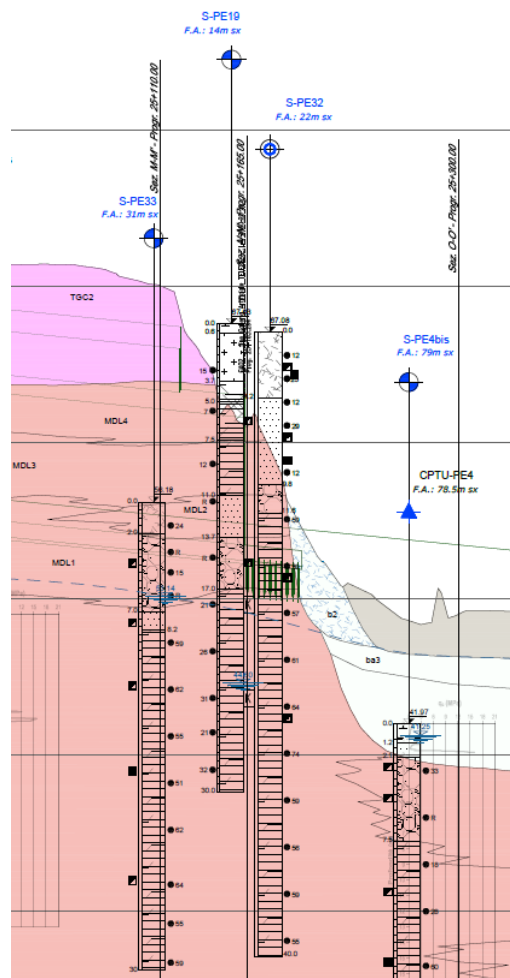


Figura 7: Profilo Geotecnico ricostruito nell'intorno dell'imbocco lato Benevento [IV]

		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0500 002	REV. A	FOGLIO 19 di 70

Si riporta di seguito, la stratigrafia adottata per la definizione delle azioni sulle strutture.

Tabella 3: Stratigrafia di progetto, piazzale FA05

Unità Geotecnica	Descrizione	GEOMETRIA		
		z0	z1	H
(UG)	-	(mslm)	(mslm)	(m)
Ra	<b>Terreno di riporto</b>	var	62	max 0.8
TGC2	<b>Tufo Grigio Campano</b> Cenere sabbioso, sabbioso limosa	62	56.4	5.6
MDL4	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia travertinosa	56.4	52.6	3.8
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	52.6	49.1	3.5
MDL2	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia, sabbia limosa	49.1	46.6	2.5
MDL1	<b>Unità di Maddaloni</b> Ghiaia sabbiosa	46.6	42.6	4
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	42.6	inf	-

#### 4.1 PARAMETRIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Vista la complessa geometria e l'effetto dell'interazione opera struttura da considerare, le analisi sono state sviluppate con il software per le analisi con il metodo agli elementi finiti (FEM) bidimensionale geotecnico PLAXIS versione 2018.

La seguente tabella riassume i parametri di calcolo utilizzati per l'imbocco lato Canello e per la sezione tipo F. La parametrizzazione è stata utilizzata nella modellazione per le analisi 2D FEM con PLAXIS.

Tabella 4: Parametri di calcolo della paratia in pali del piazzale FA05

Unità Geotecnica	Descrizione	PARAMETRI GEOTECNICI					
		Modello	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$E'_{0,50}$	$E'_{ur,50}$
(UG)			(kN/m3)	(°)	(kPa)	(MPa)	(MPa)
Ra	<b>Terreno di riporto</b>	HSM-DR	20	35	0	35	70
TGC2	<b>Tufo Grigio Campano</b> Cenere sabbioso, sabbioso limosa	HSM-DR	17	33	0	35	70
MDL1	<b>Unità di Maddaloni</b> Ghiaia sabbiosa	HSM-DR	20	38	0	120	240
MDL2	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia, sabbia limosa	HSM-DR	20	32	0	60	120
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	HSM-DR	20	24	10	50	150
MDL4	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia travertinosa	HSM-DR	20	34	30	200	600

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0500 002	REV. A	FOGLIO 20 di 70

Si può notare come tutti i depositi sono stati modellati con il modello Hardening Soil Model in condizioni drenate (HSM DR), modello elasto-plastico con diversi moduli di carico e scarico, risposta tenso-deformativa iperbolica e criterio di rottura alla Mohr-Coulomb con superficie che può espandersi a causa della deformazione plastica.

I parametri caratteristici dell'HSM riportati in tabella sono:

$E'_{0,50}$  Modulo elastico per il carico primario di riferimento

$E'_{0,50}$  Modulo di carico-scarico di riferimento

Per ulteriori dettagli, riferirsi al capitolo sulla modellazione geotecnica.

## 4.2 MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

Come già illustrato precedentemente, il sondaggio di riferimento per il livello di falda presso l'imbocco lato Benevento (S-PE33) ha permesso di definire il livello di falda ad una quota pari a +50 m.s.l.m.

Nelle analisi numeriche, il terreno è stato considerato cautelativamente sempre in condizioni drenate. In ogni caso, la falda è situata sempre al di sotto della quota di scavo, pertanto la generazione di sovrappressioni nei depositi coesivi risulta limitata.

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica necessari per la determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato dal D.M. 14 Gennaio 2008 e relativa circolare applicativa.

Il tracciato della Linea Ferroviaria si sviluppa per circa 30km, da ovest verso est, attraversando il territorio di diverse località tra cui Dugenta/Frasso (BN), Amorosi (BN), Telese(BN), Solopaca(BN), San Lorenzo Maggiore(BN), Ponte(BN), Torrecuso(BN), Vitulano (BN) , Benevento – Località Roseto (BN).

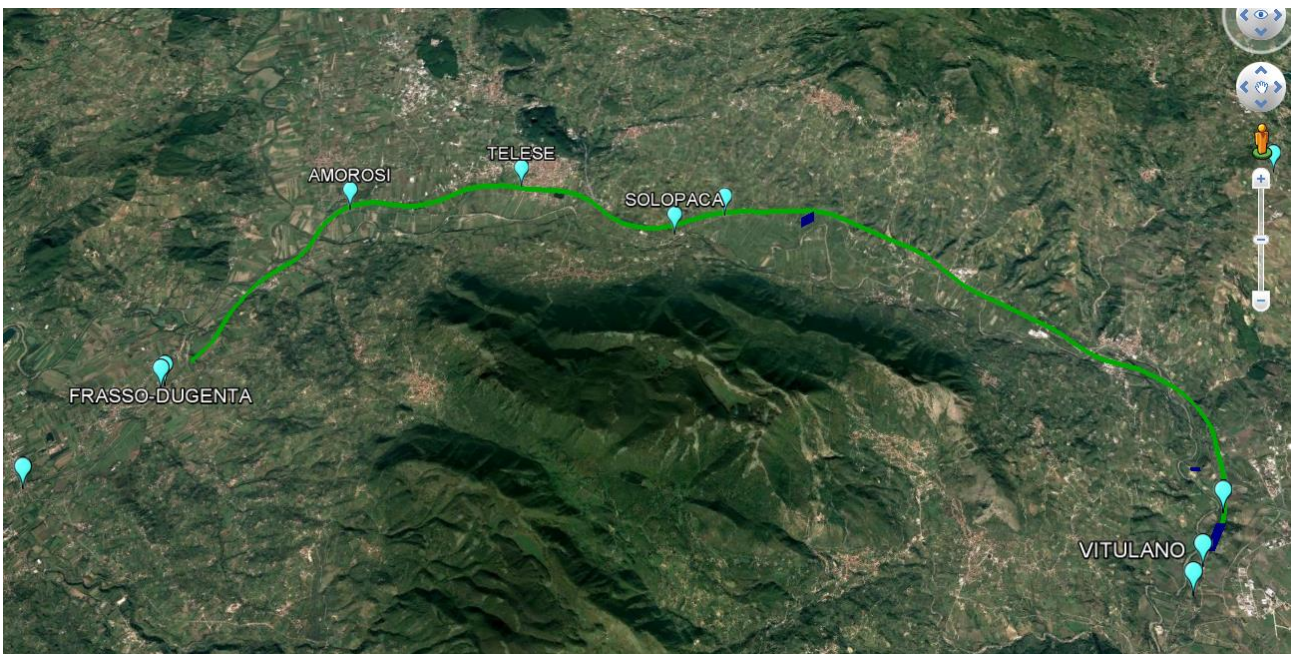


Figura 8: Configurazione planimetrica tracciato.

La Galleria Artificiale Telese, a codice GA02, si sviluppa per circa 3km nei soli territori dei Comuni di Telese e Solopaca (BN). Quest'ultimo è stato assunto quale rappresentativo per la valutazione delle azioni sismiche di progetto anche per il piazzale FA05.

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $VN = 75$  anni propria della Categoria 2 "Altre opere nuove a velocità  $V < 250$  km/h".

Per la definizione della Classe d'Uso si assume l' opera appartenente alla Classe III a cui, per lo Stato Limite di Vita (SLV) è associato un coefficiente d'uso pari a  $C_u = 1,50$ .

Il prodotto dei due parametri precedenti danno luogo, come noto, al Periodo di Riferimento:

$$V_r = 1,50 * 75 = 112,50 \text{ anni}$$

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	22 di 70

La Categoria di Sottosuolo è valutata secondo le prescrizioni di cui e al punto 3.2.2 del DM 14.01.08.  
Dal documento si evince che l'opera in esame appartiene al

### Sottosuolo Tipo 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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Figura 9: Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$ .

Per la Topografia si assume

### Classe Topografica T1

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Figura 10: Categorie Topografiche.

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

Figura 11: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ .

		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0500 002	REV. A	FOGLIO 23 di 70

I prospetti che seguono inseriscono le scelte su definite nel complesso normativo proprio della NTC08:

Stato Limite	Pvr	Classe d'Uso	Cu	Note NTC08
	%			
SLO	81	1	0,70	Presenza Occasionale di Persone
SLD	63	2	1,00	Normale affollamento
SLV	10	<b>3</b>	<b>1,50</b>	Affollamenti significativi
SLC	5	4	2,00	Reti Viarie di Tipo A e B DM 5.11.2001

Opera	Vita Nom.	CLASSI D'USO			
		1	2	3	4
	Vn				
Provvisoria	<=10	35	35	35	35
Ordinaria	>=50	35	50	<b>75</b>	100
Grande Opera	>=100	70	100	150	200

e riepilogando si assume:

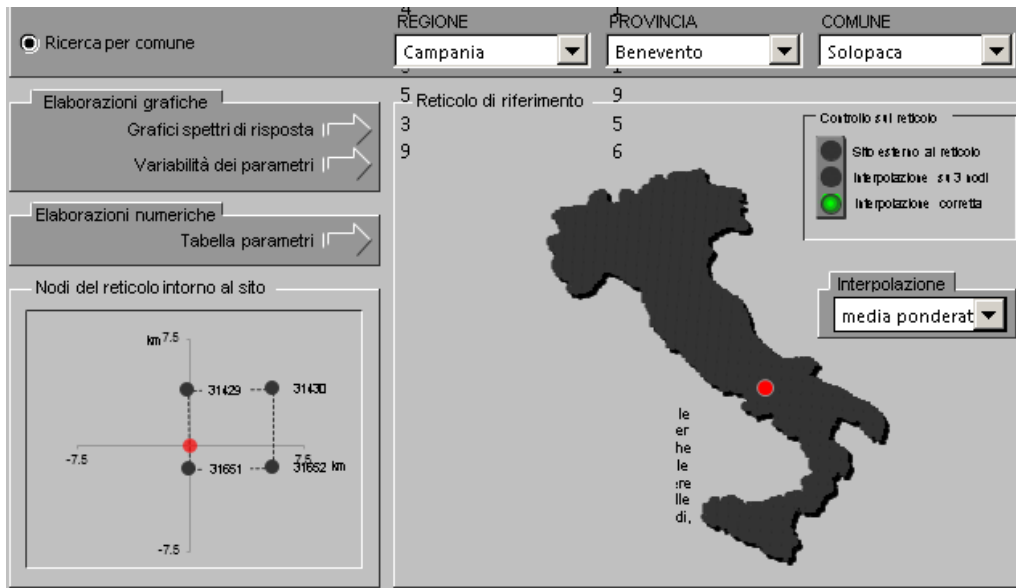
Stato Limite	Pvr	Vn	Cl. d'uso	Cu	Vr = Vn * Cu
	%	anni			anni
<b>SLV</b>	<b>10</b>	<b>75</b>	<b>3</b>	<b>1,50</b>	<b>112,50</b>

La figura che segue mostra le accelerazioni spettrali ed i relativi parametri di governo della località:

**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	24 di 70



SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0.088	2.368	0.316
SLD	113	0.113	2.377	0.331
SLV	1068	0.322	2.346	0.401
SLC	2193	0.419	2.430	0.425

Figura 12: Tabella Parametri Sismici @ Solopaca (BN)



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0500 002	REV. A	FOGLIO 25 di 70

## 6 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

Il comportamento del sistema opera-terreno è stato analizzato nelle diverse fasi costruttive fino alla configurazione finale. Le analisi sono mirate alla previsione del comportamento deformativo nell'intorno dello scavo e dei carichi attesi sull'opera di sostegno, così come ad una valutazione attendibile degli spostamenti orizzontali della paratia e degli effetti indotti al piano campagna.

Le analisi numeriche sono state condotte con il software geotecnico per la modellazione bidimensionale ad elementi finiti PLAXIS versione 2018.

Tale programma consente di studiare problemi di ingegneria geotecnica piani o assialsimmetrici, riproducendo l'esatta storia di carico del terreno e fornendo al termine di ogni fase di carico il quadro tenso-deformativo nell'ammasso e negli elementi di sostegno. In particolare il terreno può essere discretizzato attraverso una maglia costituita da elementi triangolari connessi in corrispondenza dei nodi perimetrali (possono essere utilizzati elementi a 6 o a 15 nodi). I modelli di comportamento applicabili nella descrizione del suolo possono essere sia di tipo elastico che di tipo elasto-plastico ed è possibile riprodurre le varie fasi di scavo attivando o disattivando gli elementi del modello interessati.

La schematizzazione impiegata utilizza elementi triangolari a 15 nodi per modellare gli strati di terreno ed elementi "plate" o "beam" a 5 nodi per modellare le strutture. Il triangolo a 15 nodi fornisce un'interpolazione del quarto ordine e l'integrazione numerica adopera dodici punti di Gauss, mentre gli elementi "beam" si basano sulla teoria della trave di Mindlin che tiene conto dell'influenza sulla deformabilità dovuta sia alle sollecitazioni taglianti che a quelle flettenti.

### 6.1 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Gli elementi strutturali sono stati modellati utilizzando differenti tipologie di elementi strutturali previste dal software per analisi FEM in funzione delle peculiarità :

- Elementi "plate" per paratie, travi, muri, solette e platee di fondazione;

#### 6.1.1 PARATIA

La paratia di pali discontinua è stata modellata con elementi di tipo "plate" a cui sono state assegnate le caratteristiche di un diaframma equivalente con inerzia pari a quella dei pali in calcestruzzo divisa per il proprio interasse:

$$EJ_{paratia} = \frac{E_c \cdot J_p}{s_p}$$

Lo spessore del diaframma equivalente è quindi:

$$d_{eq} = \sqrt[3]{\frac{12}{EJ_{paratia}}}$$

con:

- $E_c$  = modulo elastico del calcestruzzo;
- $A_p$  = area del palo;
- $J_p$  = inerzia del palo;
- $s_p$  = interasse fra i pali;
- $d_{eq}$  = diametro del diaframma equivalente.

L'elemento avrà quindi rigidezza assiale pari a:

$$EA_{paratia} = E_c \cdot d_{eq}$$

### 6.1.2 SOLETTE E TRAVI DI FONDAZIONE

Travi, muri, platea di fondazione e soletta superiore sono stati modellati come elementi "plate" (teoria della trave) caratterizzati da rigidezza assiale EA, rigidezza flessionale EJ, peso proprio e coefficiente di Poisson  $\nu$ .

$$EA = E_c \cdot h_b$$

$$EJ = E_c \cdot \frac{h_b^3}{12}$$

### 6.2 MODELLAZIONE GEOTECNICA

Il modello costitutivo utilizzato per simulare il comportamento del materiale è l'Hardening Soil Model (HSM) con il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, un modello elasto-plastico con un criterio di rottura multi-superficie che governa lo sviluppo delle deformazioni plastiche. La superficie si espande a causa della deformazione plastica, con una legge di flusso ipotizzata associata.

L'HSM ha un comportamento secondo cui la rigidezza è funzione dello stato tensionale e cambia in caso di cicli di carico-scarico con una relazione iperbolica sul piano delle tensioni in funzione delle deformazioni.

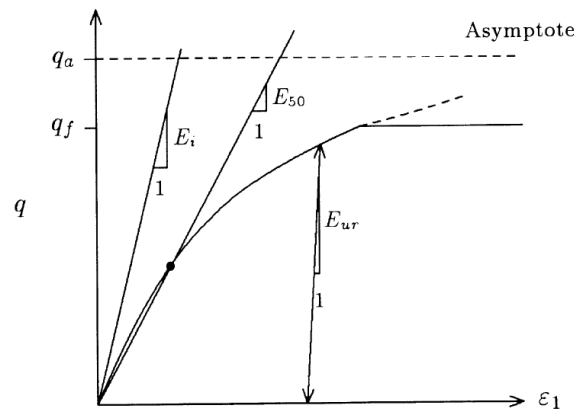


Figura 13: Risposta tenso-deformativa di un materiale modellato con HSM sottoposto di cicli di carico-scarico (Rif [16])

Il modulo elastico per il carico primario  $E_{50}$  è funzione del modulo elastico in condizioni di riferimento  $E_{50}^{ref}$  (la tensione di riferimento considerata è  $\sigma^{ref}=100\text{kPa}$ ), dalla coesione  $c'$ , dall'angolo di attrito  $\phi'$  e anche dalla tensione minima  $\sigma_3$ , mentre la dipendenza dalla tensione è definita dal parametro  $m$ , considerato pari a 0.5, valore cautelativo sia per le sabbie (range 0.5-0.8) sia per le argille (range 0.8-1), come illustrato in dettaglio in Rif. [18] Rif. [19] :

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>27 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	27 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	27 di 70								

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \cdot \left( \frac{\sigma_3 + c' \cot \varphi}{\sigma^{ref} + c' \cot \varphi} \right)^m$$

In caso di fasi di carico-scarico, il modulo di riferimento di carico-scarico sarà:

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \cdot \left( \frac{\sigma_3 + c' \cot \varphi}{\sigma^{ref} + c' \cot \varphi} \right)^m$$

Il rapporto tra moduli elastici di carico e scarico  $E_{50} / E_{ur}$  è stato stimato con un valore cautelativo sia per le sabbie/ghiaie (range di possibile variazione 3-5), sia per le argille (range di possibile variazione 2-3), come illustrato in dettaglio in Rif. [18] Rif. [19].

Il modulo elastico a piccole deformazioni è stato utilizzato come  $E_{50}^{ref}$ , considerando  $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$ , ipotesi riconosciuta come realistica in assenza di evidenze da prove edometriche in sito.

L'interazione terreno-struttura è stata modellata utilizzando degli elementi "interfaccia" applicati alle stesse strutture.

In condizione statica, la rugosità tra le superfici a contatto è simulata attraverso un valore di riduzione della resistenza ( $R_{inter}$ ), assunto pari a 0.6, equivalente a considerare un angolo di attrito al contatto pari a 2/3 dell'angolo di attrito del terreno:

$$\delta = 0.6 \varphi'$$

### 6.3 MODELLAZIONE SISMICA

Considerando che le strutture in esame sono assimilabili a strutture flessibili, la forza dovuta alla spinta dinamica del terreno soggetta a moto sismico è stata valutata con il metodo pseudo-statico secondo la teoria di Mononobe e Okabe (Rif. [21] e Rif. [22]).

Per la simulazione degli effetti dell'azione sismica sulle masse inerziali si fa riferimento al metodo pseudostatico secondo quanto previsto dalla normativa vigente, applicando cioè alle masse ed ai carichi fissi e variabili eventualmente presenti, due azioni statiche equivalenti proporzionali al peso, ovvero all'intensità del carico secondo quanto di seguito indicato:

$$\begin{aligned} F_h &= k_h \cdot W && \text{azione sismica orizzontale} \\ F_v &= k_v \cdot W && \text{azione sismica verticale} \end{aligned}$$

con:

W : Peso della massa coinvolta / intensità del carico permanente

$K_h$  : coefficiente sismico orizzontale

$K_v$  : coefficiente sismico verticale

Per le opere di sostegno, i coefficienti sismici  $K_h$  e  $K_v$  sono in particolare definiti al punto 7.11.6.3.1 del DM 14.01.08 (Rif. [1]), risultando in particolare:

$$\begin{aligned} K_h &= \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max} / g) \\ K_v &= \pm 0,5 \cdot K_h \end{aligned}$$

dove:

- $\beta$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti ( $u_s$ ) senza cadute di resistenza.
- $\alpha$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera, ricavabile dall' abaco riportato di seguito, in funzione dell'altezza complessiva dell'opera  $H$  e del tipo di sottosuolo.

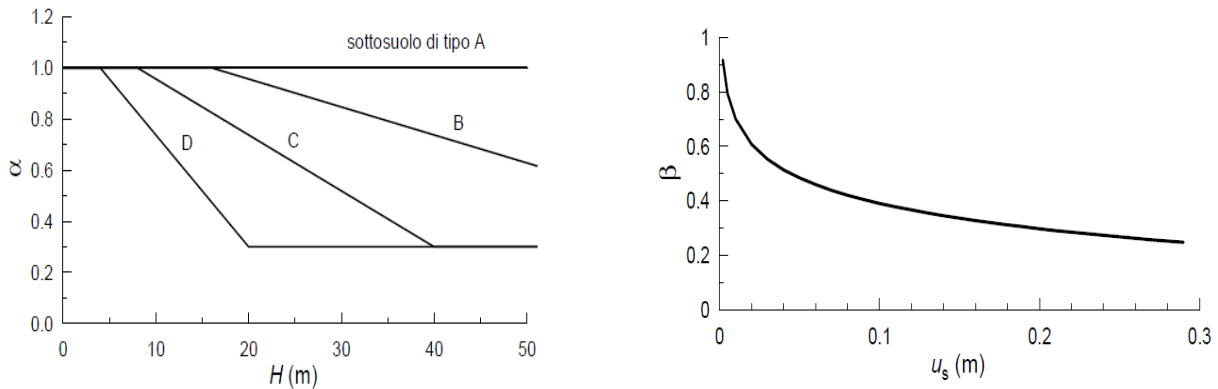


Figura 14: Diagrammi per la valutazione dei coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  inclusi nelle NTC 2008 (Rif. [1] )

La spinta secondo la teoria di Mononobe-Okabe è stata applicata con l'approccio consigliato dall'EC8-5 (Rif. [16] ), seguendo la procedura qui descritta:

- Calcolo della spinta attiva in condizioni sismiche  $P_{AE}$  con le equazioni di Mononobe-Okabe, ovvero la reazione della paratia, uguale in modulo alla spinta attiva pseudostatica nella condizione critica.

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 \pm k_v) K_{AE}$$

in cui  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume del terreno,  $K_{AE}$  è il coefficiente di spinta attiva del terreno in condizioni sismiche e  $k_v$  è il coefficiente sismico verticale.

L'espressione analitica di  $K_{AE}$  è la seguente:

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\psi + \phi' - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

in cui:

- $\beta$ : inclinazione della superficie limite del terrapieno
- $\psi$  inclinazione del paramento interno rispetto all'orizzontale
- $H$  altezza libera della paratia,
- $\phi'$  angolo di resistenza al taglio del terreno
- $\delta$  angolo di attrito struttura-terreno lungo il paramento, imposto pari a zero

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI  RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>29 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	29 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	29 di 70								

- W peso del cuneo di terreno,
- $\theta$  Inclinazione rispetto alla verticale della risultante delle forze di volume agenti sul cuneo di rottura dovute alla gravità ed alle forze pseudo-statiche nelle direzioni orizzontale e verticale

$$\theta = \arctg\left(\frac{k_H}{1 \pm k_V}\right)$$

- Valutazione della spinta attiva in condizioni statiche  $P_{AS}$  per  $\theta=0$
- Valutazione dell'incremento di spinta  $\Delta P_{AE}$  con la seguente relazione:

$$\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_{AS}$$

che può essere stimata con la teoria di Seed e Whitman (Rif. [23] ) come:

$$\Delta P_{AE} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \left(\frac{3}{4} k_h\right) = \frac{3}{8} \cdot k_h \cdot \gamma \cdot H^2$$

Studi teorici e indagini sperimentali su modelli hanno confermato che il punto di applicazione della spinta è ubicato ad una quota compresa nell'intervallo 0.4÷0.6 H a partire dalla base della struttura. L'EC8 propone l'applicazione della spinta a 0.5 H, equivalente all'applicazione di un carico uniformemente distribuito sul tratto fuori-terra della paratia pari a:

$$\Delta q_{AE} = \Delta P_{AE} / H$$

Tale azione è applicata al solo tratto "scoperto" o "fuori terra" della paratia.

La spinta totale di progetto in fase sismica  $E_d$  calcolata dal programma ed agente sull'opera di sostegno è data dalla somma della spinta statica precedentemente determinata, dall'incremento di spinta sismico, dalla spinta statica data dall'eventuale sovraccarico accidentale combinata al 20% così come riportato nella Tabella 5.2.V delle NTC2008, e dall'azione inerziale delle masse strutturali applicata nei rispettivi baricentri (per motivi di praticità di calcolo e senza pregiudizio di sicurezza si trascura l'azione inerziale dei pali).

$$E_d = S_{stat} + 0,20 \cdot S_q + \Delta S_s$$

In accordo alle NTC 08, nel caso delle paratie l'accelerazione verticale può essere trascurata.

In condizione sismica, l'interazione terreno-struttura è stata modellata utilizzando degli elementi "interfaccia" applicati alle stesse strutture.

La rugosità tra le superfici a contatto è simulata attraverso un valore di riduzione della resistenza ( $R_{inter}$ ), assunto pari a 0, equivalente a considerare un completo scorrimento al contatto paratia/terreno:

$$\delta / \varphi' = 0$$

#### Applicazione al piazzale FA05

Nel caso del piazzale FA05, i calcoli sono stati eseguiti utilizzando i seguenti coefficienti sismici legati a geometria e spostamenti ammissibili:

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	30 di 70

$H_p =$	25 m	altezza totale della paratia
$\alpha (H_p=25m) =$	0,60	coefficiente di deformabilità
$\beta (u_s=0.03m) =$	0,60	coefficiente di spostamento

Nel caso in esame, per quanto detto al capitolo delle azioni sismiche, il coefficiente sismico orizzontale sarà:

$$K_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max} / g) = \alpha \cdot \beta \cdot S \cdot a_g/g = 0,60 \cdot 0,60 \cdot 1,247 \cdot 0,322 = 0,145$$

Per la Sezione di calcolo tipo FA05, il calcolo della spinta applicata alla paratia, secondo la teoria di Seed e Whitman (Rif. [23] ), risulta essere:

$$\Delta P_{AE} = \frac{3}{8} \cdot k_h \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{3}{8} \cdot 0,145 \cdot 20 \cdot 11,12^2 = 134 kN$$

da cui si ricava il carico sismico:

$$\Delta q_{AE} = \frac{\Delta P_{AE}}{H} = \frac{134}{11,12} = 12,1 \text{ kN/m}$$

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>31 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	31 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	31 di 70								

## 7 ANALISI DEI CARICHI

### 7.1 G1: PESI PROPRI

I pesi propri considerati nell'analisi della paratia sono stati inseriti nella modellazione con PLAXIS attraverso il peso lineare degli elementi "plate", riassunti nell'apposito paragrafo riportato in ogni sezione di calcolo.

### 7.2 G2: SPINTA DELLE TERRE

La spinta delle terre è calcolata in modo automatico e viene generata nell'ambito della modellazione geotecnica ad elementi finiti tramite il calcolo dello stato tenso-deformativo nel terreno e dall'interazione struttura terreno in funzione della fasistica di realizzazione delle opere e dello scavo.

Alle sollecitazioni così calcolate verranno applicati i coefficienti di combinazione propri delle spinte delle terre.

### 7.3 Q1: SOVRACCARICHI MOBILI

Il sovraccarico accidentale a tergo dei pali dovuto al passaggio dei mezzi di cantieri nelle fasi provvisorie è stato posto pari a:

$$Q1\_a = 20 \text{ kN/m}^2$$

e produce un incremento di spinta sulle pareti alle cui sollecitazioni verranno applicati i coefficienti di combinazione proprio delle spinte delle terre.

### 7.4 E1: CEDIMENTI VINCOLARI

La simulazione con il Software Plaxis delle fasi costruttive e del rinterro dell'Opera fornisce implicitamente la soluzione delle reazioni iperstatiche che si destano in funzione delle asimmetrie geometriche e di carico. La natura dei terreni, inoltre, non mostra avere significativi comportamenti viscosi tali da far temere incrementi di sollecitazione nel tempo.

### 7.5 ALTRE AZIONI

Non si applicano altre azioni all'opera in oggetto. In particolare le azioni termiche, escluse anche in PD, sono assunte ininfluenti per la risposta statica dell'opera.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>32 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	32 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	32 di 70								

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini della determinazione delle sollecitazioni di verifica, le azioni nominali descritte al precedente paragrafo, vanno combinate nei vari Stati Limite di verifica previsti (SLE, SLU, SIS) in accordo a quanto previsto al punto 2.5.3 delle NTC08:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

Alle matrici dei coefficienti di combinazione si affiancano i fattori parziali di sicurezza da applicare ai parametri geotecnici del terreno che, come da Normativa, possono seguire due Approcci:

### Approccio 1:

Fase Statica: A1+M1+R1      Combinazioni per le verifiche STR  
A2+M2+R1 (R2)      Combinazioni per le verifiche GEO (R2 =1.1 per la stabilità globale, Tab 6.8.I)

Fase Sismica: A1+M1+R1      EQK-STR – Combinazioni per verifiche STR in fase sismica (A1=1)

### Approccio 2:

Fase Statica: A1+M1+R3      Combinazioni per le verifiche STR e GEO

Fase Sismica: A1+M1+R3      EQK-STR – Comb. per le verifiche STR in fase sismica

Le Tabelle seguenti definiscono i valori dei coefficienti da adottare:

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

Figura 15: Tabella 6.2.I



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	33 di 70

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Figura 16: Tabella 6.2.II

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Figura 17: Tabella 6.5.I

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

Figura 18: Tabella 6.8.I

Per il dimensionamento della paratia è stato applicato l'Approccio 1:

Fase Statica: A1+M1+R1 Combinazioni per le verifiche STR  
A2+M2+R1 (R2) Combinazioni per le verifiche GEO (R2=1.1 per la stabilità globale, Tab 6.8.I)

Fase Sismica: A1+M1+R1 EQK-STR – Combinazioni per verifiche STR in fase sismica (A1=1)

Come riportato nel paragrafo 6.5.3.1.2 delle NTC 2008, per le paratie si devono considerare i seguenti stati limite ultimi (SLU):

- SLU di tipo strutturale (STR)
  - Resistenza strutturale della paratia (pressoflessione e taglio);
- SLU di tipo geotecnico (GEO) per le opere provvisoriali
  - collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
  - collasso per carico limite verticale;
  - stabilità globale dell'insieme terreno-opera

Gli altri stati limite analizzati sono:

- SLE → fessurazione, tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio, valutazione degli spostamenti della paratia e dei cedimenti in superficie.
- EQK → resistenza strutturale (pressoflessione e taglio) e spostamenti in caso sismico

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	34 di 70

Le verifiche strutturali sono state effettuate mediante l'Approccio 1 Combinazione 1: A1+M1+R1, assumendo i parametri geotecnici con il loro valore caratteristico, si incrementano del 30% i carichi permanenti strutturali, o permanenti non strutturali (portati) che risultino compiutamente definiti, e del 50% i carichi variabili; in accordo a quanto indicato nelle Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008 nel paragrafo C6.5.3.1.2 con tale combinazione di carico si procede alle verifiche degli SLU di tipo strutturale (STR).

Le verifiche geotecniche sono state effettuate mediante l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R1. I parametri geotecnici caratteristici vengono ridotti applicando i coefficienti  $\gamma_M$ , i carichi permanenti strutturali (o permanenti portati compiutamente definiti) vengono assunti con il loro valore caratteristico, mentre i carichi variabili vengono incrementati del 30% alle verifiche degli SLU di tipo geotecnici (GEO)..

La verifica geotecnica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è stata effettuata mediante l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R2. I parametri geotecnici caratteristici vengono ridotti applicando i coefficienti  $\gamma_M$ , i carichi permanenti strutturali (o permanenti portati compiutamente definiti) vengono assunti con il loro valore caratteristico, mentre i carichi variabili vengono incrementati del 30%, mentre il coefficiente parziale per la verifica di sicurezza R2 deve essere maggiore di 1.1 (Tabella 6.8.I).

Per le verifiche SLE e EQK, sia i parametri geotecnici che le azioni (carichi permanenti e variabili) sono assunti con i loro valori caratteristici.

## 9 VERIFICHE STRUTTURALI

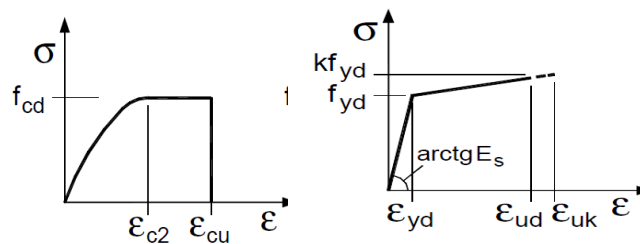
I criteri generali di verifica utilizzati per la valutazione delle capacità resistenti delle sezioni, per la condizione SLU, e per le massime tensioni nei materiali nonché per il controllo della fessurazione, relativamente agli SLE, sono quelli definiti al p.to 4.1.2 del DM 14.01.08.

### 9.1 VERIFICHE SLU

La verifica agli Stai Limite Ultimi per presso-flessione viene condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica, secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabola-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione del 2‰ e rottura al 3.5‰, ( $\sigma_{max} = 0.85 \times f_{ck} / 1.5$ );
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elasto-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura al 7.5‰, ( $\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$ )



Legami costitutivi Calcestruzzo – Acciaio.

La verifica a taglio viene sempre eseguita secondo il seguente percorso.

Verifica della richiesta di armatura

$$V_{rd,c} = [0.18 * k * (100 \rho * f_{ck})^{1/3} / \gamma + 0.15 \sigma_{cp}] * b_w * d$$

$$k = 1 + \text{rad}q(200/d)$$

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

$$V_{rd,min} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	36 di 70

Verifica Biella Compresa

$$V_{rcd} = \alpha_{cw} * v1 * f_{cd} * [ctg(\alpha) + ctg(\theta)] / [1 + ctg^2(\theta)] * bw * 0.9 * d$$

$$1.0 \leq ctg(\theta) \leq 2.5 \quad \alpha = 90^\circ$$

$\alpha_{cw}$	$\sigma_{cp}$
1.000	$\sigma_{cp} \leq 0.00 * f_{cd}$
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	$0.00 * f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0.25 * f_{cd}$
1.25	$0.25 * f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0.50 * f_{cd}$
$2.50 * (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	$0.50 * f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1.00 * f_{cd}$

$$v1 = 0.500$$

Verifica Armatura Trasversale

$$V_{rsd} = 0.9 * d * A_{sw}/s * f_{ywd} * [ctg(\alpha) + ctg(\theta)] * \sin(\alpha)$$

$$V_{rd} = \min(V_{rcd}, V_{rsd}) \geq V_{sd}$$

Assumendo  $ctg(\theta) = 1.0$  non si esegue verifica di fessurazione per taglio.

Per le sezioni circolari le verifiche a taglio vengono svolte adottando:

$$bw = \Phi / 2 * \sqrt{\pi}$$

$$d = (\Phi - 2c) * (1/2 + 1/\pi)$$

Verifiche a Torsione

$$T_{rcd} = 2 * v1 * f_{cd} * A * t * ctg(\theta) / [1 + ctg^2(\theta)]$$

$$v1 = 0.500$$

$$t = A_c/u \text{ per sezioni piene}$$

$$T_{rsd} = 2 * A * A_{sw}/s * f_{yd} * ctg(\theta) \quad \text{per le staffe}$$

$$T_{rld} = 2 * A * \Sigma A_l/u * f_{yd} / ctg(\theta) \quad \text{per le arm. longitudinali}$$

$$T_{sd} / T_{rcd} + V_{sd}/V_{rcd} \leq 1$$

**L'angolo  $\theta$  è stato ipotizzato sempre pari a  $45^\circ$  ( $ctg \theta = 1$ ).**

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">FA0500 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">37 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	37 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	37 di 70								

## 9.2 VERIFICHE SLE

I criteri di verifica agli Stati Limite di Esercizio sono i seguenti:

Combinazione		Pali	Soletta Inf.	Soletta Sup.	
	fck	25	30	32	N/mm <sup>2</sup>
	Classe di Esp.	XC2	XA1	XC4	2
CARATTERISTICHE	sigma_b =	0.55	0.55	0.55	* fck
	sigma_b =	-13.75	-16.50	-17.60	N/mm <sup>2</sup>
	w =	0.200	0.200	0.200	mm
FREQUENTI	w =	NA	NA	NA	mm
QUASI PERM.	sigma_b =	0.40	0.40	0.40	* fck
	sigma_b =	-10.00	-12.00	-12.80	N/mm <sup>2</sup>
	w =	0.200	0.200	0.200	mm
FORM. FESS.	sigma_b =	NA	NA	NA	N/mm <sup>2</sup>

I valori riportati in Tabella sono stabiliti nel documento RFI DTC SICS MA IFS 001 A – 2.5.1.8.3.2.4 (*Manuale di progettazione delle opere civili del 30/12/2016*).

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

Figura 19: 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

$$w_1 = 0.200 \text{ mm}$$

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.

L'approccio adottato, in conclusione, riporta la verifica a fessurazione propria delle condizioni frequenti alla condizione caratteristica, facendo mancare, quindi, la necessità di analizzare le stesse condizioni frequenti.

L'analisi delle condizioni permanenti rimane immutato, salvo maggior penalizzazione del limite di apertura.

Analogamente per le armature si impone:

Combinazioni		B450C	
	$f_{yk} =$	450	N/mm <sup>2</sup>
CARATTERISTICHE	$\sigma_{sr} = 0.75 * f_{yk} =$	337.5	N/mm <sup>2</sup>

Il calcolo dell'apertura della fessura è stato condotto con le relazioni:

$$W_k = S_{r,max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

$$S_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi_{eq} / \rho_{p,eff}$$

In cui:

$$k_3 = 3.400$$

$$c = 40 \text{ mm}$$

ricoprimento dell'armatura;

$$k_1 = 0.800$$

barre ad aderenza migliorata

$$k_2 = 0.500$$

distribuzione delle deformazioni per flessione

$$k_4 = 0.425$$

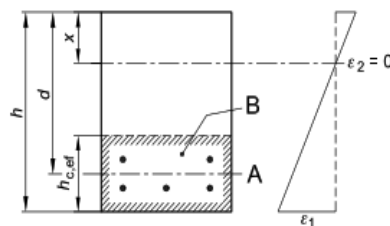
$$\phi_{eq} = \frac{\sum n_i * \phi_i^2}{\sum n_i * \phi_i}$$

diametro equivalente barre in zona tesa

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,ef}$$

Area efficace di calcestruzzo intorno all'armatura tesa

- A Livello del baricentro dell'acciaio
- B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$



$$h_{c,ef} = \min [ 2.5 * (h-d) ; (h-x)/3 ; h/2 ]$$

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	39 di 70

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) * E_s = \sigma_s - K_t * f_{ct,eff} / \rho_{p,eff} * (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff}) \geq 0.6 * \sigma_s$$

$K_t = 0.40$  per carichi di lunga durata

$K_t = 0.60$  per carichi di breve durata

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

$\sigma_s$  = tensione nell'armatura tesa in sezione fessurata

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} / 1.2$$

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>40 di 70</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	40 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	40 di 70								

## 10 VERIFICHE GEOTECNICHE

I criteri generali di verifica utilizzati per la valutazione delle capacità resistenti delle sezioni, per la condizione SLU, e per le massime tensioni nei materiali nonché per il controllo della fessurazione, relativamente agli SLE, sono quelli definiti al p.to 4.1.2 del DM 14.01.08.

### 10.1 VERIFICHE SULLA PARATIA

#### 10.1.1 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DELL'INSIEME OPERA TERRENO

La verifica di stabilità globale dell'insieme opera terreno è stata verificata tramite l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R2 applicato al modello PLAXIS 2D in fase finale, come prescritto dalla normativa per la stabilità globale di una paratia.

Il fattore di sicurezza disponibile è stato indagato tramite l'applicazione del metodo "Phi/c reduction". La Phi-c reduction (Riduzione dei parametri di resistenza) è un'opzione disponibile in PLAXIS per calcolare fattori di sicurezza.

Nell'approccio Phi-c reduction, i parametri di resistenza  $\tan\phi'$  e  $c'$  del terreno vengono ridotti fin quando avviene la rottura della struttura, così come la resistenza delle interfacce, se utilizzata, è ridotta nello stesso modo, mentre invece la resistenza di oggetti strutturali come paratie, platee e ancoraggi non è influenzata dalla procedura Phi-c reduction.

Il moltiplicatore totale  $\Sigma M_{sf}$  è utilizzato per definire il fattore di sicurezza ad un determinato step dell'analisi:

$$\Sigma M_{sf} = \frac{\tan\phi'_{input}}{\tan\phi'_{reduced}} = \frac{c'_{input}}{c'_{reduced}}$$

dove i parametri di resistenza con il pedice 'input' si riferiscono alle proprietà del materiale introdotte ed i parametri con il pedice 'reduced' si riferiscono ai valori ridotti utilizzati nell'analisi.

Quando la procedura viene iniziata, i valori di  $\tan\phi'$  e  $c'$  sono pari a quelli di input ( $\Sigma M_{sf} = 1$ ); ad ogni step di calcolo, il valore di  $\Sigma M_{sf}$  viene via via aumentato e quindi il valore dei parametri di resistenza viene ridotto fino ad ottenere il collasso della struttura.

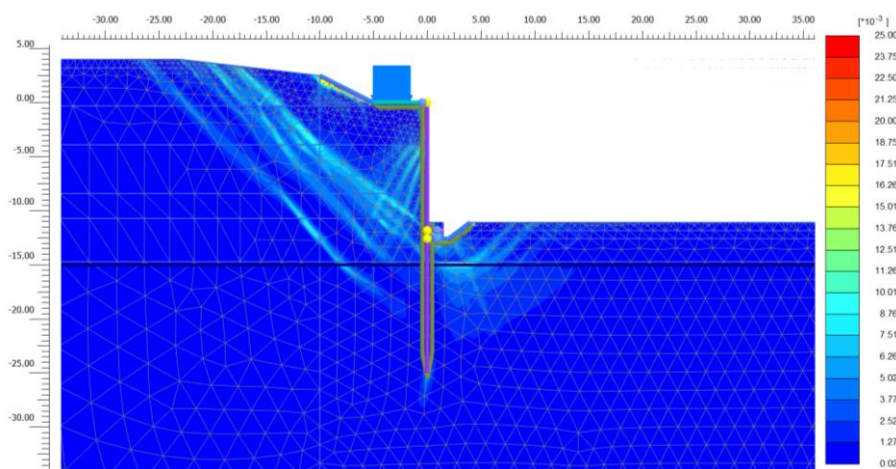


Figura 20: Esempio di risultato finale della procedura phi/c reduction, deformazione di taglio  $\gamma_s$  dopo l'analisi



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">FA0500 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">41 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	41 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	41 di 70								

Nell'ultimo step di calcolo il valore il  $\Sigma M_{sf}$  sarà quindi il rapporto tra la resistenza disponibile prima del lancio dell'analisi e la resistenza in caso di collasso, quindi:

$$\Sigma M_{sf,finale} = FS = \frac{\text{Resistenza iniziale}}{\text{Resistenza al collasso}}$$

Il valore di  $\Sigma M_{sf}$  a rottura ottenuto alla fine della procedura "c-phi reduction" ha una definizione del coefficiente di sicurezza del tutto confrontabile con la definizione che si adopera convenzionalmente nei calcoli eseguiti con i metodi dell'equilibrio limite globale e nelle NTC 2008 per la verifica di stabilità globale.

### 10.1.2 VERIFICA GEOTECNICA DI COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA

La stabilità dell'opera geotecnica nei confronti del collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera è indagata mediante l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R1 applicato al modello PLAXIS 2D in fase finale.

I parametri geotecnici caratteristici vengono ridotti applicando i coefficienti  $\gamma_M$ , i carichi permanenti strutturali (o permanenti portati compiutamente definiti) vengono assunti con il loro valore caratteristico, mentre i carichi variabili vengono incrementati del 30% alle verifiche degli SLU di tipo geotecnici (GEO).

La convergenza raggiunta dal software PLAXIS 2D all'applicazione dell'approccio progettuale Approccio 1 Combinazione 2 assicura l'equilibrio dell'opera nei confronti del collasso per rotazione.

## 10.2 CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI

In questo paragrafo si tratterà la capacità dei pali di trasferire i carichi verticali al terreno di fondazione.

Il valore di progetto  $N_{rd}$  della portanza del palo isolato si ottiene a partire dal valore caratteristico  $N_{rk}$  ridotto dai coefficienti parziali  $\gamma_R$  secondo il dettato della Tabella 6.4.II. della Norma NTC\_2008:

**Tabella 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Pertanto, per i pali dell'Opera in esame, la verifica si svolge come segue:

$$N_{sd} \leq N_{rd} = N_{rk} / \gamma_R$$

dove:

$N_{sd}$  carico assiale sollecitante di progetto allo Stato Limite Ultimo

$N_{rd}$  capacità portante di progetto allo SLU ultimo definita riducendo il valore caratteristico  $N_{rk}$  con coefficienti di sicurezza parziali funzioni della tecnologia di esecuzione

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	42 di 70

$N_{rk}$  valore caratteristico della capacità portante

Il rettangolo rosso definisce la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza eseguita, coerente con le assunzioni operate in sede di Progetto Definitivo, che adotta l'Approccio 2 al tema.

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedono l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza a compressione  $R_{c,k}$  (o a trazione  $R_{t,k}$ ) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{c,cal}$  (o  $R_{t,cal}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella Tabella 6.4.IV della citata Norma, in funzione del numero "n" di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**Tabella 6.4.IV** – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nell'ambito del sistema di fondazione scelto, a favore di sicurezza, si considerano significative **5** (cinque) verticali di indagine.

La portata totale limite  $Q_{LIM}$  viene valutata sommando i contributi della portanza alla base del palo e la portanza della sua superficie laterale, valutate con le seguenti espressioni:

$$Q_{LIM} = Q_{B,LIM} + Q_{L,LIM}$$

$$Q_{L,LIM} = \pi * \beta * D * \sum_i (\tau_{lim,i} * H_i)$$

$$Q_{B,LIM} = \pi * D^2 / 4 * q_{bcr}$$

dove  $Q_{B,LIM}$  = portata limite alla base

$Q_{L,LIM}$  = portata limite alla superficie laterale

D = diametro del palo

$H_i$  = spessore dello strato i-esimo

$\beta$  = 240/360=0.667 porzione della superficie laterale considerata

Le grandezze meccaniche che caratterizzano gli strati di terreno incontrati lungo lo sviluppo del palo assumono, in condizioni drenate, le seguenti espressioni.

#### Portanza Laterale

La adesione laterale limite  $\tau_{lim,i}$  per terreni granulari viene valutata con l'espressione:

**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	43 di 70

$$\tau_{lim,i} = K_s * \sigma_v' * \tan \delta < 100 \text{ kPa}$$

dove  $\sigma_v'$  = tensione verticale efficace

$K_s$  = coefficiente di spinta orizzontale assunto pari a  $K_o = 1 - \sin(\phi')$

$\delta$  = angolo di attrito palo-terreno pari a  $\delta/\phi' = 1.00$

La portata di base critica  $q_{bcr}$ , per terreni granulari, viene valutata con l'espressione:

$$q_{bcr} = N_c * c + N_q * \sigma_v'$$

dove  $N_c = (N_q - 1) / \tan(\phi')$

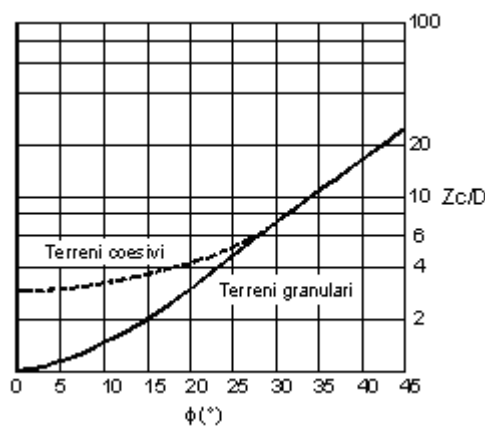
$c$  = coesione drenata

$\sigma_v'$  = tensione verticale efficace

$N_q$  = coefficiente di capacità portante secondo Berezantzev funzione di  $\phi$

$\phi$	0	18	22	24	26	30	35	38	42
$N_q$	0.00	2.44	3.64	4.46	5.51	8.56	15.48	22.75	39.70

In accordo con le più recenti metodologie di calcolo, la valutazione della capacità limite di base per terreni granulari è condotta facendo riferimento non più alle condizioni di rottura bensì riferendosi ad una portata critica  $q_{bcr}$  corrispondente ad una condizione di servizio limite basata su considerazioni di cedimenti ammissibili, ed in genere riferita all'insorgere di deformazioni plastiche nei terreni di fondazione. I valori di  $q_{bcr}$  sono interamente mobilitati ad una profondità critica  $Z_c$ , secondo l'espressione  $Z_c = m * D$  con  $D$  pari al diametro del palo e  $m$  variabile tra 4 e 21 secondo la figura seguente (Meyerhof, 1976):



Una volta ottenuti i contributi nominali dovuti all'aderenza laterale  $Q_{L,LIM}$  e alla portata di base  $Q_{B,LIM}$ , questi vengono tra loro sommati previa riduzione per mezzo dei rispettivi coefficienti parziali di sicurezza, come descritto nelle Tabelle riportate in precedenza.

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	44 di 70

$\xi_4$	$\gamma_{base}$	$\gamma_{later.}$	$\xi*\gamma_p$	$\xi*\gamma_l$	
1.34	1.35	1.15	<b>1.81</b>	<b>1.54</b>	<b>A Compressione A Trazione</b>
1.34		1.30		<b>1.74</b>	

Ed ottenuti seguendo l'Approccio 2 definito dalla Norma, ossia A1+M1+R3:

Coeff. Parz. R3	Infissi	Trivellati	Elica	
Punta	1.15	<b>1.35</b>	1.30	
Laterale	1.15	<b>1.15</b>	1.15	Compressione
Totale	1.15	<b>1.30</b>	1.25	Compressione
Laterale	1.25	<b>1.25</b>	1.25	Trazione

## 11 RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE

Le sezioni di calcolo analizzate per la verifica della paratia del piazzale FA05 sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 5: Sezioni di calcolo per dimensionamento della paratia del piazzale FA05

Identificativo	Zona	Descrizione
FA05	Raccordo GA02 - Paratia	Paratia con massima altezza, connessione con soletta superiore, assenza di tiranti

Gli allegati di calcolo sono riportati nella relazione IF26.1.2.E.ZZ.CL.FA.05.0.0.003: FA05 - AREA DI SOCCORSO AL KM 25+135 - Relazione di calcolo paratia del piazzale FA05 - Allegati.

### 11.1 SEZIONE FA05

#### 11.1.1 GEOMETRIA

La geometria della sezione FA05 (primo palo verso la GA02) è qui riportata.

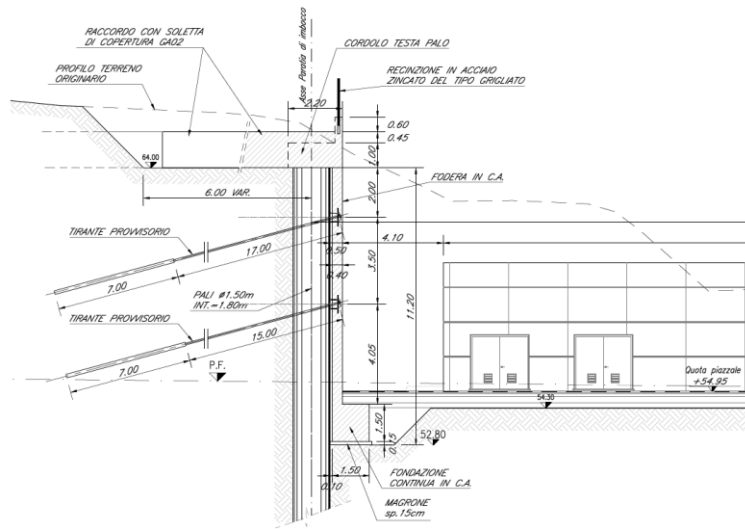


Figura 21: Sezione trasversale rappresentativa della geometria della sezione FA05

La paratia dei pali sulla paratia a monte ha la massima altezza possibile sull'intero sviluppo ( $H=12.57m$ ), con fondazione continua in cemento armato di  $1.5m \times 1.5m$ . Non è stato considerato l'effetto dei tiranti, visto che nell'ultimo tratto la trave di ripartizione della fila superiore non è presente e quella della fila inferiore è solo parzialmente contrastata.

**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	46 di 70

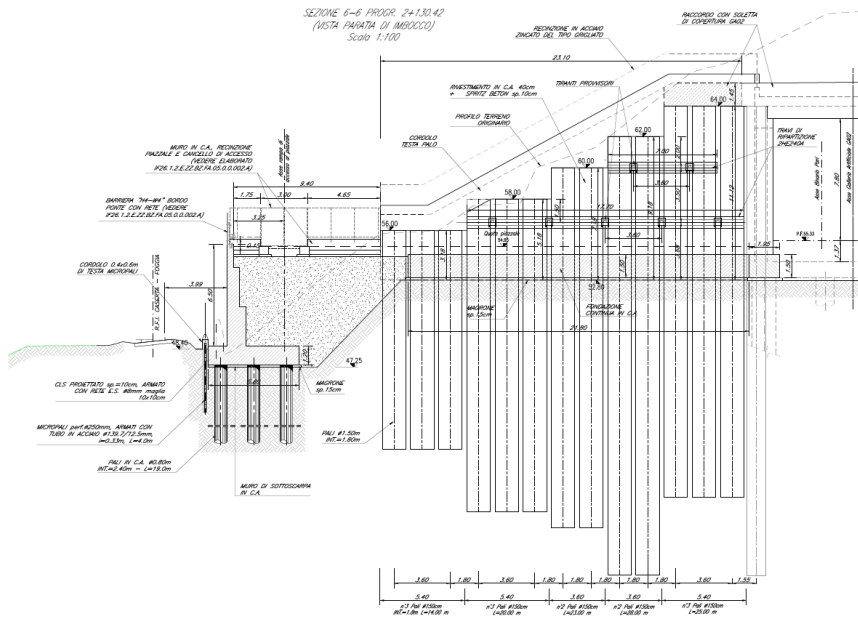


Figura 22: Sezione trasversale rappresentativa della geometria della sezione FA05

La geometria del modello della sezione FA05 è qui riportata.

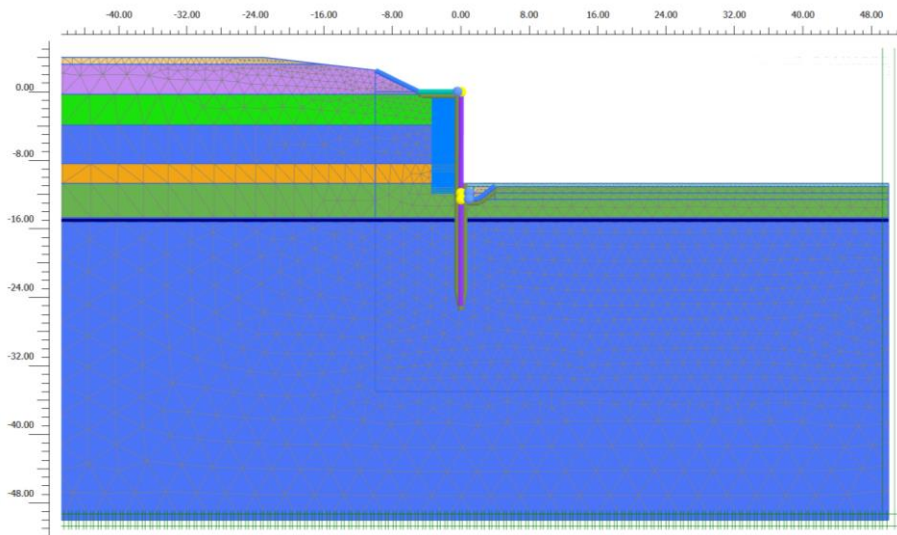


Figura 23: Geometria del modello

I limiti inferiori e laterali del modello sono stati posizionati ad una distanza tale da non influenzare lo sviluppo tenso-deformativo all'interno dell'opera.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">FA0500 002</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">47 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	47 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	47 di 70								

### 11.1.2 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

La stratigrafia e i parametri di calcolo utilizzati per il piazzale FA05 sono i medesimi utilizzati per il tratto di galleria GA02, come in tabella seguente. Le quote relative sul modello sono state definite a partire dalla quota di testa palo della paratia, situata per la sezione di calcolo a quota +64 m.s.l.m. Il livello della falda rilevato è ubicato a quota +50m s.l.m.

Tabella 6: Stratigrafia e parametri di calcolo

Unità Geotecnica	Descrizione	GEOMETRIA			PARAMETRI GEOTECNICI					
		Z <sub>sup</sub>	Z <sub>inf</sub>	H	Modello costitutivo	γ	φ'	c'	E' <sub>0,50</sub>	E' <sub>ur,50</sub>
(UG)		(m)	(m)	(m)		(kN/m <sup>3</sup> )	(°)	(kPa)	(MPa)	(MPa)
Ra	<b>Terreno di riporto</b>	4.0	3.2	0.8	HSM-DR	20	35	0	35	70
TGC2	<b>Tufo Grigio Campano</b> Cenere sabbioso, sabbioso limosa	3.2	-0.3	3.5	HSM-DR	17	33	0	35	70
MDL4	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia travertinosa	-0.3	-3.9	3.6	HSM-DR	20	34	30	200	600
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	-3.9	-8.4	3.5	HSM-DR	20	24	10	50	150
MDL2	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia, sabbia limosa	-8.4	-10.7	2.5	HSM-DR	20	32	0	60	120
MDL1	<b>Unità di Maddaloni</b> Ghiaia sabbiosa	-10.7	-14.7	4	HSM-DR	20	38	0	120	240
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	-14.7	inf	-	HSM-DR	20	24	10	50	150

### 11.1.3 CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Gli elementi strutturali presenti nel modello sono:

- Paratia di pali e soletta di testa: elemento "plate" equivalente
- Trave di fondazione: elemento plate+solido

Le tabelle seguenti riassumono i parametri di calcolo utilizzati per modellare gli elementi strutturali, raggruppati in funzione della loro tipologia.

Tabella 7: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali

Nome	Tipo di elemento	EA	EJ	d	w	v
-	-	(kN/m)	(kN m <sup>2</sup> /m)	(m)	(kN/m/m)	(-)
Paratia di pali (D=1.5m, s=1.8m)	Plate	3.04E+07	4.28E+06	1.3	24.54	0.2
Soletta di testa (w=1.45m)	Plate	4.79E+07	8.38E+06	1.45	24.54	0.2
Trave di fondazione (w=1.5m)	Plate	4.95E+07	9.28E+06	1.5	0	0.2

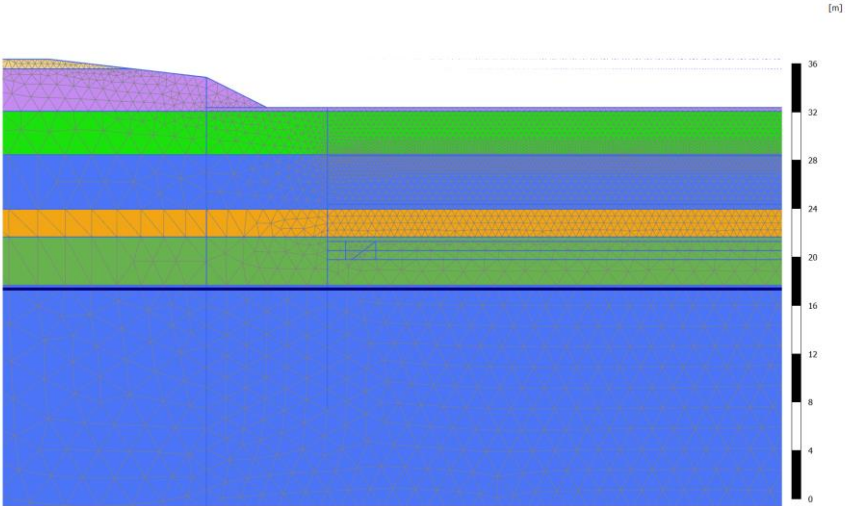
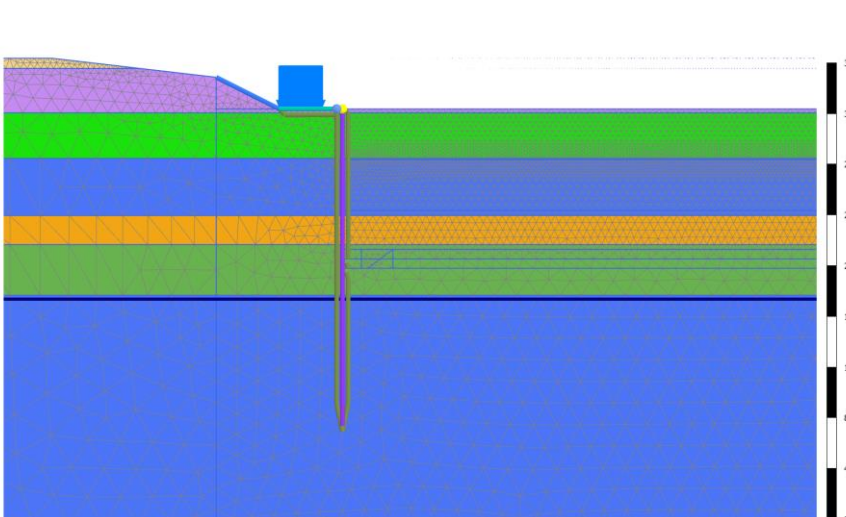
**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	48 di 70

### 11.1.4 SIMULAZIONE DELLE FASI COSTRUTTIVE

Le fasi costruttive sono modellate come segue.

Tabella 8: Fasi di calcolo

FASE	DESCRIZIONE
0	<p style="text-align: center;">Stato iniziale</p> 
1	<p style="text-align: center;">Installazione pali</p> 



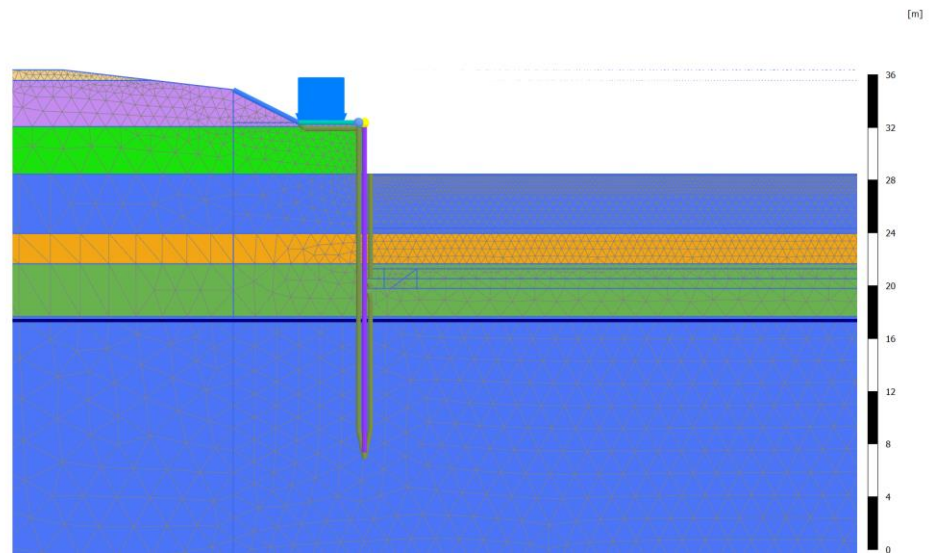
**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	49 di 70

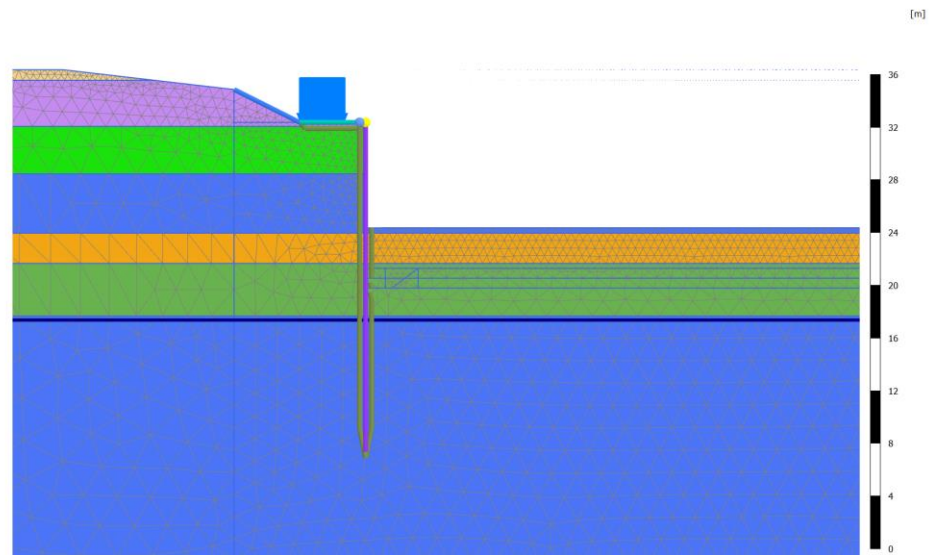
2

Scavo fino a quota -4m dalla testa del palo



3

Scavo fino a quota -8m dalla testa del palo

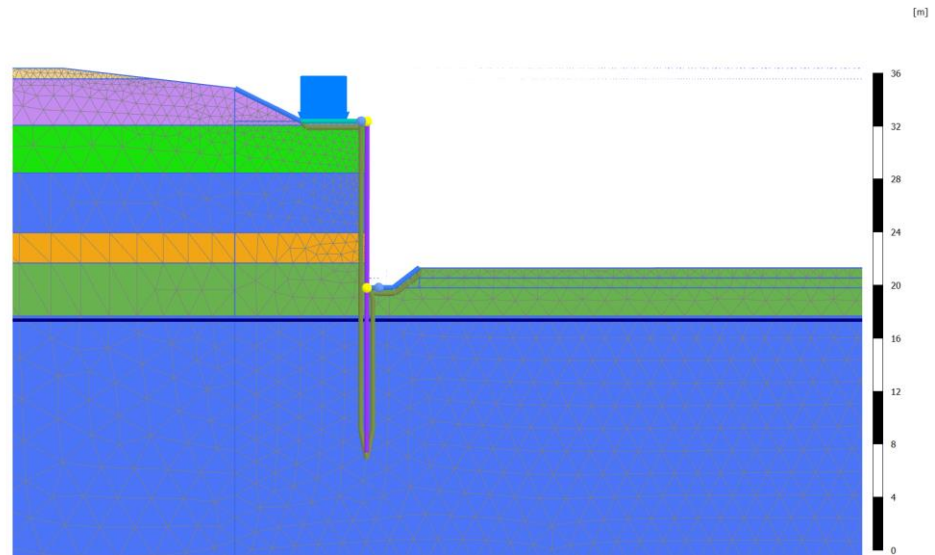


**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	50 di 70

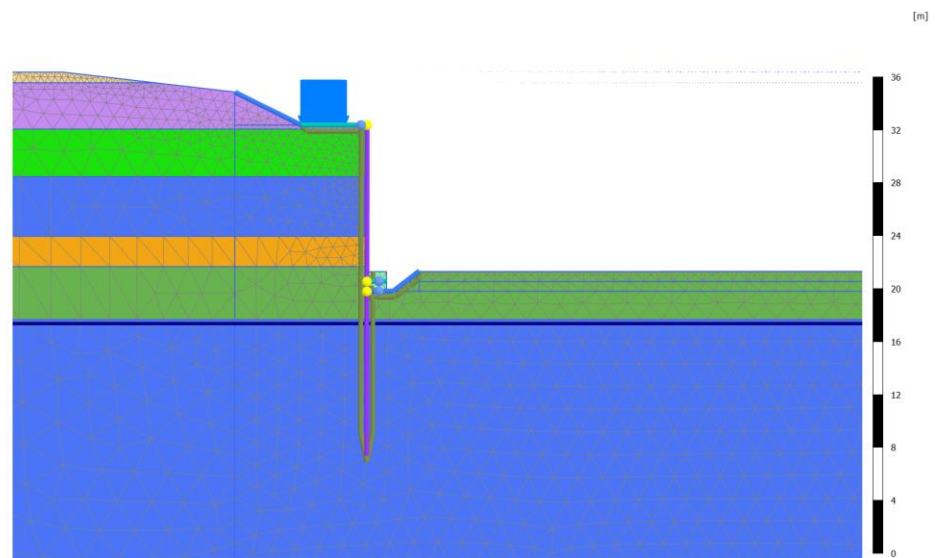
4

Raggiungimento fondo scavo



5

Esecuzione trave di fondazione (ST - configurazione a breve termine)

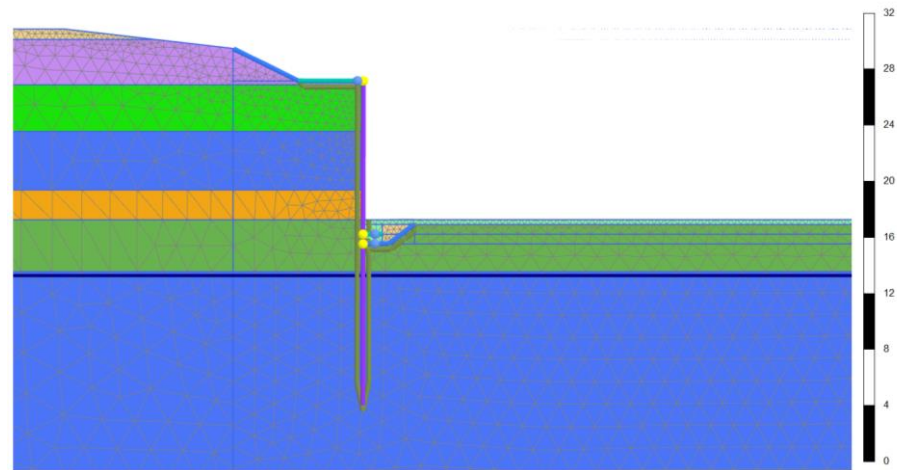


**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	51 di 70

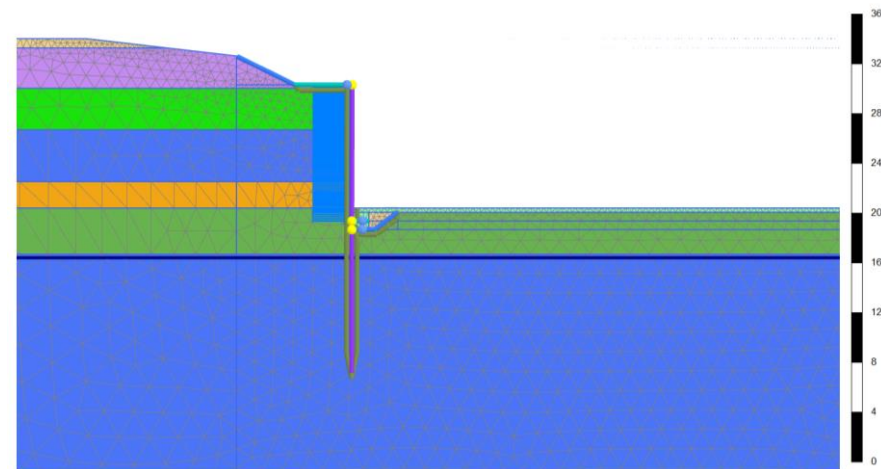
6

Riempimento (LT - configurazione a lungo termine)



7

Simulazione del caso di carico EQK da sinistra (EKQ sx)



A queste fasi seguono le procedure di “phi/c reduction”, per cui vengono applicati i parametri A2+M2 (Approccio 1 Combinazione 2) e lanciata l’analisi per il calcolo del fattore di sicurezza sulla stabilità globale:

- sulla fase 5 (ST);
- sulla fase 6 (LT - GEO);
- sulla fase 7 (LT - EQK).

### 11.1.5 RISULTATI DELLE ANALISI

In seguito, sono riportati i risultati delle fasi maggiormente rappresentative delle analisi, in cui si è applicata la fase più gravosa per ogni elemento strutturale.

#### 11.1.5.1 PARATIA DI PALI

I seguenti grafici riassumono le sollecitazioni e gli spostamenti ottenuti con l'analisi ad elementi finiti bidimensionale con il software PLAXIS 2D per le fasi più importanti.

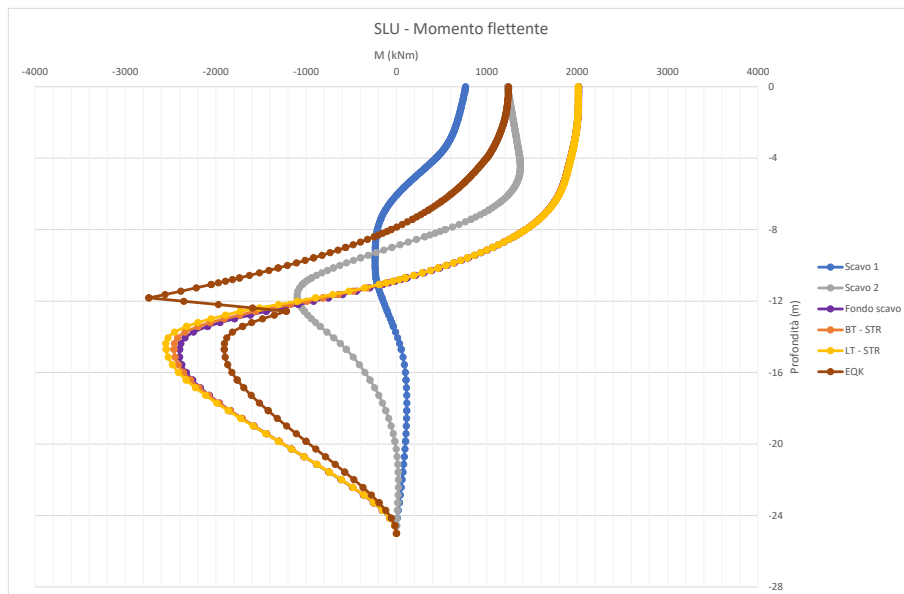


Figura 24: Paratia FA05 – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

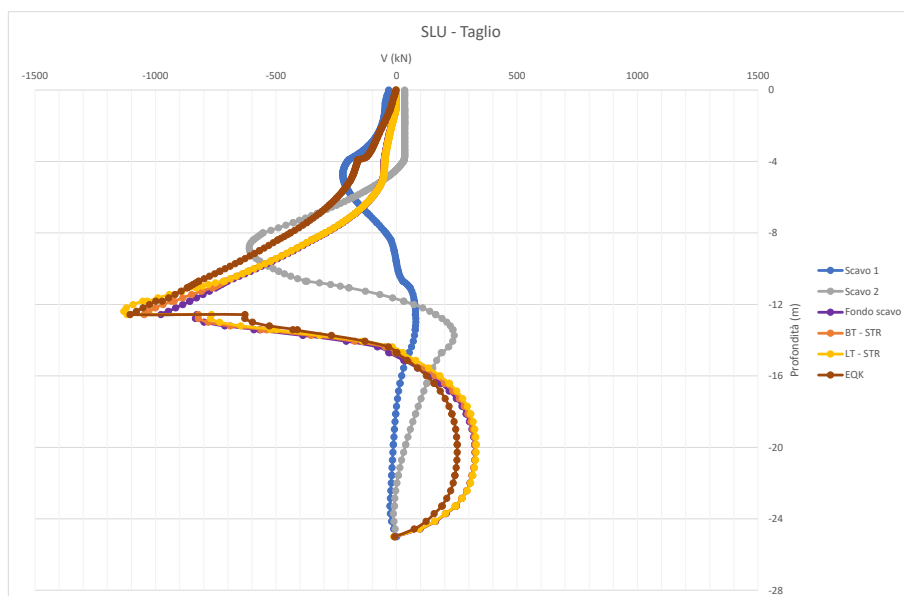


Figura 25: Paratia FA05 – Sollecitazione di taglio (SLU)

**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	53 di 70

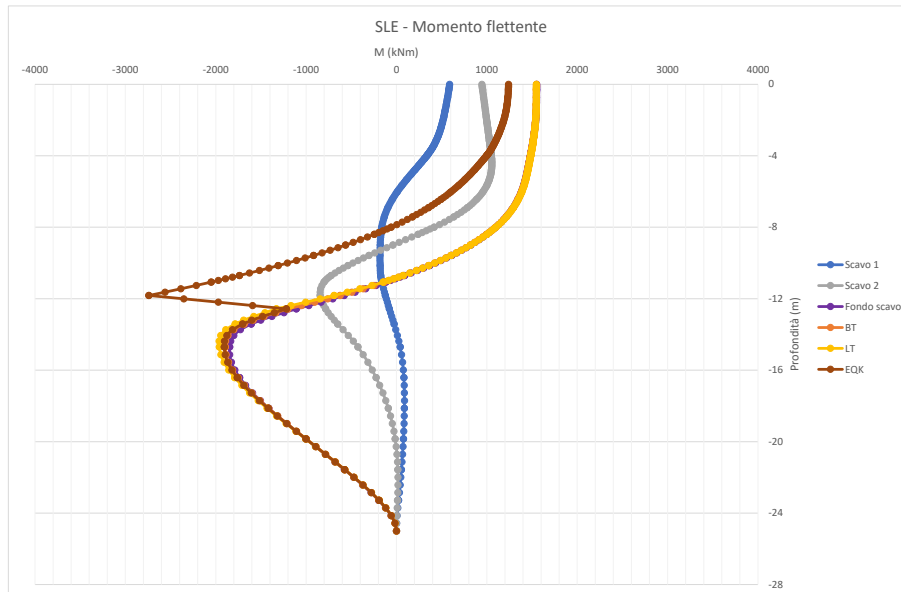


Figura 26: Paratia FA05 – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

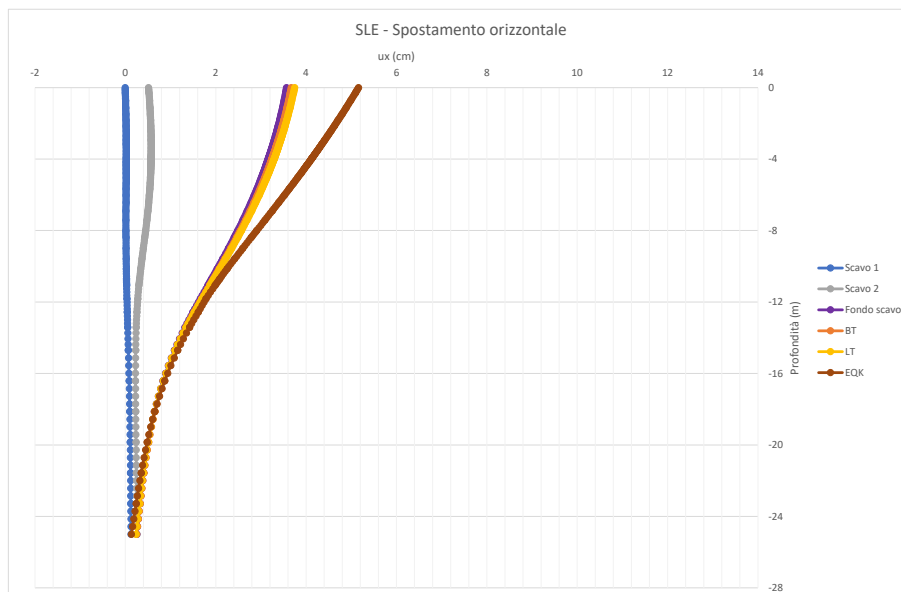


Figura 27: Paratia FA05 – Spostamento orizzontale (SLE)

**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	54 di 70

**11.1.5.2 TRAVE DI FONDAZIONE**

La seguente tabella riassume la forza di taglio trasmessa alla trave di fondazione al variare delle fasi di scavo e realizzazione delle opere.

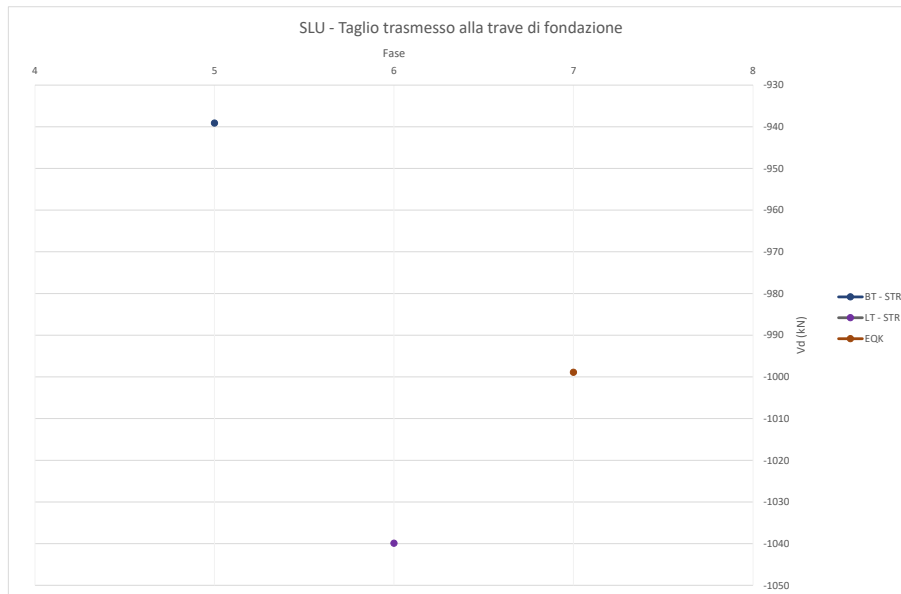


Figura 28: Trave di fondazione FA05 – Taglio trasmesso alla trave di fondazione (SLU)

Tabella 9: Sollecitazioni nella trave di fondazione in funzione delle fasi

Fase	Fase 5	Fase 6	Fase 7
Descrizione fase	Breve Termine BT - STR	Lungo Termine LT - STR	Sisma EQK
$V_{d,media}$ (kN)	940	1040	1000

## 12 VERIFICHE

Le verifiche descritte al capitolo 9 sono riportate in seguito. Per ogni sezione sono stati verificati i seguenti elementi strutturali:

- Paratia
- Trave di fondazione
- Soletta di testa

### 12.1 SEZIONE PARATIA FA05

#### 12.1.1 PARATIA DI PALI

##### 12.1.1.1 VERIFICHE STRUTTURALI

##### STATO LIMITE ULTIMO

Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono qui riportate, considerando la seguente armatura disposta in tre gabbie.

Tabella 10: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	L (m)	As (mm <sup>2</sup> )	As' (mm <sup>2</sup> )	Asw (mm <sup>2</sup> )
I	12	32Φ30	-	Φ14/150mm (8m) Φ14/90mm (2m)
II	12	48Φ26	-	Φ14/90mm (6m) Φ14/300mm (5m)
III	4	32Φ16	-	Φ14/300mm (4m)

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 11: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	0	STR	Lungo termine	<b>2013</b>	163	<b>5031</b>
II	-11.8	EQK	Sisma	<b>-2740</b>	685	<b>-5778</b>
III	-20.3	STR	Lungo termine	<b>-1164</b>	1059	<b>-2162</b>

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	56 di 70

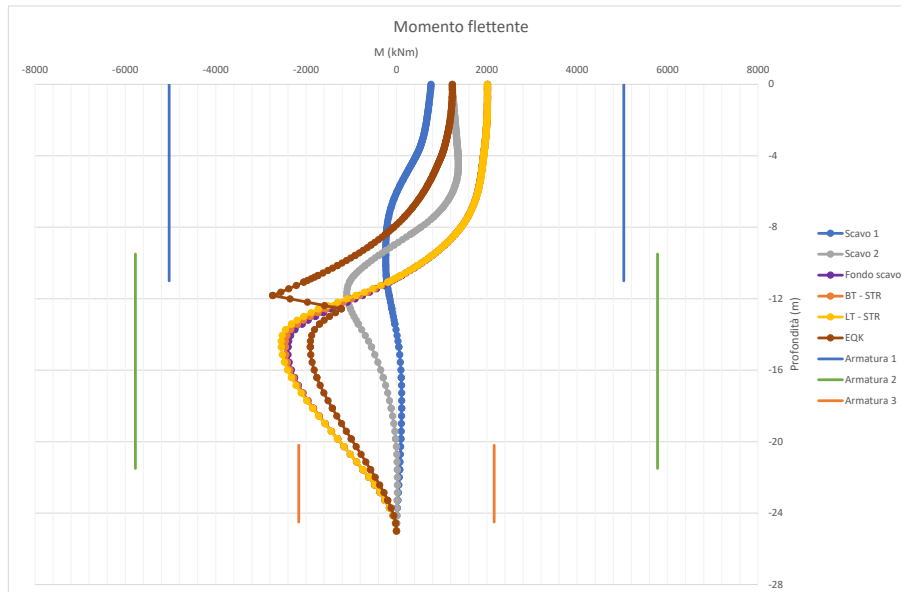


Figura 29: Paratia FA05 – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 12: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	8	STR	Scavo 2	554	717
II	-12.4	STR	Lungo Termine	1131	1202
III	-19.9	EQK	Sisma sx	331	362

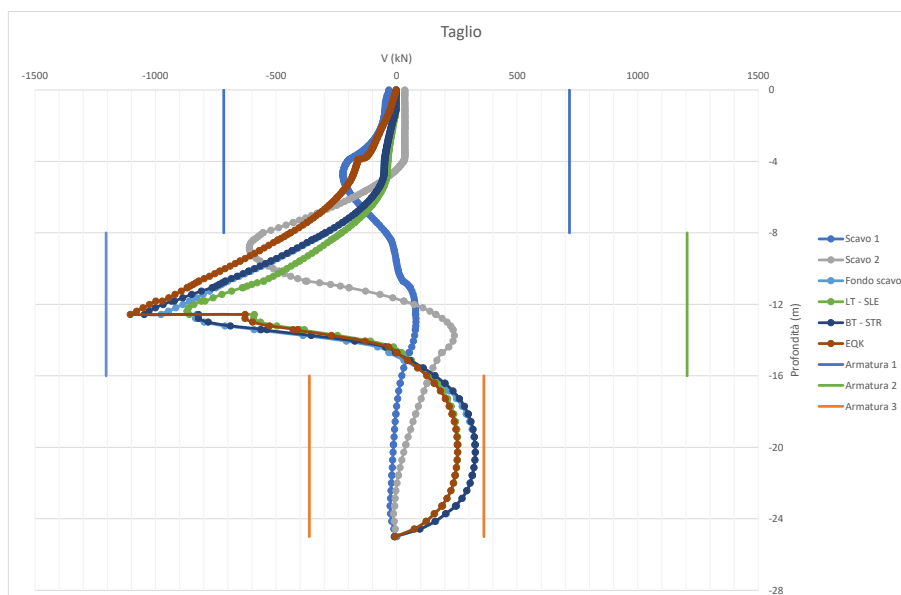


Figura 30: Paratia FA05 – Sollecitazione di taglio (SLU)



**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	57 di 70

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 13: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
I	0	STR	Lungo termine	1549	163
II	-14.4	STR	Lungo Termine	-1963	322
III	-20.3	STR	Lungo Termine	-1963	322

Tabella 14: Verifiche agli SLE, verifiche

SLE							
Sezione	$\sigma_{c,d}$ (MPa)	$\sigma_{c,amm}$ (MPa)	$\sigma_{s,d}$ (MPa)	$\sigma_{s,amm}$ (MPa)	x (mm)	wk (mm)	wamm (mm)
I	5.82	13.75	164.6	337.5	490.9	0.191	0.2
II	7	13.75	162.3	337.5	556.3	0.176	0.2
III	5.5	13.75	137.2	337.5	532	0.139	0.2

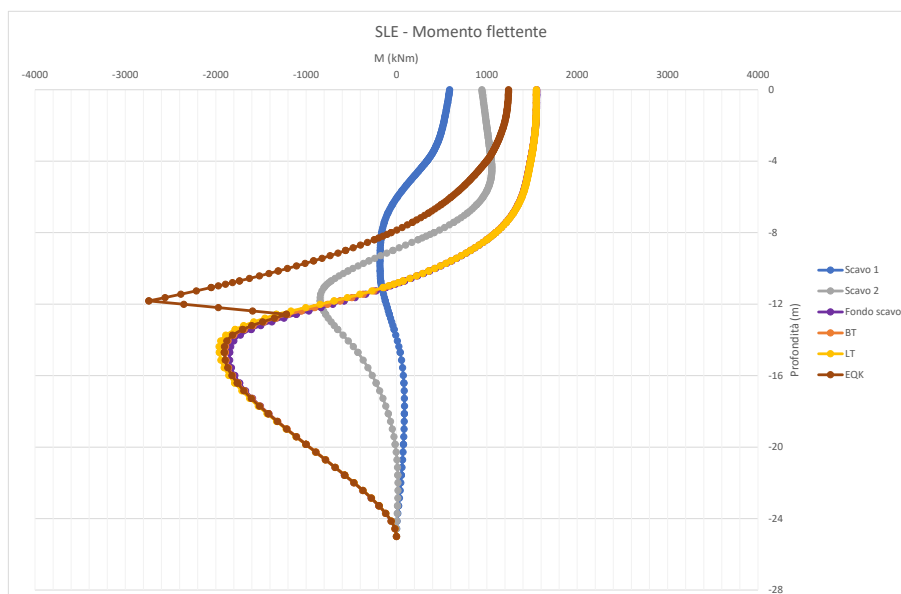


Figura 31: Paratia FA05 – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	58 di 70

**DEFORMAZIONI**

La deformazione orizzontale massima è di:

$$U_{max}=5.16\text{cm}$$

Il valore è minore dell'1% dell'altezza totale della paratia fuori terra ( $U_{amm}=12.57\text{ cm}$ ), ed è per questo ritenuto accettabile

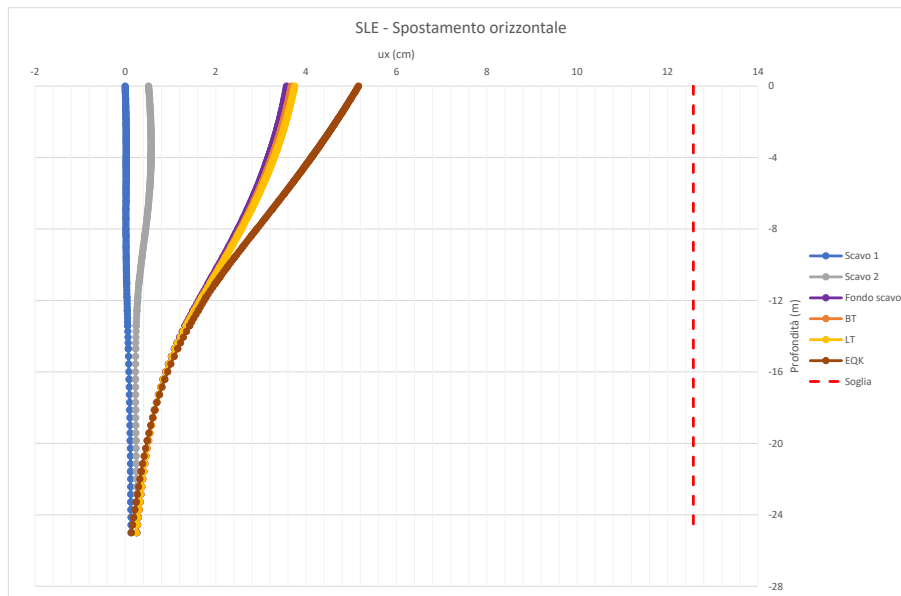


Figura 32: Paratia FA05 – Spostamento orizzontale (SLE)

**12.1.1.2 VERIFICHE GEOTECNICHE – STABILITÀ GLOBALE**

La verifica di stabilità globale e di rotazione intorno ad un punto fisso sono state studiate mediante l'applicazione della procedura "phi/c reduction".

Combinazione GEO a breve termine GEO-BT (A2+M2+R1)

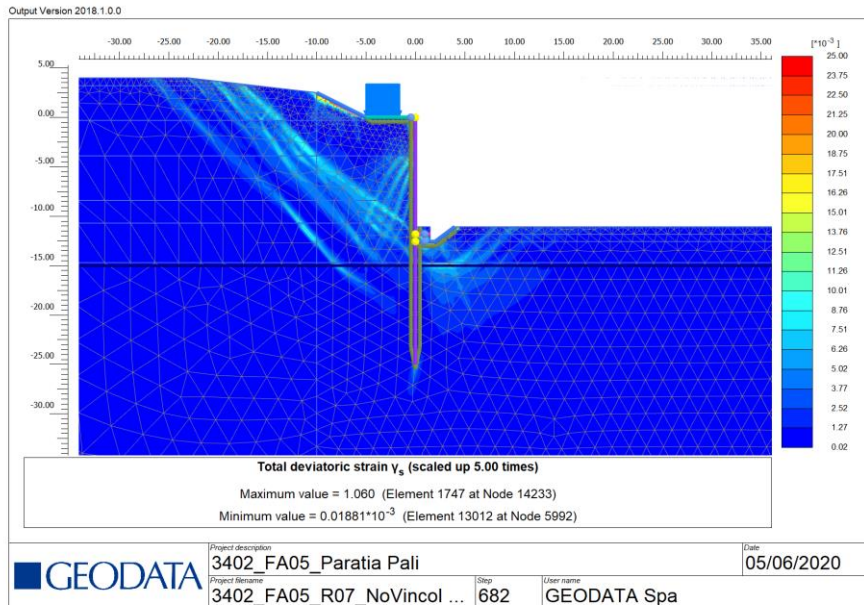


Figura 33: Paratia FA05 – Verifica GEO a breve termine, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma Msf$  ottenuto è pari a  $\Sigma Msf$  (GEO BT) = 1.49.

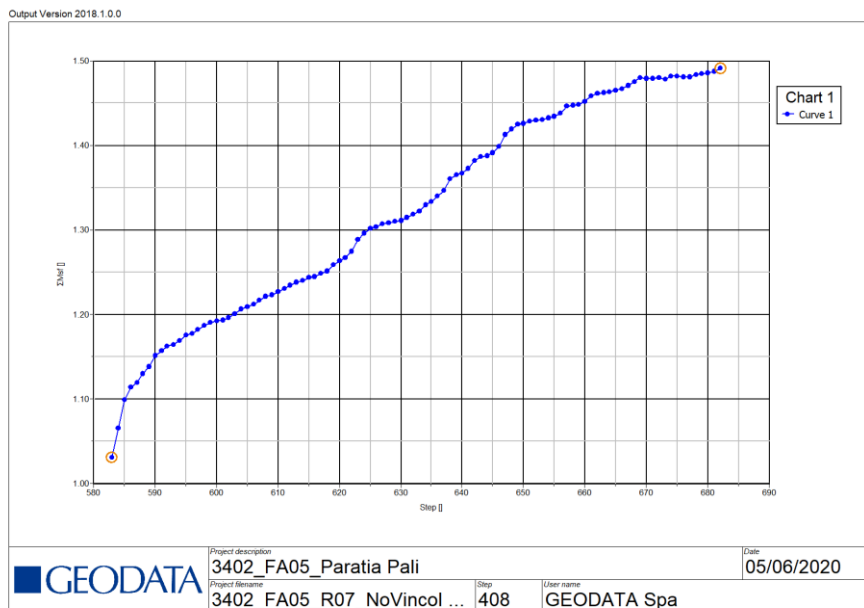


Figura 34: Paratia FA05 – Verifica GEO a breve termine, evoluzione di  $\Sigma Msf$  fino al raggiungimento del valore di progetto

Combinazione GEO a lungo termine GEO-LT (A2+M2+R1)

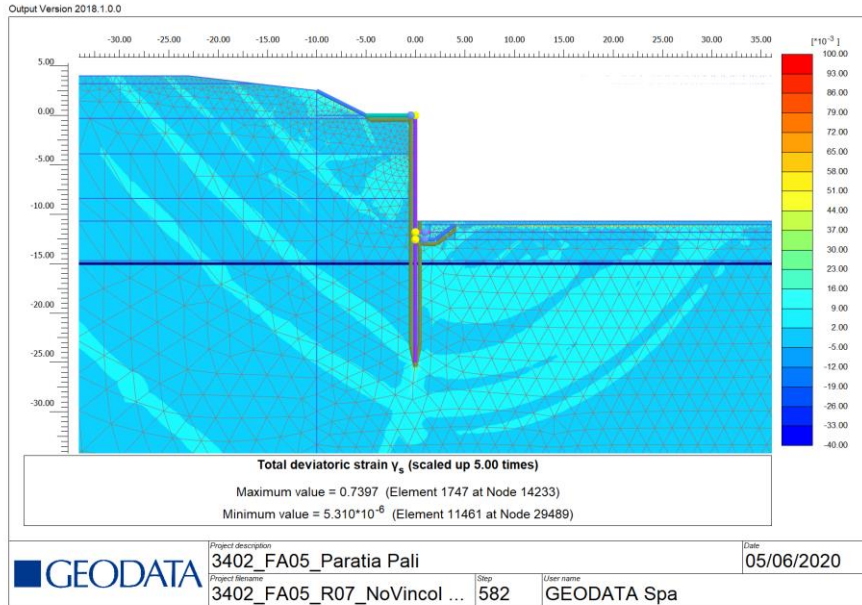


Figura 35: Paratia FA05 – Verifica GEO a lungo termine, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma Msf$  ottenuto è pari a  $\Sigma Msf$  (GEO LT) = 2.84.

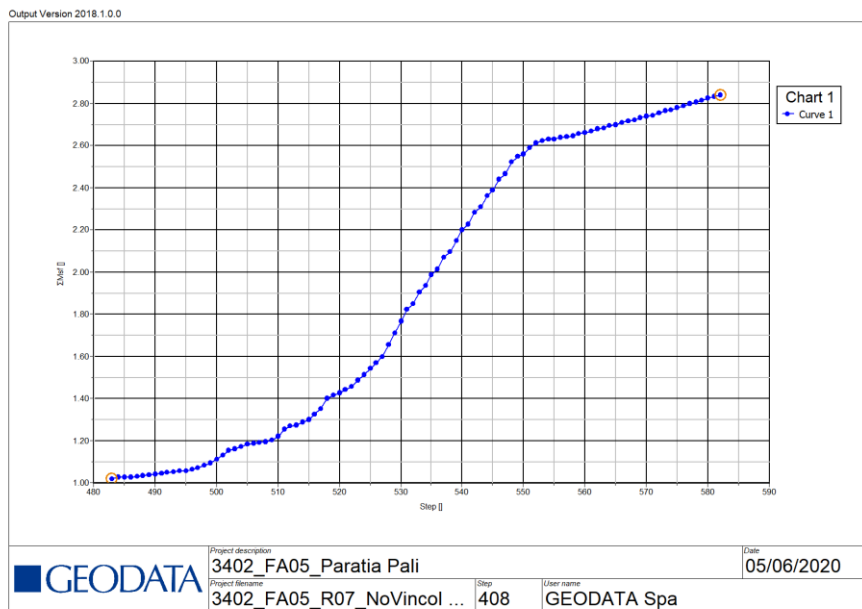


Figura 36: Paratia FA05 – Verifica GEO a lungo termine, evoluzione di  $\Sigma Msf$  fino al raggiungimento del valore di progetto

Combinazione EQK (A2+M2+R1)

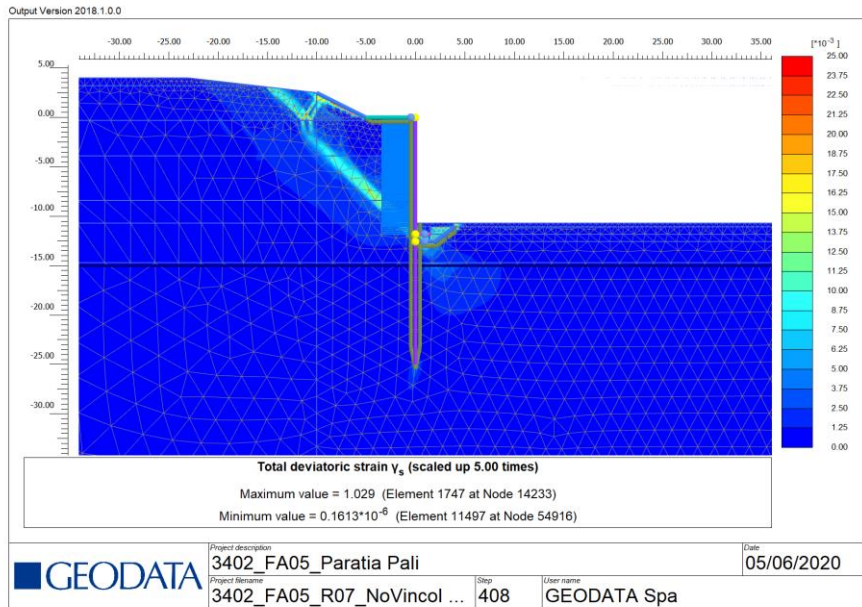


Figura 37: Paratia FA05 – Verifica EQK, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma MS_f$  ottenuto è pari a  $\Sigma MS_f (EQK) = 1.22$ .

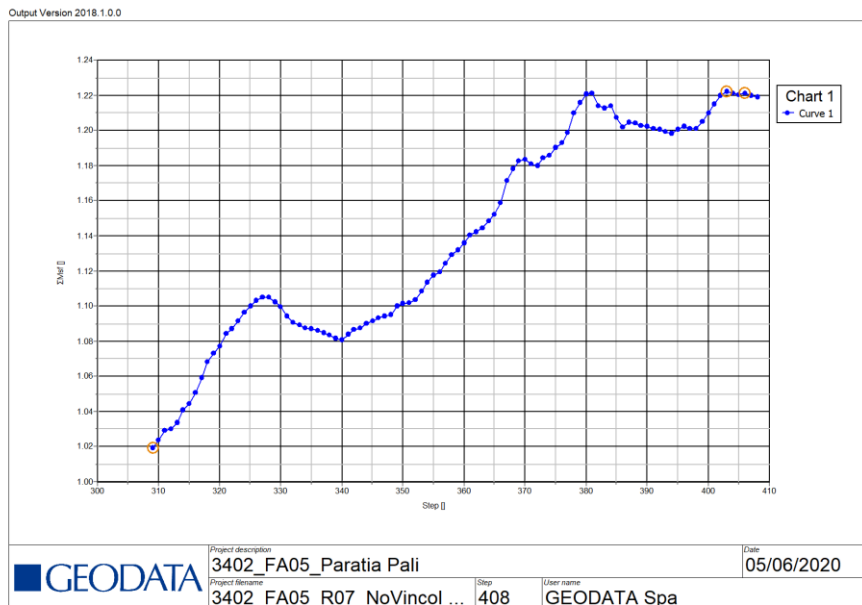


Figura 38: Paratia FA05 – Verifica EQK, evoluzione di  $\Sigma MS_f$  fino al raggiungimento del valore di progetto

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	62 di 70

**12.1.1.3 VERIFICHE GEOTECNICHE – CAPACITÀ PORTANTE**

I dati utilizzati per il calcolo della capacità portante del palo sono qui riassunti:

LUNGHEZZA PALO: Hp = 25m  
 SBALZO A MONTE: Hs = 10.9m  
 INFISSIONE: Hi = Hp-Hs = 14.1m  
 CARICO: Gk = Gpalo + Gcordolo = 25\*(3.14\*1.5^2/4)\*9.81+25\*1.75\*1.9\*2 = 600 kN  
 Gd = 1.35 Gk = 810 kN

La verifica di capacità portante del Palo DN1500 è stata condotta in accordo al punto **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** La lunghezza del palo al di sotto della fondazione pari a 14.1m garantisce un fattore di sicurezza FS=1.1 nei confronti del carico verticale, come mostrato in seguito.

Verifica della Portanza Assiale dei Pali

G A02 SEZ\_D Teoria di Terzaghi-Berezantzev

D\_palo = 1.200 m  
 A\_palo = 1.131 m²  
 S\_palo = 2.513 m²/m  
 J\_palo = 0.102 m⁴  
 γ\_cis = 25.0 kN/mc  
 γ\_w = 9.8 kN/mc

β = 0.667

z\_p = 0.00 m quota testa palo dal p.c.  
 z\_w = 2.25 m quota falda dal p.c.  
 τ\_max = 100.0 kN/m² max portata laterale per terreno coesivo  
 α\_v = 0.0 kN/m² tensione totale a quota zp

z = profondità dal p.c.  
 γ\_cis = peso di volume calcestruzzo  
 γ\_w = peso di volume acqua  
 φ = angolo di attrito terreno  
 c' = coesione efficace  
 cu = coesione non drenata

Stratigrafia Terreno

mesh di calcolo = 0.25 m

Strato	z	γ	φ	c'	cu	m	m	m	m*D	qb
	m	kN/mc	°	kN/m²	kN/m²	per c=0	per c>0		m	kN/m²
MDL1	0.00	20.0	38.0	0.0	0.0	15.074	15.074	15.074	18.089	0
MDL1	2.25	20.0	38.0	0.0	0.0	15.074	15.074	15.074	18.089	1 024
MDL3	2.75	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	301
	5.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	404
	7.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	517
	10.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	631
	12.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	745
	15.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	858
	17.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	972
	20.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 086
	22.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 200
	25.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 313
	27.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 427
	30.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 541
	32.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 655
	35.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 768
	37.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 882
	40.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	1 996
	42.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	2 109
	45.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	5.945	2 246

Coeff. Berezantzev AGI

Verticali

Tipo di palo

φ	Nq	ξ4	ξ3	δ/φ	cu	α	(α*cu)max
					kN/m²		kN/m²
0	0.00	1	1.70				
18	2.44	2	1.55	1.65	Battuto in acciaio	20/φ	<= 25
22	3.64	3	1.48	1.60			25.50
24	4.46	4	1.42	1.55			50.75
26	5.51	5	1.34	1.50			>= 75
30	8.56	7	1.28	1.45			
35	15.48	10	1.21	1.40	Battuto in cls		<= 25
38	22.75				Prefabbricato	0.75	25.50
42	39.70				Gettato in opera	1.00	50.75
							>= 75
	N_max = 900 kN				Trivellato	1.00	<= 25
	N_attrito_neg = 0 kN >= 0						25.50
	N_min = 0 kN						50.75
							>= 75

	L_palo	ξ4	γ_base	γ_later.	ξ*γ_p	ξ*γ_l	sf	
N_max = 900	13.25	1.34	1.35	1.15	1.81	1.54	sf	
N_min = 0	0.00	1.34		1.30		1.74	sf	
L_palo =	13.25 m	Profondità da p.c. = 13.3 m						

Coeff. Parz. R2	Infissi	Trivellati	Elica
Punta	1.15	1.35	1.30
Laterale	1.15	1.15	1.15
Totale	1.15	1.30	1.25
Laterale	1.25	1.25	1.25

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	63 di 70

sf	z m	γ kN/mc	φ °	c' kN/m <sup>2</sup>	c <sub>u</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ' kN/m <sup>2</sup>	σ kN/m <sup>2</sup>	Ks	δ/φ	α	Nc	τ kN/m <sup>2</sup>	β = τ/σ	Nq	P_palo kN	Q_tot kN	Q_lat kN	Q_punta kN	Q'_tot kN
0.00	0.00	20.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.384	1.00	0.00	27.84	0.0	0.000	22.750	0.0	0	0	0	0
0.08	0.25	20.0	38.0	0.0	0.0	5.0	5.0	0.384	1.00	0.00	27.84	1.5	0.300	22.750	1.4	129	0	129	71
0.16	0.50	20.0	38.0	0.0	0.0	10.0	10.0	0.384	1.00	0.00	27.84	3.0	0.300	22.750	2.8	259	1	257	143
0.24	0.75	20.0	38.0	0.0	0.0	15.0	15.0	0.384	1.00	0.00	27.84	4.5	0.300	22.750	4.2	390	4	386	216
0.32	1.00	20.0	38.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.384	1.00	0.00	27.84	6.0	0.300	22.750	5.7	522	7	515	289
0.40	1.25	20.0	38.0	0.0	0.0	25.0	25.0	0.384	1.00	0.00	27.84	7.5	0.300	22.750	7.1	655	11	643	363
0.48	1.50	20.0	38.0	0.0	0.0	30.0	30.0	0.384	1.00	0.00	27.84	9.0	0.300	22.750	8.5	788	17	772	437
0.56	1.75	20.0	38.0	0.0	0.0	35.0	35.0	0.384	1.00	0.00	27.84	10.5	0.300	22.750	9.9	923	23	901	513
0.65	2.00	20.0	38.0	0.0	0.0	40.0	40.0	0.384	1.00	0.00	27.84	12.0	0.300	22.750	11.3	1059	30	1029	588
0.73	2.25	20.0	38.0	0.0	0.0	45.0	45.0	0.384	1.00	0.00	27.84	13.5	0.300	22.750	12.7	1196	38	1158	665
0.77	2.50	20.0	38.0	0.0	0.0	47.6	50.0	0.384	1.00	0.00	27.84	14.3	0.300	22.750	14.1	1270	46	1223	706
0.24	2.75	20.0	24.0	10.0	0.0	50.1	55.0	0.593	1.00	0.00	7.77	13.2	0.264	4.460	15.6	396	55	341	224
0.26	3.00	20.0	24.0	10.0	0.0	52.7	60.0	0.593	1.00	0.00	7.77	13.9	0.264	4.460	17.0	417	64	353	237
0.27	3.25	20.0	24.0	10.0	0.0	55.2	65.0	0.593	1.00	0.00	7.77	14.6	0.264	4.460	18.4	439	73	366	250
0.29	3.50	20.0	24.0	10.0	0.0	57.8	70.0	0.593	1.00	0.00	7.77	15.3	0.264	4.460	19.8	461	82	379	263
0.30	3.75	20.0	24.0	10.0	0.0	60.3	75.0	0.593	1.00	0.00	7.77	15.9	0.264	4.460	21.2	484	92	392	276
0.31	4.00	20.0	24.0	10.0	0.0	62.9	80.0	0.593	1.00	0.00	7.77	16.6	0.264	4.460	22.6	507	102	405	290
0.33	4.25	20.0	24.0	10.0	0.0	65.4	85.0	0.593	1.00	0.00	7.77	17.3	0.264	4.460	24.0	530	113	418	304
0.34	4.50	20.0	24.0	10.0	0.0	68.0	90.0	0.593	1.00	0.00	7.77	17.9	0.264	4.460	25.4	554	124	431	318
0.36	4.75	20.0	24.0	10.0	0.0	70.5	95.0	0.593	1.00	0.00	7.77	18.6	0.264	4.460	26.9	579	135	444	333
0.37	5.00	20.0	24.0	10.0	0.0	73.1	100.0	0.593	1.00	0.00	7.77	19.3	0.264	4.460	28.3	603	147	456	348
0.39	5.25	20.0	24.0	10.0	0.0	75.6	105.0	0.593	1.00	0.00	7.77	20.0	0.264	4.460	29.7	629	159	469	363
0.41	5.50	20.0	24.0	10.0	0.0	78.2	110.0	0.593	1.00	0.00	7.77	20.6	0.264	4.460	31.1	654	172	482	378
0.42	5.75	20.0	24.0	10.0	0.0	80.7	115.0	0.593	1.00	0.00	7.77	21.3	0.264	4.460	32.5	680	185	495	394
0.44	6.00	20.0	24.0	10.0	0.0	83.3	120.0	0.593	1.00	0.00	7.77	22.0	0.264	4.460	33.9	707	199	508	410
0.46	6.25	20.0	24.0	10.0	0.0	85.8	125.0	0.593	1.00	0.00	7.77	22.7	0.264	4.460	35.3	734	213	521	426
0.47	6.50	20.0	24.0	10.0	0.0	88.4	130.0	0.593	1.00	0.00	7.77	23.3	0.264	4.460	36.8	761	227	534	443
0.49	6.75	20.0	24.0	10.0	0.0	90.9	135.0	0.593	1.00	0.00	7.77	24.0	0.264	4.460	38.2	789	242	546	459
0.51	7.00	20.0	24.0	10.0	0.0	93.5	140.0	0.593	1.00	0.00	7.77	24.7	0.264	4.460	39.6	817	258	559	476
0.52	7.25	20.0	24.0	10.0	0.0	96.0	145.0	0.593	1.00	0.00	7.77	25.4	0.264	4.460	41.0	845	273	572	494
0.54	7.50	20.0	24.0	10.0	0.0	98.6	150.0	0.593	1.00	0.00	7.77	26.0	0.264	4.460	42.4	874	289	585	511
0.56	7.75	20.0	24.0	10.0	0.0	101.1	155.0	0.593	1.00	0.00	7.77	26.7	0.264	4.460	43.8	904	306	598	529
0.58	8.00	20.0	24.0	10.0	0.0	103.7	160.0	0.593	1.00	0.00	7.77	27.4	0.264	4.460	45.2	934	323	611	547
0.60	8.25	20.0	24.0	10.0	0.0	106.2	165.0	0.593	1.00	0.00	7.77	28.1	0.264	4.460	46.7	964	340	624	566
0.62	8.50	20.0	24.0	10.0	0.0	108.8	170.0	0.593	1.00	0.00	7.77	28.7	0.264	4.460	48.1	995	358	636	584
0.64	8.75	20.0	24.0	10.0	0.0	111.3	175.0	0.593	1.00	0.00	7.77	29.4	0.264	4.460	49.5	1026	377	649	603
0.65	9.00	20.0	24.0	10.0	0.0	113.9	180.0	0.593	1.00	0.00	7.77	30.1	0.264	4.460	50.9	1057	395	662	623
0.67	9.25	20.0	24.0	10.0	0.0	116.4	185.0	0.593	1.00	0.00	7.77	30.7	0.264	4.460	52.3	1089	414	675	642
0.69	9.50	20.0	24.0	10.0	0.0	119.0	190.0	0.593	1.00	0.00	7.77	31.4	0.264	4.460	53.7	1122	434	688	662
0.71	9.75	20.0	24.0	10.0	0.0	121.5	195.0	0.593	1.00	0.00	7.77	32.1	0.264	4.460	55.1	1155	454	701	682
0.73	10.00	20.0	24.0	10.0	0.0	124.1	200.0	0.593	1.00	0.00	7.77	32.8	0.264	4.460	56.5	1188	474	714	702
0.75	10.25	20.0	24.0	10.0	0.0	126.6	205.0	0.593	1.00	0.00	7.77	33.4	0.264	4.460	58.0	1221	495	726	723
0.78	10.50	20.0	24.0	10.0	0.0	129.2	210.0	0.593	1.00	0.00	7.77	34.1	0.264	4.460	59.4	1256	516	739	744
0.80	10.75	20.0	24.0	10.0	0.0	131.7	215.0	0.593	1.00	0.00	7.77	34.8	0.264	4.460	60.8	1290	538	752	765
0.82	11.00	20.0	24.0	10.0	0.0	134.3	220.0	0.593	1.00	0.00	7.77	35.5	0.264	4.460	62.2	1325	560	765	786
0.84	11.25	20.0	24.0	10.0	0.0	136.8	225.0	0.593	1.00	0.00	7.77	36.1	0.264	4.460	63.6	1360	582	778	808
0.86	11.50	20.0	24.0	10.0	0.0	139.4	230.0	0.593	1.00	0.00	7.77	36.8	0.264	4.460	65.0	1396	605	791	830
0.88	11.75	20.0	24.0	10.0	0.0	141.9	235.0	0.593	1.00	0.00	7.77	37.5	0.264	4.460	66.4	1432	629	804	852
0.90	12.00	20.0	24.0	10.0	0.0	144.5	240.0	0.593	1.00	0.00	7.77	38.2	0.264	4.460	67.9	1469	652	817	875
0.93	12.25	20.0	24.0	10.0	0.0	147.0	245.0	0.593	1.00	0.00	7.77	38.8	0.264	4.460	69.3	1506	677	829	898
0.95	12.50	20.0	24.0	10.0	0.0	149.6	250.0	0.593	1.00	0.00	7.77	39.5	0.264	4.460	70.7	1543	701	842	921
0.97	12.75	20.0	24.0	10.0	0.0	152.1	255.0	0.593	1.00	0.00	7.77	40.2	0.264	4.460	72.1	1581	726	855	944
0.99	13.00	20.0	24.0	10.0	0.0	154.7	260.0	0.593	1.00	0.00	7.77	40.8	0.264	4.460	73.5	1620	752	868	968
1.02	13.25	20.0	24.0	10.0	0.0	157.2	265.0	0.593	1.00	0.00	7.77	41.5	0.264	4.460	74.9	1658	778	881	992
1.04	13.50	20.0	24.0	10.0	0.0	159.8	270.0	0.593	1.00	0.00	7.77	42.2	0.264	4.460	76.3	1698	804	894	1016
1.06	13.75	20.0	24.0	10.0	0.0	162.3	275.0	0.593	1.00	0.00	7.77	42.9	0.264	4.460	77.8	1737	831	907	1040
1.09	14.00	20.0	24.0	10.0	0.0	164.9	280.0	0.593	1.00	0.00	7.77	43.5	0.264	4.460	79.2	1777	858	919	1065
1.11	14.25	20.0	24.0	10.0	0.0	167.4	285.0	0.593	1.00	0.00	7.77	44.2	0.264	4.460	80.6	1818	885	932	1090
1.14	14.50	20.0	24.0	10.0	0.0	170.0	290.0	0.593	1.00	0.00	7.77	44.9	0.264	4.460	82.0	1858	913	945	1115
1.16	14.75	20.0	24.0	10.0	0.0	172.5	295.0	0.593	1.00	0.00	7.77	45.6	0.264	4.460	83.4	1900	942	958	1141
1.18	15.00	20.0	24.0	10.0	0.0	175.1	300.0	0.593	1.00	0.00	7.77	46.2	0.264	4.460	84.8	1941	971	971	1167

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>64 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	64 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	64 di 70								

### 12.1.2 TRAVE DI FONDAZIONE

Lo sforzo trasmesso dalla paratia di pali alla trave di fondazione è sostenuto da una trave in c.a. di dimensioni 1.50m per 1.50m. La verifica di tale elemento strutturale è eseguita facendo riferimento allo schema di trave continua su 4 appoggi soggetta ad un carico uniforme che viene generato dallo sforzo di taglio della paratia all'altezza della trave. Considerando il carico equamente ripartito lungo l'elemento, si procede con la verifica della singola trave:

$$q_{\max} = V_{d,\max} / i$$

Secondo lo schema di calcolo assunto le sollecitazioni massime sono quindi pari a:

$$M_{\max} = 0.125 \cdot q_{\max} \cdot l^2$$

$$V_{\max} = 0.6 \cdot q_{\max} \cdot l$$

dove:

- $V_{\max}$  = sollecitazione massima di taglio;
- $M_{\max}$  = momento flettente massimo;
- $q$  = carico uniformemente distribuito;
- $l$  = interasse tra gli appoggi (interasse tra i pali).

### STATO LIMITE ULTIMO

Le sollecitazioni allo S.L.U., in condizioni statiche, sono quindi pari a:

$$M_{Ed} = 1.3 \times M_{\max} \quad V_{Ed} = 1.3 \times T_{\max}$$

I carichi considerati e lo stato di sollecitazione sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 15 – Stato di sollecitazione nella trave di fondazione

$V_{d,\max}$	$i$	$q_{\max}$	$L$	$M_{Ed,\max}$	$V_{Ed,\max}$
(kN)	(m)	(kN/m)	(m)	(kNm)	(kN)
1040	1.8	577.78	1.8	234	624

Le verifiche strutturali della trave di ripartizione sono condotte in accordo alle NTC08, a partire dall'armatura minima imposta per le travi.

Tabella 16 – Armatura della trave di fondazione

Elemento	Dim (cm)	Arm Principale	Arm Secondaria	Arm Taglio
Trave	150x150	7Φ26 (3717 mm <sup>2</sup> /m)	5Φ14	2Φ16/500mm (1608 mm <sup>2</sup> /m)

Tabella 17 – Verifiche di resistenza della sezione trasversale

Resistenza a presso-flessione			
Resistenza di calcolo a flessione (per N=0)	$M_{c,Rd}$	2062	[kNm]



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	65 di 70

Verifica flessionale	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$	<b>0.485</b>	<b>[-]</b>
<b>Resistenza a taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd1}$	905.01	[kN]
Verifica a taglio	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	<b>0.113</b>	<b>[-]</b>

### STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 18: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
I	Mezzeria	STR	Lungo termine	180	0

Tabella 19: Verifiche agli SLE, verifiche

Sezione	SLE						
	$\sigma_{c,d}$ (MPa)	$\sigma_{c,amm}$ (MPa)	$\sigma_{s,d}$ (MPa)	$\sigma_{s,amm}$ (MPa)	x (mm)	wk (mm)	wamm (mm)
I	0.53	13.75	35.4	337.5	267.8	-	0.2

### 12.1.3 SOLETTA DI TESTA

Gli sforzi a cui dev'essere sottoposta la soletta di testa sono molto limitati in rapporto alla sezione necessaria per motivi costruttivi.

Le sollecitazioni a cui è sottoposta la soletta, essenzialmente generate dalla differenza di spostamento tra pali che formano la paratia e a carichi temporanei di entità ridotta (passaggio mezzi nell'area adiacente, camminamento operai), sono tali che la sezione in c.a. è largamente sufficiente ad assorbire gli sforzi. Si considera quindi l'armatura minima.

L'armatura minima per la soletta di testa di geometria 1.45x1.00m (C25/30) è:

$$A_{s,min} = 2060 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{sw,min} = 889 \text{ mm}^2/\text{m}$$

L'armatura proposta è qui riassunta.

Tabella 20 – Armatura della soletta di testa

Soletta	Dim (cm)	Armatura Principale	Armatura Secondaria	Arm Taglio
Paratia FA05	145x100	5 $\Phi$ 24 (2262 mm <sup>2</sup> /m)	5 $\Phi$ 14	2 $\Phi$ 16/750mm (1072 mm <sup>2</sup> /m)

		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO FA0500 002	REV. A	FOGLIO 66 di 70

## 13 MONITORAGGIO DELLA PARATIA

La metodologia adottata segue il principio di progettazione secondo la “filosofia di progetto flessibile”, correntemente applicata nel campo dell’ingegneria geotecnica e per le opere in sotterraneo.

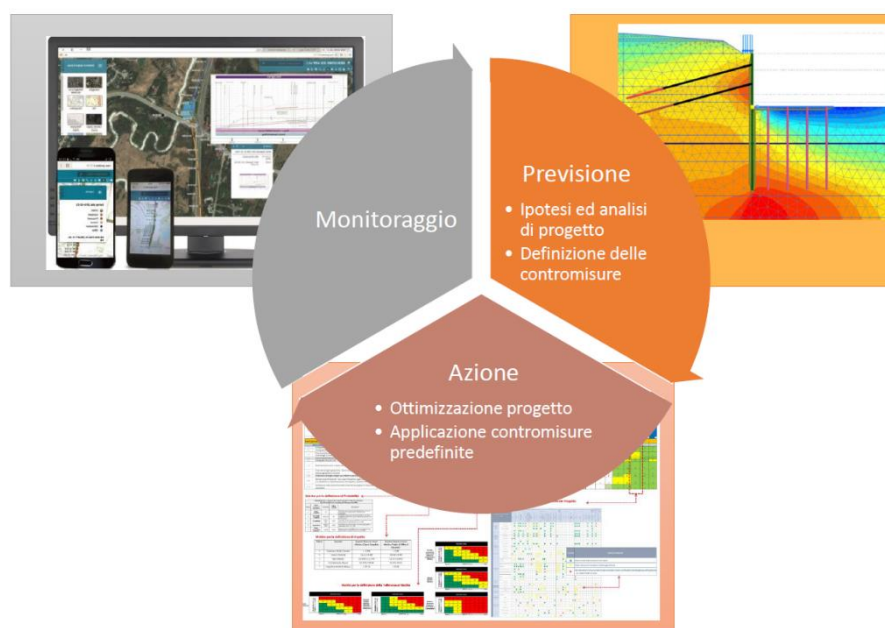


Figura 39: Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile

Tale filosofia prevede il controllo sistematico dei lavori attraverso un piano di monitoraggio dei parametri che influenzano il comportamento dell’opera e del terreno circostante, al fine di confrontare le ipotesi di progetto e, dove necessario, adattarlo alla situazione locale per garantire le condizioni di sicurezza previste, il rispetto dei tempi di esecuzione e la gestione delle aleatorietà.

### 13.1 CARATTERISTICHE DEL PIANO DI MONITORAGGIO

Il progetto specifico del sistema di monitoraggio comprende i seguenti elementi:

- definizione dei parametri chiave del monitoraggio;
- definizione delle sezioni tipo di monitoraggio e della tipologia di strumentazione da mettere in opera, sia per le strutture che per i manufatti preesistenti;
- definizione della frequenza delle letture;
- definizione dei valori (soglie) di attenzione e allarme per le grandezze monitorate;
- definizione delle contromisure da attuare in caso di superamento dei valori di allarme definiti.

### 13.2 PARAMETRI CHIAVE DEL MONITORAGGIO

Il sistema di controllo e misura è finalizzato allo studio del comportamento tenso-deformativo di dettaglio dell’insieme terreno-struttura durante le diverse fasi costruttive, attraverso il controllo delle seguenti grandezze:

- deformazioni e spostamenti: il controllo dei fenomeni deformativi fornisce importanti indicazioni per l’interpretazione del comportamento del sistema terreno-elementi strutturali e per la verifica delle ipotesi di

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>67 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	67 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	67 di 70								

calcolo. Per le opere d'imbocco si dovrà verificare l'andamento degli spostamenti plano-altimetrici in corrispondenza di punti significativi sia sulla paratia sia a tergo della stessa.

Nel paragrafo che segue si riporta una descrizione sintetica delle principali tipologie di misurazione previste dal Progetto Esecutivo.

### 13.3 GRANDEZZE MONITORATE

#### 13.3.1 MISURE DI SPOSTAMENTO E CONVERGENZA CON MIRE OTTICHE

Consistono nel determinare la variazione in valore assoluto della distanza di uno o più punti di misura posizionati lungo lo sviluppo della paratia. I punti di misura sono costituiti da prismi ottici o da mire ottiche reticolate, traggurate mediante un teodolite o distanziometro. La misura si effettua come una normale triangolazione di precisione.

#### 13.4 STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

In corrispondenza della paratia dovrà essere predisposta un'adeguata strumentazione finalizzata al controllo delle condizioni di stabilità dell'opera ed alla corrispondenza dei risultati attesi in sede di progetto in termini di tensioni e deformazioni. Il piano di monitoraggio prevede, in particolare, la seguente strumentazione:

- N.6 punti di controllo topografico di precisione di superficie, chiodi topografici (CT) posizionati in prossimità del cordolo della paratia;

Per quanto concerne il posizionamento della strumentazione sopra indicata, sono stati adottati i seguenti criteri:

- in corrispondenza del cordolo di testa delle paratie ad interasse orizzontale approssimativamente pari a 8-10m e comunque in corrispondenza di ogni vertice plano-altimetrico del cordolo stesso;

#### 13.5 FREQUENZE DI LETTURA

Per tutte le strumentazioni messe in opera, la "lettura di zero" dovrà essere effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo di presa della malta, calcestruzzo, ecc., laddove necessario).

La data di installazione della strumentazione dovrà consentire, in funzione delle tempistiche operative rilevate in cantiere, la realizzazione di una serie di letture di riferimento (misure di controllo) atte a riconoscere l'oscillazione naturale delle grandezze misurate ed il grado di errore (strumentale, di lettura, ambientale, ecc.) degli strumenti.

La frequenza delle letture in corso d'opera ed in fase di esercizio sono orientativamente indicate in tabella, ferma restando la facoltà di operare qualsiasi tipo di modifica a seguito di eventuali anomalie di comportamento deformativo delle opere o del raggiungimento dei limiti di attenzione.

Tabella 21: Frequenza di lettura sezioni strumentate

Stazione	Arco temporale dalla lettura di zero	Frequenza di lettura	Durata
Paratia d'imbocco	Durante le fasi di scavo	quotidiane	Fino al ritombamento della Sezione Tipo D
	Raggiunto il fondo scavo	settimanali fino a stabilizzazione	
	Oltre	mensili	

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>FA0500 002</td> <td>A</td> <td>68 di 70</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	68 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	68 di 70								

### 13.6 DEFINIZIONE DEI LIMITI DI ATTENZIONE E DELLE CONTROMISURE

Come detto, il monitoraggio ha lo scopo di valutare la rispondenza dei valori di riferimento misurati in corso d'opera (spostamenti, sforzi negli elementi di contrasto, livelli di falda) con le ipotesi adottate nel calcolo, secondo il principio dell'analisi di rischio.

Si definiscono, a tal fine, i seguenti valori di riferimento:

- limite di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze dei calcoli in progetto. Il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve in modo da valutare il potenziale instaurarsi di fenomeni ad evoluzione rapida che potrebbero, in particolari situazioni, divenire potenzialmente incontrollabili;
- limite di allarme: è definito in funzione del livello deformativo, tensionale, ecc. più gravoso per una determinata situazione di scavo. Il suo superamento implica il coinvolgimento della D.L. e del progettista per la valutazione dell'opportunità di attuare adeguate contromisure.

Nell'ambito delle opere in sotterraneo, le letture di convergenza rappresentano comunemente il parametro più significativo per la valutazione della stabilità dello scavo, mentre la restante strumentazione installata è uno strumento addizionale di cui Progettista e Direzione Lavori dispongono per una migliore interpretazione della complessa interazione struttura-terreno.

Con riferimento ai valori per le opere di imbocco, i limiti di attenzione e di allarme sono stabiliti con riferimento ai seguenti criteri:

spostamenti: per ogni fase di scavo:

- il limite di attenzione è stabilito in ragione del 100% del corrispondente valore di spostamento dedotto dall'analisi numerica;
- il limite di allarme è stabilito in ragione del 120% del corrispondente valore di spostamento dedotto dall'analisi numerica.

Tabella 22: Soglie

Piazzale FA05				
Mire ottiche				
Sezione tipo	Strumentazione	Fase	Limite di attenzione	Limite di allarme
-	-	-	(mm)	(mm)
Sezione Tipo FA05	CT - Cordolo	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	8	10
		Fondo Scavo	35	45

La definizione esatta della condizione che richiede automaticamente l'applicazione di una certa contromisura è un problema tutt'altro che banale: alcune situazioni possono essere facilmente interpretate, e quindi si può agevolmente definire quale contromisura adottare; altre situazioni sono invece maggiormente complicate, e richiedono l'intervento del Progettista. Inoltre, le letture effettuate nel corso delle varie campagne di misura andranno interpretate congiuntamente ed in modo critico, in considerazione del comportamento globale della struttura.

La tabella seguente fornisce un piano di azione indicativo per i due diversi livelli di guardia sopra definiti, redatto sulla base della risposta fornita dalla totalità della strumentazione installata per monitorare le prestazioni delle opere civili.

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**FA05 - Relazione di calcolo paratia FA05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	FA0500 002	A	69 di 70

Tabella 23: Contromisure da applicare

Limite raggiunto	Azione immediata	Azione successiva
<b>ATTENZIONE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informare il Progettista e la D.L.</li> <li>• Aumentare la frequenza di lettura della strumentazione installata</li> <li>• Verificare la necessità di installare strumenti di misura integrativi</li> <li>• Verificare la sequenza costruttiva eseguita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osservare l'andamento nel tempo delle grandezze monitorate, e verificare la tendenza o meno alla stabilizzazione del fenomeno. Ogni eventuale azione successiva sarà decisa in accordo con tale andamento.</li> </ul>
<b>ALLARME</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermare i lavori e mettere in sicurezza le opere, prevedendo l'installazione di adeguati interventi aggiuntivi di contromisura (in accordo con il Progettista e previa approvazione della D.L.) quali ad esempio: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ stabilizzazione del piede della paratia mediante ritombamento a valle,</li> <li>○ messa in opera di ordini aggiuntivi di tiranti.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installare strumenti di misura integrativi – se necessario – per monitorare l'efficacia delle contromisure adottate.</li> <li>• Le operazioni di scavo potranno riprendere solo dopo aver verificato l'efficacia delle contromisure adottate.</li> </ul>

## 14 CONCLUSIONI

La presente relazione ha lo scopo di verificare dal punto di vista strutturale e geotecnico le strutture della paratia del piazzale FA05, in particolare:

- Paratia
- Soletta di contrasto superiore
- Trave di fondazione

Le seguenti tabelle riassumono le armature calcolate per ogni elemento.

Tabella 24: Armatura dei pali della paratia FA05

Gabbia	Armatura principale	Spirali
I	32Φ30	Φ14/150mm Φ14/90mm
II	48Φ26	Φ14/90mm Φ14/300mm
III	32Φ16	Φ14/300mm

Tabella 25: Armatura della trave di fondazione

Elemento	Armatura Principale	Armatura Secondaria	Staffe
Trave di fondazione	7Φ26	5Φ14	2Φ16/500mm

Tabella 26: : Armatura della soletta di copertura

Elemento	Armatura Principale	Armatura Secondaria	Staffe
Soletta	5Φ24	5Φ14	2Φ16/750mm

Le verifiche sono soddisfatte e i fattori di sicurezza sono appropriati per assicurare una garanzia di sicurezza strutturale e geotecnica delle strutture in esame.