

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	Ing. Fabio RIZZO	Ing. Piergiorgio GRASSO
		Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche 

## PROGETTO ESECUTIVO

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

GALLERIA ARTIFICIALE di TELESE dal km 22+263 al km 25+200

Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D

APPALTATORE		SCALA:
IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A. Dott. Ing. Salvo Del Balzo 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	G	A	0	2	0	0	0	1	2	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	A. El Amrani	24/02/2020	A. Fernandez	24/02/2020	P. Grasso	24/02/2020	Ing. Fabio RIZZO
B	Soglie monitoraggio	G. Brino	18/06/2020	A. Fernandez	19/06/2020	P. Grasso	23/06/2020	

File:IF26.1.2.E.ZZ.CL.GA.02.0.0.012.B

n. Elab.:

## Indice

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b> .....	<b>4</b>
1.1	FASI COSTRUTTIVE DEL TRATTO D'OPERA .....	7
1.2	UNITA' DI MISURA .....	9
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>10</b>
2.1	SOFTWARE IMPIEGATI .....	10
2.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	11
2.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	11
<b>3</b>	<b>MATERIALI</b> .....	<b>13</b>
3.1	CALCESTRUZZO PER PALI E CORDOLI .....	14
3.2	CALCESTRUZZO PER SOLETTA SUPERIORE, MURI E FODERE .....	15
3.3	CALCESTRUZZO PER SOLETTE INFERIORI .....	16
3.4	CALCESTRUZZO MAGRO .....	17
3.5	ACCIAIO IN BARRE A.M. ....	17
3.6	ACCIAIO PER TREFOLI .....	17
3.7	CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI .....	19
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>22</b>
4.1	PARAMETRIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	24
4.2	MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA .....	24
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b> .....	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA</b> .....	<b>29</b>
6.1	MODELLAZIONE STRUTTURALE .....	29
6.2	MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	32
6.3	MODELLAZIONE SISMICA .....	33
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>37</b>
7.1	G1: PESI PROPRI .....	37
7.2	G2: SOVRACCARICHI PERMANENTI.....	37

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	3 di 145

7.3	G3: SPINTA DELLE TERRE.....	38
7.4	Q1: SOVRACCARICHI MOBILI.....	38
7.5	Q2: INCREMENTO DINAMICO DEI CARICHI MOBILI.....	40
7.6	E4: CEDIMENTI VINCOLARI.....	41
7.7	ALTRE AZIONI.....	41
<b>8</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>48</b>
9.1	VERIFICHE SLU.....	48
9.2	VERIFICHE SLE.....	50
<b>10</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE .....</b>	<b>53</b>
10.1	VERIFICHE SULLA PARATIA.....	53
10.2	VERIFICHE SUI TIRANTI .....	54
10.3	CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI .....	57
10.4	SEZIONE TIPO D – PK 25+115.00 .....	62
10.5	SEZIONE TIPO E – PK 25+165.00 .....	83
<b>11</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>94</b>
11.1	SEZIONE TIPO D – PK 25+115.00 .....	94
11.2	SEZIONE TIPO E – PK 25+165.00 .....	117
11.3	VERIFICA DELLA FONDAZIONE .....	126
<b>12</b>	<b>MONITORAGGIO DELLA PARATIA.....</b>	<b>139</b>
12.1	CARATTERISTICHE DEL PIANO DI MONITORAGGIO .....	139
12.2	PARAMETRI CHIAVE DEL MONITORAGGIO .....	140
12.3	GRANDEZZE MONITORATE .....	140
12.4	STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO .....	140
12.5	FREQUENZE DI LETTURA .....	141
12.6	DEFINIZIONE DEI LIMITI DI ATTENZIONE E DELLE CONTROMISURE.....	141
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>144</b>

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	4 di 145

## 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 Cancellò-Benevento / 2° Lotto Funzionale Frasso Telesino – Vitulano e si occupa, in particolare, dell'analisi strutturale della Galleria Artificiale Telese, codificata a nome GA02, e rappresentata da una struttura realizzata in Cut&Cover con il cosiddetto Metodo Milano.

Vista la sua notevole lunghezza, che supera i 2900m, e la varietà delle condizioni geometriche e geotecniche incontrate lungo il suo sviluppo, la verifica della stabilità e sicurezza strutturale dell'opera viene articolata in più Relazioni di Calcolo che studiano le varie Sezioni Tipo A e C composte da Cut&Cover con pali DN1200 mm disposti ad interasse 1.50m, e di due Relazioni di Calcolo degli Imbocchi, lato Benevento (Nord) e lato Cancellò (Sud).

Le tratte della Galleria sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 1: Tratti della Galleria Artificiale Telese (GA02)

Tratto	da PK	a PK	Sez. Tipo	Lunghezza
	km	km		m
Imbocco SUD Lato Cancellò	22+263.00	22+295.00	G	32.00
Galleria Artificiale GA02	22+295.00	22+310.00	F	15.00
Galleria Artificiale GA02	22+310.00	25+110.00	A, C	2 800.00
Galleria Artificiale GA02	25+110.00	25+162.00	D	52.00
Imbocco NORD Lato Benevento	25+162.00	25+200.00	E	38.00
				-----
<b>Galleria Artificiale di Telese (GA02)</b>	<b>22+263.00</b>	<b>25+200.00</b>		<b>2 937.00</b>

La presente relazione si occupa, in particolare, dell'analisi geotecnica e strutturale delle opere all'Imbocco lato Benevento (Nord) e Sezione Tipo D e mette in evidenza le particolari condizioni parietali dell'Opera che, rispetto alle previsioni del Progetto Definitivo, ha richiesto l'introduzione di Sezioni Tipo aggiuntive.

La lunghezza totale della Galleria non viene variata, né sono sostanziali le variazioni dei tratti coperti e scoperti che si ripartiscono diversamente. Ciò che cambia è l'approccio costruttivo che, nella Sezione Tipo D, richiede l'adozione di una tecnica mista che vede lato monte la costruzione di una paratia di pali DN1500 mm di lunghezza totale 30 m, disposti con interasse 1.8 m con tiranti disposti su due file, e lato valle l'elevazione di un corrispondente muro su fondazioni profonde che offre un secondo appoggio alla soletta di copertura.

I tiranti svolgono la funzione solo temporanea di consentire il raggiungimento delle quote di fondo scavo alle quali vengono realizzati i "pali di fondazione" DN1200 mm, in numero di due con passo 3.60 m, il cui scopo non è propriamente il sostegno della sede ferroviaria quanto il contrasto alle spinte subite dalla paratia di monte che vengono "rilasciate" una volta de-tesati i tiranti provvisori.

In altre parole, viene confermato l'approccio progettuale proprio del Progetto Definitivo, salvo qualche diverso dettaglio che razionalizza il comportamento strutturale d'insieme. Il muro lato valle, infatti, viene elevato dalle quote di fondo scavo e non da quote intermedie come da PD e fondato su un palo aggiuntivo dello stesso diametro dei pali della Paratia con tiranti. I pali di fondazione DN1200 mm sono aggiuntivi rispetto alla soluzione di PD e riducono l'azione orizzontale sul DN1500 mm di valle che vede un debole contrasto passivo offerto dal terreno in sito stante la sua parietalità.

La figura seguente illustra le soluzioni adottate in Progetto Esecutivo. La Sezione Tipo D non ha un analogo e dettagliato riscontro nell'elenco elaborati del PD, mentre la Sezione Tipo E riportata in figura è del tutto analoga alla soluzione prospettata nella precedente fase progettuale.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	5 di 145

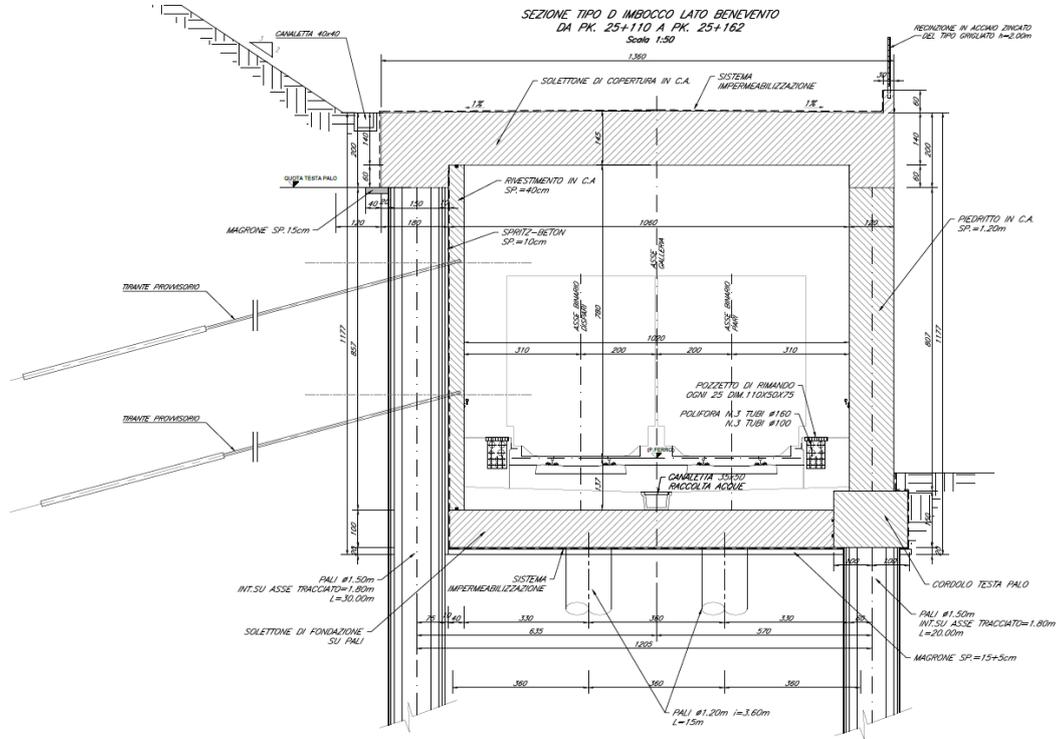


Figura 1: Progetto Esecutivo - Sezione Tipo D

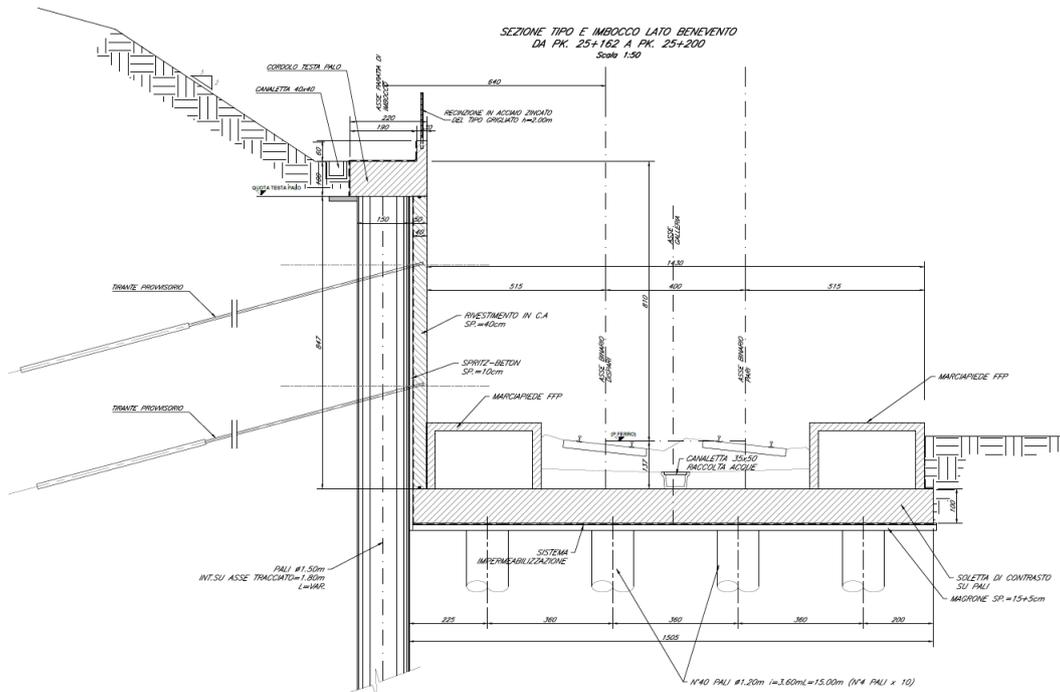


Figura 2: Progetto Esecutivo - Sezione Tipo E

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	6 di 145

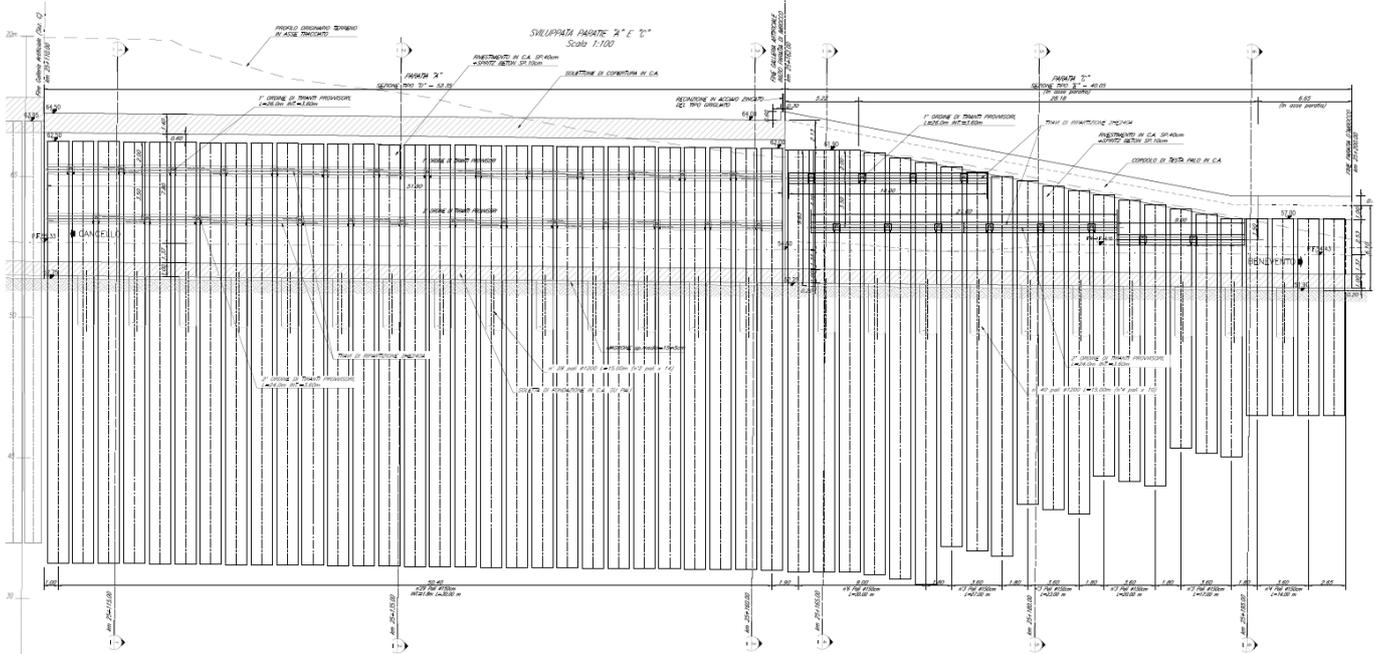


Figura 3: Progetto Esecutivo – Profilo longitudinale Sezioni Tipo D ed E

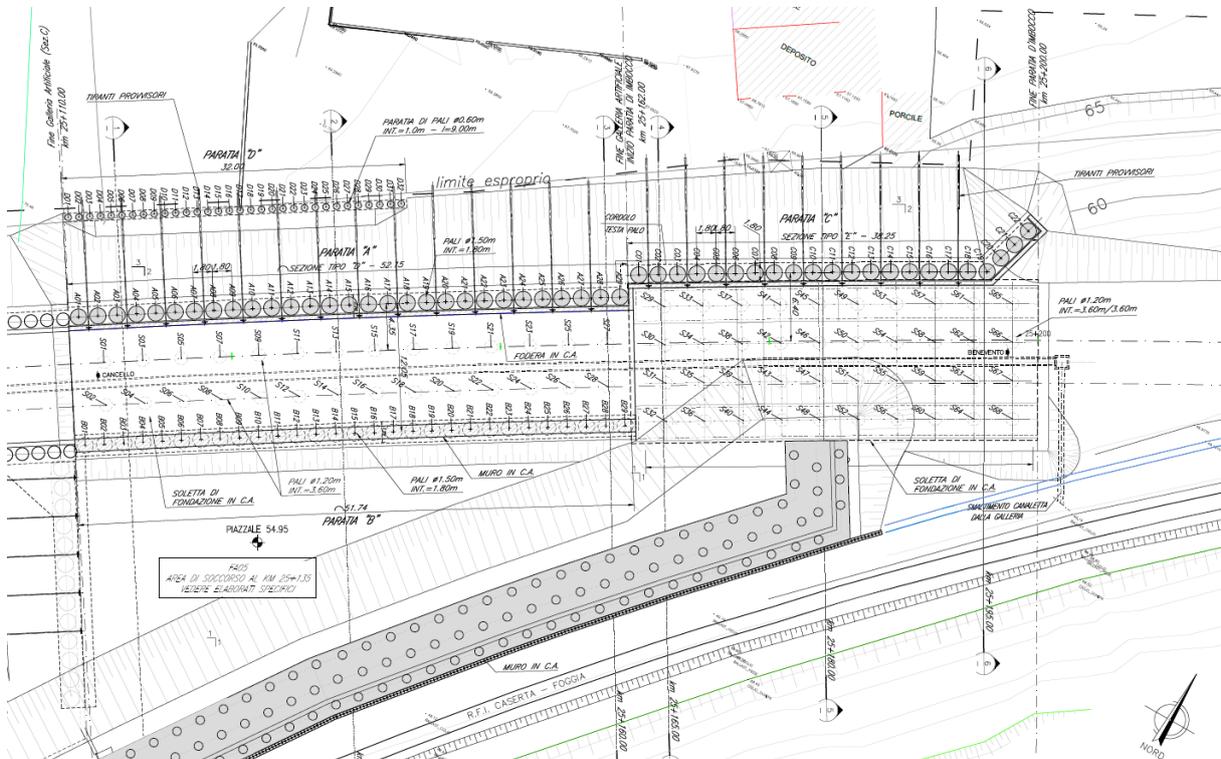


Figura 4: Progetto Esecutivo – Pianta generale Sezioni Tipo D ed E

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>7 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	7 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	7 di 145								

## 1.1 FASI COSTRUTTIVE DEL TRATTO D'OPERA

Il tratto terminale della Galleria Artificiale di Telese GA02, lato Benevento, denominato Sezione Tipo D tra le pk 25+110 e 25+162 è, dunque, costituito da:

- In fase temporanea:
  - una paratia di sostegno di pali DN1500 mm, disposti ad interasse 1.80m e di lunghezza 30m, con due ordini di tiranti tipo IRS inclinati sull'orizzontale a 15° aventi quattro trefoli pretesati a 300kN di lunghezza 24 e 26m disposti lungo lo sviluppo della parete con passo 3.6m;
- In fase definitiva:
  - una Soletta di Contrasto, di spessore 1.00 m, su pali DN1200 mm disposti a coppie ad interasse di 3.60m e lunghezza 15m che, una volta eseguita, consente il de-tensionamento dei tiranti provvisori tipo IRS;
  - un Muro in c.a. di spessore 1.20m e altezza 8.57m, opposto alla Paratia, fondato, su pali DN1500 mm disposti ad interasse 1.80m e di lunghezza 20 m;
  - una Soletta di Copertura, di spessore 1.40 m e luce 12.40, che mette in continuità la Paratia con il Muro, realizzando un telaio.

L'Imbocco Nord della Galleria Artificiale Telese, denominato Sezione Tipo E tra le pk 25+162 e 25+200, è, a sua volta, composto da:

- In fase temporanea:
  - una paratia di sostegno di pali DN1500 mm, disposti ad interasse 1.80m e di lunghezza variabile da 14m a 30m, con uno o due ordini di tiranti tipo IRS inclinati sull'orizzontale a 15° aventi quattro trefoli di lunghezza 24 e 26m disposti a passo 3.6m;
- In fase definitiva:
  - una Soletta di Contrasto, di spessore 1.00 m, su pali DN1200 mm disposti ad interasse di 3.60 m e lunghezza 15 m che, una volta eseguita, consente il de-tensionamento dei tiranti provvisori;

Le Fasi Costruttive delle due Opere sono sintetizzate nelle seguenti Tabelle:

Tabella 2: Fasi Costruttive - Sezione E

FASE	DESCRIZIONE
0	Scavo fino a raggiungere quote di testa pali della Paratia di Monte
1	Esecuzione dei Pali DN1500 della Paratia di monte; Magrone, Posa Armature e Getto del cordolo di testa della paratia
2	Scavo con proiezione del calcestruzzo (Spritz-Beton) fino a quota -3m dalla testa del palo
3	Installazione della prima fila di tiranti a quota -2m dalla testa del palo con trave di ripartizione, e tesatura dei tiranti a N=300 kN
4	Scavo con proiezione del calcestruzzo (Spritz-Beton) fino a quota -6.5m dalla testa del palo
5	Installazione della seconda fila di tiranti a quota -5.5m dalla testa del palo con trave di ripartizione, tesatura dei tiranti a N=300 kN
6	Scavo con proiezione del calcestruzzo fino a quota fondo scavo
7	Esecuzione dei Pali DN1200 di fondazione del Solettone di Fondazione

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	8 di 145

8	Magrone, Posa Armature e Getto platea di fondazione
9	Disattivazione dei tiranti
10	Elevazione delle Fodere verticali, ricoprimento e riprofilatura del pendio fino a raggiungere la configurazione di sistemazione definitiva
11	Esecuzione della Massicciata Ferroviaria e dei suoi elementi marginali
12	Apertura al traffico ferroviario

Completate le Opere dell'Imbocco Nord propriamente detto, i Lavori proseguono con la costruzione della Sezione D le cui fasi iniziali, evidentemente, potranno essere eseguite in continuità temporale con le medesime attività della Sezione E.

Tabella 3: Fasi Costruttive - Sezione D

FASE	DESCRIZIONE
0	Esecuzione dei Pali DN600 dell'opera provvisoria e realizzazione della berma fino a raggiungere quote di testa pali della Paratia di Monte
1	Esecuzione dei Pali DN1500 della Paratia di Monte
2	Scavo con proiezione del calcestruzzo (Spritz-Beton) fino a quota -3m dalla testa del palo
3	Installazione della prima fila di tiranti a quota -2m dalla testa del palo con trave di ripartizione, e tesatura dei tiranti a N=300 kN
4	Scavo con proiezione del calcestruzzo (Spritz-Beton) fino a quota -6.5m dalla testa del palo
5	Installazione della seconda fila di tiranti a quota -5.5m dalla testa del palo con trave di ripartizione, tesatura dei tiranti a N=300 kN
6	Scavo con proiezione del calcestruzzo fino a quota fondo scavo
7	Esecuzione dei Pali DN1200 di fondazione del Solettone di Fondazione e DN1500 di Fondazione del Muro
8	Magrone, Posa Armature e Getto platea di fondazione e cordolo in Testa Palo
9	Costruzione Muro lato Valle e Soletta di Copertura
10	Disattivazione dei tiranti
11	Elevazione delle Fodere verticali e riprofilatura del pendio fino a raggiungere la configurazione di sistemazione definitiva
12	Esecuzione della Massicciata Ferroviaria e dei suoi elementi marginali
13	Apertura al traffico ferroviario

La quota della falda rimane sottostante il piano di appoggio della soletta di fondazione e, pertanto, non sono previste opere di particolare impegno per il drenaggio, fatte salve le consuete attrezzature di cantiere per l'aggettamento delle eventuali acque di percolazione.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	9 di 145

## 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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>10 di 145</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	10 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	10 di 145								

## 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**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	11 di 145

## 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.00.0.5.001: 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.

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.

Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D - Allegati	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	GA	02	0	0	013	A
Imbocco lato Benevento Pianta Generale	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	P	9	GA	02	0	0	003	A
Imbocco lato Benevento Pianta scavi	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	P	9	GA	02	0	0	004	A
Imbocco lato Benevento : Sezioni scavi- tav 1 di 2	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	W	A	GA	02	0	0	007	A
Imbocco lato Benevento : Sezioni scavi - tav 2 di 2	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	W	A	GA	02	0	0	008	A
Imbocco lato Benevento : Sviluppata Paratia B e D	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	A	GA	02	0	0	003	A
Imbocco lato Benevento : Sviluppata Paratia A e C	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	B	A	GA	02	0	0	004	A
Imbocco lato Benevento : Pianta - sistemazione definitiva	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	P	9	GA	02	0	0	005	A
Imbocco lato Benevento : Sezioni sistemazione definitiva - tav 1 di 2	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	W	A	GA	02	0	0	009	A
Imbocco lato Benevento : Sezioni sistemazione definitiva - tav 2 di 2	I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	W	A	GA	02	0	0	010	A

## 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] Ozbud R., 2015. Constitutive models for practice. Lausanne, Switzerland.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	12 di 145

- 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 4: Lista Materiali

<b>ELEMENTO</b>	<b>CALCESTRUZZO</b>
Soletta Superiore, Muri e Fodere	C32/40
Soletta Inferiore	C30/37
Pali e Cordoli	C25/30
Magroni di pulizia	C12/15
<b>ELEMENTO</b>	<b>ACCIAIO IN BARRE A.M.</b>
Tutti	B450C
<b>ELEMENTO</b>	<b>ACCIAIO PER TREFOLI</b>
Tiranti	$f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$ $f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$
<b>ELEMENTO</b>	<b>ACCIAIO PER PROFILATI E PIASTRE</b>
Travi di ripartizione	S275
Piastre di collegamento	S275

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 E CORDOLI

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, MURI E FODERE

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>

$f_{ctk,0,05} = 0,70 * f_{cfm} = 2,54$  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 PER SOLETTE INFERIORI

Valore Caratteristico Resistenza Cubica a 28gg:  $R_{ck} = 37$  N/mm<sup>2</sup>

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

Resistenza a compressione cilindrica media:  $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione assiale:  $f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 2,90$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk,0,05} = 0,70 * f_{ctm} = 2,03$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione per flessione  $f_{cfm} = 1.20 * f_{ctm} = 3,48$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk,0,05} = 0.70 * f_{cfm} = 2,43$  N/mm<sup>2</sup>

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

Resistenza di calcolo a compressione  $f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 17,00$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a trazione diretta  $f_{ctd} = f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1,35$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a trazione per flessione  $f_{ctd,f} = 1,20 * f_{ctd} = 1,62$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo di Young secante:  $E_{cm} = 22 * [f_{cm}/10]^{0,3} = 32837$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo di elasticità tangenziale:  $G_{cm} = E / [2(1+\nu)] = 13682$  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:  $\eta = 1,00$

$f_{bd} = 2,25 * f_{ctk} * \eta / \gamma_c = 3,04$  N/mm<sup>2</sup>

#### Verifiche agli SLE:

Combinazioni Quasi Permanenti  $\sigma_{cmax,QP} = 0,40 * f_{ck} = 12,00$  N/mm<sup>2</sup>

Combinazioni Caratteristiche  $\sigma_{cmax,R} = 0,55 * f_{ck} = 16,50$  N/mm<sup>2</sup>

Verifiche a Fessurazione  $\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.42$  N/mm<sup>2</sup>

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	17 di 145

### 3.4 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>

### 3.5 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>
------------------------------	-----------------------------------	--------------	-------------------

### 3.6 ACCIAIO PER TREFOLI

Tensione caratteristica di rottura	$f_{ptk} =$	<b>1860</b>	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale	$f_{p(1)k} =$	<b>1670</b>	N/mm <sup>2</sup>

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	18 di 145

Allungamento sotto carico massimo

$$A_{gt} = 3,5 \%$$

Modulo di elasticità:

$$E_f = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:

$$\gamma_s = 1,15$$

Resistenza di calcolo allo SLU:

$$f_{yd} = f_{p(1)k} / \gamma_s = 1452 \text{ N/mm}^2$$

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	19 di 145

**3.7 CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI**

Con riferimento alle specifiche di cui alla norma UNI 11104, si definiscono di seguito le classi 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, Muri e Fodere	C32/40	XC4	aggressivo	32	0.50	340	40
Soletta Inferiore	C30/37	XA1	aggressivo	32	0.55	320	40
Pali e Cordoli	C25/30	XC2	ordinario	25	0.60	300	60

Classe esposizione norma UNI 9550	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 copriferrato o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si 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 cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.	0,45	C 35/45	

Classe esposizione norma UNI 9550	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 salinità 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 battigia 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 agenti disgelanti.	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 agenti disgelanti.	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 agenti disgelanti.	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 5: Classi di esposizione secondo UNI-EN 206-2006.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	20 di 145

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 6: 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:

*Vita Nominale = 50 anni*

Cmin	Co	ambiente	barre c.a. per Piastre		barre c.a. per altri Elem.		cavi c.a.p. per Piastre		cavi c.a.p. per altri Elem.	
			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 7: 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**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	21 di 145

	Pali	Soletta Inf.	Soletta Sup.	Muri	
fck =	25	30	32	32	N/mm <sup>2</sup>
AMBIENTE =	2	2	2	2	Aggressivo
Classe di Esposizione =	XC2	XA1	XC4	XC4	
Cmin =	28	28	28	28	N/mm <sup>2</sup>
Co =	40	40	40	40	N/mm <sup>2</sup>
VITA NOMINALE =	75	75	75	75	anni
Copriferro base =	35	30	30	30	mm
Incr. per Resistenza =	5	0	0	0	mm
Incr. per Vita Nominale =	5	5	5	5	mm
Incr. per Controllo Qualità =	0	0	0	0	mm
Copriferro di Calcolo =	45	35	35	35	mm
<b>Copriferro di PE =</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>40</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.

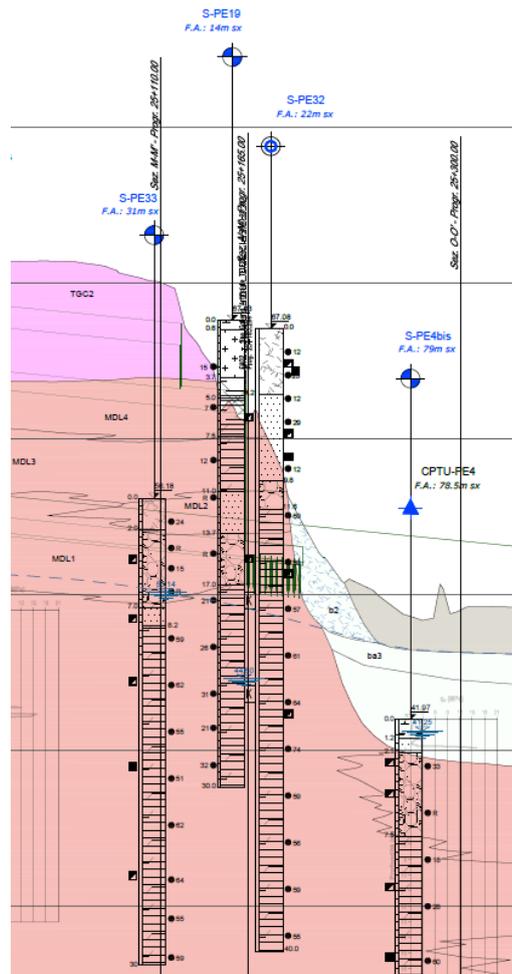


Figura 8: Profilo Geotecnico ricostruito nell'intorno dell'imbocco lato Benevento [IV]

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

**GA02 - Relazione di calcolo imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	23 di 145

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

Tabella 5: Stratigrafia di progetto, imbocco lato Benevento

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	-

		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 24 di 145

## 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 geotecnici di calcolo utilizzati per il caso in esame. La parametrizzazione è stata utilizzata nella modellazione per le analisi 2D FEM con PLAXIS.

Tabella 6: Parametri di calcolo dell'imbocco lato Benevento

Unità Geotecnica	Descrizione	PARAMETRI GEOTECNICI					
		Modello costitutivo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	$E'_{0,50}$ (MPa)	$E'_{ur,50}$ (MPa)
(UG)	-						
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 travertinoso	HSM-DR	20	34	30	200	600

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

$E'_{ur,50}$  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).

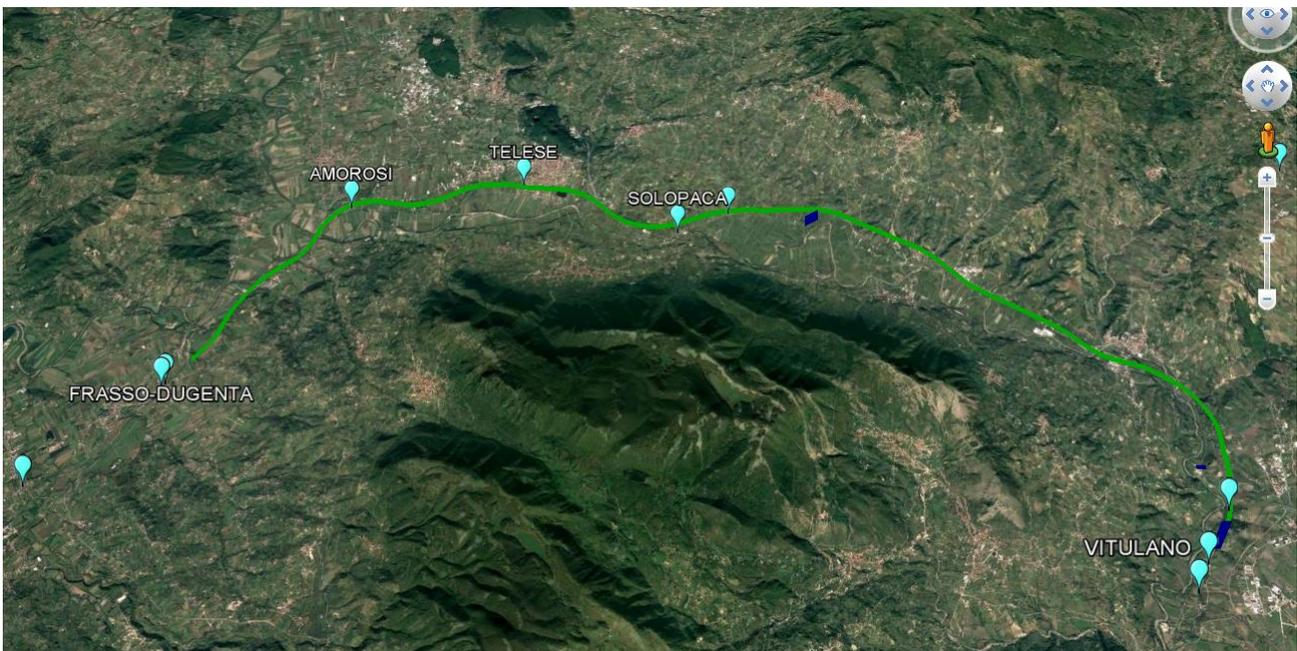


Figura 9: Configurazione planimetrica tracciato.

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.

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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 26 di 145

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 10: 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 11: 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 12: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ .

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	27 di 145

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:

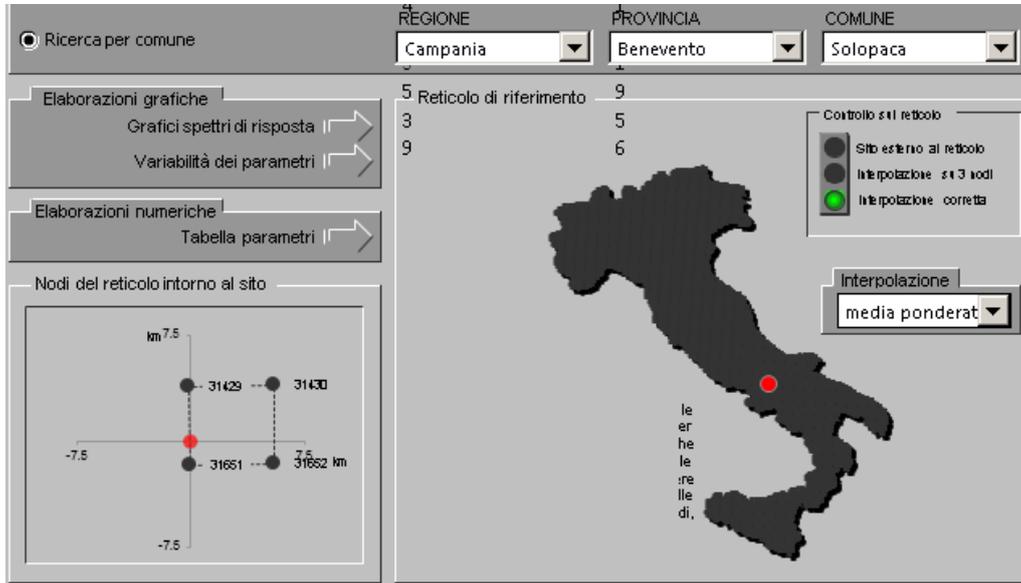
Stato Limite	Pvr	Vn	Cl. d'uso	Cu	Vr = Vn * Cu
	%	anni			anni
<b>SLV</b>	<b>10</b>	<b>75</b>	<b>3</b>	<b>1,50</b>	<b>112,50</b>

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**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	28 di 145



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 13: 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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>29 di 145</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	29 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	29 di 145								

## 6 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Il comportamento del sistema terreno-struttura 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 delle sollecitazioni attese 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 tensio-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;
- Elementi "embedded beam row" per i pali di fondazione e per i bulbi degli ancoraggi;
- Elementi "node-to-node anchor" per la lunghezza libera degli ancoraggi.

#### 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 quinti rigidezza assiale pari a:

$$EA_{parati a} = E_c \cdot d_{eq}$$

### 6.1.2 TRAVI, MURI, SOLETTE E PLATEE

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  $\nu$ .

$$EA = E_c \cdot h_b$$

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

### 6.1.3 PALI DI FONDAZIONE E ANCORAGGI

I pali e i bulbi di ancoraggio sono modellati con elementi appositamente creati all'interno del programma per la modellazione di pali, bulloni e bulbi di ancoraggi, definiti "embedded beam row".

Questi elementi sono ordinari elementi "beam" secondo la teoria della trave di Midlin che vengono sovrapposti alla mesh di analisi senza determinarne l'interruzione ed interagendo con la stessa solo attraverso delle molle ai nodi. La rigidezza di tali molle di connessione è funzione dell'interasse tra i pali, così da lasciare la possibilità alla mesh di "attraversare" la palificata.

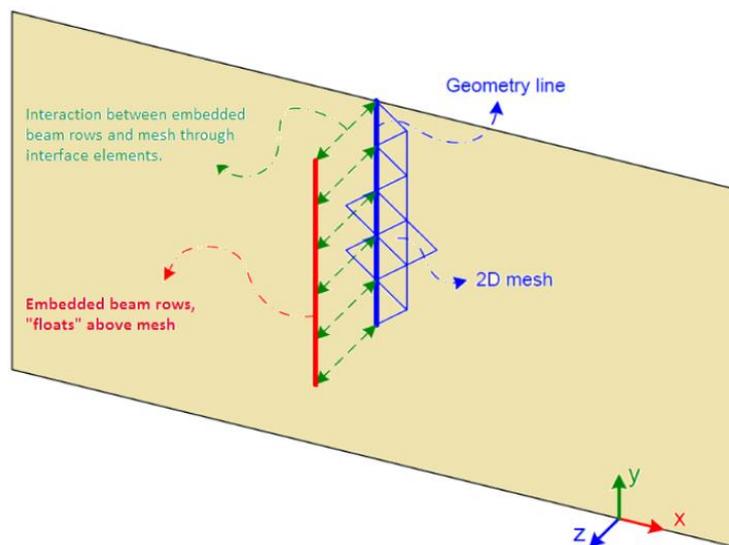


Figura 14: Schema dell'elemento "embedded beam row"

L'interazione dell'elemento con il terreno è descritta da una legge di comportamento lineare elastica con resistenza determinata da parametri specifici che governano il comportamento del palo tramite gli spostamenti differenziali e la rigidezza, per i tre principali meccanismi di trasmissione degli sforzi tra palo e terreno, ognuno dotato di un valore di resistenza:

- Rigidezza assiale ( $K_s$ ) e la corrispondente resistenza attritiva ( $T_{shaft}$ ).
- Rigidezza laterale fuori dal piano ( $K_n$ ) e la corrispondente resistenza laterale ( $T_{lat}$ ).

- Rigidezza alla base del palo ( $K_{foot}$ ) e la corrispondente resistenza alla base ( $F_{foot}$ )

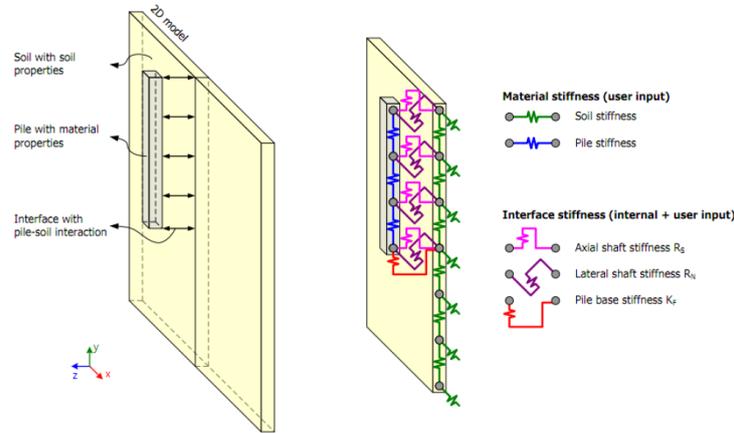


Figura 15: Rigidezze dell'elemento di interfaccia tra pali e terreno per gli elementi "embedded beam row"

I parametri di input forniti al programma per la modellazione degli elementi "embedded beam row" saranno quindi i parametri geometrici dell'elemento (area  $A_{ebr}$ , inerzia  $J_{ebr}$ , interasse fuori dal piano  $L_{s,ebr}$ ), le caratteristiche meccaniche del materiale (modulo elastico  $E_{ebr}$ , peso specifico  $\gamma_{ebr}$ ) e dell'interfaccia elemento-terreno (resistenza assiale  $T_{shaft,ebr}$ , resistenza laterale  $T_{lat,ebr}$ , resistenza alla base  $F_{foot,ebr}$ ).

La resistenza assiale e la resistenza di base per i pali di fondazione è derivata dal calcolo della capacità portante (rispettivamente laterale e alla punta) per pali trivellati in terreni attritivi, sviluppato con maggiore dettaglio nel paragrafo relativo alle verifiche geotecniche per la capacità portante.

La resistenza assiale per i tiranti è derivata dal calcolo della resistenza a metro lineare ottenuta con i diagrammi di Bustamante e Doix, descritta con maggiore dettaglio nel paragrafo relativo alle verifiche geotecniche sugli ancoraggi:

$$T_{shaft} = \pi \Phi_d \alpha \tau_{lim}$$

dove:

$T_{shaft}$  è la resistenza assiale del tirante (resistenza allo sfilamento del bulbo di ancoraggio)

$\Phi_d$  è il diametro di perforazione

$\alpha$  è il coefficiente di sbulbamento secondo Bustamante e Doix

$\tau_{lim}$  è la tensione caratteristica di adesione laterale limite fondazione-terreno.

L'elemento strutturale, essendo del tutto equivalente ad un elemento "beam", fornirà le sollecitazioni principali calcolate con la teoria della trave di Midlin.

La differenza tra l'utilizzo dell'elemento strutturale tra pali e bulbi di ancoraggi è qui riassunta: il palo è connesso con l'elemento "plate" in testa con una connessione che permette la trasmissione di spostamenti e rotazioni, mentre il bulbo di ancoraggio è connesso all'estremità con l'elemento di collegamento "node-to-node anchor" che simula il comportamento della lunghezza libera del tirante, e non con il terreno, a cui è collegato solo attraverso l'interfaccia .

L'elemento "node-to-node anchor" è un elemento che può essere soggetto sia a compressione sia a trazione, è sollecitato solo da sforzi assiali e simula il comportamento di una molla elastica con relativa rigidezza calcolata come:

$$k = E_s A_t / L_t$$

dove:

- $E_s$       modulo elastico dell'acciaio
- $A_t$       sommatoria dell'area di tutti i trefoli del tirante
- $L_t$       interasse tra tiranti in direzione longitudinale

## 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 rigidità 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.

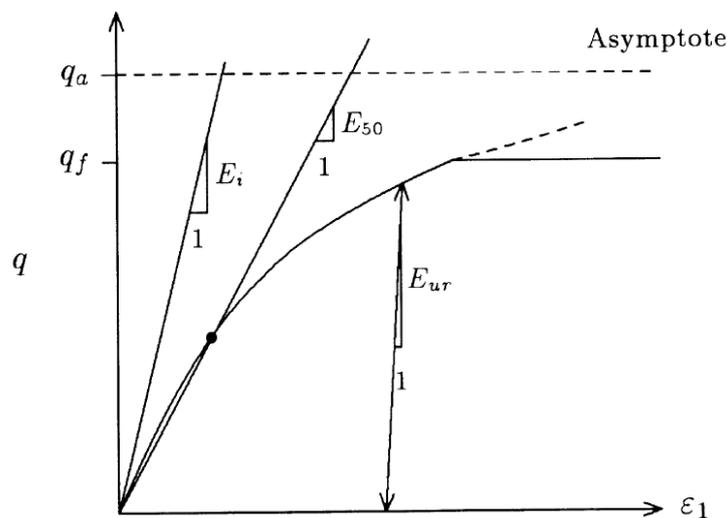


Figura 16: Risposta tenso-deformativa di un materiale modellato con HSM sottoposto di cicli di carico-scarico (Rif [16])

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  $\varphi'$  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] :

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

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

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>33 di 145</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	33 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	33 di 145								

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:

$$\delta = 2/3 \varphi' \approx 0.6 \varphi'$$

### 6.3 MODELLAZIONE SISMICA

Le opere in esame sono assimilabili a strutture flessibili, per le quali la forza dovuta alla spinta dinamica del terreno soggetta a moto sismico può essere 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:

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

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

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:

$$K_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max} / g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$$

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.

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

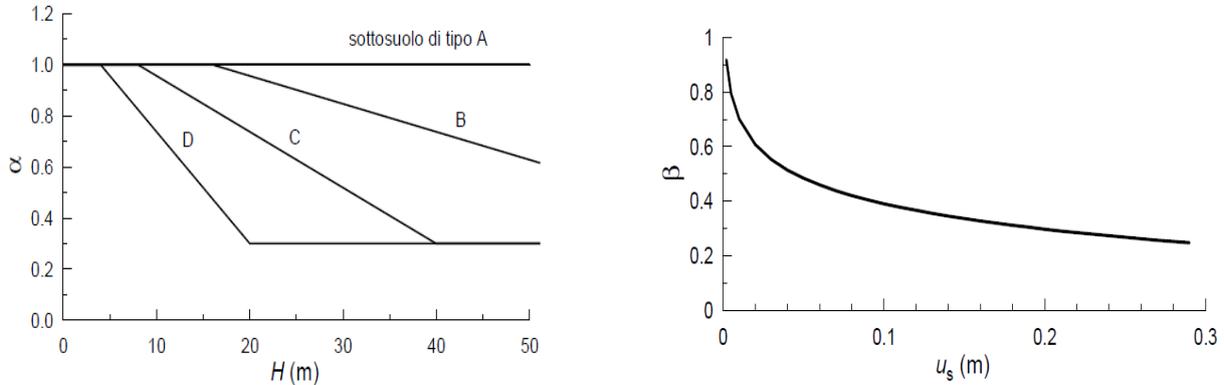


Figura 17: Diagrammi per la valutazione dei coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  inclusi nelle NTC 2008 (Rif. [1] )

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 muro-terreno lungo il paramento, imposto pari a zero
- $W$  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:

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 35 di 145

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

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 del muro. 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 Ed 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 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 all'imbocco lato Benevento della GA02

Nel caso dell'imbocco lato Benevento della GA02, i calcoli sono stati eseguiti utilizzando i seguenti coefficienti sismici legati a geometria e spostamenti ammissibili:

$H_p =$	30 m	altezza totale della paratia
$\alpha (H_p=30m) =$	0,55	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:

$$K_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max} / g) = \alpha \cdot \beta \cdot S \cdot a_g / g = 0,55 \cdot 0,60 \cdot 1,247 \cdot 0,322 = 0,133$$

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

$$\Delta P_{AE} = \frac{3}{8} \cdot k_h \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{3}{8} \cdot 0.133 \cdot 20 \cdot 11.77^2 = 137.67 \text{ kN}$$

da cui si ricava il carico sismico:

$$\Delta q_{AE} = \frac{\Delta P_{AE}}{H} = \frac{137.67}{11.77} = 11.70 \text{ kN/m}$$

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

$$\Delta P_{AE} = \frac{3}{8} \cdot k_h \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{3}{8} \cdot 0.133 \cdot 20 \cdot 9.77^2 = 94.86 \text{ kN}$$

da cui si ricava il carico sismico:

$$\Delta q_{AE} = \frac{\Delta P_{AE}}{H} = \frac{94.86}{9.77} = 9.71 \text{ kN/m}$$

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 37 di 145

## 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" e "embedded beam row", riassunti nell'apposito paragrafo riportato in ogni sezione di calcolo.

I pesi propri considerati nella modellazione della soletta di fondazione sono qui riassunti:

Tabella 7 – Determinazione del peso proprio

Elemento	$B \cdot H \cdot \gamma =$	G1 [kN/m]
Soletta di fondazione	$1.00 \cdot 1.00 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	25.00

### 7.2 G2: SOVRACCARICHI PERMANENTI

I sovraccarichi permanenti considerati nell'analisi della paratia sono stati inseriti nella modellazione con PLAXIS attraverso il peso del terreno di ricoprimento inserito come elemento di volume in ogni sezione di calcolo. E' stato considerato il rinterro con geometria coerente a quanto riportato sugli elaborati grafici.

I sovraccarichi permanenti presenti sulla soletta di base non sono stati riportati nell'analisi agli elementi finiti in PLAXIS poiché l'assenza degli stessi è la condizione più gravosa per il calcolo di tutti gli elementi strutturali e per il calcolo geotecnico, mentre sono stati considerati nella verifica della platea di fondazione, in cui sono effettivamente dimensionanti.

I pesi propri considerati nella modellazione della soletta di fondazione sono qui riassunti:

Tabella 8 – Determinazione dei sovraccarichi permanenti per i diversi elementi strutturali

Elemento	$B \cdot H \cdot \gamma =$	G2
Massicciata Ferroviaria	$1.00 \cdot 0.90 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 =$	16.20 kN/m
Massetto Pendenze	$1.00 \cdot 0.52 \cdot 24 \text{ kN/m}^3 =$	12.48 kN/m
Marciapiede FFP Sx	$(1.66 / 3.30) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	12.58 kN/m
Marciapiede FFP Dx	$(1.66 / 3.30) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	12.58 kN/m
Fodera Sx	$1.00 \cdot (8.45 \cdot 0.5) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	105.6 kN

### 7.3 G3: 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 terreno-struttura in funzione della fase di realizzazione delle opere e dello scavo.

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

### 7.4 Q1: SOVRACCARICHI MOBILI

#### 7.4.1 SOVRACCARICHI MOBILI APPLICATI AL SOLETTONE DI FONDAZIONE

I carichi verticali vengono schematizzati per mezzo di due treni di carico distinti (LM71 ed SW/2).

Il treno LM71 è rappresentativo del traffico normale ed è, quindi, applicabile ad entrambi i binari.

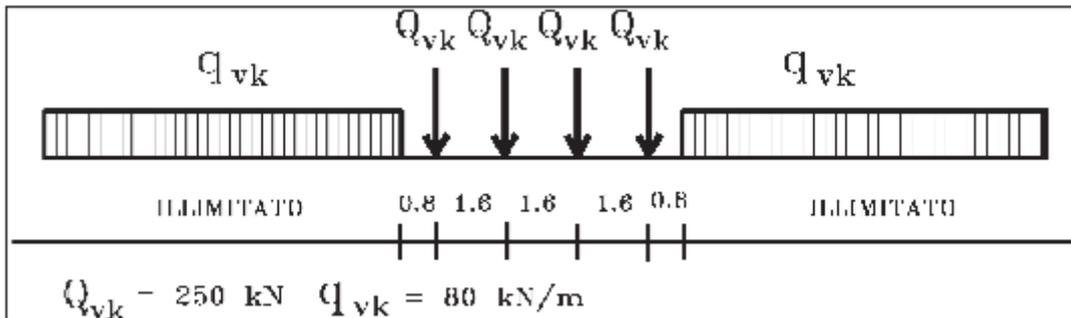


Figura 18: Treno di carico LM 71

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la lunghezza complessiva di 6.40 m sulla quale agiscono, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria risulta pari a :

$$p = 4 \cdot 250 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m}$$

Il carico per asse può essere distribuito longitudinalmente e trasversalmente secondo i seguenti schemi di diffusione:

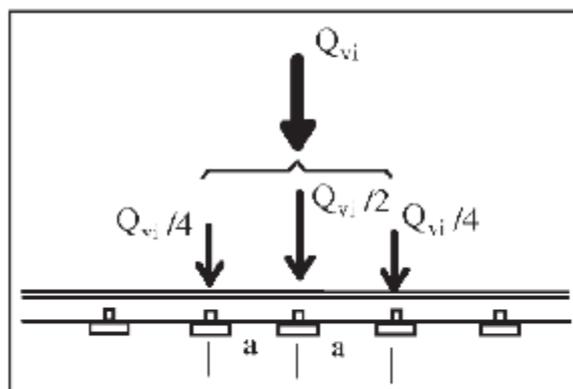


Figura 19: Distribuzione longitudinale dei carichi assiali.

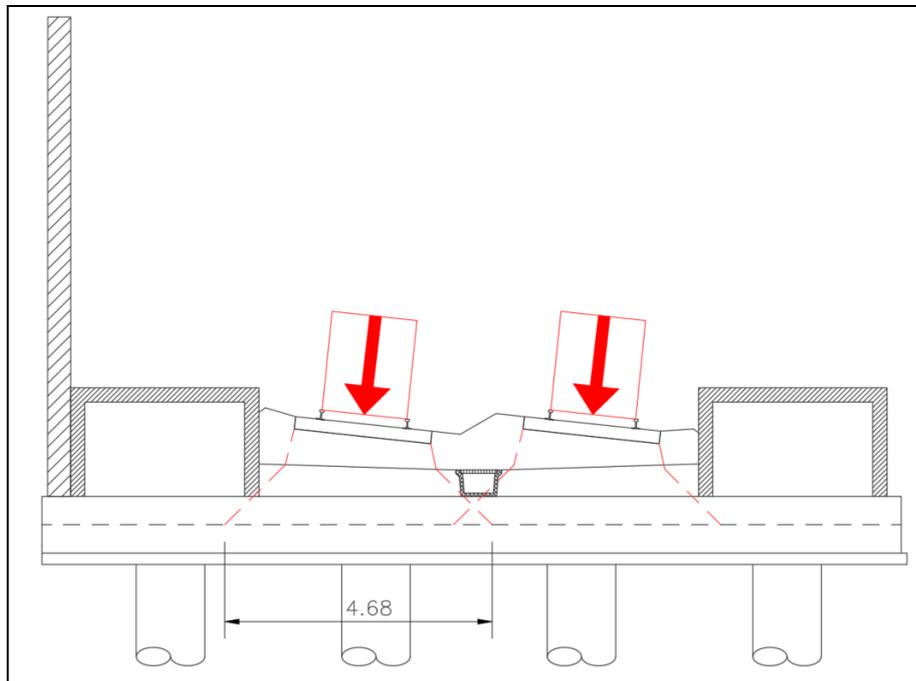


Figura 20: Distribuzione Trasversale dei Carichi Assiali dal Binario.

La larghezza di diffusione riportata in figura è stata ottenuta diffondendo il carico della traversina con pendenza 4V:1H nello spessore della massicciata ferroviaria e 1V:1H negli strati in calcestruzzo. Adottando infatti:

Ltr=	2.40	m	Lunghezza traversina
sb=	0.90	m	Spessore ballast
sm=	0.52	m	Spessore massetto
ss=	1.00	m	Spessore solettone

Si ottiene:

$$B_t = 4.68 \text{ m}$$

Il valore del carico ottenuto va moltiplicato per il coefficiente di adattamento “ $\alpha$ ” che si assume cautelativamente pari a:

$$\alpha = 1.10$$

Il carico complessivo “Q” agente su una striscia trasversale di lunghezza unitaria, vale dunque:

$$Q_{vk/LM71^*} = 1.10 \cdot 156.25 / 4.68 = 36.73 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{vk/LM71^*} = 1.10 \cdot 80 / 4.68 = 18.84 \text{ KN/m}^2$$

Si osservi che longitudinalmente è stato assunto, in modo cautelativo, il carico  $Q_{vk}$  nella sua interezza e senza considerarne la diffusione longitudinale.

Il treno SW/2 è rappresentativo del traffico pesante ed è schematizzabile secondo la seguente figura.

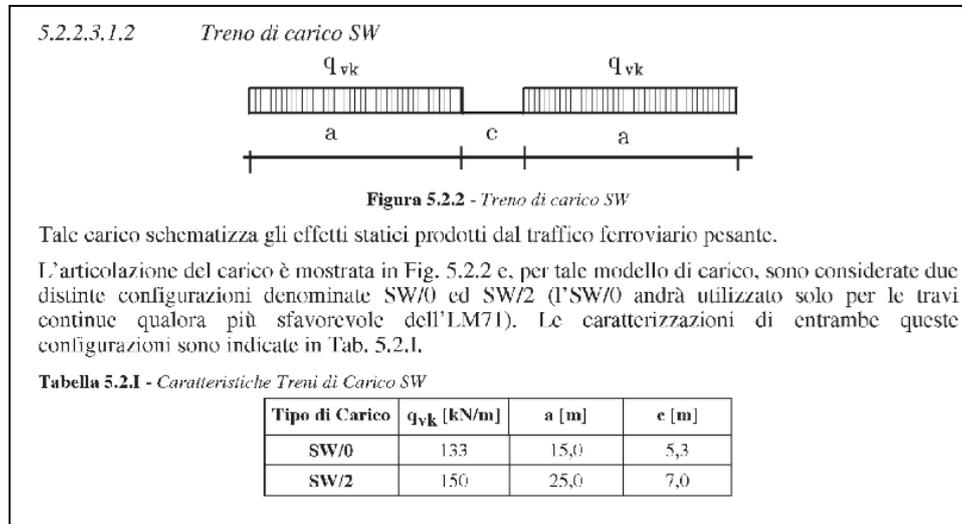


Figura 21: Treno di carico SW.

Nelle analisi tale carico, essendo inferiore al precedente ed applicabile ad un solo binario, non verrà preso in considerazione.

Si adotta pertanto come unico valore di carico mobile, la grandezza:

$$Q1 = 36.73 \text{ kN/m}^2$$

## 7.4.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI A TERGO DEI PALI

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.

## 7.5 Q2: INCREMENTO DINAMICO DEI CARICHI MOBILI

Il valore del carico mobile va moltiplicato per il coefficiente di incremento dinamico che, dall'essere il solettone direttamente poggiante sul terreno, si assume nullo.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	41 di 145

## 7.6 E4: 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 attraversati dalle palificate, inoltre, non mostra avere significativi comportamenti viscosi tali da far temere incrementi di sollecitazione nel tempo.

## 7.7 ALTRE AZIONI

Non si applicano altre azioni all'opera in oggetto. In particolare le azioni termiche, escluse anche in PD, sono assunte influenti 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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 42 di 145

## 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 6.8.1)

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 22: Tabella 6.2.I – NTC 2008

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>43 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	43 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	43 di 145								

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 23: Tabella 6.2.II – NTC 2008

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 24: Tabella 6.5.I – NTC 2008

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 25: Tabella 6.8.I – NTC 2008

Per il dimensionamento delle opere dell'imbocco lato Benevento, per la 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);
  - Resistenza strutturale degli ancoraggi (snervamento);
- SLU di tipo geotecnico (GEO) per le opere provvisoriale
  - collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
  - collasso per carico limite verticale;
  - sfilamento di uno o più ancoraggi;
  - stabilità globale dell'insieme terreno-opera

Gli altri stati limite analizzati sono:

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>44 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	44 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	44 di 145								

- 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.

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.

Per i tiranti di ancoraggio la normativa prescrive il seguente approccio:

Fase Statica: A1+M1+R3      Combinazioni per le verifiche STR (R3=1.1 per gli ancoraggi, Tab 6.6.I)

Le Tabelle seguenti definiscono i valori dei coefficienti da adottare:

**Tabella 6.6.I – Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi**

	SIMBOLO	COEFFICIENTE PARZIALE
	$\gamma_R$	
Temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2

Figura 26: Tabella 6.6.I – NTC 2008

Per il dimensionamento geotecnico degli ancoraggi, la verifica stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio viene effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.6.I.

Le sollecitazioni ottenute dal calcolo Plaxis sono poi state utilizzate come dati di input per il calcolo strutturale sui rivestimenti definitivi.

Le Tabelle che seguono meglio specificano i valori dei coefficienti da attribuire ai carichi nominali analizzati separando le opere sottobinario dalle opere stradali e/o non soggette a carichi ferroviari e differenziando in funzione dello stato limite:

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	45 di 145

SLU Opere Ferroviarie:

**5.2.3.3.1 Requisiti concernenti gli SLU**

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 5.2.V e i coefficienti di combinazione  $\psi$  in Tab. 5.2.VI.

**Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica**

		Coefficiente	FQT <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_p$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>(4)</sup> I componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.

<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

Nella Tab. 5.2.V il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_B$  coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

Figura 27: Tabella 5.2.V – NTC 2008

SLU Opere Stradali:

**Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	FQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{E1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{E2}, \gamma_{E3}, \gamma_{E4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Figura 28: Tabella 5.1.V – NTC 2008

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	46 di 145

SLE Opere Ferroviarie:

**Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.**

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$gr_1$	$0,80^{(2)}$	$0,80^{(1)}$	0,0
	$gr_2$	$0,80^{(2)}$	$0,80^{(1)}$	-
	$gr_3$	$0,80^{(2)}$	$0,80^{(1)}$	0,0
	$gr_4$	1,00	$1,00^{(1)}$	0,0
Azioni del vento	$\Gamma_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 29: Tabella 5.2.VI – NTC 2008

**Tabella 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.**

	Azioni	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	$0,80^{(3)}$	<sup>(1)</sup>	0,0
	Treno di carico SW /0	$0,80^{(3)}$	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	$0,0^{(3)}$	0,80	0,0
	Treno scarico	$1,00^{(3)}$	-	-
	Centrifuga	<sup>(2)(3)</sup>	<sup>(2)</sup>	<sup>(2)</sup>
	Azione laterale (serpeggio)	$1,00^{(3)}$	0,80	0,0

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Si usano gli stessi coefficienti  $\psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 30: Tabella 5.2.VII – NTC 2008

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	47 di 145

SLE Opere Stradali:

**Tabella 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
Vento $q_s$	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
Esecuzione		0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_s$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Figura 31: Tabella 5.1.VI – NTC 2008

## 9 VERIFICHE STRUTTURALI

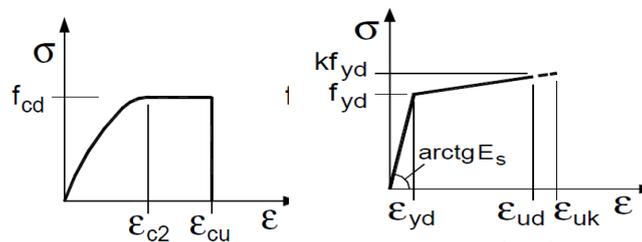
I criteri generali di verifica utilizzati per la valutazione delle capacità resistenti delle sezioni, per la condizione SLU, e per le massime tensioni nei materiali nonché per il controllo della fessurazione, relativamente agli SLE, sono quelli definiti al p.to 4.1.2 del DM 14.01.08.

### 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

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

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

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

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

Verifica Biella Compresa

$$V_{rcd} = \alpha_{cw} * v_1 * f_{cd} * [\text{ctg}(\alpha) + \text{ctg}(\text{teta})] / [1 + \text{ctg}^2(\text{teta})] * b_w * 0.9 * d$$

$$1.0 \leq \text{ctg}(\text{teta}) \leq 2.5 \quad \alpha = 90^\circ$$

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

$$v_1 = 0.500$$

Verifica Armatura Trasversale

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

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

Assumendo  $\text{cotg}(\text{teta}) = 1.0$  non si esegue verifica di fessurazione per taglio.

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

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

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

Verifiche a Torsione

$$T_{rcd} = 2 * v_1 * f_{cd} * A * t * \text{cotg}(\text{teta}) / [1 + \text{cotg}^2(\text{teta})]$$

$$v_1 = 0.500$$

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

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

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

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

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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;">GA0200 012</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">50 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	50 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	50 di 145								

## 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	N/mm <sup>2</sup>
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 32: Tabella 4.1.III – NTC 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:

$$k_3 = 3.400$$

$$c = 40 - 60 \text{ mm}$$

ricoprimento dell'armatura;

$$k_1 = 0.800$$

barre ad aderenza migliorata

$$k_2 = 0.500$$

distribuzione delle deformazioni per flessione

$$k_4 = 0.425$$

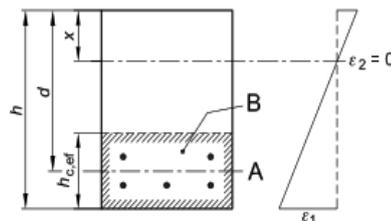
$$\phi_{eq} = \frac{\sum n_i * \phi_i^2}{\sum n_i * \phi_i}$$

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**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	52 di 145

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

$K_t = 0.40$  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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 53 di 145

## 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.

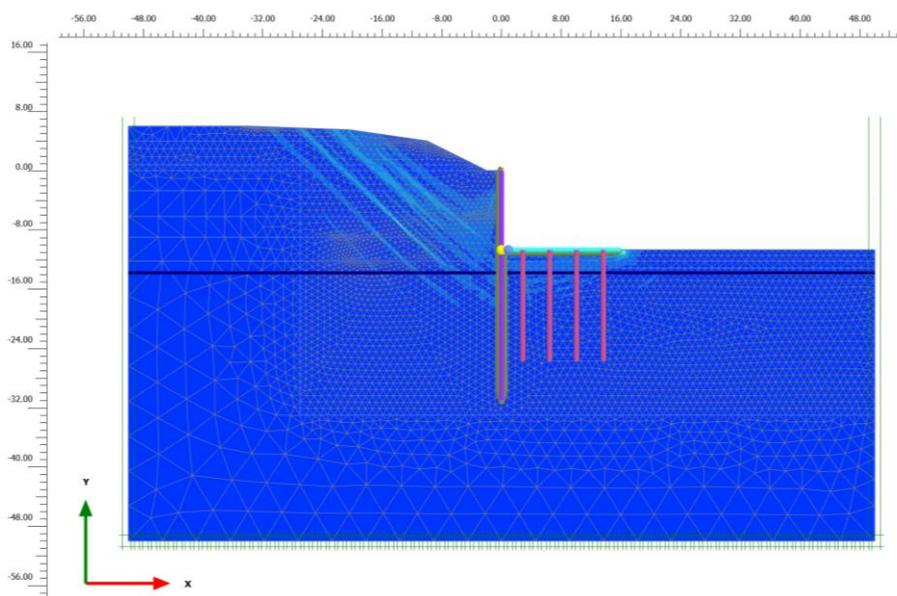


Figura 33: Esempio di risultato finale della procedura phi/c reduction, deformazione di taglio  $\gamma_s$  dopo l'analisi

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 54 di 145

Nell'ultimo step di calcolo il valore di  $\Sigma M_{sf}$  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 geotecnico (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 VERIFICHE SUI TIRANTI

### 10.2.1 VERIFICA GEOTECNICA DI SFILAMENTO DEI BULBI DI ANCORAGGIO

La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto  $P_d$ , considerando tutti i possibili stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE), con la resistenza di progetto  $R_{ad}$ , determinata applicando alla resistenza caratteristica  $R_{ak}$  i fattori parziali  $\gamma_R$  riportati nella Tab. 6.6.I.

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ak}$  si determina per metodi di calcolo analitici come il minore tra resistenza media e minima ridotta con i fattori  $\xi_{a3}$  e  $\xi_{a4}$ :

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{\text{medio}}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{\text{min}}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Le tabelle seguenti definiscono i valori dei coefficienti da adottare:

**Tabella 6.6.III:** Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero  $n$  di profili di indagine.

numero di profili di indagine	1	2	3	4	$\geq 5$
$\xi_{a3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Figura 34: Tabella 6.6.III – NTC 2008

I bulbi di ancoraggio dei tiranti saranno eseguiti con iniezione di malta cementizia ed additivi ad alta pressione, con il metodo I.R.S. (Iniezioni Ripetute e Selettive) attraverso valvole poste ad interasse di circa 1.0 m.

In considerazione delle caratteristiche tecnologiche e della natura dei terreni si valutano le tensioni “caratteristiche” di adesione laterale limite fondazione-terreno  $\alpha \cdot \tau_{lim}$ , riferite al diametro nominale di perforazione, in accordo a quanto suggerito dalla esperienza di Bustamante e Doix, risultando dunque:

$$FS = \frac{R_{a,d}}{E_d} = \frac{R_{a,k}}{\gamma_{Ra,t} \xi_i P_d} = \frac{\pi \Phi_d \alpha \tau_{lim d} L_a}{\gamma_{Ra,t} \xi_i P_d} \geq 1.00$$

dove:

$L_a$  è la lunghezza attiva

$\Phi_d$  è il diametro di perforazione

$P_d$  è lo sforzo di progetto allo stato limite ultimo

$\gamma_{Ra,t}$  è il coefficiente parziale per la resistenza, a seconda se si tratta di tiranti provvisori (1.1) o definitivi (1.2)

$\xi$  è il coefficiente di correlazione resistenza geotecnica dei terreni

$\alpha$  è il coefficiente di sbulbamento secondo Bustamante e Doix

$\tau_{lim}(q_s)$  è la tensione caratteristica di adesione laterale limite fondazione-terreno.

La tensione caratteristica di adesione del bulbo di ancoraggio è derivata dal calcolo della tensione tangenziale limite a metro lineare ottenuta con i diagrammi di Bustamante e Doix.

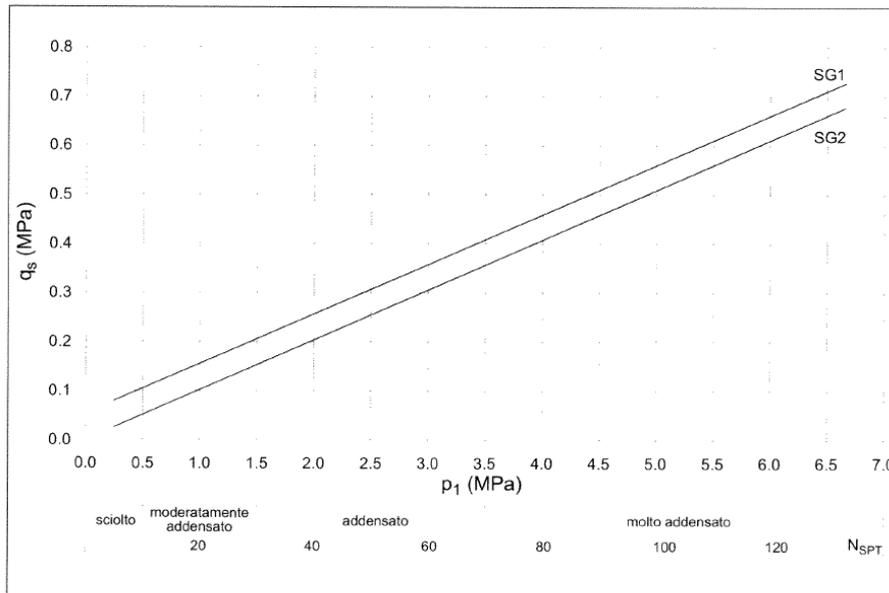


Fig. 6.6 - Resistenza unitaria limite per terreni incoerenti

Figura 35: Grafico di Bustamante e Doix per i terreni sabbiosi e ghiaiosi

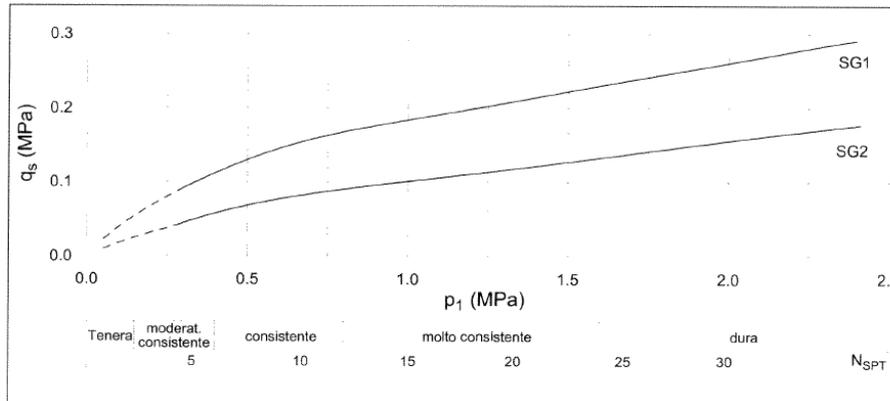


Fig. 6.7 - Resistenza unitaria limite per terreni a grana fine

**Figura 36: Grafico di Bustamante e Doix per limi ed argille**

Tab. 6.4 - Valori del coefficiente  $\alpha$  per la stima del diametro reale della fondazione dell'ancoraggio

Terreno	Valori del coefficiente $\alpha_d$		Quantità minima di miscela consigliata Vs	Rapporto A/C
	IRS ( $p_i \geq p_i$ )	IGU ( $p_i < p_i$ )		
Ghiaia	1,8	1,3 + 1,4	1,5 Vs	1,7 + 2,4
Ghiaia sabbiosa	1,6 + 1,8	1,2 + 1,4	1,5 Vs	
Sabbia ghiaiosa	1,5 + 1,6	1,2 + 1,3	1,5 Vs	
Sabbia grossa	1,4 + 1,5	1,1 + 1,2	1,5 Vs	
Sabbia media	1,4 + 1,5	1,1 + 1,2	1,5 Vs	
Sabbia fine	1,4 + 1,5	1,1 + 1,2	1,5 Vs	
Sabbia limosa	1,4 + 1,5	1,5 + 2,0	IRS: (1,5 + 2) Vs; IGU: 1,5 Vs	
Limo	1,4 + 1,6	1,1 + 1,2	IRS: 2 Vs; IGU: 1,5 Vs	1,7 + 2,4
Argilla	1,8 + 2,0	1,2	IRS: (2,5 + 3) Vs; IGU: (1,5 + 2) Vs	
Marna	1,8	1,1 + 1,2	(1,5 + 2) Vs per strati compatti	1,7 + 2,4
Calcarei marnosi	1,8	1,1 + 1,2	(2 + 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1,1 + 1,2	(2 + 6) Vs o più per strati poco fratturati	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	2 Vs o più per strati fratturati	1,7 + 2,4
IRS: iniezione ad alta pressione a più stadi e ripetuta IGU: iniezione a bassa pressione in unica soluzione $p_i$ : pressione limite dalla prova pressiometrica Menard $p_i$ : pressione di iniezione			$V_s = L_f D_s^2 / 4$ $L_f$ : lunghezza della fondazione $D_s$ : diametro reale della fondazione	
Nota: nella tabella sono riportati i valori teorici della quantità in volume della miscela di iniezione nelle diverse condizioni operative ed il rapporto acqua cemento ottimale (da Bustamante e Doix, 1985)				

Figura 37: Coefficiente di sbulbamento secondo Bustamante e Doix per tutti i tipi di terreno

Per l'imbocco lato Benevento della GA02, i fattori di sicurezza e i coefficienti di correlazione sono:

- $\gamma_{Ra,t} = 1.1$  poiché i tiranti sono provvisori;
- $\xi = 1.7$  nel caso in esame, poiché in corrispondenza dell'imbocco lato Benevento sono presenti 3 verticali di indagine.

Per quanto riguarda i valori assunti dall'adesione laterale del bulbo di ancoraggio:

- Fila 1, iniezione ripetuta e selettiva (IRS, corrispondente alla curva SG1), bulbo in MDL2 (sabbia limosa) con  $N_{spt}=30$ :  $q_s=200$  kPa con  $\alpha=1.45$ . Cautelativamente è stato assunto  $\alpha \cdot q_s=250$  kPa;
- Fila 2, iniezione ripetuta e selettiva (IRS, corrispondente alla curva SG1), bulbo in MDL1 (ghiaia sabbiosa) con  $N_{spt}=50$ :  $q_s=300$  kPa con  $\alpha=1.70$ . Cautelativamente è stato assunto  $\alpha \cdot q_s=500$  kPa.

### 10.2.2 VERIFICA A SNERVAMENTO DELL'ACCIAIO PER TREFOLI

In condizioni ultime, lo sforzo massimo di trazione di calcolo  $P_d$  ricavato dall'analisi, deve risultare non maggiore dello sforzo di snervamento di progetto dei tiranti  $N_{yd}$  ottenuto moltiplicando l'area totale  $A_t$  della sezione resistente per la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio  $f_{p(1)k}$ , fattorizzata con il coefficiente parziale  $\gamma_s = 1.15$ , ovvero :

$$FS = \frac{f_{u,d}}{E_d} = \frac{f_{u,k} A_{trefoli} n_{tr}}{\gamma_R \cdot P_d} \geq 1.00$$

dove:

$f_{u,k}$  è la trazione caratteristica dell'acciaio dei trefoli, all'1% di deformazione totale

$A_{trefoli}$  è l'area di ciascun trefolo

$n_{tr}$  è il numero di trefoli per tirante

$\gamma_R$  coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze dei materiali.

### 10.3 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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 58 di 145

- $N_{rk}$       valore caratteristico della capacità portante  
 $\gamma_R$       coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze dei materiali.

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	≥ 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:

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

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

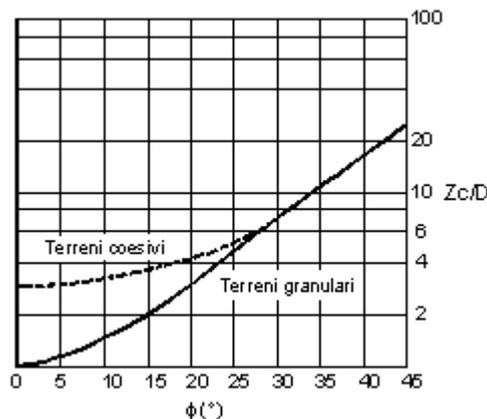
$c$  = coesione drenata

$\sigma_v'$  = 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**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	60 di 145

$\xi_4$	$\gamma_{base}$	$\gamma_{later.}$	$\xi*\gamma_p$	$\xi*\gamma_l$	
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	<b>Trivellati</b>	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

Le verifiche di capacità portante sono mostrate in seguito.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>61 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	61 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	61 di 145								

## RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE

Le sezioni di calcolo analizzate sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 9: Sezioni di calcolo per il dimensionamento dell'Opera

Identificativo	Progressiva	Sezione dell'opera	Descrizione
-	km	-	-
Sezione D	25+115.00	Sezione tipo D	Paratia di Monte con massima altezza, tiranti provvisori, Paratia di Valle sormontata da piedritto e soletta di copertura (gettati in elevazione), platea di fondazione su pali
Sezione E	25+165.00	Sezione tipo E	Paratia con massima altezza, tiranti provvisori, soletta di contrasto su pali

Gli allegati di calcolo sono riportati nella relazione IF26.1.2.E.ZZ.CL.GA.02.0.0.013: GALLERIA ARTIFICIALE di TELESE dal km 22+263 al km 25+200 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D - Allegati.

## 10.4 SEZIONE TIPO D – PK 25+115.00

### 10.4.1 GEOMETRIA

La geometria della Sezione D è qui riportata.

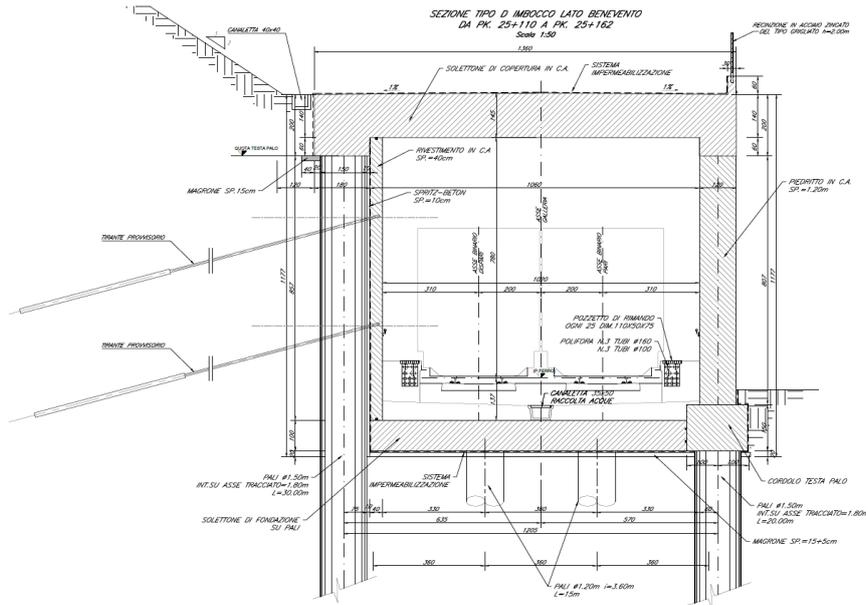


Figura 38: Sezione D

La paratia di Monte ha la massima altezza nel tratto analizzato ( $H=11.77m$ ), mentre il piedritto ha la massima altezza ( $H_m=8.57m$ ) con soletta su pali di larghezza 13.6m con due pali sotto la platea di fondazione. La geometria del modello della Sezione D è qui riportata.

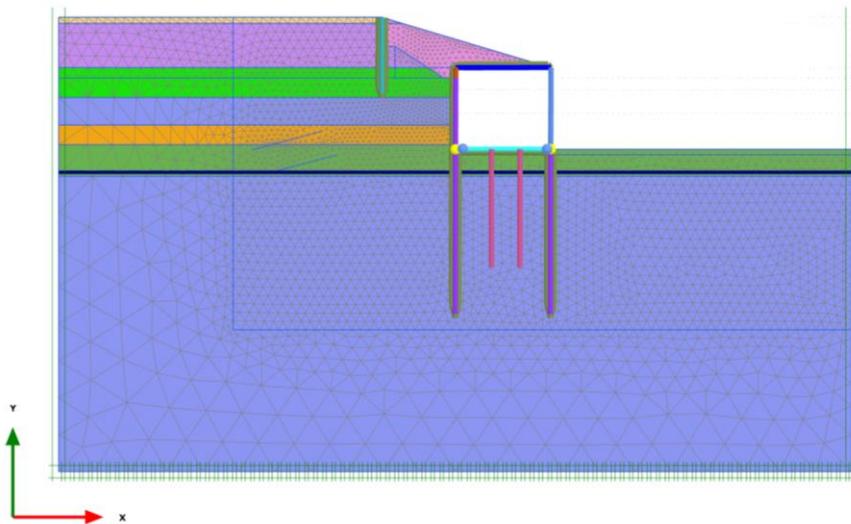


Figura 39: Geometria del modello - Sezione D

						<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>						COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 63 di 145

I limiti inferiori e laterali del modello FEM sono stati posizionati ad una distanza tale da non influenzare lo sviluppo tenso-deformativo all'interno dell'opera. Coerentemente con lo schema strutturale è stato considerato:

- Vincolo cerniera per i nodi estremi della soletta di fondazione
- Vincolo di incastro tra piedritto, soletta di copertura e la paratia di monte

## 10.4.2 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

La stratigrafia e i parametri di calcolo utilizzati per il tratto di galleria GA02 in esame sono riportate nella 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 +62.46 m.s.l.m. 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.

Tabella 10: Stratigrafia e parametri di calcolo - Sezione D

Unità Geotecnica	Descrizione	GEOMETRIA			Modello costitutivo	PARAMETRI GEOTECNICI				
		Z <sub>sup</sub>	Z <sub>inf</sub>	H		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>	7.7	6.9	0.8	HSM-DR	20	35	0	35	70
TGC2	<b>Tufo Grigio Campano</b> Cenere sabbioso, sabbioso limosa	6.9	1.3	5.6	HSM-DR	17	33	0	35	70
MDL4	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia travertinoso	1.3	-2.5	3.8	HSM-DR	20	34	30	200	600
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	-2.5	-6.0	3.5	HSM-DR	20	24	10	50	150
MDL2	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia, sabbia limosa	-6.0	-8.5	2.5	HSM-DR	20	32	0	60	120
MDL1	<b>Unità di Maddaloni</b> Ghiaia sabbiosa	-8.5	- 12.5	4	HSM-DR	20	38	0	120	240
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	-12.5	inf	-	HSM-DR	20	24	10	50	150

La quota relativa della falda è stata posta a -12.0m nel modello di calcolo.

## 10.4.3 CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Gli elementi strutturali presenti nel modello sono:

- Paratia di pali elemento "plate" equivalente
- Platea di fondazione elemento "plate"
- Piedritto di valle elemento "plate"
- Soletta di copertura elemento "plate"
- Pali di fondazione elemento "embedded beam row"
- Bulbi dei tiranti elemento "embedded beam row"
- Lunghezza libera tiranti elemento "node-to-node anchor"

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>64 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	64 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	64 di 145								

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

Tabella 11: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (paratie di pali)

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
Paratia di pali (D=0.6m, s=1.0m)	Plate	8.77E+06	1.97E+05	0.52	7.07	0.2

Tabella 12: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (elementi "plate")

Nome	Tipo di elemento	EA	EJ	d	w	v
-	-	(kN/m)	(kN m <sup>2</sup> /m)	(m)	(kN/m/m)	(-)
Platea di fondazione (s=1m)	Plate	3.30E+07	2.75E+06	1.0	25.00	0.2
Muro dx (s=1.2m)	Plate	3.96E+07	4.75E+06	1.2	30.00	0.2
Soletta di copertura (s=1.4m)	Plate	4.62E+07	7.55E+06	1.4	35.00	0.2

Tabella 13: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (elementi "embedded beam row")

Nome	Tipologia	EA	EJ	L_s	T_shaft	T_foot
-	-	(kN/m)	(kN m <sup>2</sup> /m)	(m)	(kN/m)	(kN)
Pali di fondazione (D=1.2m, s=3.6m)	EBR (Pile)	3.51E+07	3.16E+06	3.6	100	900
Bulbo in MDL2 ( $\tau=200\text{kPa}$ , $\alpha=1.45$ , $\Phi_d=180\text{mm}$ )	EBR (Grout)	7.64E+05	1.55E+03	3.6	280	-
Bulbo in MDL1 ( $\tau=300\text{kPa}$ , $\alpha=1.70$ , $\Phi_d=180\text{mm}$ )	EBR (Grout)	7.64E+05	1.55E+03	3.6	140	-

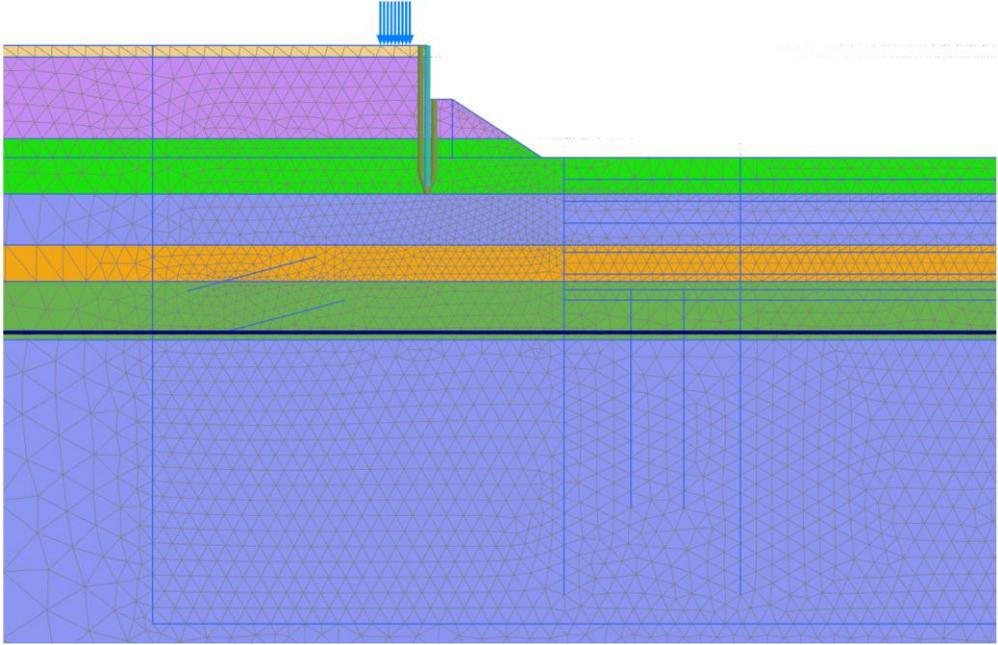
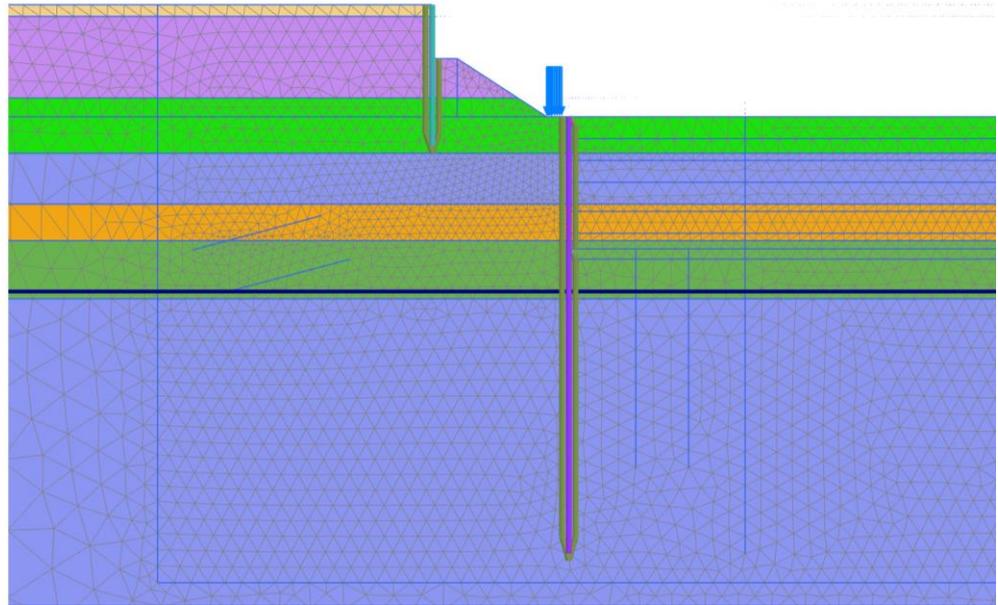
Tabella 14: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (elementi "node-to-node anchor")

Nome	Tipologia	Materiale	EA	L_spacing
-	-	-	(kN/m)	(m)
Tirante (4 trefoli)	NTN anchor	Elastico	1.18E+05	3.6

### 10.4.4 SIMULAZIONE DELLE FASI COSTRUTTIVE

Le fasi costruttive sono modellate come segue.

Tabella 15: Fasi di calcolo - Sezione D

FASE	DESCRIZIONE
0	<p>Esecuzione opera provvisoria ed inizializzazione geostatica</p>  <p>The diagram shows a cross-section of the ground with various soil layers represented by different colors and patterns: purple (top), green, blue, orange, and dark blue (bottom). A temporary structure is shown on the left side, with a blue vertical element representing a pile or wall. The ground surface is shown with a slight slope on the right side.</p>
1	<p>Installazione pali</p>  <p>This diagram is similar to the one in phase 0, but it shows a single pile being installed into the ground. The pile is represented by a vertical blue line with a blue rectangular head. The ground surface and other layers remain the same as in phase 0.</p>

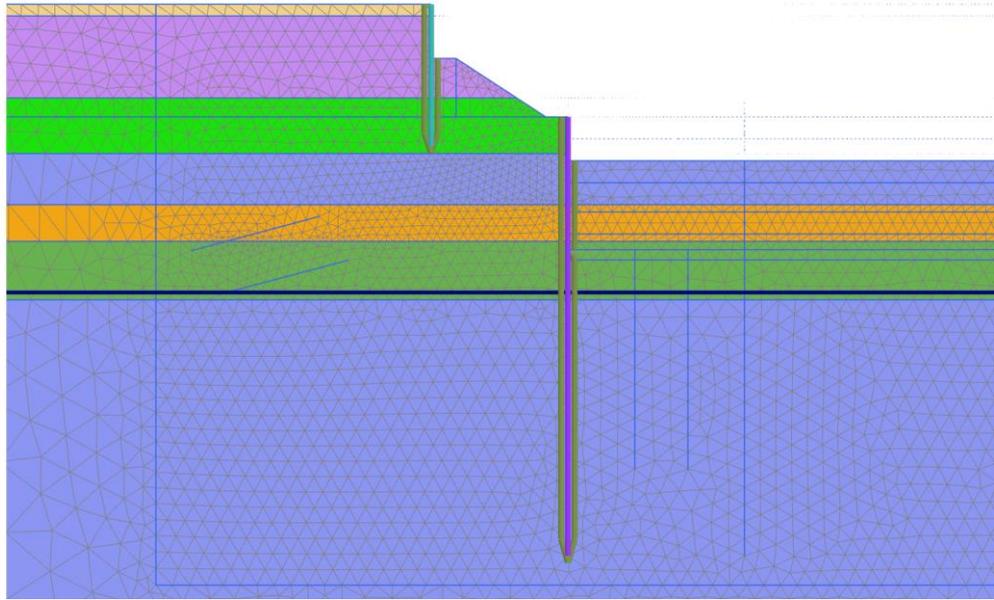
**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	66 di 145

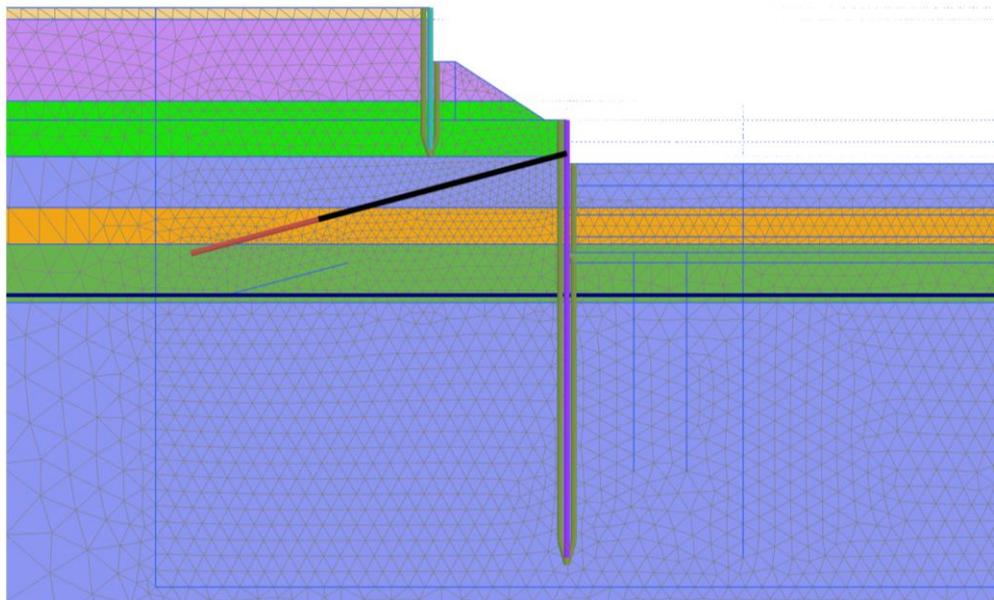
2

Scavo fino a quota -3m dalla testa del palo



3

Installazione della prima fila di tiranti (-2m dalla testa del palo) e tesatura dei tiranti ( $F=300\text{kN}$ )



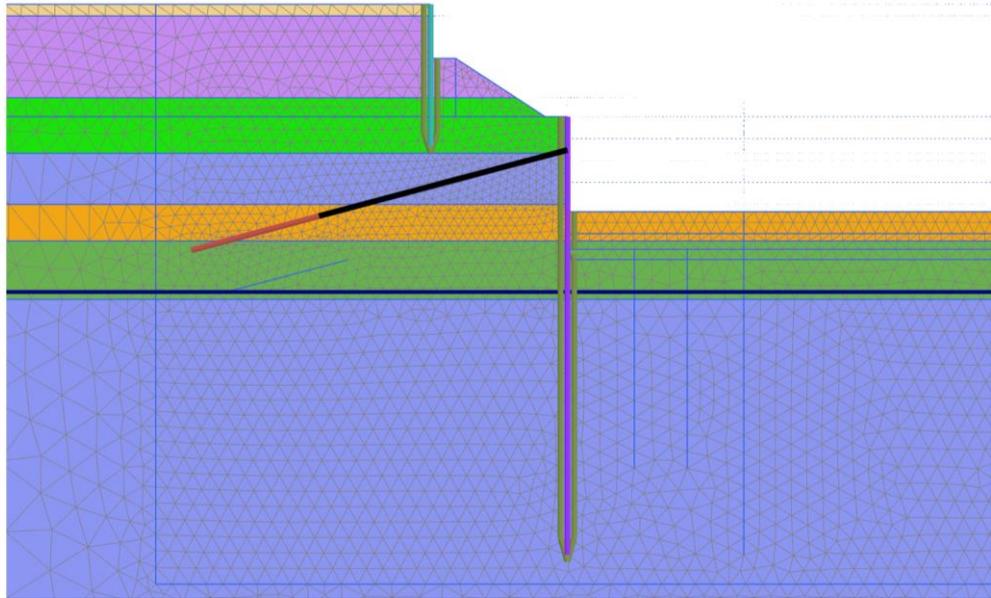
**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	67 di 145

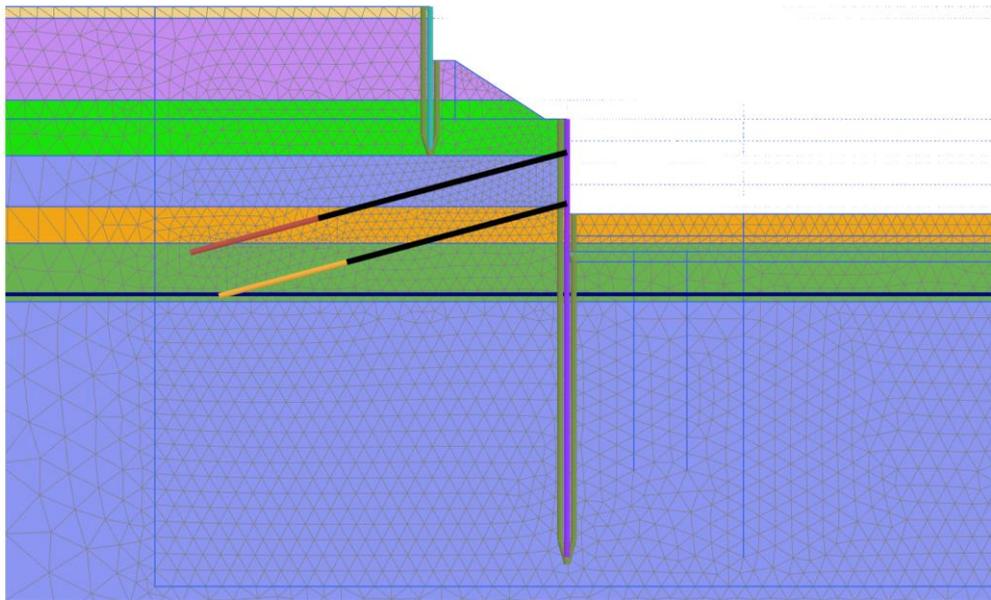
4

Scavo fino a quota -6.5m dalla testa del palo



5

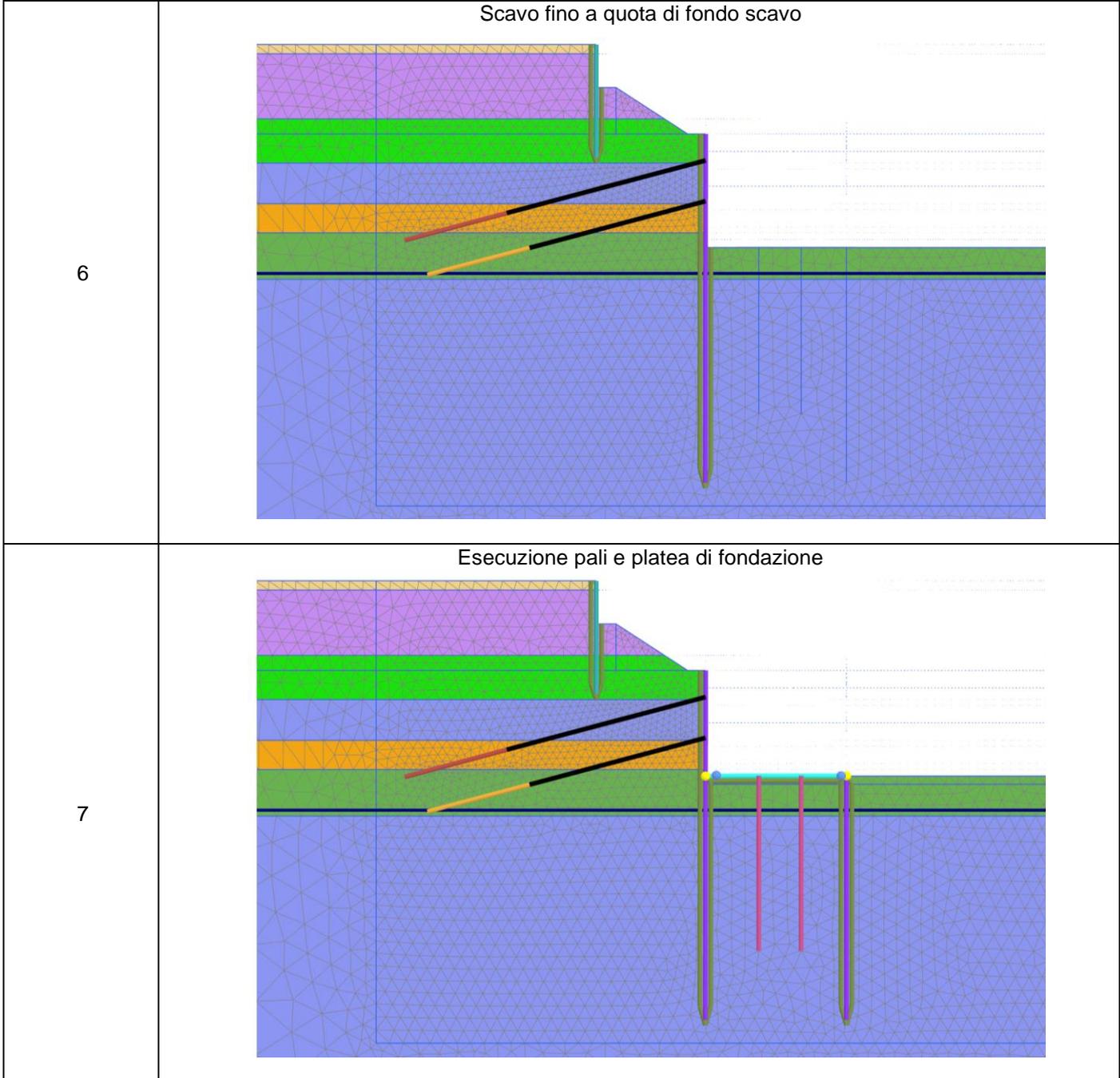
Installazione della seconda fila di tiranti (-5.5m dalla testa del palo) e tesatura dei tiranti (F=300kN)



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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	68 di 145

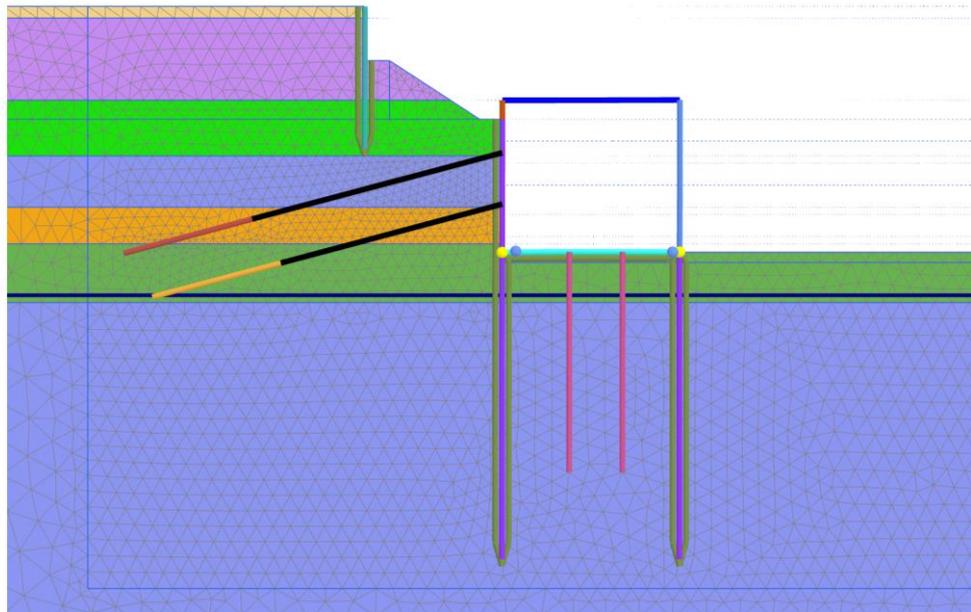


**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	69 di 145

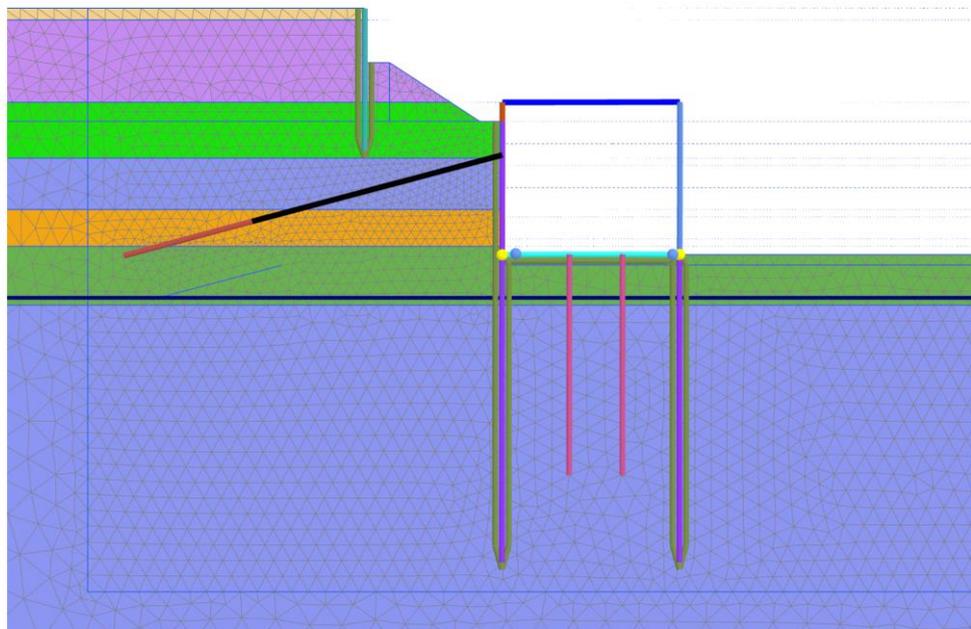
Realizzazione del telaio

8



Disattivazione della seconda fila di tiranti

9

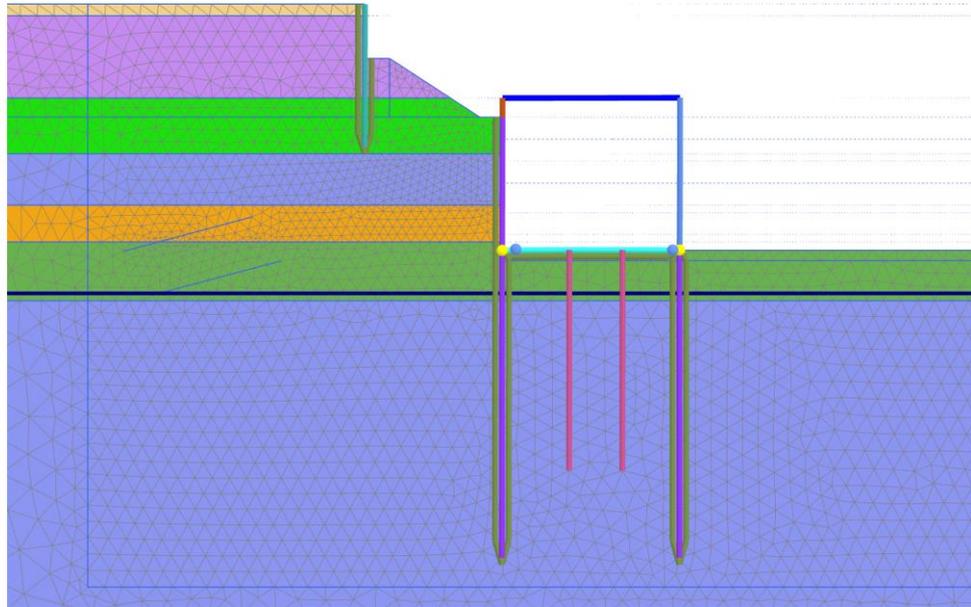


**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	70 di 145

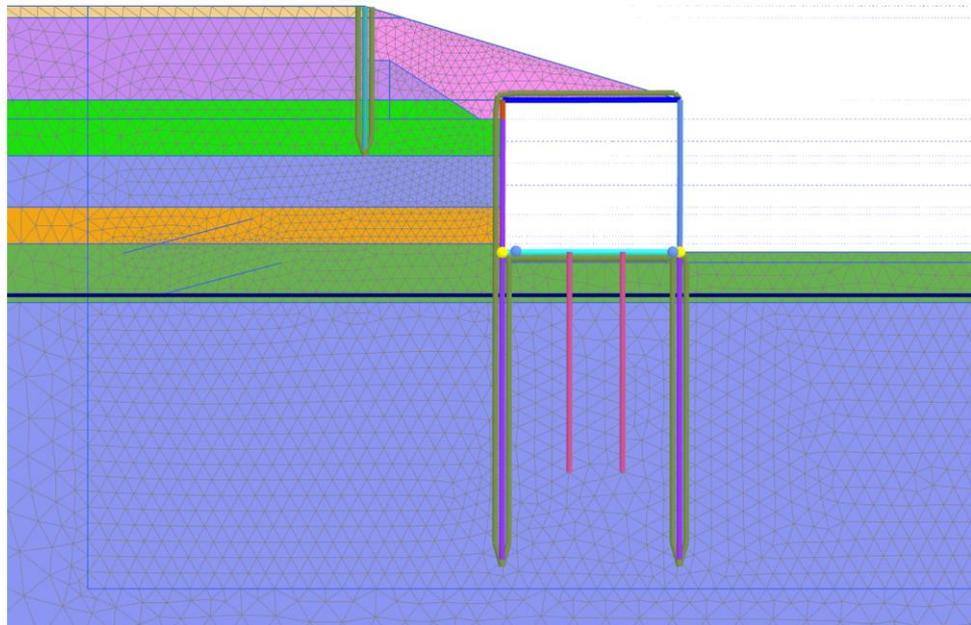
Disattivazione della prima fila di tiranti

10



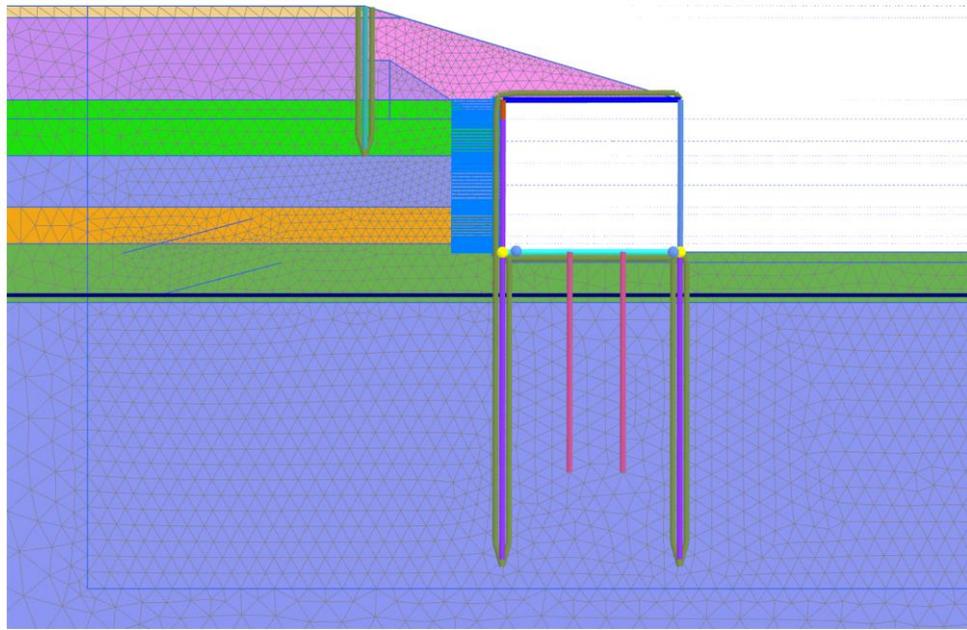
Ricoprimento e riprofilatura del pendio

11



Simulazione del caso di carico EQK

12

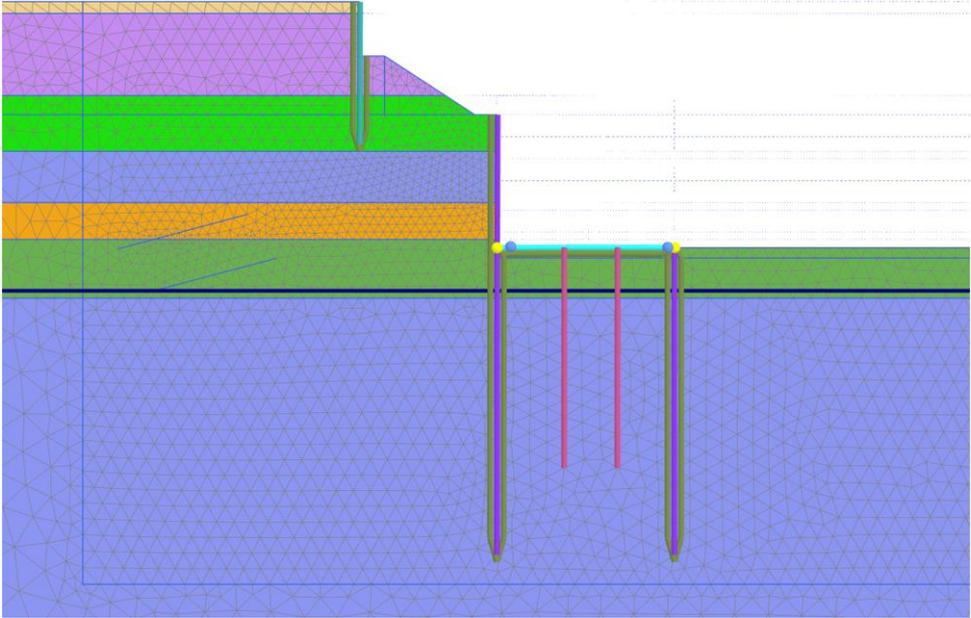


A queste fasi seguono le procedure di “phi/c reduction”, per cui vengono applicati i parametri A2+M2 (Approccio 1 Combinazione 2) e lanciata l’analisi per il calcolo del fattore di sicurezza sulla stabilità globale:

- sulla fase 11 (ricoprimento);
- sulla fase 12 (sisma).

Inoltre, la paratia di pali è stata verificata anche nel caso più gravoso di disattivazione dei tiranti prima dell’installazione del portale, per assicurare la sicurezza del sistema di sostegno e della sistemazione definitiva in caso di differente metodologia costruttiva.

Tabella 16: Fasi di calcolo alternative - Sezione D

FASE	DESCRIZIONE
<p>8 (*)</p> <p>9 (*)</p> <p>10 (*)</p>	<p>Disattivazione dei tiranti prima della costruzione del telaio</p> 

### 10.4.5 RISULTATI DELLE ANALISI

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

#### 10.4.5.1 PARATIA PROVVISORIALE

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.

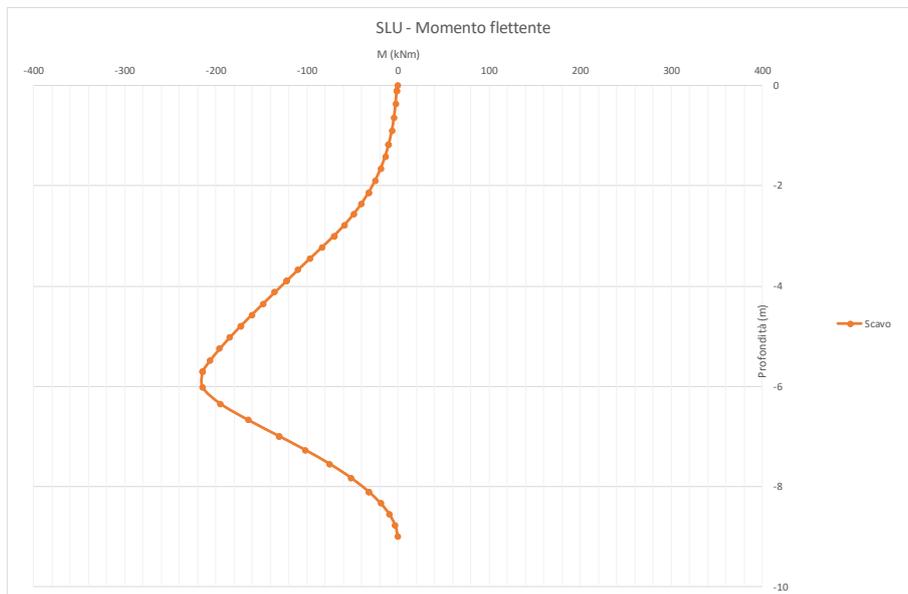


Figura 40: Sezione D – Paratia provvisoriale ( $L_p=9m$ ) – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

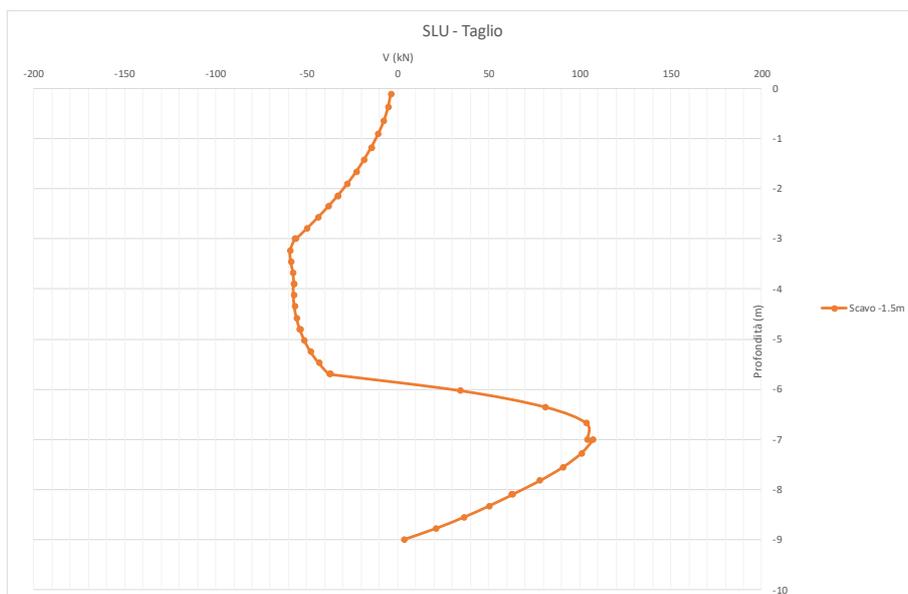


Figura 41: Sezione D – Paratia provvisoriale ( $L_p=9m$ ) – Sollecitazione di taglio (SLU)

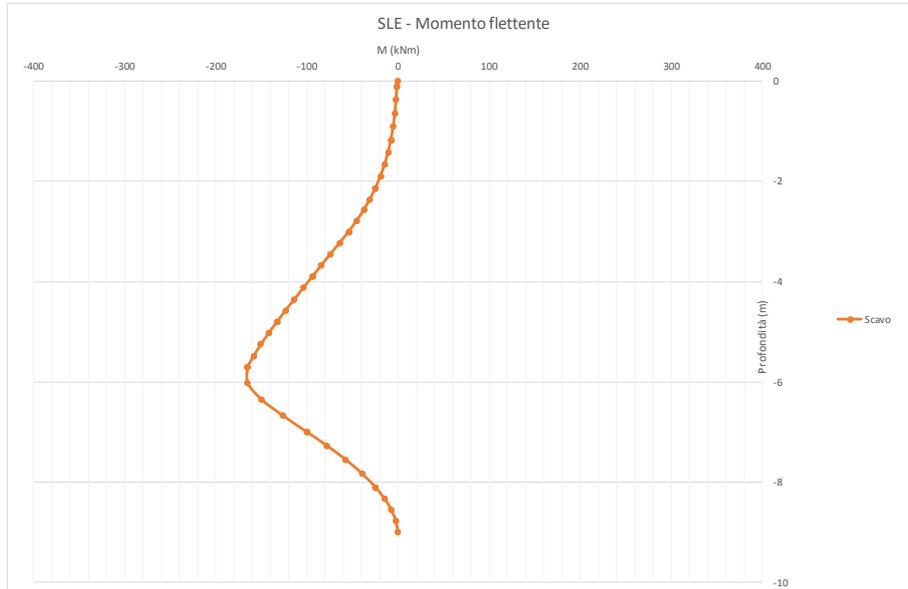


Figura 42: Sezione D – Paratia provvisoriale (L<sub>p</sub>=9m) – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

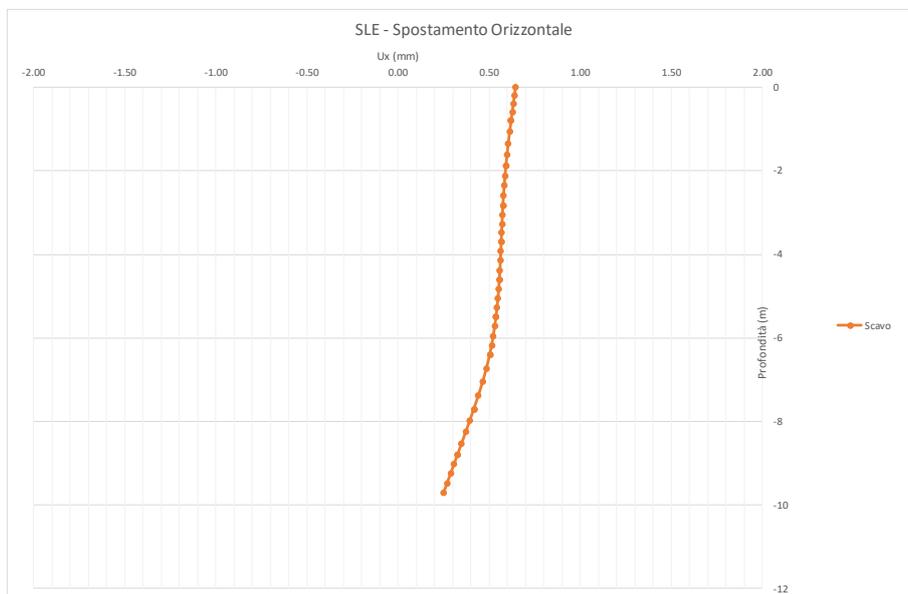


Figura 43: Sezione D – Paratia provvisoriale (L<sub>p</sub>=9m) – Spostamento orizzontale (SLE)

#### 10.4.5.2 PARATIA DI MONTE

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.

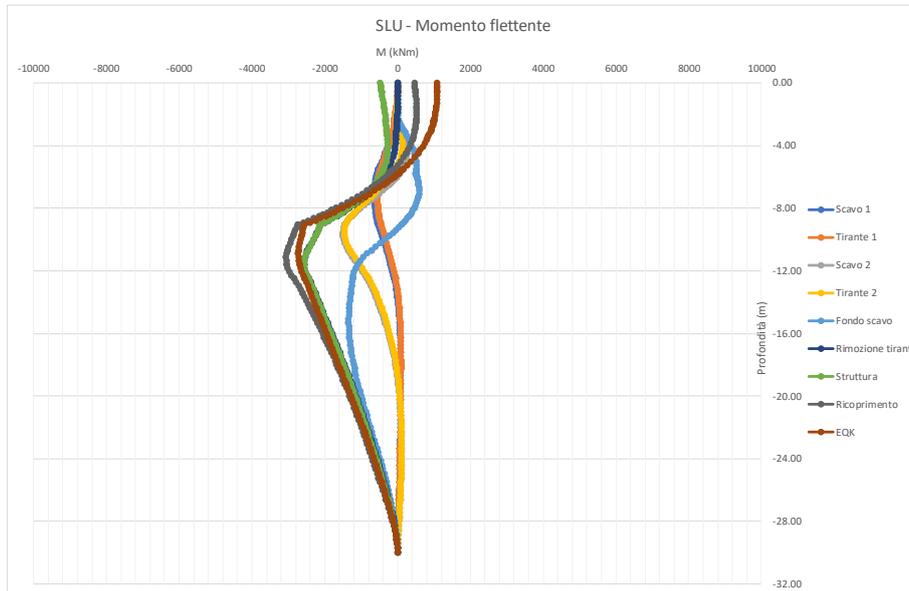


Figura 44: Sezione D – Paratia di Monte ( $L_p=30m$ ) – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

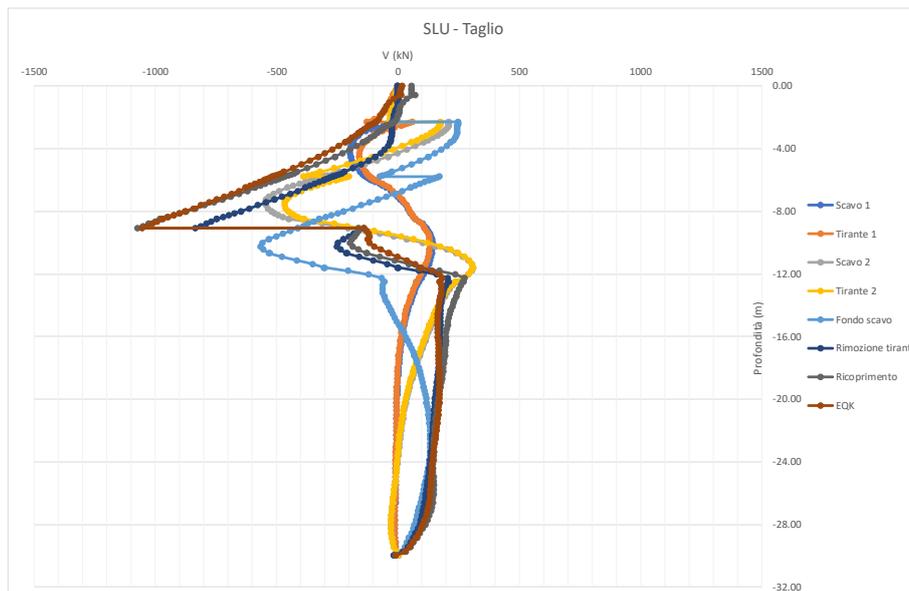


Figura 45: Sezione D – Paratia di Monte ( $L_p=30m$ ) – Sollecitazione di taglio (SLU)

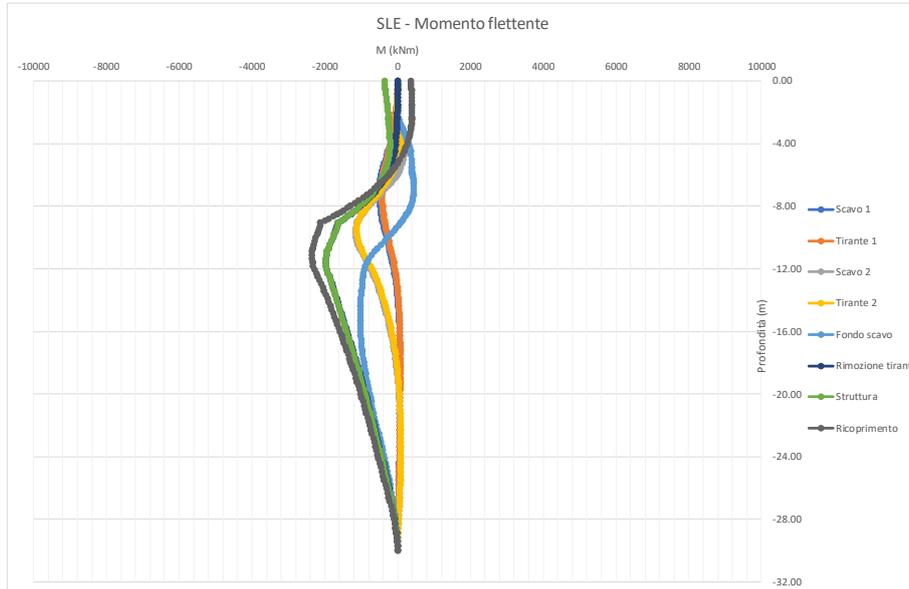


Figura 46: Sezione D – Paratia di Monte (L<sub>p</sub>=30m) – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

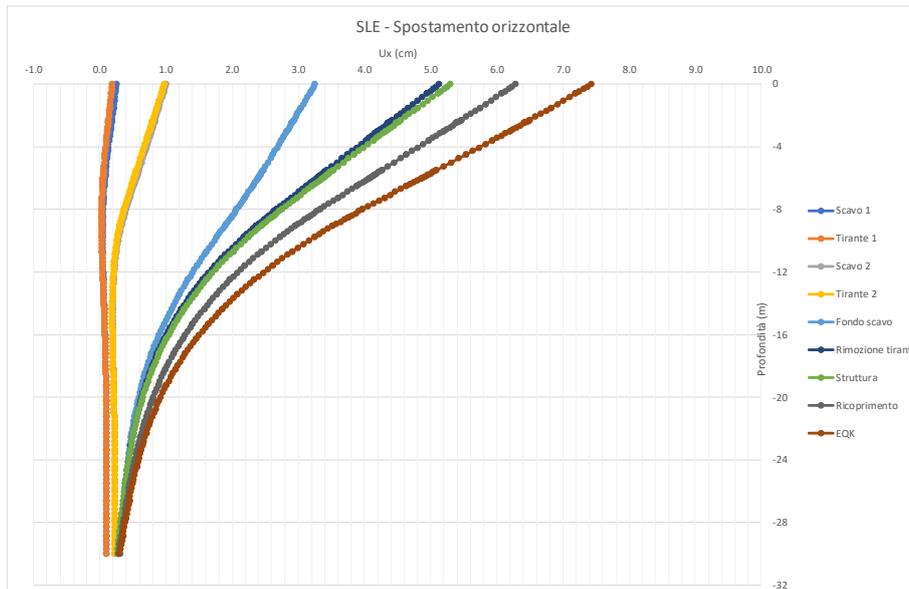


Figura 47: Sezione D – Paratia di Monte (L<sub>p</sub>=30m) – Spostamento orizzontale (SLE)

**10.4.5.3 PARATIA DI VALLE**

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 48: Sezione D – Paratia di Valle (L<sub>p</sub>=20m) – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

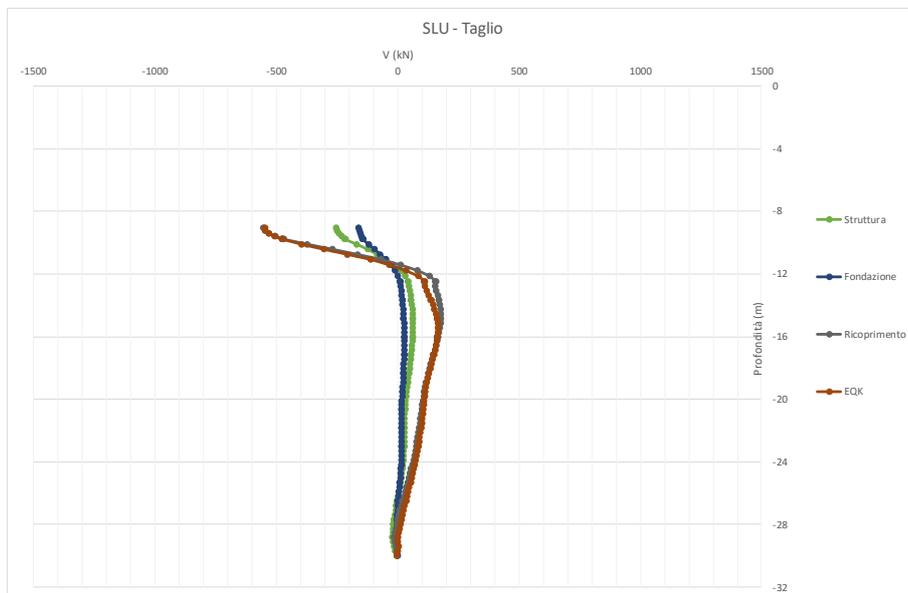


Figura 49: Sezione D – Paratia di Valle (L<sub>p</sub>=20m) – Sollecitazione di taglio (SLU)

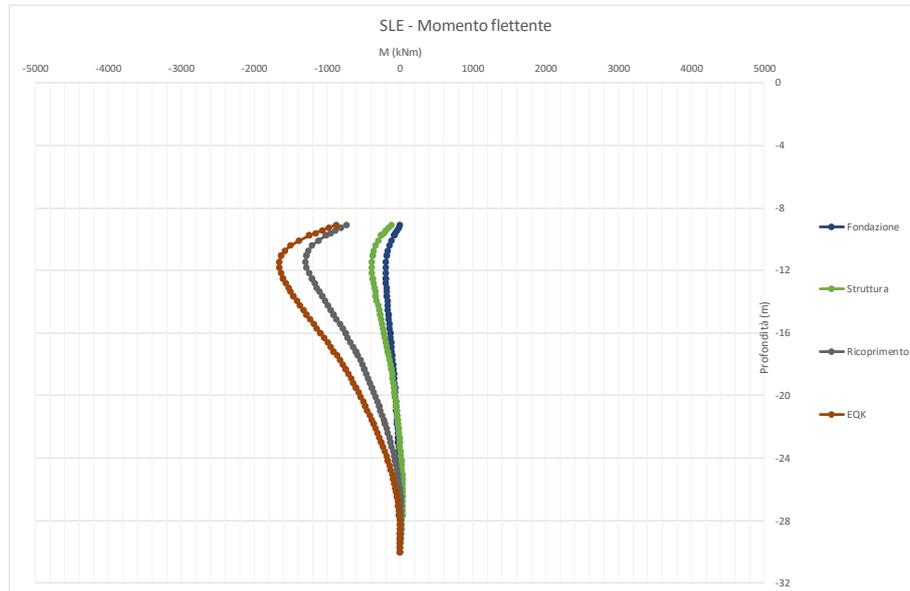


Figura 50: Sezione D – Paratia di Valle ( $L_p=20m$ ) – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

#### 10.4.5.4 TIRANTI

La seguente tabella riassume la forza di trazione agente sulle file di tiranti in esercizi al variare delle fasi di scavo e realizzazione delle opere.

Tabella 17: Sollecitazioni nei tiranti in funzione delle fasi

Fase	F_tirante (kN)					
	Fase 3	Fase 5	Fase 6	Fase 9	Fase 9 (*)	Fase 10/10(*)
Descrizione fase	Tirante 1	Tirante 2	Scavo Fin.	Disatt. T2	Disatt. T1	Disatt. T2
T1 (z=-2m)	300	336.3	433.9	456.6	448.8	-
T2 (z=-5.5m)	-	300	394.7	-	-	-

**10.4.5.5 PIEDRITTO**



Figura 51: Sezione D – Piedritto – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

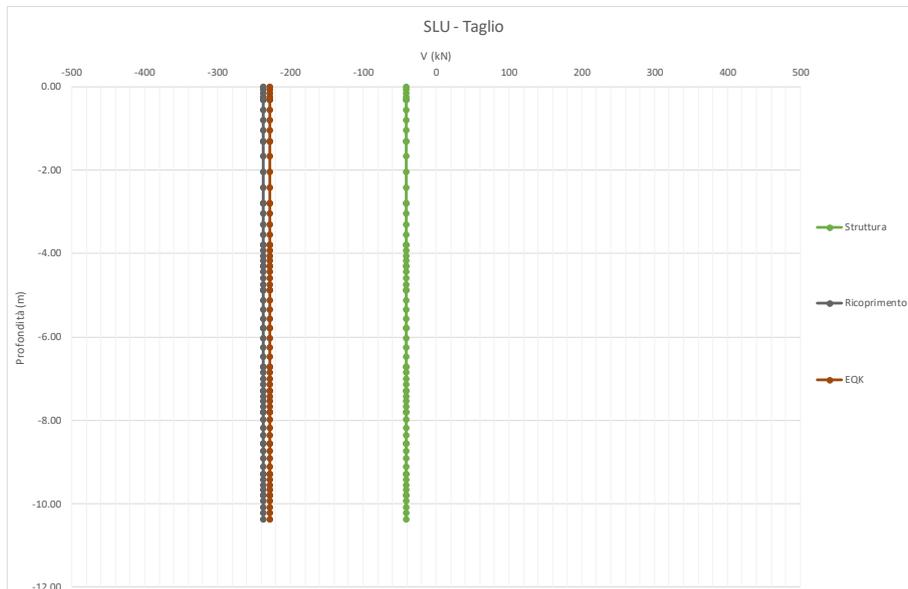


Figura 52: Sezione D – Piedritto – Sollecitazione di taglio (SLU)

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	80 di 145

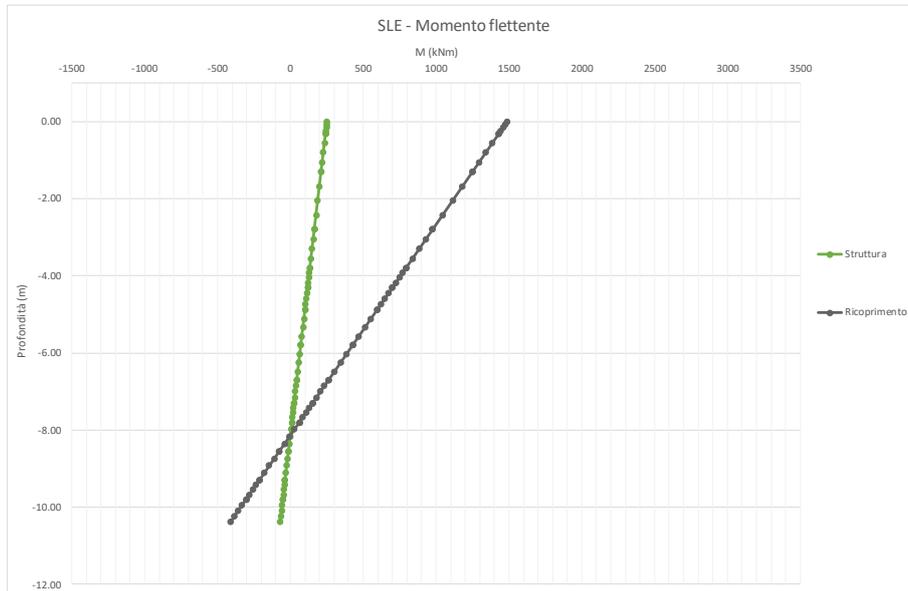


Figura 53: Sezione D – Piedritto – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

**10.4.5.6 SOLETTA SUPERIORE**

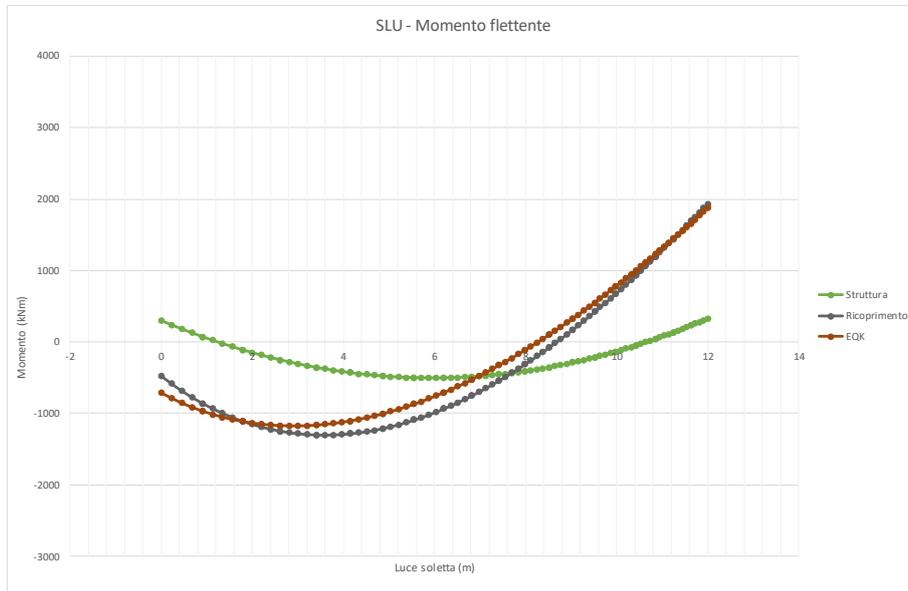


Figura 54: Sezione D – Soletta Superiore – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

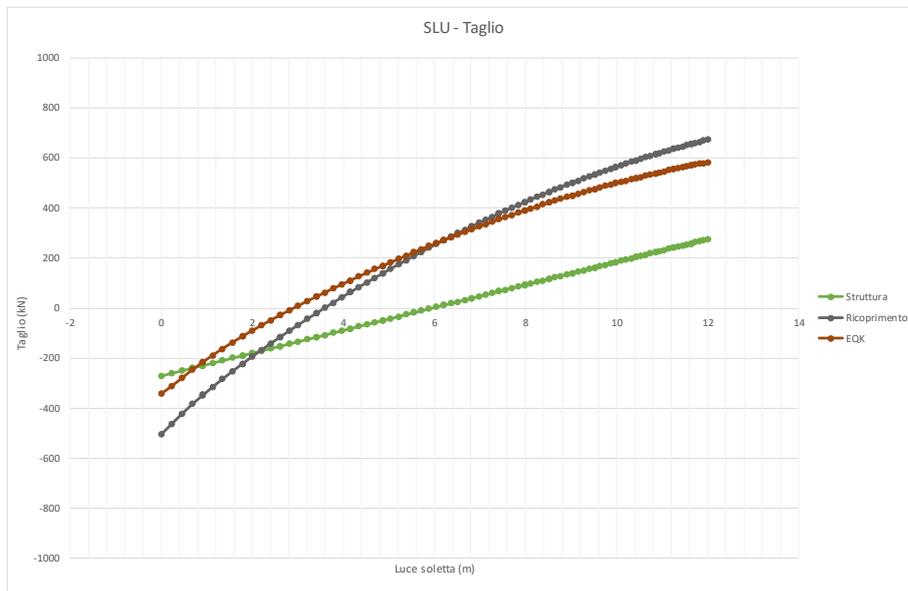


Figura 55: Sezione D – Soletta Superiore – Sollecitazione di taglio (SLU)

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	82 di 145



**Figura 56: Sezione D – Soletta Superiore – Sollecitazione di momento flettente (SLE)**

## 10.5 SEZIONE TIPO E – PK 25+165.00

### 10.5.1 GEOMETRIA

La geometria della Sezione E è qui riportata.

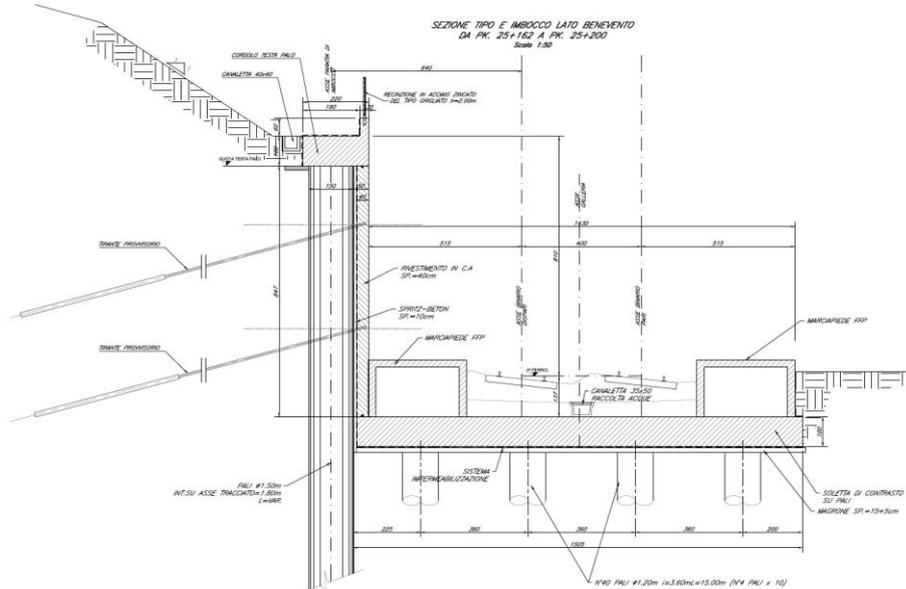


Figura 57: Sezione E

La paratia di monte ha la massima altezza nel tratto analizzato ( $H=10.67m$ ) con soletta su pali non contrastata di larghezza 15.05m con quattro pali sotto la platea di fondazione ad interasse 3.6m. La geometria del modello della Sezione E è qui riportata.

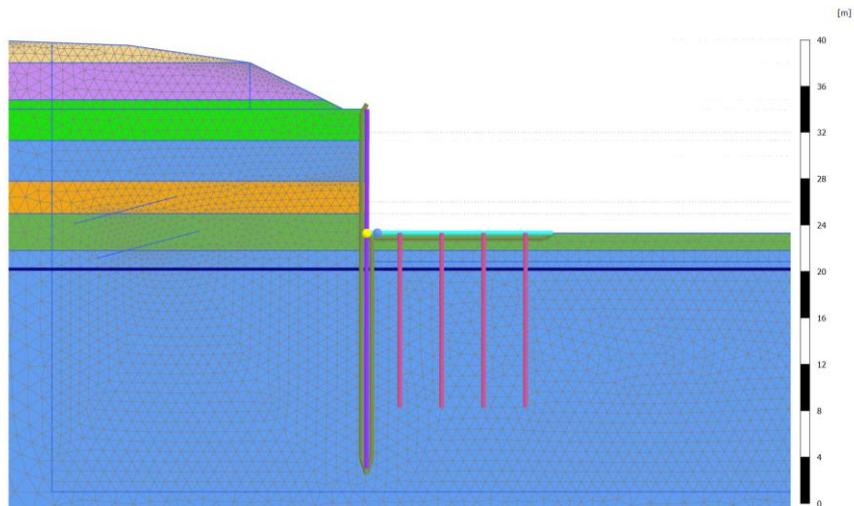


Figura 58: Geometria del modello - Sezione E

		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>		COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 84 di 145

I limiti inferiori e laterali del modello FEM sono stati posizionati ad una distanza tale da non influenzare lo sviluppo tenso-deformativo all'interno dell'opera. Coerentemente con lo schema strutturale è stato considerato:

- Vincolo cerniera per la soletta di fondazione in corrispondenza della connessione con la paratia.

## 10.5.2 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

La stratigrafia e i parametri di calcolo utilizzati per il tratto di galleria GA02 in esame sono riportate nella tabella seguente. Le quote relative sul modello sono state definite a partire dalla quota del cordolo di testa palo della paratia, situata per la sezione di calcolo a quota +62.9 m.s.l.m. Il livello della falda rilevato è ubicato a quota +49m s.l.m. e si presenta, generalmente, ad una distanza di almeno 5 metri al di sotto delle quote del Piano del Ferro.

Tabella 18: Stratigrafia e parametri di calcolo - Sezione E

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)			(°)	(kPa)	(MPa)	(MPa)
Ra	<b>Terreno di riporto</b>	6.0	4.0	2.0	HSM-DR	20	35	0	35	70
TGC2	<b>Tufo Grigio Campano</b> Cenere sabbioso, sabbioso limosa	4.0	0.8	3.2	HSM-DR	17	33	0	35	70
MDL4	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia travertinosa	0.8	-2.7	3.5	HSM-DR	20	34	30	200	600
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	-2.7	-6.2	3.5	HSM-DR	20	24	10	50	150
MDL2	<b>Unità di Maddaloni</b> Sabbia, sabbia limosa	-6.2	-9.0	2.8	HSM-DR	20	32	0	60	120
MDL1	<b>Unità di Maddaloni</b> Ghiaia sabbiosa	-9.0	-12.2	3.2	HSM-DR	20	38	0	120	240
MDL3	<b>Unità di Maddaloni</b> Argille limose	-12.2	inf	-	HSM-DR	20	24	10	50	150

La quota relativa della falda è stata posta a -13.8m nel modello di calcolo.

## 10.5.3 CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Gli elementi strutturali presenti nel modello sono:

- Paratia di pali elemento "plate" equivalente
- Platea di fondazione elemento "plate"
- Pali di fondazione elemento "embedded beam row"
- Bulbi dei tiranti elemento "embedded beam row"
- Lunghezza libera tiranti elemento "node-to-node anchor"

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

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>85 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	85 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	85 di 145								

Tabella 19: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (elementi “plate”)

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
Platea di fondazione (s=1m)	Plate	3.30E+07	2.75E+06	1.0	25.00	0.2

Tabella 20: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (elementi “embedded beam row”)

Nome	Tipologia	EA	EJ	L_s	T_shaft	T_foot
-	-	(kN/m)	(kN m <sup>2</sup> /m)	(m)	(kN/m)	(kN)
Pali di fondazione (D=1.2m, s=3.6m)	EBR (Pile)	3.51E+07	3.16E+06	3.6	100	900
Bulbo in MDL2 ( $\tau=200\text{kPa}$ , $\alpha=1.45$ , $\Phi_d=180\text{mm}$ )	EBR (Grout)	7.64E+05	1.55E+03	3.6	280	-
Bulbo in MDL1 ( $\tau=300\text{kPa}$ , $\alpha=1.70$ , $\Phi_d=180\text{mm}$ )	EBR (Grout)	7.64E+05	1.55E+03	3.6	140	-

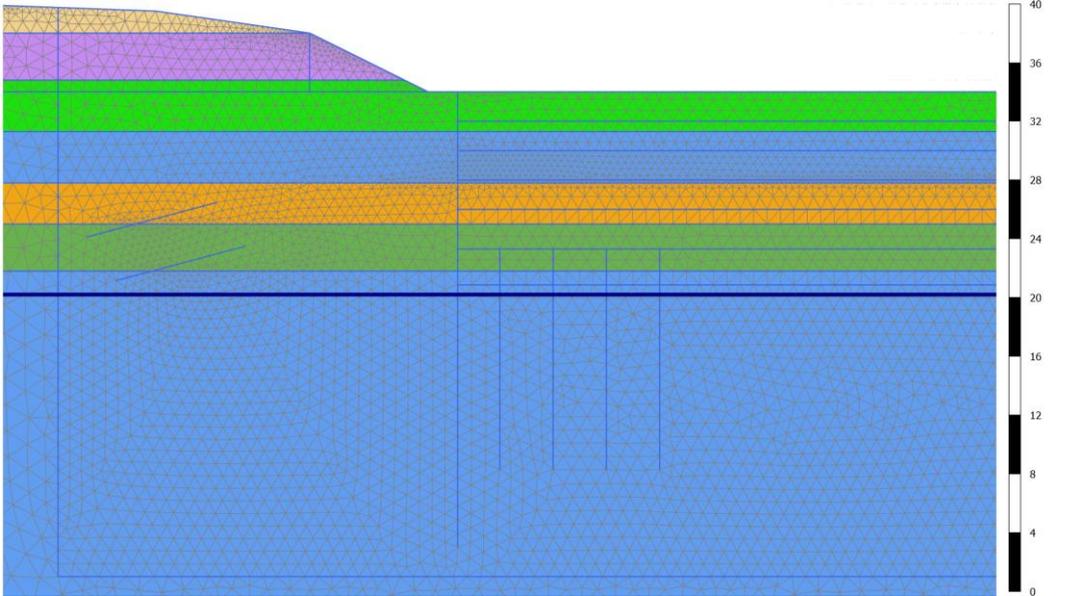
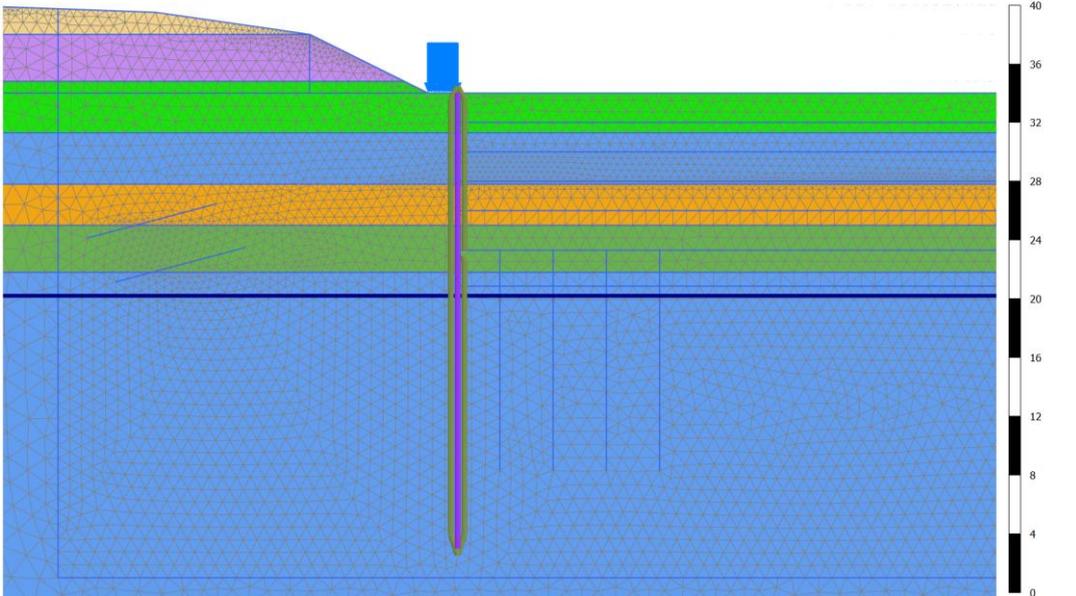
Tabella 21: Caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (elementi “node-to-node anchor”)

Nome	Tipologia	Materiale	EA	L_spacing
-	-	-	(kN/m)	(m)
Tirante (4 trefoli)	NTN anchor	Elastico	1.18E+05	3.6

### 10.5.4 SIMULAZIONE DELLE FASI COSTRUTTIVE

Le fasi costruttive sono modellate come segue.

Tabella 22: Fasi di calcolo - Sezione E

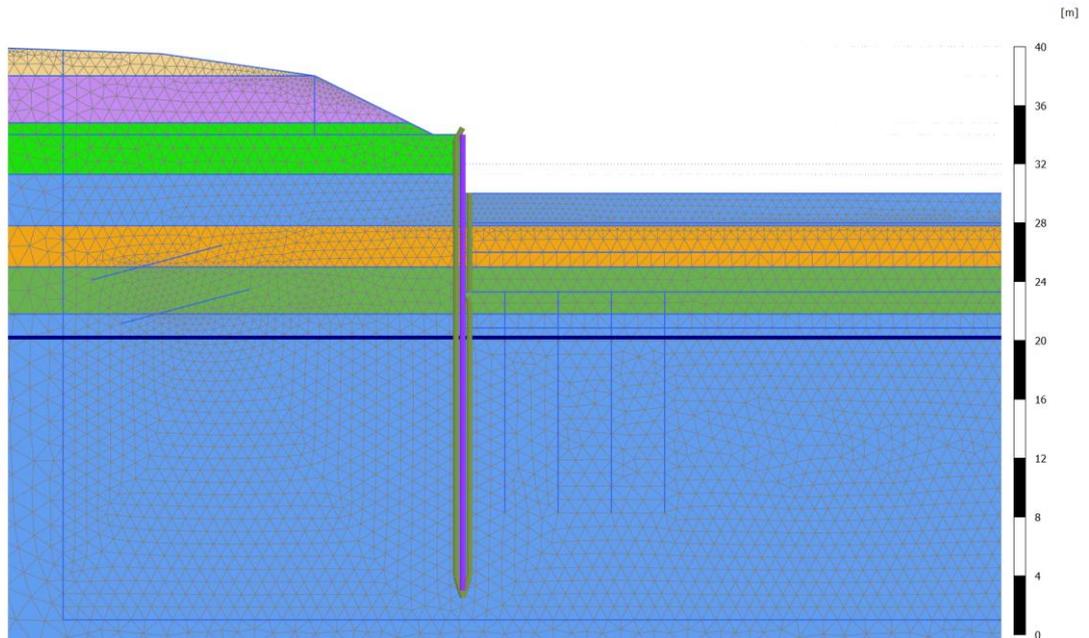
FASE	DESCRIZIONE
0	<p>Raggiungimento quota testa pali e inizializzazione geostatica</p> 
1	<p>Installazione pali</p> 

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	87 di 145

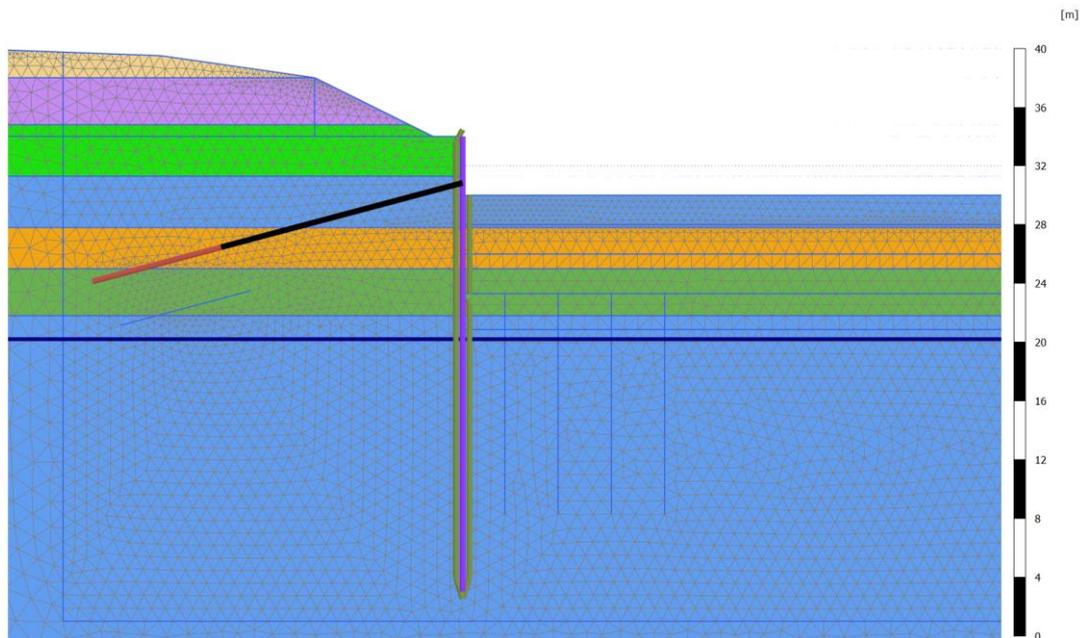
Scavo fino a quota -3m dalla testa del palo

2



Installazione della prima fila di tiranti (-2m dalla testa del palo) e tesatura dei tiranti ( $F=300\text{kN}$ )

3

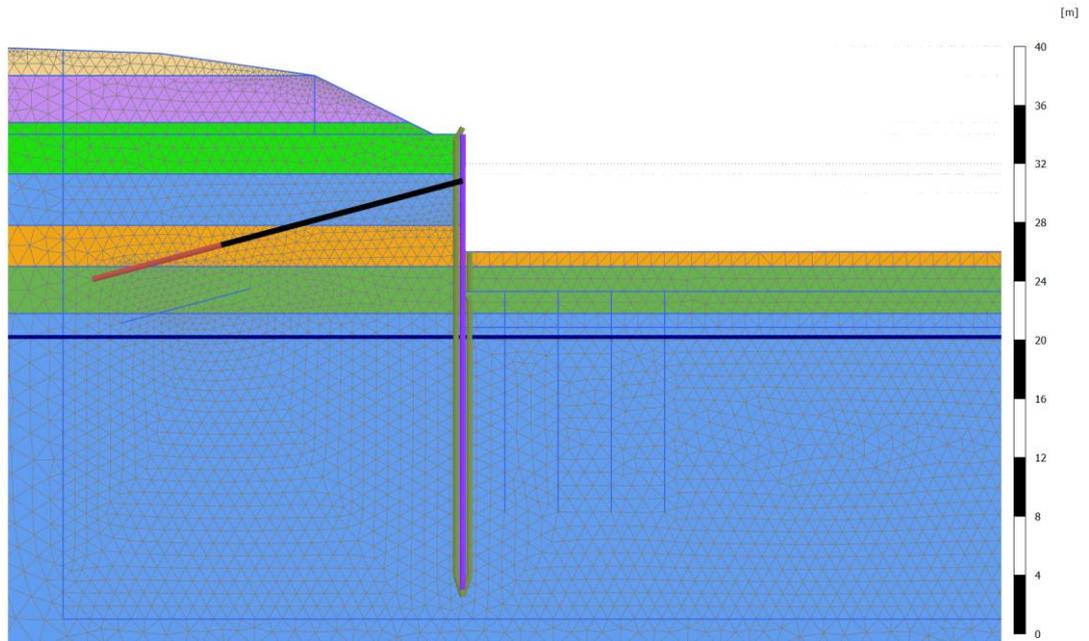


**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	88 di 145

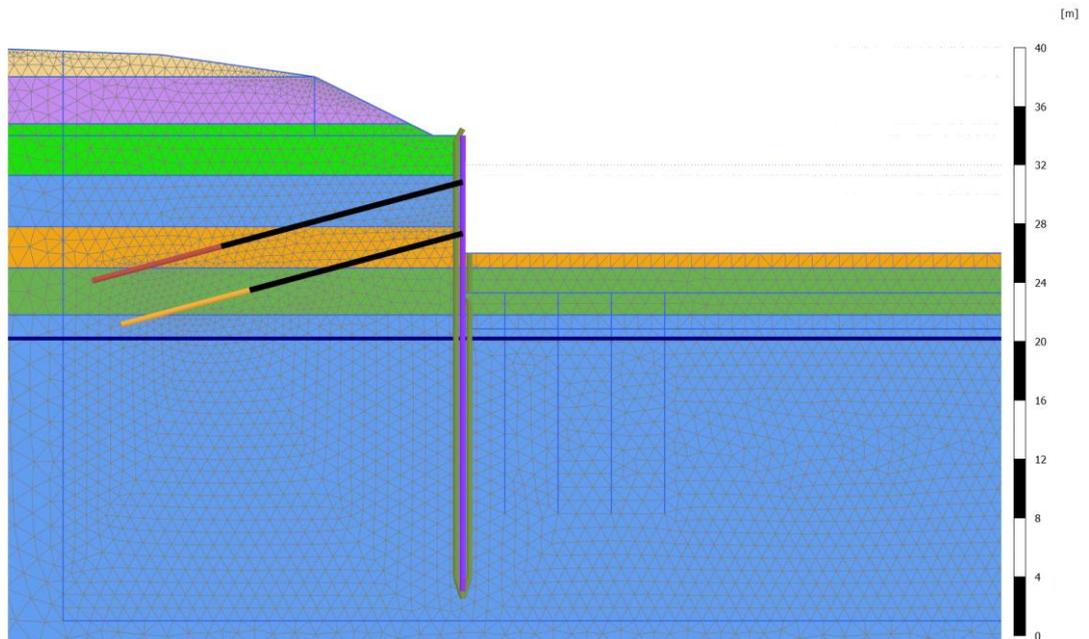
Scavo fino a quota -6.5m dalla testa del palo

4



Installazione della seconda fila di tiranti (-5.5m dalla testa del palo) e tesatura dei tiranti ( $F=300\text{kN}$ )

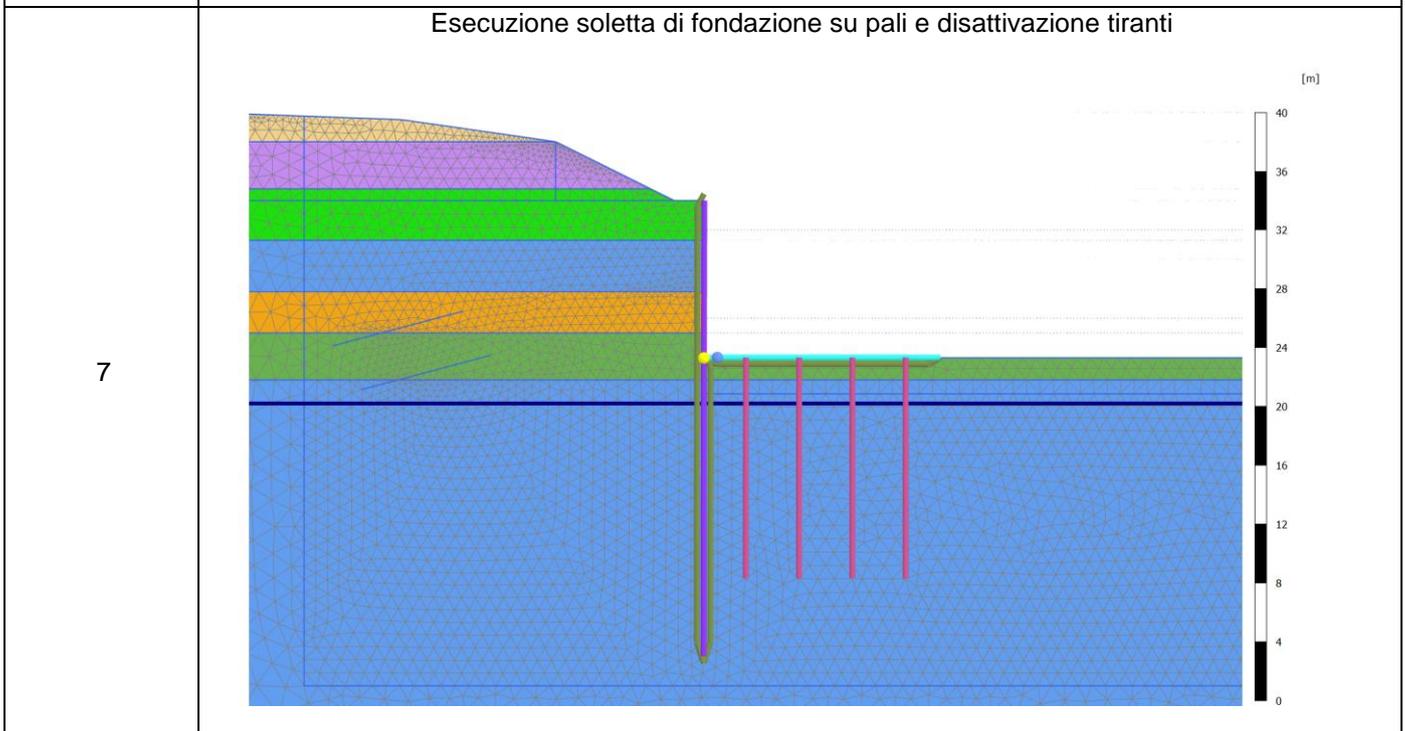
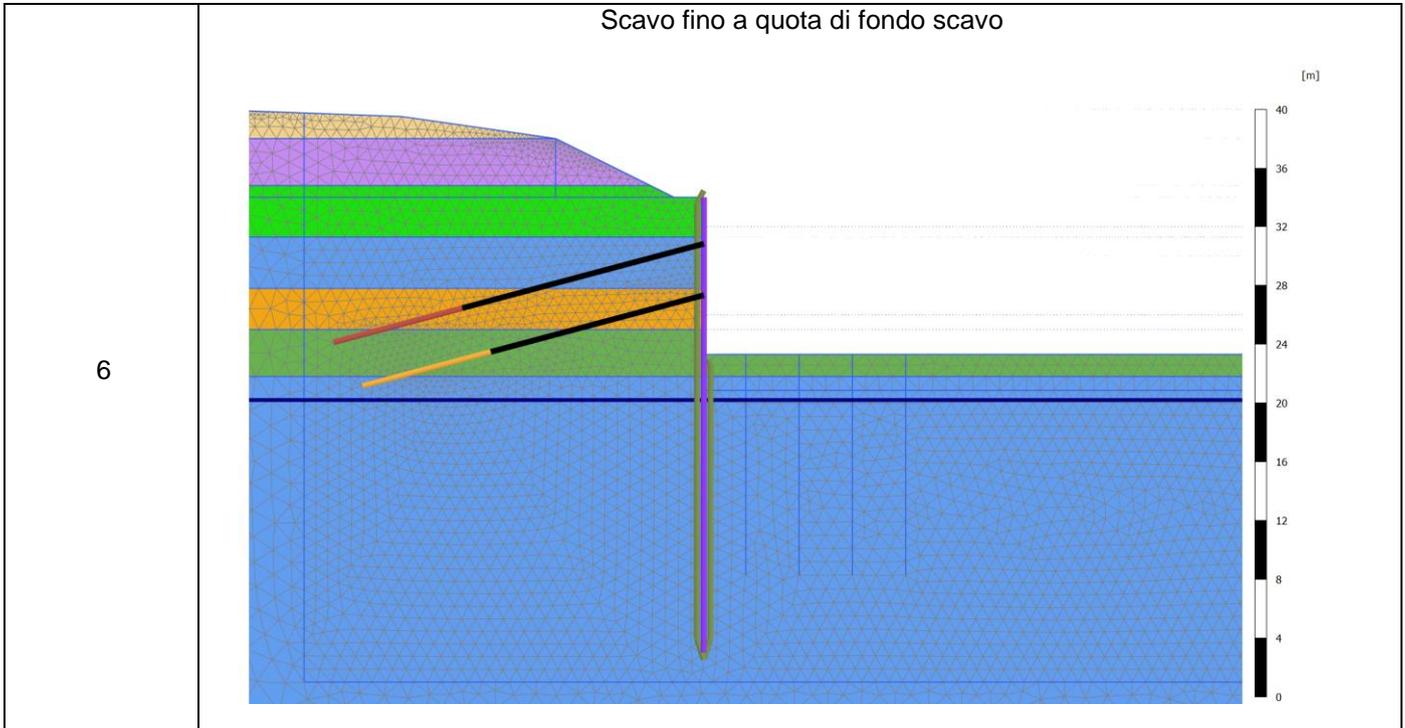
5



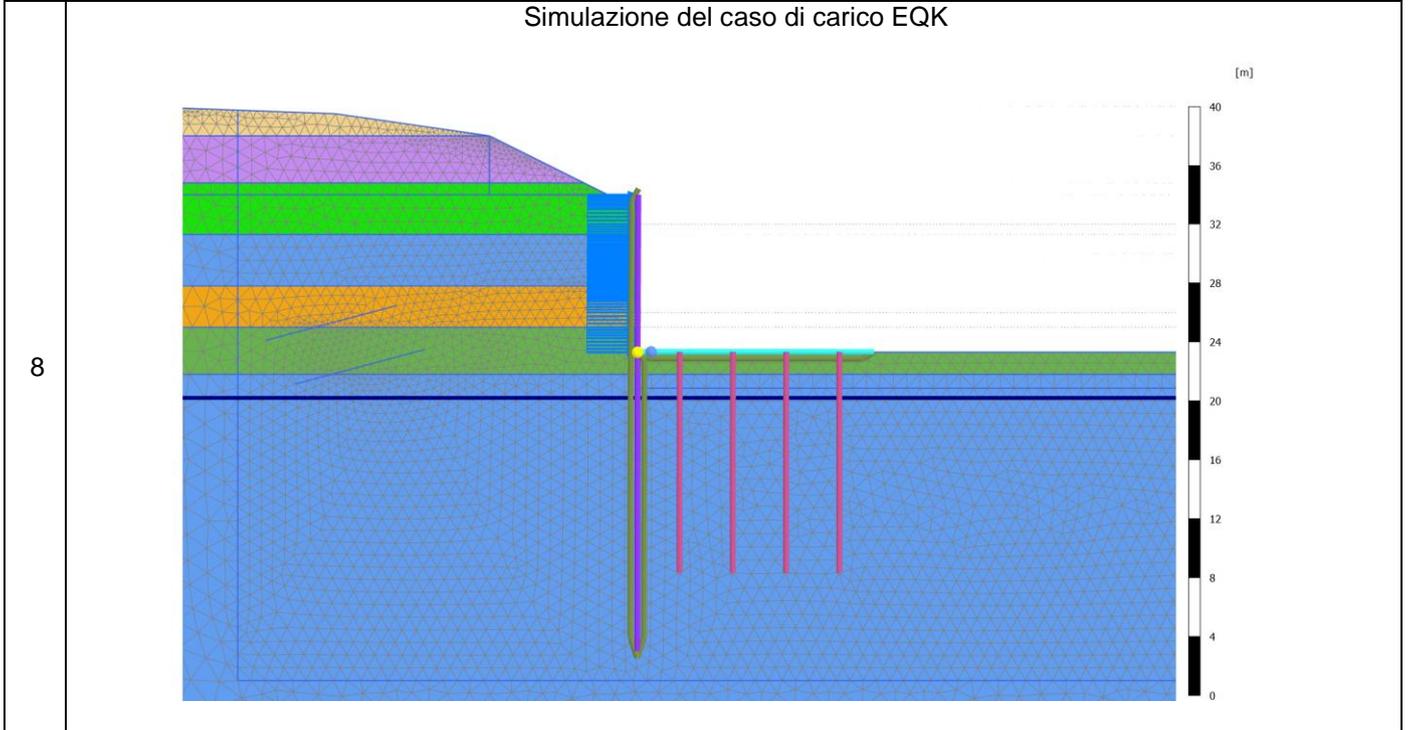
**ITINERARIO NAPOLI – BARI**  
**RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO**  
**II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO**  
**1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE**  
**PROGETTO ESECUTIVO**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	89 di 145



Simulazione del caso di carico EQK



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 per la stabilità globale:

- sulla fase 7 (soletta di fondazione);
- sulla fase 8 (sisma).

### 10.5.5 RISULTATI DELLE ANALISI

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

#### 10.5.5.1 PARATIA DI MONTE

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.

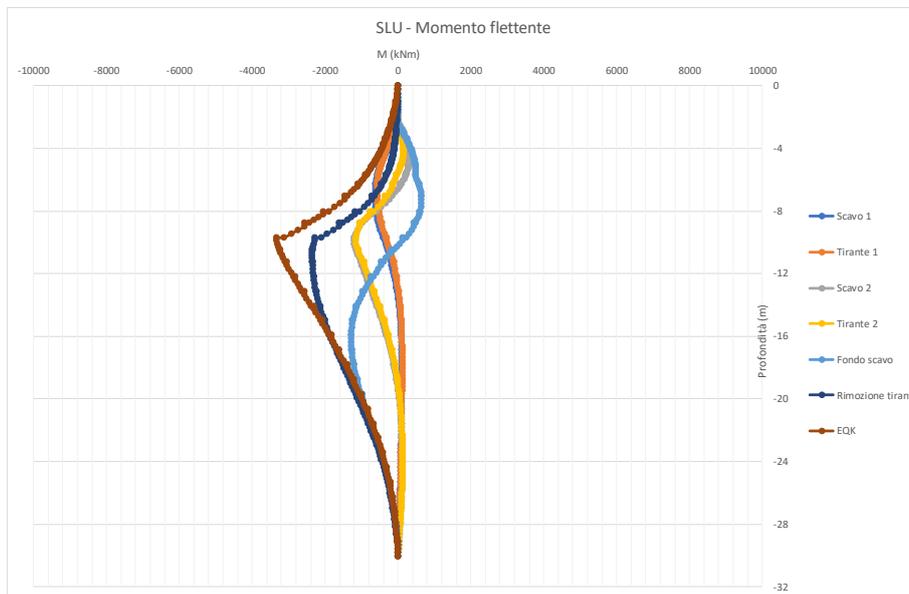


Figura 59: Sezione E – Paratia di Monte ( $L_p=30m$ ) – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

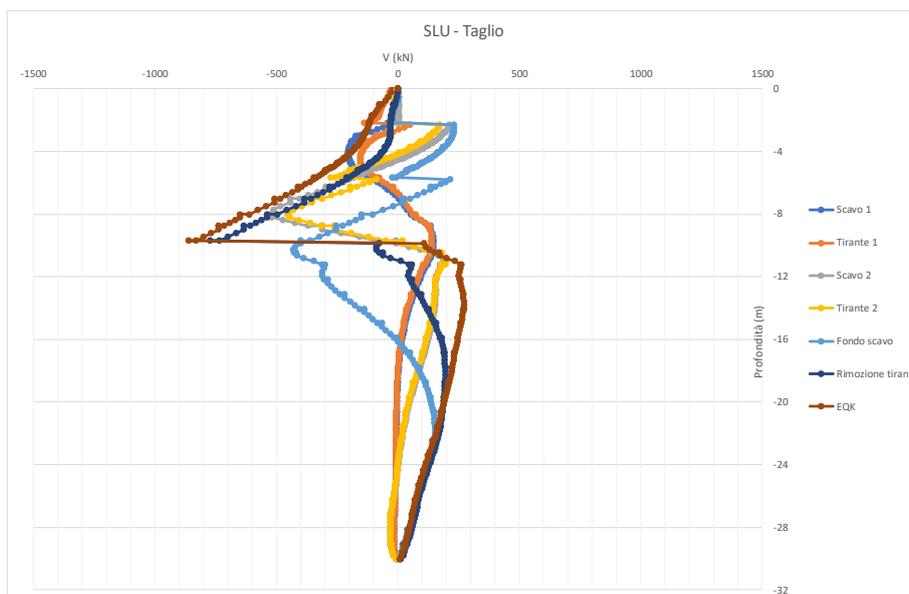


Figura 60: Sezione E – Paratia di Monte ( $L_p=30m$ ) – Sollecitazione di taglio (SLU)

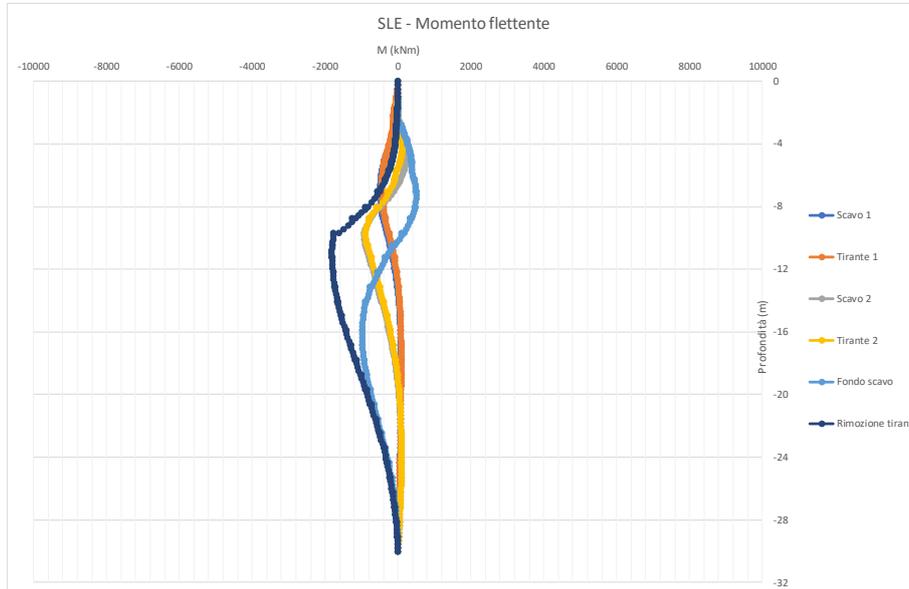


Figura 61: Sezione E – Paratia di Monte ( $L_p=30m$ ) – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

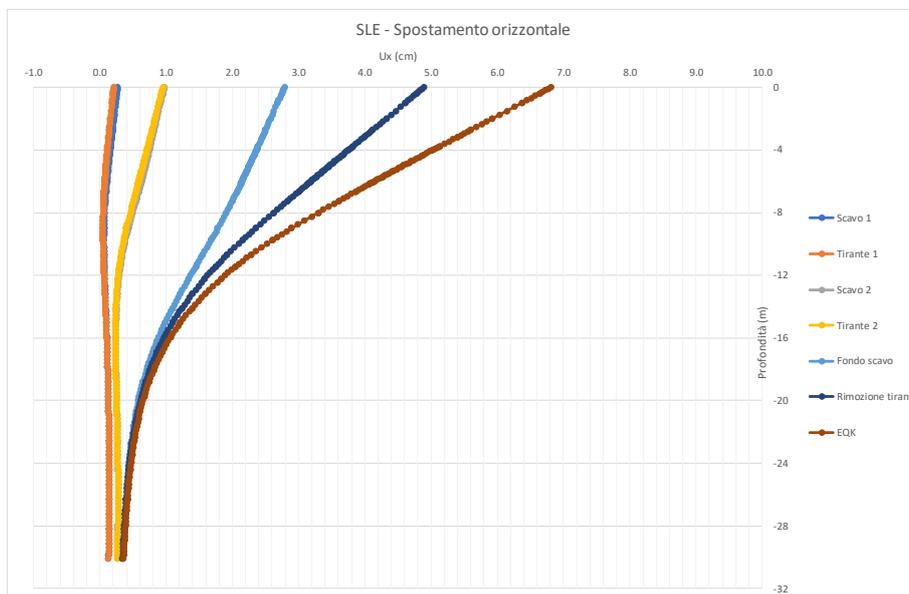


Figura 62: Sezione E – Paratia di Monte ( $L_p=30m$ ) – Spostamento orizzontale (SLE)

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	93 di 145

**10.5.5.2 TIRANTI**

La seguente tabella riassume la forza di trazione agente sulle file di tiranti in esercizi al variare delle fasi di scavo e realizzazione delle opere.

Tabella 23: Sollecitazioni nei tiranti in funzione delle fasi

Fase	F_tirante (kN)			
	Fase 3	Fase 5	Fase 6	Fase 7
Descrizione fase	Tirante 1	Tirante 2	Scavo finale	Rimozione tiranti
T1 (z=-2m)	300	336.1	410.2	-
T2 (z=-5.5m)	-	300	375.5	-

## 11 VERIFICHE

Le verifiche descritte al Capitolo 9 e 10 sono riportate in seguito.

### 11.1 Sezione Tipo D – pk 25+115.00

#### 11.1.1 PARATIE DI PALI

##### 11.1.1.1 VERIFICHE STRUTTURALI – PARATIA PROVVISORIALE

#### STATO LIMITE ULTIMO

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

Tabella 24: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	L (m)	As (mm <sup>2</sup> )	As' (mm <sup>2</sup> )	Asw (mm <sup>2</sup> )
III	9	24Φ16	-	Φ14/200mm

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 25: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	-5.7	STR	Scavo	-215	0	-357

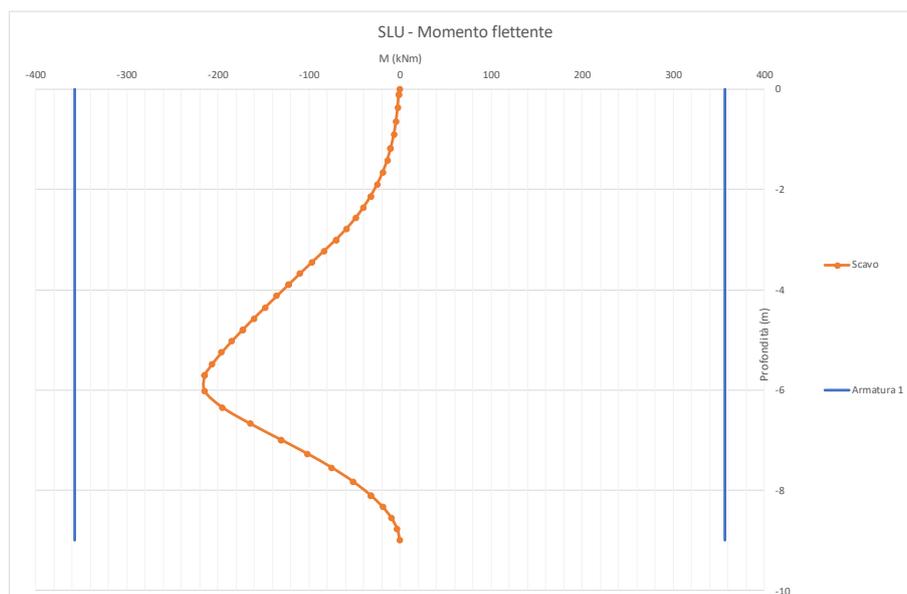


Figura 63: Sezione D – Paratia provvisoria (L<sub>p</sub>=9m) – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 26: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	-3.2	STR	Scavo	108	148

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

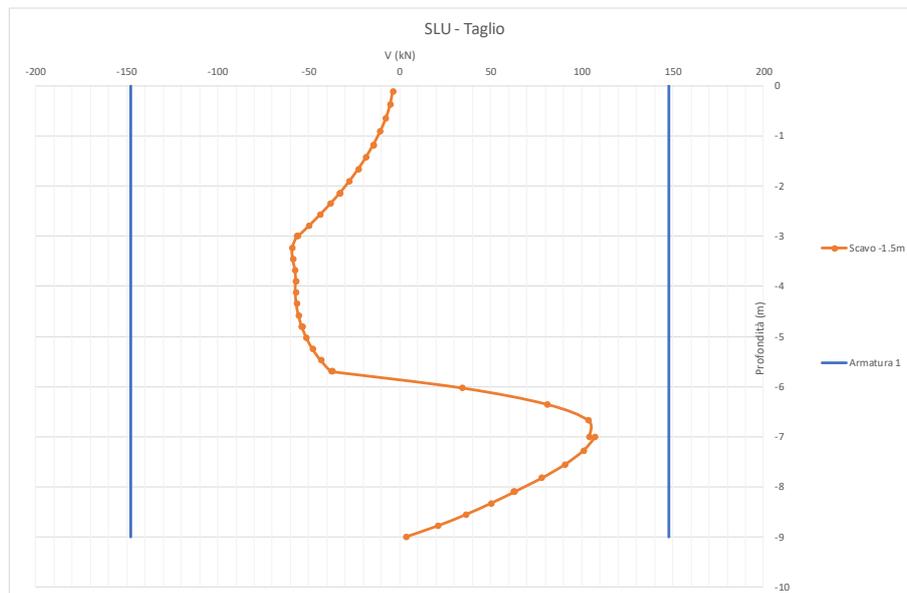


Figura 64: Sezione D – Paratia provvisoria ( $L_p=9m$ ) – Sollecitazione di taglio (SLU)

### DEFORMAZIONI

La deformazione orizzontale massima è di:

$$U_{max}=0.65cm$$

Il valore è minore dell'1% dell'altezza fuori terra della paratia ( $U_{amm}=2.5cm$ ), ed è per questo ritenuto accettabile.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	96 di 145

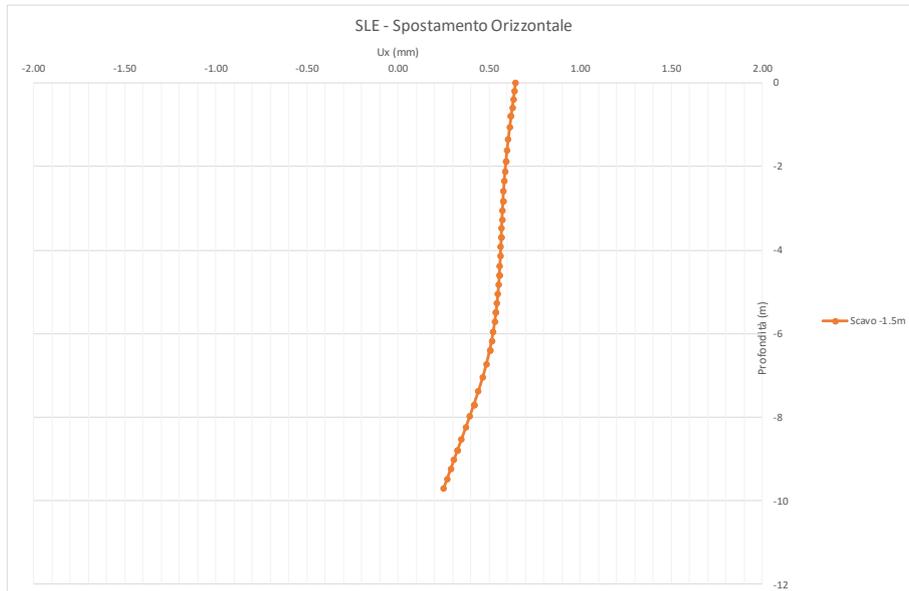


Figura 65: Sezione D – Paratia provvisoria (L<sub>p</sub>=9m) – Spostamento orizzontale (SLE)

**11.1.1.2 VERIFICHE STRUTTURALI – PARATIA DI MONTE**

STATO LIMITE ULTIMO

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

Tabella 27: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	Lgabbia (m)	As (mm2)	As' (mm2)	Asw (mm2)
I	9	32Φ24	-	Φ14/150mm
II	12	48Φ30	-	Φ14/100mm
III	12	32Φ24	-	Φ14/300mm

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 28: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	-8.0	EQK	Sisma	-1514.4	853	-3715
II	-11.1	STR	Ricoprimento	-3063.3	992	-7386
III	-17.5	STR	Ricoprimento	-1772.1	1272	-3893

Il valore di sforzo normale  $N_{Ed}$  (positivo se di compressione) è stato assunto pari al peso proprio del palo e degli eventuali carichi permanenti portati dal palo, valutati in corrispondenza della sezione di verifica.

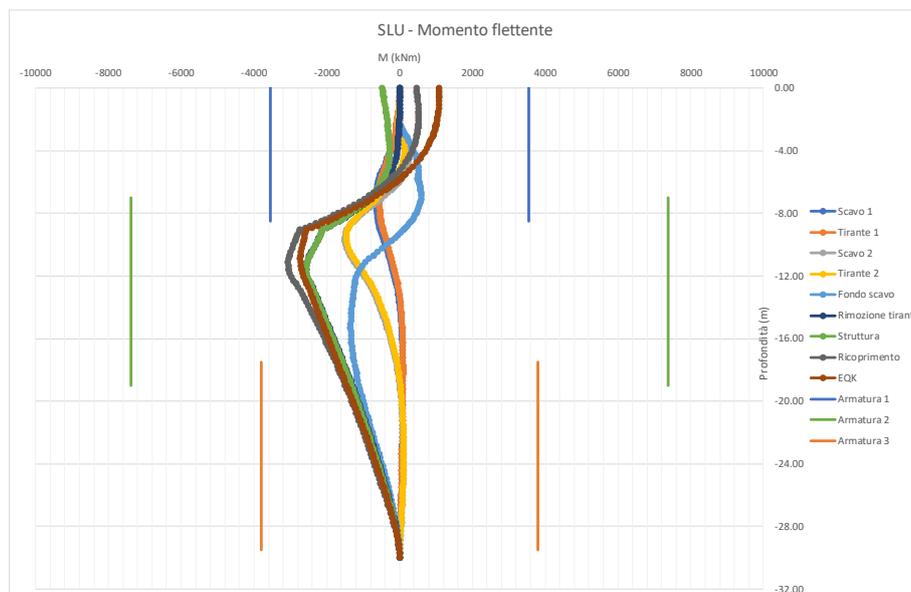


Figura 66: Sezione D – Paratia di Monte – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 29: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	-6.9	EQK	Sisma	-685.8	-723.4
II	-9.1	STR	Ricoprimento	-1074.0	-1085.0
III	-19.2	STR	Ricoprimento	172.8	361.7

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

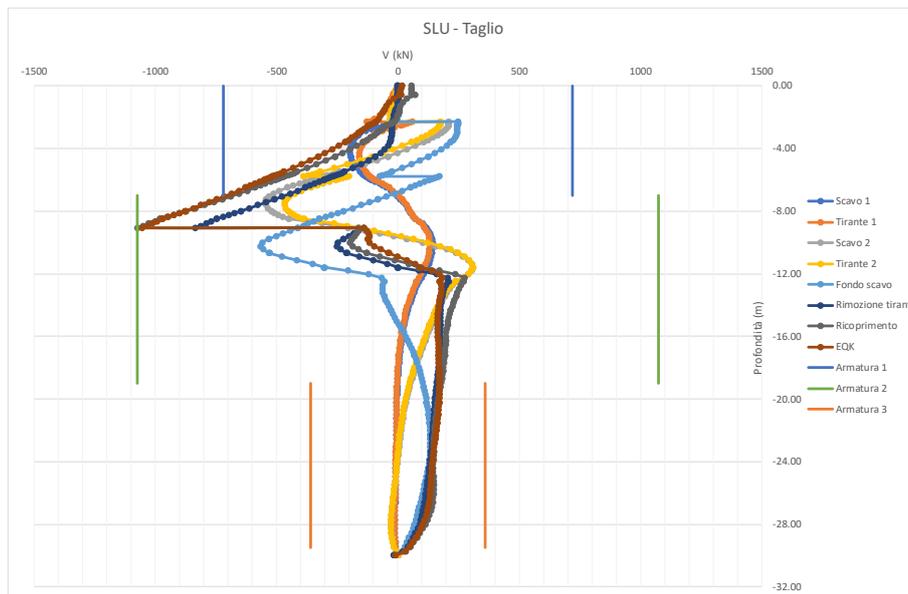


Figura 67: Sezione D – Paratia di Monte – Sollecitazione di taglio (SLU)

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 30: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
I	-8.0	STR	Ricoprimento	-1307.8	853
II	-11.1	STR	Ricoprimento	-2356.4	992
III	-17.5	STR	Ricoprimento	-1363.1	1272

Tabella 31: 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	6.17	13.75	155.1	337.5	528.1	0.187	0.20
II	7.29	13.75	150.6	337.5	593.4	0.164	0.20
III	6.31	13.75	135.1	337.5	582.8	0.152	0.20

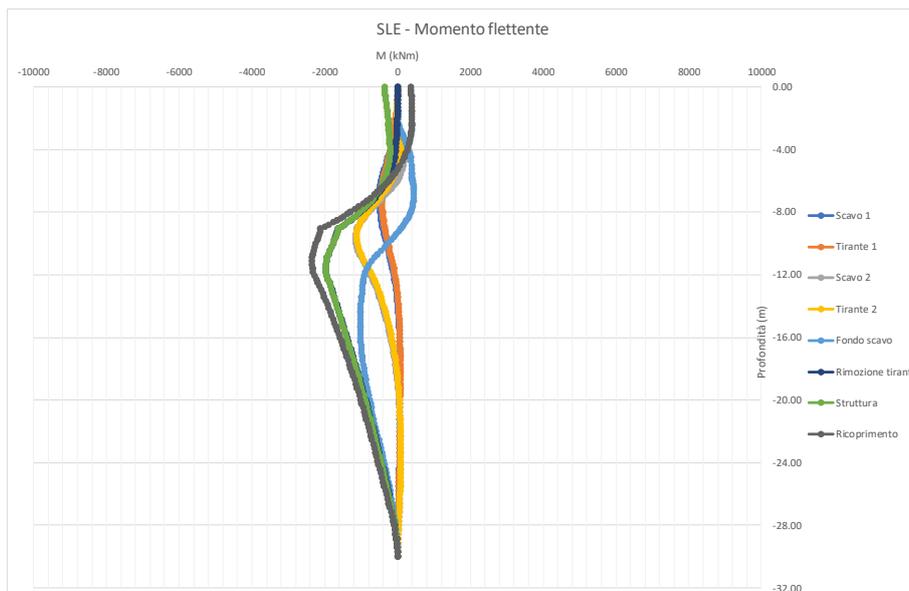


Figura 68: Sezione D – Paratia di Monte – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	100 di 145

**DEFORMAZIONI**

La deformazione orizzontale massima è di:

- $U_{max}=6.3\text{cm}$  in condizioni statiche
- $U_{max}=7.4\text{cm}$  in condizioni sismiche

I valori ottenuti sono minori dell'1% dell'altezza fuori terra della paratia ( $U_{amm}=11.7\text{cm}$ ) e pertanto ritenuti accettabili.

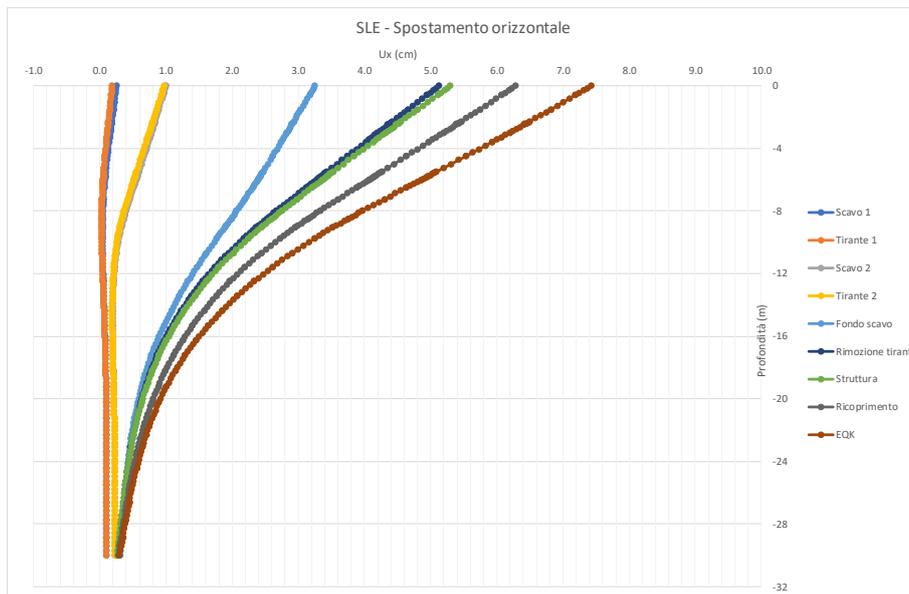


Figura 69: Sezione D – Paratia di Monte – Spostamento orizzontale (SLE)

**11.1.1.3 VERIFICHE STRUTTURALI – PARATIA DI VALLE**

STATO LIMITE ULTIMO

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

Tabella 32: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	Lgabbia (m)	As (mm <sup>2</sup> )	As' (mm <sup>2</sup> )	Asw (mm <sup>2</sup> )
I	12	32Φ24	-	Φ14/100mm (4m) Φ14/300mm (8m)
II	11	32Φ16	-	Φ14/300mm

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 33: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	-11.4	STR	Ricoprimento	-1681.4	954	-3758
II	-20.1	EQK	Sisma	-539.5	1337	-2303

Il valore di sforzo normale N<sub>Ed</sub> (positivo se di compressione) è stato assunto pari al peso proprio del palo e degli eventuali carichi permanenti portati dal palo, valutati in corrispondenza della sezione di verifica.



Figura 70: Sezione D – Paratia di Valle – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 34: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	-9	STR	Ricoprimento	-553.4	-1085
II	-14.8	STR	Ricoprimento	177.8	365.5

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

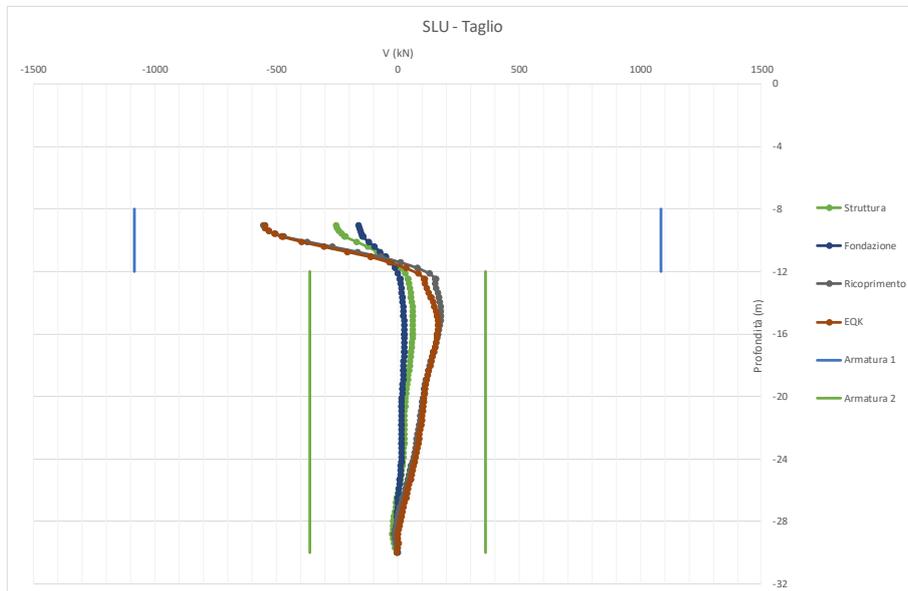


Figura 71: Sezione D – Paratia di Valle – Sollecitazione di taglio (SLU)

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 35: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
I	-11.4	STR	Ricoprimento	-1293.4	954
II	-20.1	STR	Ricoprimento	-333.9	1337

Tabella 36: 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	6.07	13.75	145.6	337.5	544	0.17	0.20
II	1.67	13.75	2.1	337.5	131	-	0.20



Figura 72: Sezione D – Paratia di Valle – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

**11.1.1.4 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 (A2+M2+R1)

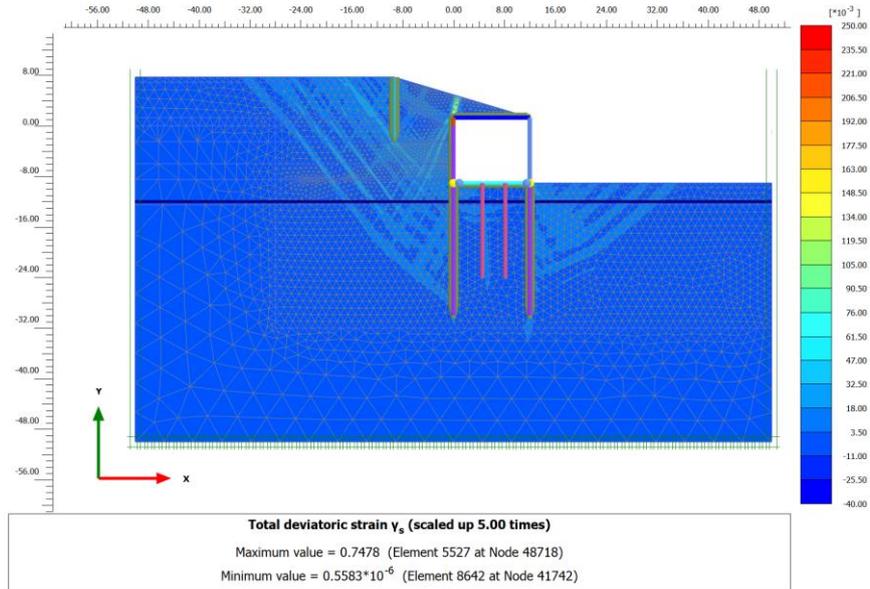


Figura 73: Sezione D – Verifica GEO, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma MS_f$  ottenuto è pari a  $\Sigma MS_f (GEO) = 1.30$ .

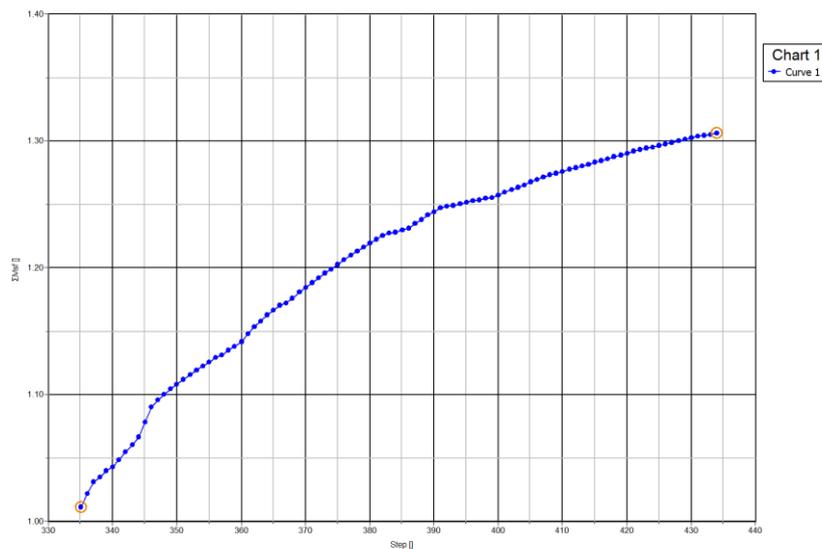


Figura 74: Sezione D – Verifica GEO, evoluzione di  $\Sigma MS_f$  fino al raggiungimento del valore di progetto

Combinazione EQK (A2+M2+R1)

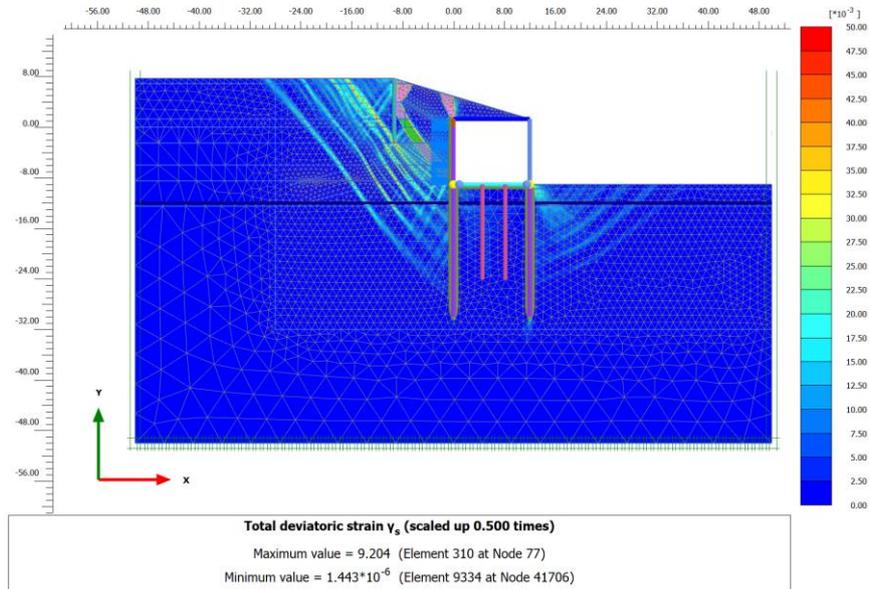


Figura 75: Sezione D – Verifica EQK, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma Msf$  ottenuto è pari a  $\Sigma Msf (GEO) = 1.21$ .

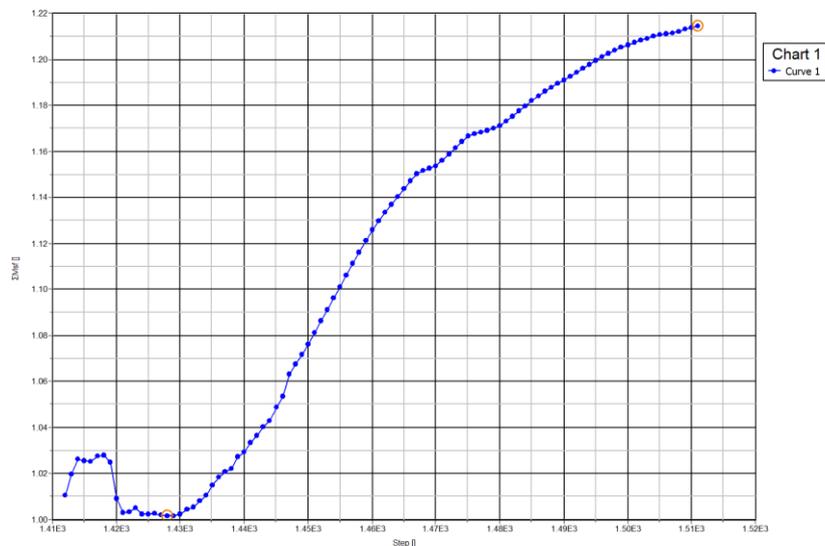


Figura 76: Sezione D – Verifica EQK, evoluzione di  $\Sigma Msf$  fino al raggiungimento del valore di progetto

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	106 di 145

**11.1.1.5 VERIFICHE GEOTECNICHE – CAPACITÀ PORTANTE PALI**

La verifica di capacità portante del Palo DN1500 è stata condotta in accordo al punto 10.3. La lunghezza del palo nel tratto al di sotto del livello di fondazione pari a 20m garantisce un fattore di sicurezza FS=1.31 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 = 1.500 m  
A\_palo = 1.767 m²  
S\_palo = 3.142 m²/m  
J\_palo = 0.249 m⁴  
γ\_cls = 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  
σ\_v = 0.0 kN/m² tensione totale a quota zp

z = profondità dal p.c.  
γ\_cls = 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	22.611	0
MDL1	2.25	20.0	38.0	0.0	0.0	15.074	15.074	15.074	22.611	1 024
MDL3	2.75	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	301
	5.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	404
	7.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	517
	10.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	631
	12.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	745
	15.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	858
	17.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	972
	20.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 086
	22.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 200
	25.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 313
	27.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 427
	30.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 541
	32.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 655
	35.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 768
	37.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 882
	40.00	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	1 996
	42.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	2 109
	45.50	20.0	24.0	10.0	0.0	4.430	4.954	4.954	7.431	2 246

Coeff. Berezantzev AGI

Verticali

Tipo di palo

φ	Nq	ξ4	ξ3	δφ	cu	α	(α*cu)max
					kN/m²		kN/m²
0	0.00	1	1.70	1.70			
18	2.44	2	1.55	1.65	Battuto in acciaio	20/φ	<= 25 1.00 100
22	3.64	3	1.48	1.60			25.50 0.80 100
24	4.46	4	1.42	1.55			50.75 0.65 100
26	5.51	5	1.34	1.50			>= 75 0.50 100
30	8.56	7	1.28	1.45	Battuto in cls		<= 25 1.00 120
35	15.48	10	1.21	1.40	Prefabbricato	0.75	25.50 0.85 120
38	22.75				Gettato in opera	1.00	50.75 0.65 120
42	39.70						>= 75 0.50 120
	N_max =	1 650	kN				
	N_attrito_neg =	0	kN >= 0		Trivellato	1.00	<= 25 0.90 100
							25.50 0.80 100
							50.75 0.60 100
	N_min =	0	kN				>= 75 0.40 100

	L_palo	ξ4	γ_base	γ_later.	ξ*γ_p	ξ*γ_l	sf-sf*
N_max =	1 650	16.25	1.34	1.35	1.15	1.81	1.54
N_min =	0	0.00	1.34		1.30		1.74
L_palo =	16.25 m	Profondità da p.c. = 16.3 m					

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

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	107 di 145

sf	z m	$\gamma$ kN/mc	$\phi$ °	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	$\omega$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma'$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	$K_s$	$\delta/\phi$	$\alpha$	$N_c$	$\tau$ kN/m <sup>2</sup>	$\beta = \tau/\sigma$	$N_q$	$P_{palo}$ 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	
0.07	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	2.2	201	0	201	111
0.14	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	4.4	404	2	402	223
0.20	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	6.6	608	5	603	336
0.27	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	8.8	813	9	804	450
0.34	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	11.0	1019	14	1005	565
0.41	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	13.3	1227	21	1206	680
0.48	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	15.5	1435	28	1407	796
0.55	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	17.7	1645	37	1608	913
0.62	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	19.9	1856	47	1809	1031
0.65	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	22.1	1970	58	1912	1094
0.20	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	24.3	601	69	532	339
0.21	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	26.5	632	80	552	357
0.22	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	28.7	663	91	572	375
0.23	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	30.9	695	102	592	394
0.25	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	33.1	727	115	613	413
0.26	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	35.3	760	127	633	432
0.27	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	37.6	794	141	653	452
0.28	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	39.8	827	155	673	472
0.29	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	42.0	862	169	693	493
0.30	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	44.2	897	184	713	513
0.32	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	46.4	932	199	733	535
0.33	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	48.6	968	215	753	556
0.34	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	50.8	1005	232	773	578
0.35	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	53.0	1042	249	793	600
0.37	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	55.2	1080	266	814	622
0.38	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	57.4	1118	284	834	645
0.39	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	59.6	1157	303	854	669
0.40	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	61.9	1196	322	874	692
0.42	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	64.1	1236	342	894	716
0.43	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	66.3	1276	362	914	740
0.44	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	68.5	1317	383	934	765
0.46	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	70.7	1358	404	954	790
0.47	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	72.9	1400	426	974	815
0.49	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	75.1	1442	448	994	840
0.50	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	77.3	1485	471	1015	866
0.52	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	79.5	1529	494	1035	893
0.53	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	81.7	1573	518	1055	919
0.55	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	83.9	1617	542	1075	946
0.56	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	86.1	1662	567	1095	973
0.58	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	88.4	1708	593	1115	1001
0.59	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	90.6	1754	619	1135	1029
0.61	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	92.8	1800	645	1155	1057
0.62	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	95.0	1848	672	1175	1086
0.64	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	97.2	1895	700	1195	1115
0.65	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	99.4	1944	728	1216	1144
0.67	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	101.6	1992	757	1236	1174
0.69	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	103.8	2042	786	1256	1204
0.70	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	106.0	2091	816	1276	1234
0.72	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	108.2	2142	846	1296	1265
0.74	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	110.4	2193	877	1316	1296
0.75	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	112.7	2244	908	1336	1328
0.77	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	114.9	2296	940	1356	1359
0.79	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	117.1	2348	972	1376	1392
0.80	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	119.3	2401	1005	1396	1424
0.82	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	121.5	2455	1038	1416	1457
0.84	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	123.7	2509	1072	1437	1490
0.86	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	125.9	2563	1107	1457	1523
0.88	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	128.1	2618	1142	1477	1557
0.89	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	130.3	2674	1177	1497	1591
0.91	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	132.5	2730	1213	1517	1626
0.93	15.25	20.0	24.0	10.0	0.0	177.6	305.0	0.593	1.00	0.00	7.77	46.9	0.264	4.460	134.7	2787	1250	1537	1661
0.95	15.50	20.0	24.0	10.0	0.0														

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	108 di 145

**11.1.2 TIRANTI**

Le tabelle seguenti riassumono le verifiche effettuate per il dimensionamento dei tiranti in termini di lunghezza libera e lunghezza di ancoraggio. La lunghezza del tratto libero è stata aumentata di 0.2 H per garantire l'ancoraggio del bulbo al di fuori del cono di spinta in condizioni sismiche.

GEOMETRIA DELL'ANCORAGGIO										
Riga	Livello	h <sub>i</sub>	α	L' <sub>p</sub>	L <sub>aggiuntiva</sub>	L <sub>lib,th</sub>	L <sub>libera</sub>	L <sub>bulbo</sub>	L <sub>tot</sub>	s
n.	[m s.l.m.]	[m]	[°]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	60.54	26.00	15	14.89	2.05	16.94	17	9	26	3.60
2	57.04	22.50	15	12.89	2.05	14.94	15	9	24	3.60

CARATTERISTICHE TIRANTE					RESISTENZA TIRANTE			RESISTENZA MALTA-TERRENO				
Riga	Livello	n <sub>tr</sub>	f <sub>uk</sub> /tirante	A <sub>trefole</sub>	A <sub>tirante</sub>	Res. a trazione R <sub>tk</sub>	Fattore di sicurezza γ <sub>R</sub>	R <sub>td</sub>	∅ <sub>d</sub>	α	τ <sub>lim</sub>	L <sub>q,min</sub>
n.	[m s.l.m.]	n.	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[-]	[kN]	[mm]	[-]	[MPa]	[m]
1	60.54	4	229.6	140	560	918.4	1.15	798.61	180	1.45	0.20	4.87
2	57.04	4	229.6	140	560	918.4	1.15	798.61	180	1.7	0.30	2.77

CARICHI PER ANCORAGGIO				TIRANTE			VERIFICA SUPERFICIE MALTA-TERRENO					VERIFICA FINALE		
N <sub>prestr</sub>	N <sub>serv</sub>	Fattore di sicurezza γ <sub>E</sub>	P <sub>d</sub>	R <sub>td</sub>	FS <sub>S</sub> >1	L <sub>bulbo</sub>	N <sub>lim,malta-terreno</sub>	ξ <sub>a</sub>	γ <sub>a,t</sub>	R <sub>a,d</sub>	FS <sub>S</sub> >1			
[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[kN]	[-]	[m]	[kN]	[-]	[-]	[kN]	[-]	Pretiro	Tirante	Sfilamento
300	456.60	1.30	593.58	798.61	1.35	9	1475.92	1.7	1.1	789.26	1.33	OK	OK	OK
300	394.70	1.30	513.11	798.61	1.56	9	2595.58	1.7	1.1	1388.01	2.71	OK	OK	OK

dove:

- La resistenza di rottura e l'area del singolo tirante derivano dalla norma prEN 10138
- A<sub>tirante</sub> è l'area totale di trefoli presenti nel tirante
- γ<sub>R</sub> secondo NTC 2008 per acciaio di armatura
- R<sub>td</sub> è il valore di progetto per la resistenza strutturale del tirante in acciaio
- ∅<sub>d</sub> è il diametro di perforazione dell'ancoraggio
- α è il fattore di sbulbamento che aumenta l'attrito malta-terreno (secondo Bustamante e Doix, 1989)
- τ<sub>lim</sub> è il valore di resistenza d'attrito (secondo Bustamante e Doix, 1989)
- L<sub>q,min</sub> è la lunghezza di ancoraggio minima considerando un carico agente sull'ancoraggio pari a R<sub>td</sub> e senza considerare un fattore di sicurezza sull'attrito
- N<sub>prestr</sub> è il carico di pretiro
- N<sub>serv</sub> è il valore caratteristico massimo della forza agente sull'ancoraggio
- γ<sub>E</sub> è il coefficiente parziale per le azioni secondo la tabella 6.2.I delle NTC 2008
- P<sub>d</sub> è il valore di progetto dell'azione agente sull'ancoraggio
- FS<sub>S</sub> è il fattore di sicurezza sulla resistenza strutturale (R<sub>td</sub>/P<sub>d</sub>; dev'essere maggiore di 1)
- N<sub>lim,malta-terreno</sub> è la resistenza malta-terreno dell'ancoraggio dall'equazione analitica = π x ∅<sub>d</sub> x α x L<sub>bulbo</sub> x τ<sub>lim</sub>.
- ξ<sub>a</sub> and γ<sub>a,t</sub> sono rispettivamente i fattori di correlazione (Tab. 6.6.II, Tab. 6.6.III) e il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (Tab. 6.6.I) secondo NTC 2008.
- R<sub>a,d</sub> è il valore di progetto della resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio
- FS<sub>S</sub> è il fattore di sicurezza allo sfilamento del tirante (R<sub>a,d</sub>/P<sub>d</sub>; dev'essere maggiore di 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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	109 di 145

### 11.1.3 TRAVE DI RIPARTIZIONE

Lo sforzo trasmesso dai tiranti nel punto di ancoraggio sui pali è ripartito sulla paratia a mezzo di un doppio profilato di tipo HE240A. La verifica di tale elemento strutturale è eseguita facendo riferimento allo schema di trave continua su 3 appoggi soggetta ad un carico uniforme.

Allo scopo di valutare il carico uniforme equivalente cui è soggetta la trave di ripartizione si fa riferimento allo sforzo di collaudo dei tiranti, pari al 120% di quello massimo di esercizio:

$$T_{max} = T_{co} = 1.2 \cdot T_{SLE,max}$$

I tiranti sono inclinati di un angolo  $\alpha$  rispetto all'orizzontale, pertanto il carico cui è soggetta la trave di ripartizione, considerando per gli appoggi lo stesso interasse dei tiranti, è dato da:

$$T_{h,max} = T_{max} \cdot \cos\alpha$$

Tuttavia, cautelativamente si considera nel calcolo il carico massimo. Considerando il carico egualmente ripartito tra le due travi formanti l'elemento, si procede con la verifica della singola trave.

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

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

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

dove:

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

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 37 – Stato di sollecitazione nelle travi di ripartizione dei tiranti

$T_{SLE,max}$	$T_{max}$	$l$	$q_{max}$ (*)	$M_{Ed,max}$ (*)	$V_{Ed,max}$ (*)
[kN]	[kN]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]
456.6	547.9	3.6	<b>76.1</b>	<b>160.3</b>	<b>213.7</b>

(\*) Valori relativi a ciascuna singola trave di ripartizione.

Le verifiche strutturali della trave di ripartizione sono condotte in accordo a quanto previsto al punto 4.2.4 delle NTC08.

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza della trave di acciaio HE240A di grado S275.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 110 di 145

Tabella 38 – Verifiche di resistenza della sezione trasversale

<b>Resistenza a taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	380.75	[kN]
Verifica a taglio	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	<b>0.561</b>	[-]
<b>Resistenza a flessione</b>			
Resistenza di calcolo a flessione	$M_{c,Rd}$	195.01	[kNm]
Verifica flessionale	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$	<b>0.822</b>	[-]
<b>Resistenza a flessione e taglio (per sezioni di classe 1)</b>			
Resistenza di calcolo a flessione ridotta	$M_{v,Rd}$	194.07	[kNm]
Verifica flessionale	$M_{Ed} / M_{v,Rd}$	<b>0.823</b>	[-]

#### 11.1.4 CORDOLO DI TESTA PALI

Gli sforzi a cui dev'essere sottoposto il cordolo sono molto limitati in rapporto alla sezione necessaria per motivi costruttivi.

Le sollecitazioni a cui è sottoposto il cordolo, 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 un quantitativo di armatura che rispetti il minimo richiesto.

#### PARATIA DI MONTE

Non è previsto un cordolo in c.a. ma il collegamento tra i pali è garantito dalle travi di ripartizione in corrispondenza dei due ordini di tiranti in fase temporanea e dalla soletta di copertura in fase definitiva.

#### PARATIA DI VALLE

L'armatura minima per il cordolo di geometria 2.00x1.50m è:

$$A_{s,min} = 4357 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{sw,min} = 1333 \text{ mm}^2/\text{m}$$

L'armatura proposta è qui riassunta.

Tabella 39 – Armatura considerata per il cordolo di testa pali

Cordolo	Dimens. (cm)	Armatura Principale	Armatura Secondaria	Armatura Taglio
Paratia di Valle	200x150	9Φ26 (4778 mm <sup>2</sup> /m)	5Φ16 (1005 mm <sup>2</sup> /m)	Φ16/250mm (1608 mm <sup>2</sup> /m)

### 11.1.5 PIEDRITTO

#### STATO LIMITE ULTIMO

Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono qui riportate, considerando la seguente armatura disposta in una gabbia, con connessione fornita dallo spezzone angolare all'estradosso che collega armatura di piedritto con armatura di solettone superiore. Le staffe sono richieste per motivi costruttivi.

Tabella 40: Disposizione dell'armatura

Sezione	L (m)	As (mm <sup>2</sup> ) Intradosso	As' (mm <sup>2</sup> ) Estradosso	Asw (mm <sup>2</sup> )
I	10	4Φ24	8+8Φ24 (0 - 3.5m) 8Φ24 (3.5 - 10m)	Φ16/500mm

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 41: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
la	0	STR	Ricoprimento	1934.4	673.3	3276
lb	-3	STR	Ricoprimento	1209.3	792.3	1964

Il valore di sforzo normale  $N_{Ed}$  (positivo se di compressione) è stato assunto pari al peso proprio del palo e degli eventuali carichi permanenti portati dal palo, valutati in corrispondenza della sezione di verifica.



Figura 77: Sezione D – Piedritto – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 42: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRcd (kN)
I	-	STR	Ricoprimento	237.7	379.4

L'angolo  $\theta$  è stato ipotizzato sempre pari a  $45^\circ$  ( $\cotg \theta = 1$ ). In questo caso, la resistenza a taglio offerta dal solo calcestruzzo ( $V_{r,c}$ ) è sufficiente per soddisfare la verifica a taglio. Tuttavia, si considera un'armatura a taglio (staffe) per disposizioni costruttive.

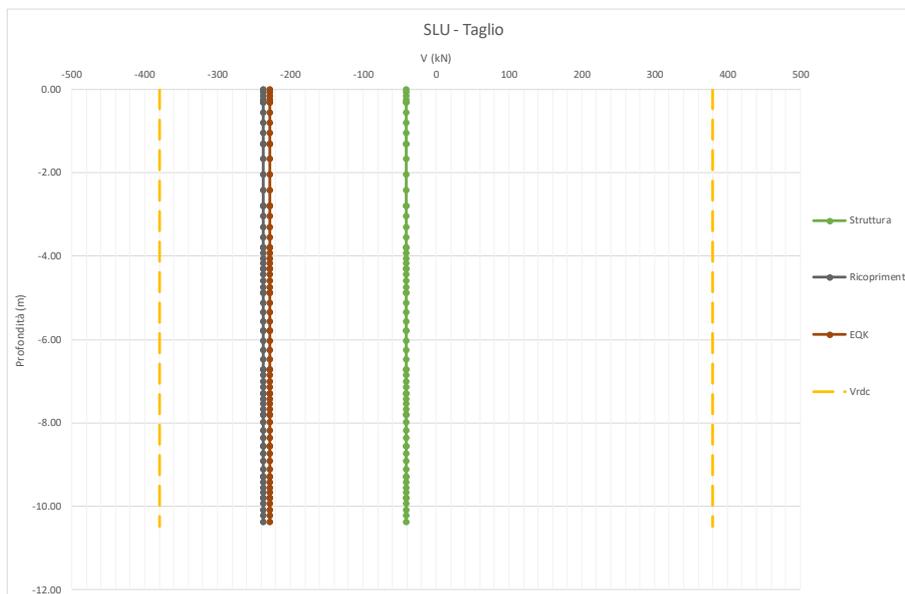


Figura 78: Sezione D – Piedritto – Sollecitazione di taglio (SLU)

**STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 43: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
la	0	STR	Ricoprimento	1488.0	517.9
lb	-3	STR	Ricoprimento	930.3	609.4

Tabella 44: 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)
la	7.54	17.6	183.4	337.5	431.9	0.16	0.20
lb	5.84	17.6	174	337.5	379.5	0.175	0.20

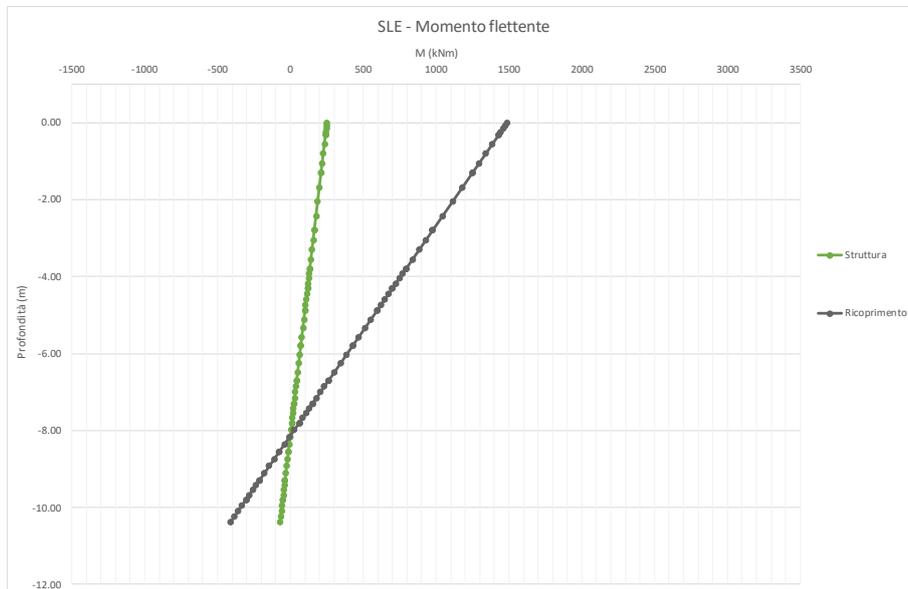


Figura 79: Sezione D – Piedritto – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

### 11.1.6 SOLETTA SUPERIORE

#### STATO LIMITE ULTIMO

Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono qui riportate, considerando la seguente armatura disposta in due gabbie. Nella parte centrale, le staffe sono richieste per motivi costruttivi.

Tabella 45: Disposizione dell'armatura

Sezione	L (m)	As (mm <sup>2</sup> ) Inferiore	As' (mm <sup>2</sup> ) Superiore	Asw (mm <sup>2</sup> )
I (sx)	Var.	8Φ26 (L=10m)	8Φ24 (L=7.5m)	Φ16/250mm (vicino al nodo) Φ16/500mm (lontano dal nodo)
II (dx)	Var.	4Φ24 (L=5m)	8Φ24 (L=7.5m) + 8Φ24 (L=3.5m)	Φ16/250mm (vicino al nodo) Φ16/500mm (lontano dal nodo)

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 46: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	4	STR	Ricoprimento	-1301.9	189.9	-2275
Ila	10.5	EQK	Sisma	1058.8	225.9	1973
Ilb	12	STR	Ricoprimento	1934.4	237.7	3664

Il valore di sforzo normale N<sub>Ed</sub> (positivo se di compressione) è stato assunto pari al peso proprio del palo e degli eventuali carichi permanenti portati dal palo, valutati in corrispondenza della sezione di verifica.

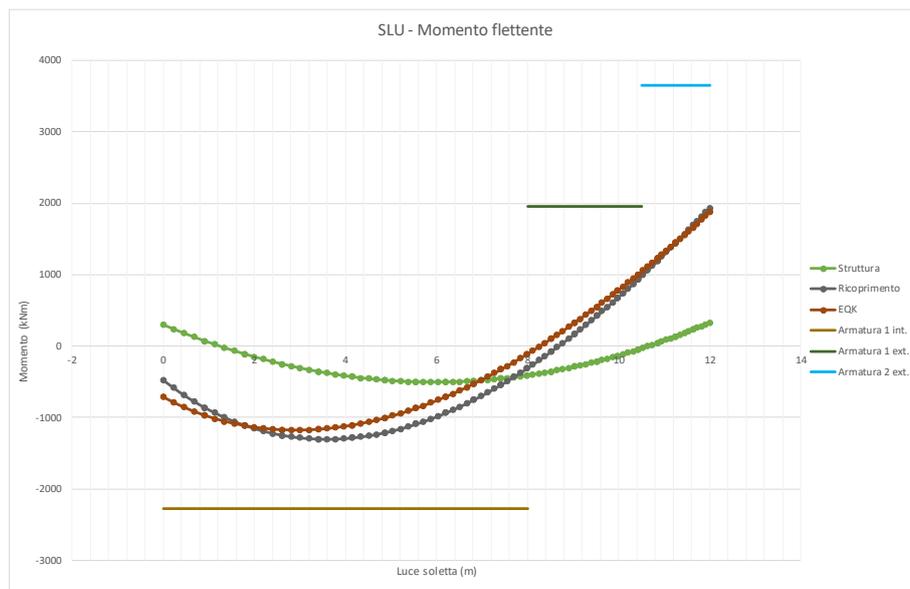


Figura 80: Sezione D – Soletta superiore – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 47: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	0.9	STR	Ricoprimento	-347	-754
II	11.4	STR	Ricoprimento	647	754

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

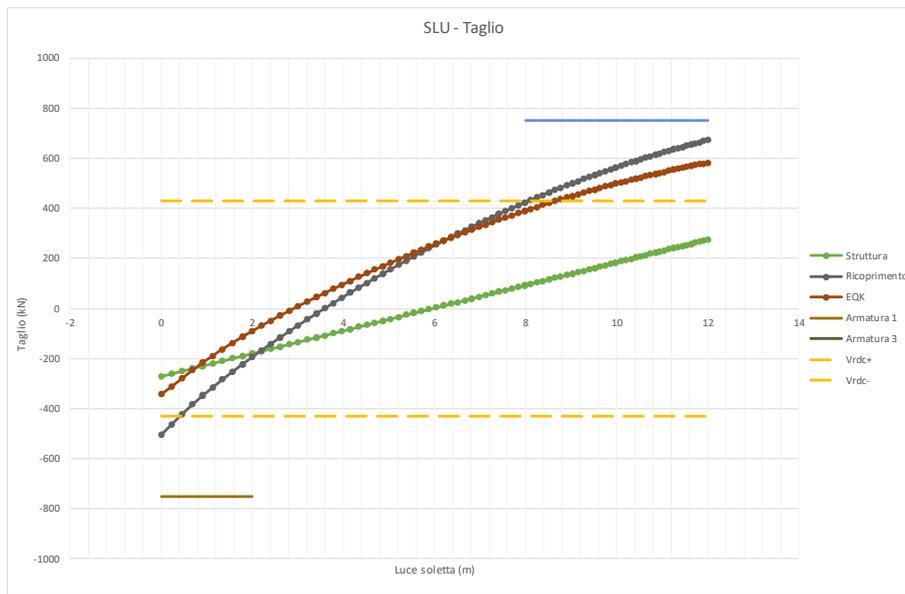


Figura 81: Sezione D – Soletta superiore – Sollecitazione di taglio (SLU)

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 48: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
I	4	STR	Ricoprimento	-1001	146
Ila	10.5	STR	Ricoprimento	768.7	181.3
Ilb	12	STR	Ricoprimento	1488	182.8

Tabella 49: 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	4.07	17.6	174.5	337.5	346.8	0.18	0.20
Ila	3.63	17.6	150.1	337.5	354.9	0.146	0.20
Ilb	5.6	17.6	168.4	337.5	443.1	0.145	0.20



Figura 82: Sezione D – Soletta superiore – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

## 11.2 SEZIONE TIPO E – PK 25+165.00

### 11.2.1 PARATIA DI MONTE

#### 11.2.1.1 VERIFICHE STRUTTURALI

#### STATO LIMITE ULTIMO

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

Tabella 50: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	Lgabbia (m)	As (mm <sup>2</sup> )	As' (mm <sup>2</sup> )	Asw (mm <sup>2</sup> )
I	9	32Φ24	-	Φ14/150mm
II	12	48Φ30	-	Φ14/100mm
III	12	32Φ24	-	Φ14/300mm

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 51: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	-8.0	EQK	Sisma	-1892.9	353	-3498
II	-9.7	EQK	Sisma	-3331.0	429	-7206
III	-17.6	EQK	Rimozione tiranti	-1574.8	775	-3681

Il valore di sforzo normale  $N_{Ed}$  (positivo se di compressione) è stato assunto pari al peso proprio del palo e degli eventuali carichi permanenti portati dal palo, valutati in corrispondenza della sezione di verifica.

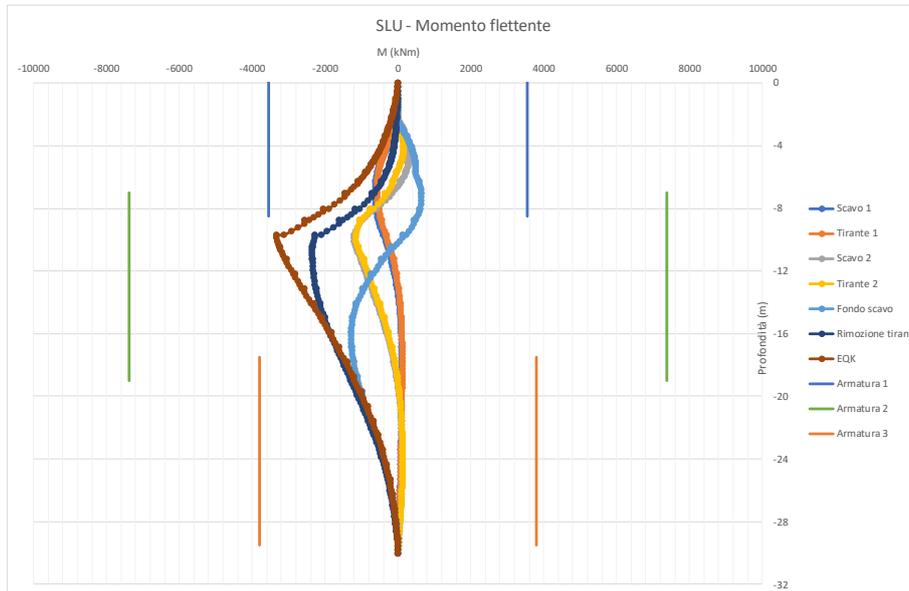


Figura 83: Sezione D – Paratia di Monte – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 52: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	-7.0	EQK	Sisma	-509.5	-723.4
II	-9.7	EQK	Sisma	-862.8	-1085.0
III	-19.0	EQK	Sisma	208.0	361.7

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

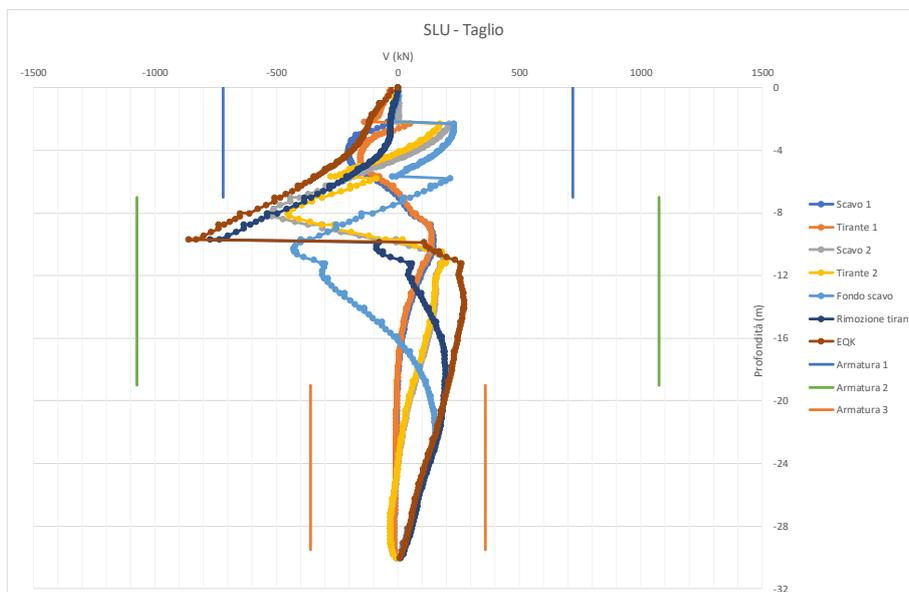


Figura 84: Sezione D – Paratia di Monte – Sollecitazione di taglio (SLU)

**STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

Le verifiche allo SLE sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 53: Verifiche agli SLE, sollecitazioni

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	MEd (kNm)	NEd (kN)
I	-8.0	STR	Rimozione tiranti	-913.4	353
II	-11.0	STR	Rimozione tiranti	-1820.5	487
III	-17.6	STR	Rimozione tiranti	-1211.4	775

Tabella 54: 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	4.35	13.75	126.2	337.5	482.1	0.14	0.20
II	5.58	13.75	124.9	337.5	565.8	0.13	0.20
III	5.71	13.75	144.8	337.5	525.8	0.17	0.20

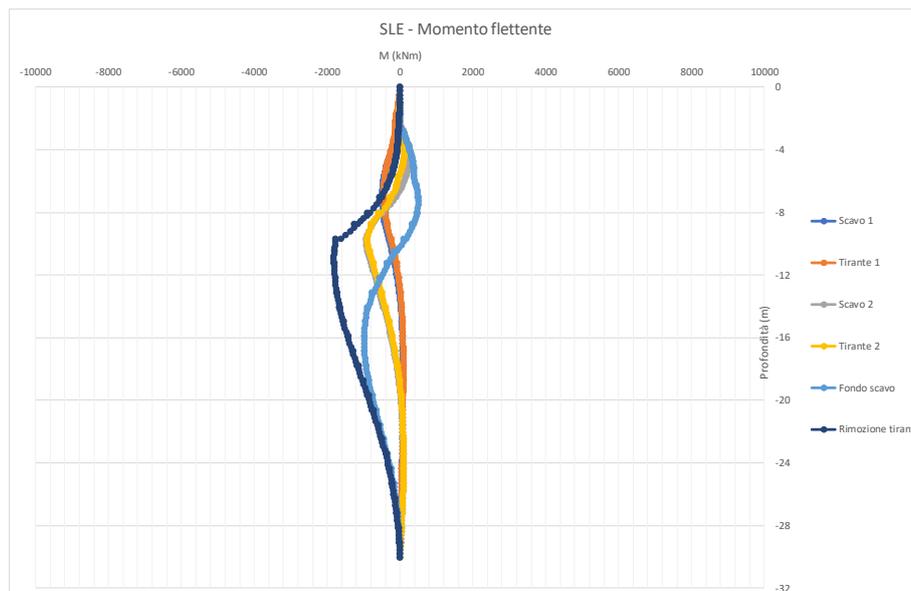


Figura 85: Sezione D – Paratia di Monte – Sollecitazione di momento flettente (SLE)

### DEFORMAZIONI

La deformazione orizzontale massima è di:

- $U_{max}=4.9\text{cm}$  in condizioni statiche
- $U_{max}=6.8\text{cm}$  in condizioni sismiche

I valori ottenuti sono minori dell'1% dell'altezza fuori terra della paratia ( $U_{amm}=9.77\text{cm}$ ) e pertanto ritenuti accettabili.

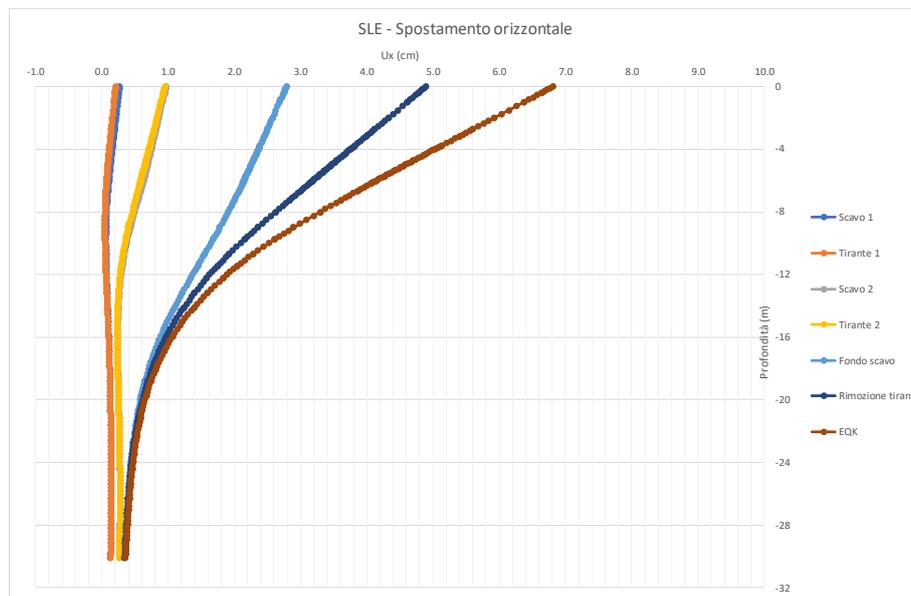


Figura 86: Sezione D – Paratia di Monte – Spostamento orizzontale (SLE)

#### 11.2.1.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

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 (A2+M2+R1)

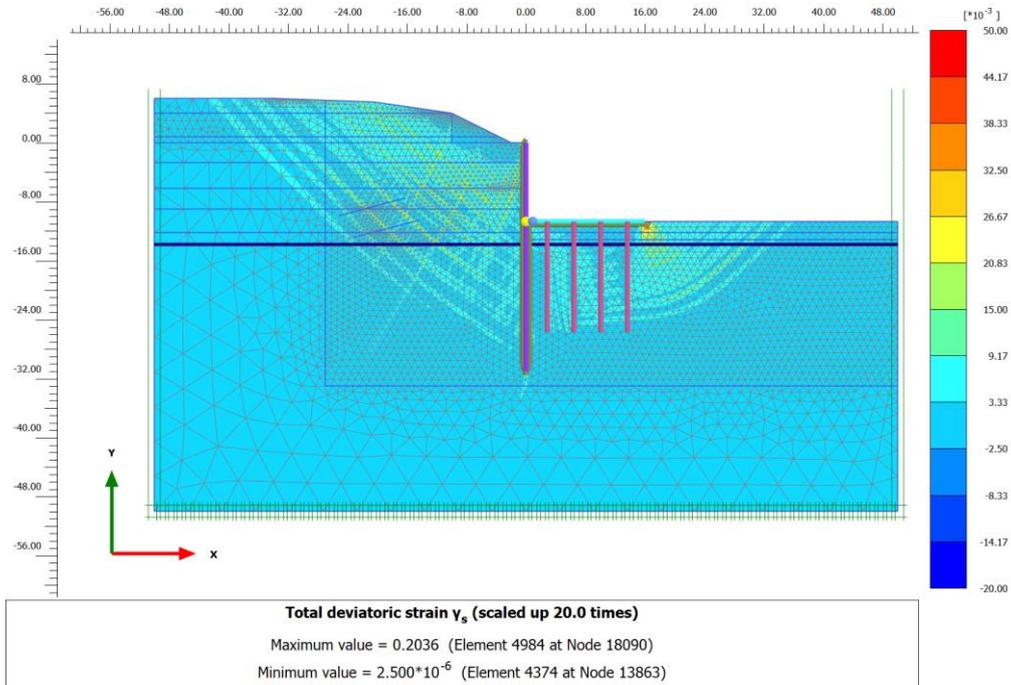


Figura 87: Sezione D – Verifica GEO, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma MSf$  ottenuto è pari a  $\Sigma MSf (GEO) = 1.83$ .

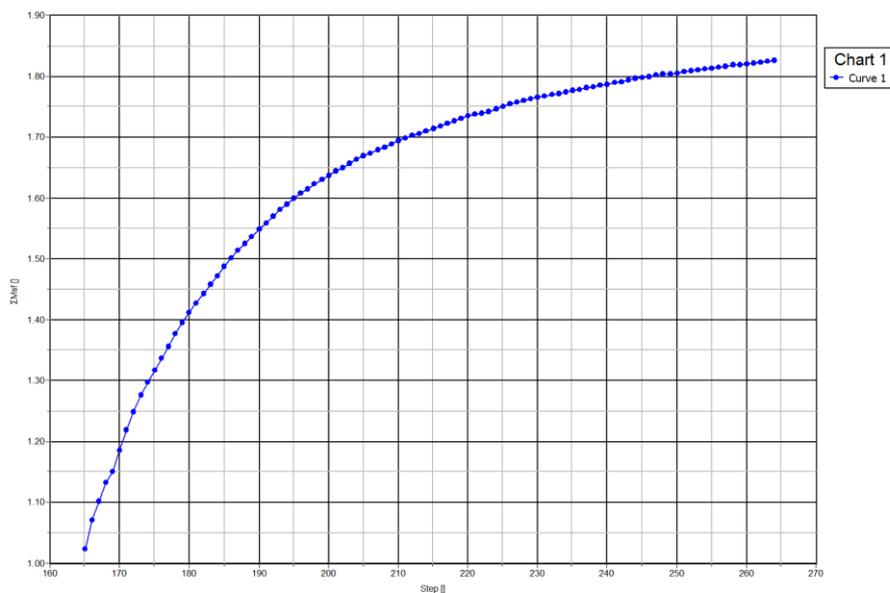


Figura 88: Sezione D – Verifica GEO, evoluzione di  $\Sigma MSf$  fino al raggiungimento del valore di progetto

Combinazione EQK (A2+M2+R1)

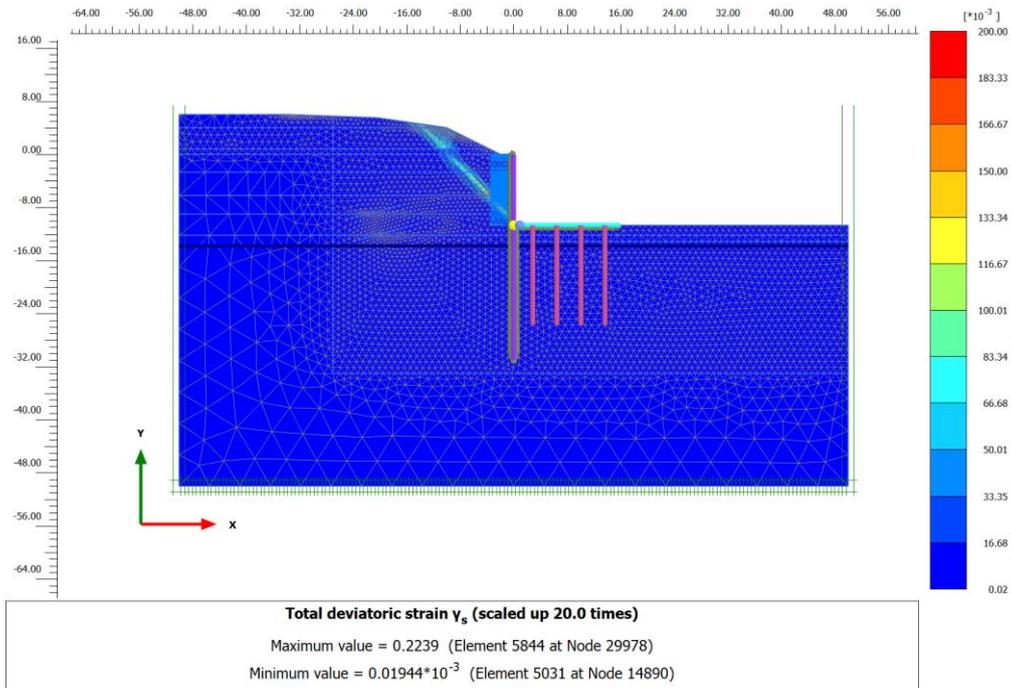


Figura 89: Sezione D – Verifica EQK, deformazione totale deviatorica

Il valore di  $\Sigma Msf$  ottenuto è pari a  $\Sigma Msf (GEO) = 1.07$ .

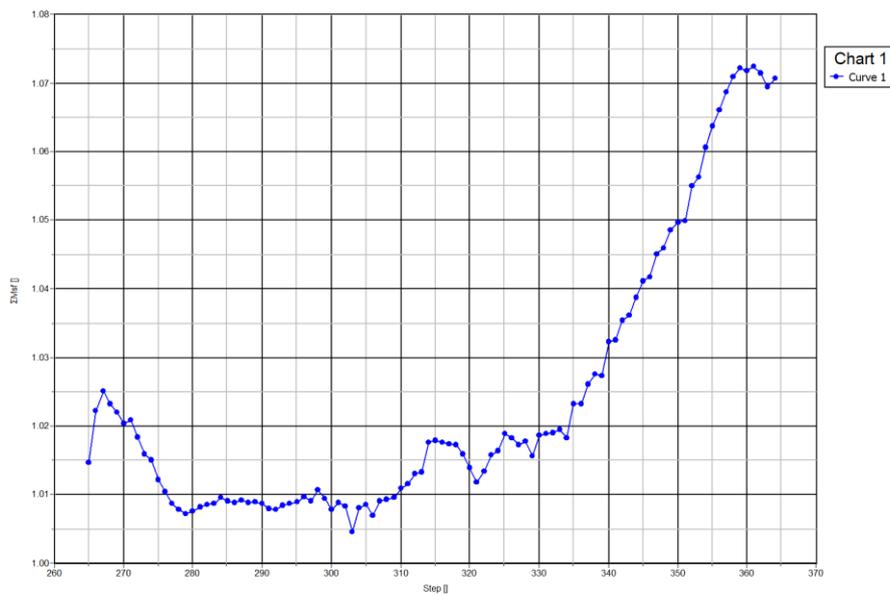


Figura 90: Sezione D – Verifica EQK, evoluzione di  $\Sigma Msf$  fino al raggiungimento del valore di progetto

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	123 di 145

**11.2.2 TIRANTI**

Le tabelle seguenti riassumono le verifiche effettuate per il dimensionamento dei tiranti in termini di lunghezza libera e lunghezza di ancoraggio. La lunghezza del tratto libero è stata aumentata di 0.2 H per garantire l'ancoraggio del bulbo al di fuori del cono di spinta in condizioni sismiche.

GEOMETRIA DELL'ANCORAGGIO										
Riga	Livello	$h_i$	$\alpha$	$L'_p$	$L_{aggiuntiva}$	$L_{lib,th}$	$L_{libera}$	$L_{bulbo}$	$L_{tot}$	s
n.	[m s.l.m.]	[m]	[°]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	60.54	26.00	15	14.89	2.05	16.94	17	9	26	3.60
2	57.04	22.50	15	12.89	2.05	14.94	15	9	24	3.60

CARATTERISTICHE TIRANTE					RESISTENZA TIRANTE			RESISTENZA MALTA-TERRENO				
Riga	Livello	$n_{tr}$	$f_{uk}$ / tirante	$A_{trefolo}$	$A_{tirante}$	Res. a trazione $R_{tk}$	Fattore di sicurezza $\gamma_B$	$R_{td}$	$\varnothing_d$	$\alpha$	$\tau_{lim}$	$L_{s,min}$
n.	[m s.l.m.]	n.	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[-]	[kN]	[mm]	[-]	[MPa]	[m]
1	60.54	4	229.6	140	560	918.4	1.15	798.61	180	1.45	0.20	4.87
2	57.04	4	229.6	140	560	918.4	1.15	798.61	180	1.7	0.30	2.77

CARICHI PER ANCORAGGIO				TIRANTE			VERIFICA SUPERFICIE MALTA-TERRENO						VERIFICA FINALE		
$N_{prestr}$	$N_{serv}$	Fattore di sicurezza $\gamma_F$	$P_d$	$R_{td}$	$FS_1 > 1$	$L_{bulbo}$	$N_{lim,malta-terreno}$	$\xi_a$	$\gamma_{a,t}$	$R_{a,d}$	$FS_2 > 1$	Pretiro	Tirante	Sfilamento	
[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[kN]	[-]	[m]	[kN]	[-]	[-]	[kN]	[-]				
300.00	410.20	1.30	533.26	798.61	1.50	9	1475.92	1.7	1.1	789.26	1.48	OK	OK	OK	
300.00	375.50	1.30	488.15	798.61	1.64	9	2595.58	1.7	1.1	1388.01	2.84	OK	OK	OK	

dove:

La resistenza di rottura e l'area del singolo tirante derivano dalla norma prEN 10138

$A_{tirante}$  è l'area totale di trefoli presenti nel tirante

$\gamma_B$  secondo NTC 2008 per acciaio di armatura

$R_{td}$  è il valore di progetto per la resistenza strutturale del tirante in acciaio

$\varnothing_d$  è il diametro di perforazione dell'ancoraggio

$\alpha$  è il fattore di sbulbamento che aumenta l'attrito malta-terreno (secondo Bustamante e Doix, 1989)

$\tau_{lim}$  è il valore di resistenza d'attrito (secondo Bustamante e Doix, 1989)

$L_{s,min}$  è la lunghezza di ancoraggio minima considerando un carico agente sull'ancoraggio pari a  $R_{td}$  e senza considerare un fattore di sicurezza sull'attrito

$N_{prestr}$  è il carico di pretiro

$N_{serv}$  è il valore caratteristico massimo della forza agente sull'ancoraggio

$\gamma_F$  è il coefficiente parziale per le azioni secondo la tabella 6.2.I delle NTC 2008

$P_d$  è il valore di progetto dell'azione agente sull'ancoraggio

$FS_1$  è il fattore di sicurezza sulla resistenza strutturale ( $R_{td}/P_d$ ; dev'essere maggiore di 1)

$N_{lim,malta-terreno}$  è la resistenza malta-terreno dell'ancoraggio dall'equazione analitica =  $\pi \times \varnothing_d \times \alpha \times L_{bulbo} \times \tau_{lim}$ .

$\xi_a$  and  $\gamma_{a,t}$  sono rispettivamente i fattori di correlazione (Tab. 6.6.II, Tab. 6.6.III) e il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (Tab. 6.6.I) secondo NTC 2008.

$R_{a,d}$  è il valore di progetto della resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio

$FS_2$  è il fattore di sicurezza allo sfilamento del tirante ( $R_{a,d}/P_d$ ; dev'essere maggiore di 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>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 124 di 145

### 11.2.3 TRAVE DI RIPARTIZIONE

Lo sforzo trasmesso dai tiranti nel punto di ancoraggio sui pali è ripartito sulla paratia a mezzo di un doppio profilato di tipo HE240A. La verifica di tale elemento strutturale è eseguita facendo riferimento allo schema di trave continua su 3 appoggi soggetta ad un carico uniforme.

Allo scopo di valutare il carico uniforme equivalente cui è soggetta la trave di ripartizione si fa riferimento allo sforzo di collaudo dei tiranti, pari al 120% di quello massimo di esercizio:

$$T_{max} = T_{co} = 1.2 \cdot T_{SLE,max}$$

I tiranti sono inclinati di un angolo  $\alpha$  rispetto all'orizzontale, pertanto il carico cui è soggetta la trave di ripartizione, considerando per gli appoggi lo stesso interasse dei tiranti, è dato da:

$$T_{h,max} = T_{max} \cdot \cos\alpha$$

Tuttavia, cautelativamente si considera nel calcolo il carico massimo. Considerando il carico egualmente ripartito tra le due travi formanti l'elemento, si procede con la verifica della singola trave.

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

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

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

dove:

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

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

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

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

Tabella 55 – Stato di sollecitazione nelle travi di ripartizione dei tiranti

$T_{SLE,max}$	$T_{max}$	$l$	$q_{max}$ (*)	$M_{Ed,max}$ (*)	$V_{Ed,max}$ (*)
[kN]	[kN]	[m]	[kN/m]	[kN]	[kN]
410.2	492.2	3.6	<b>68.4</b>	<b>144.0</b>	<b>192.0</b>

(\*) Valori relativi a ciascuna singola trave di ripartizione.

Le verifiche strutturali della trave di ripartizione sono condotte in accordo a quanto previsto al punto 4.2.4 delle NTC08.

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza della trave di acciaio HE240A di grado S275.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>GA02 - Relazione di calcolo imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA0200 012	REV. B	FOGLIO 125 di 145

Tabella 56 – Verifiche di resistenza della sezione trasversale

<b>Resistenza a taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	380.75	[kN]
Verifica a taglio	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	<b>0.504</b>	[-]
<b>Resistenza a flessione</b>			
Resistenza di calcolo a flessione	$M_{c,Rd}$	195.01	[kNm]
Verifica flessionale	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$	<b>0.738</b>	[-]
<b>Resistenza a flessione e taglio (per sezioni di classe 1)</b>			
Resistenza di calcolo a flessione ridotta	$M_{v,Rd}$	195.01	[kNm]
Verifica flessionale	$M_{Ed} / M_{v,Rd}$	<b>0.738</b>	[-]

#### 11.2.4 CORDOLO DI TESTA PALI

Gli sforzi a cui dev'essere sottoposto il cordolo sono molto limitati in rapporto alla sezione necessaria per motivi costruttivi.

Le sollecitazioni a cui è sottoposto il cordolo, 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 un quantitativo di armatura che rispetti il minimo richiesto.

#### PARATIA DI MONTE

L'armatura minima per il cordolo di geometria 2.20x1.00m è:

$$A_{s,min} = 3201 \text{ mm}^2/\text{m}$$

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

L'armatura proposta è qui riassunta.

Tabella 57 – Armatura considerata per il cordolo di testa pali

Cordolo	Dimens. (cm)	Armatura Principale	Armatura Secondaria	Armatura Taglio
Paratia di Monte	220x100	7Φ26 (3717 mm <sup>2</sup> /m)	6Φ16 (1206 mm <sup>2</sup> /m)	Φ16/250mm (1608 mm <sup>2</sup> /m)

## 11.3 VERIFICA DELLA FONDAZIONE

### 11.3.1 SOLETTA DI FONDAZIONE

La soletta di fondazione su pali viene studiata attraverso un modello di trave su 4 appoggi fissi, che simulano la presenza dei pali di fondazione, analizzata in campo elastico lineare mediante il software di calcolo SAP2000 V.21.

Il modello implementato per la determinazione delle sollecitazioni e delle deformazioni schematizza la linea d'asse della struttura, la cui discretizzazione è costituita da 9 elementi "frame" e 10 "nodi" che vanno ad individuare alcune sezioni caratteristiche utili ai fini dell'applicazione dei carichi che all'interpretazione dei risultati come mostrato nella seguente figura.

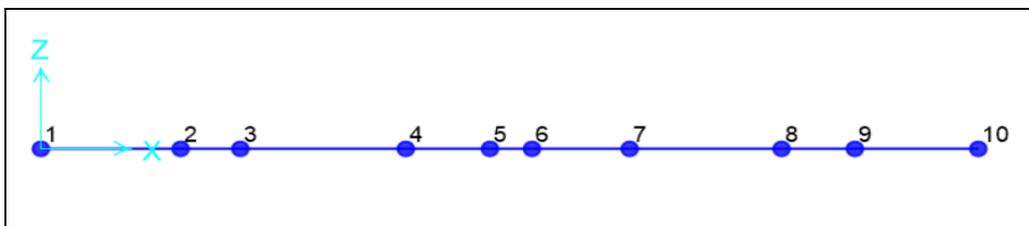


Figura 91 – Numerazione dei nodi della soletta di fondazione su pali

La figura e la tabella che seguono mostrano la corrispondenza tra la lettura degli assi locali degli elementi "frame" e il sistema di coordinate globali scelto.

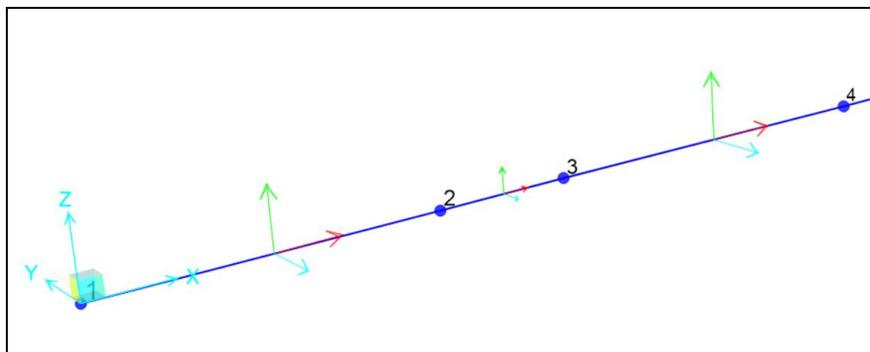


Figura 92 – Sistemi di riferimento Globale e Locale

Tabella 58 – Corrispondenza degli elementi tra sistema Globale e Locale

Asse locale	Colore	Asse globale
1	Rosso	X
2	Verde	Z
3	Ciano	-Y

La struttura è stata idealmente sezionata in una fascia di larghezza unitaria nella direzione Y e le caratteristiche geometriche delle sezioni associate ai differenti elementi strutturali, sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 59 – Caratteristiche geometriche delle sezioni

Nome Sezione	Base [m]	Spessore [m]	Area [m <sup>2</sup> ]
Soletta	1.00	1.00	1.00

La soletta è stata vincolata con 4 appoggi fissi in corrispondenza dei “nodi” 2,4,7,9 per simulare la presenza dei pali di fondazione.

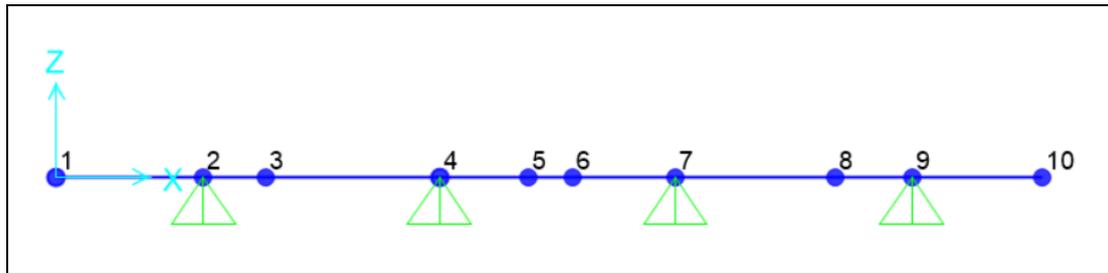


Figura 93 – Disposizione degli appoggi fissi per simulare la presenza dei pali

Gli schemi di carico elementari adottati nell'analisi strutturale sono mostrati nelle seguenti figure dove i diagrammi rappresentano le sollecitazioni di flessione ottenute per carichi unitari nelle sezioni di verifica riportate in figura e denominate allo stesso modo dei nodi in cui l'elemento unisce.

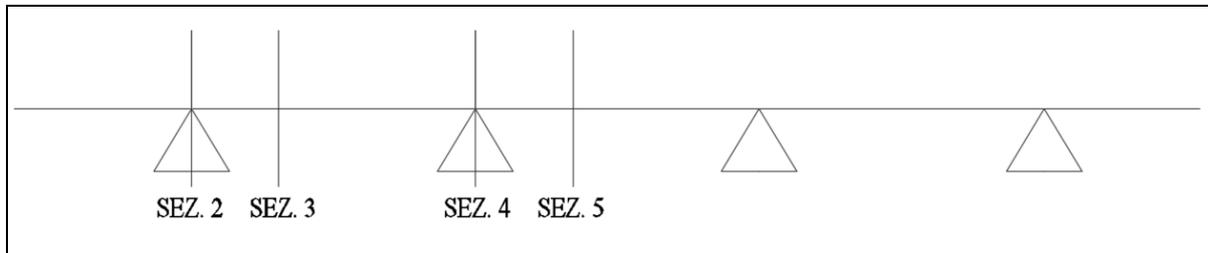


Figura 94 – Sezioni di verifica per la soletta di fondazione

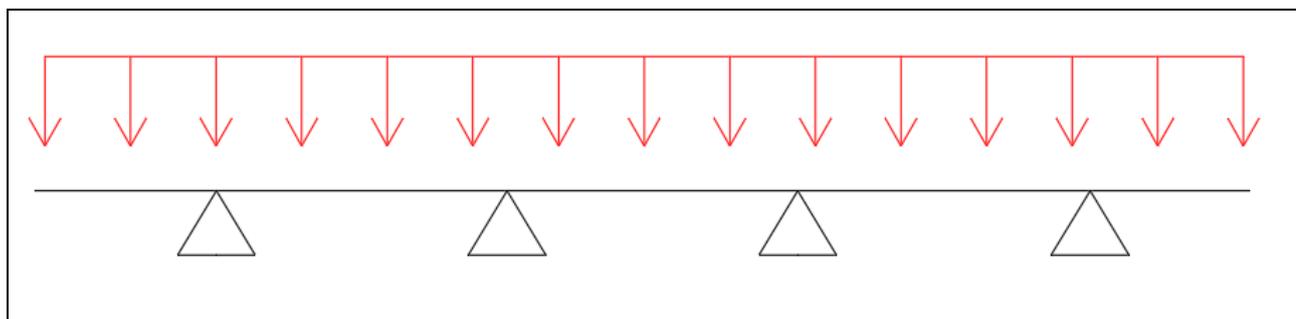


Figura 95 – Schema di carico A1

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	128 di 145

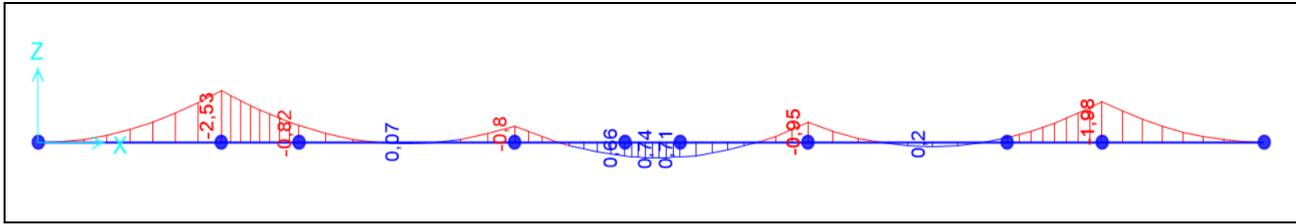


Figura 96 – Schema A1: momento flettente M3 [kNm] per  $p = 1 \text{ kN/m}$

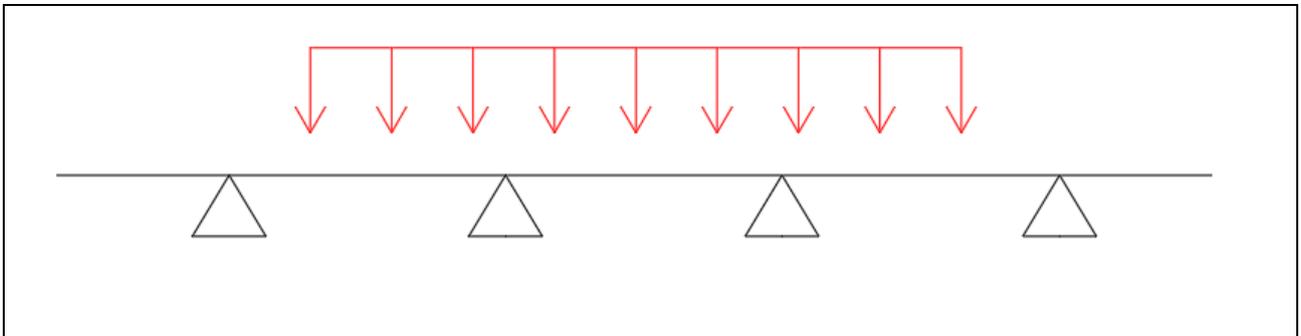


Figura 97 – Schema di carico A2

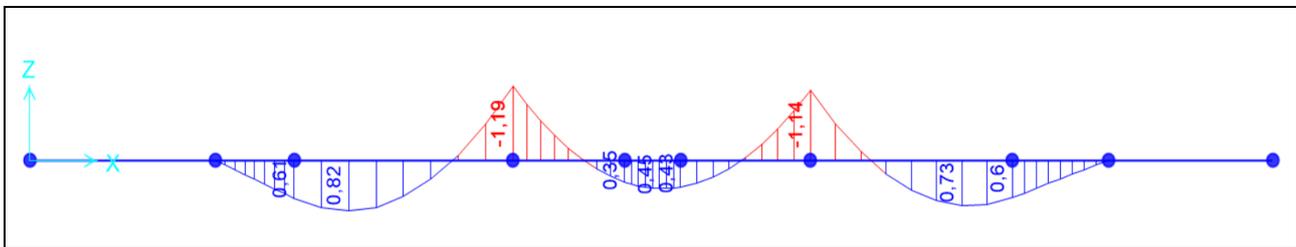


Figura 98 – Schema A2: momento flettente M3 [kNm] per  $p = 1 \text{ kN/m}$

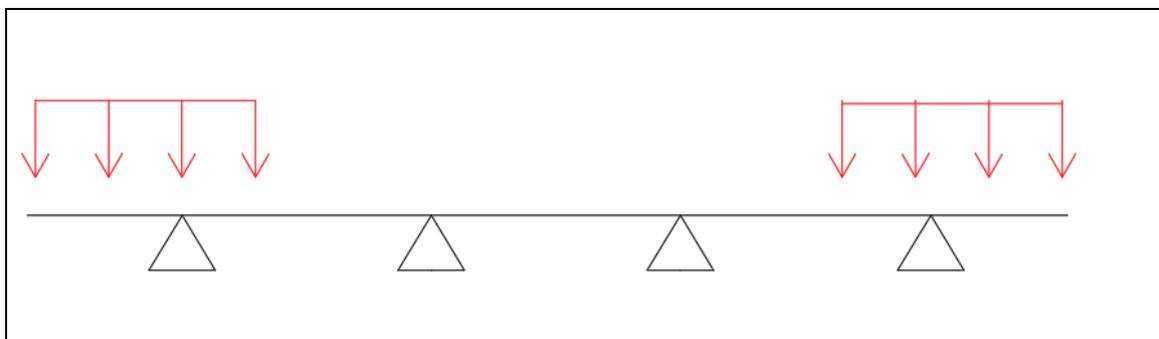


Figura 99 – Schema di carico A3

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	129 di 145

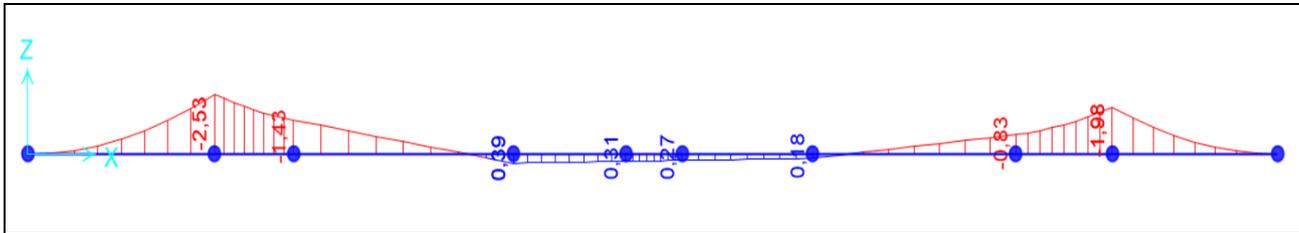


Figura 100 – Schema A3: momento flettente M3 [kNm] per  $p = 1 \text{ kN/m}$

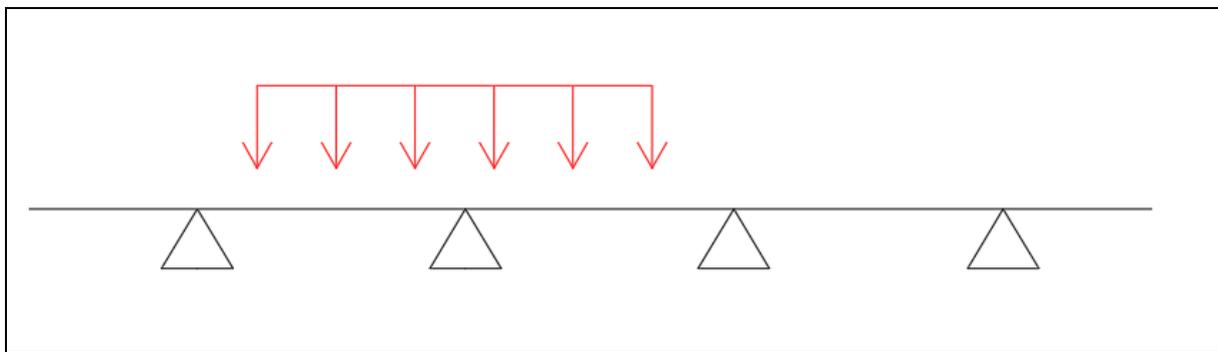


Figura 101 – Schema di carico A4

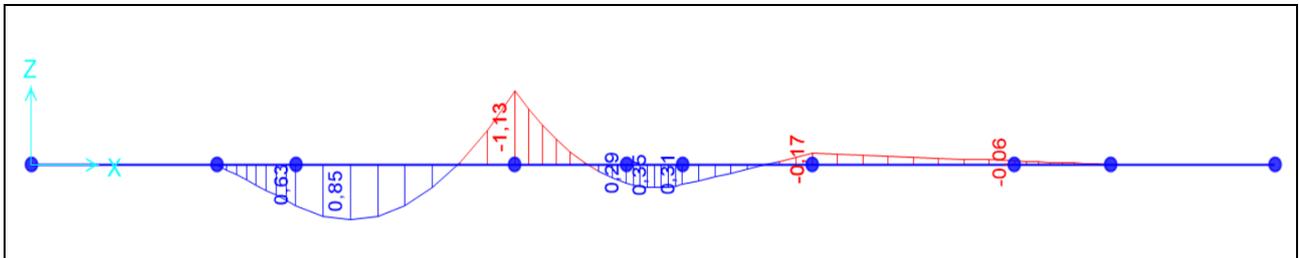


Figura 102 – Schema A4: momento flettente M3 [kNm] per  $p = 1 \text{ kN/m}$

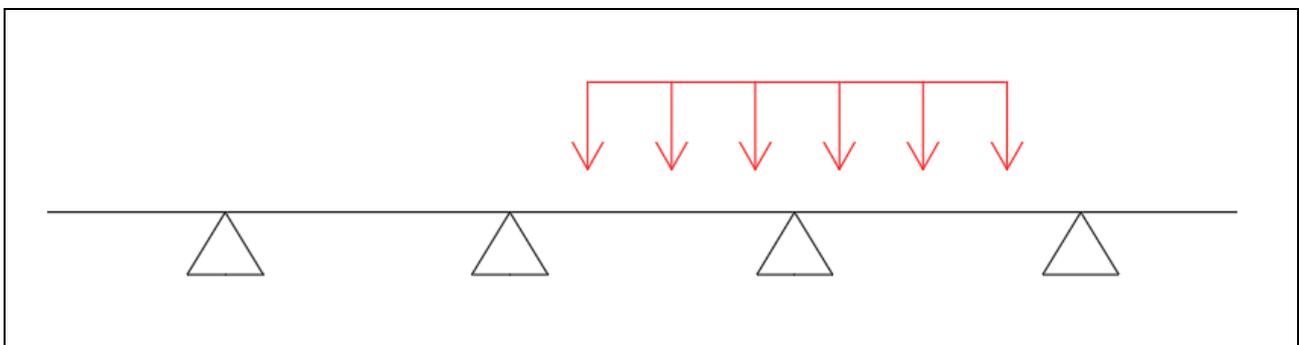


Figura 103 – Schema di carico A5

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	130 di 145

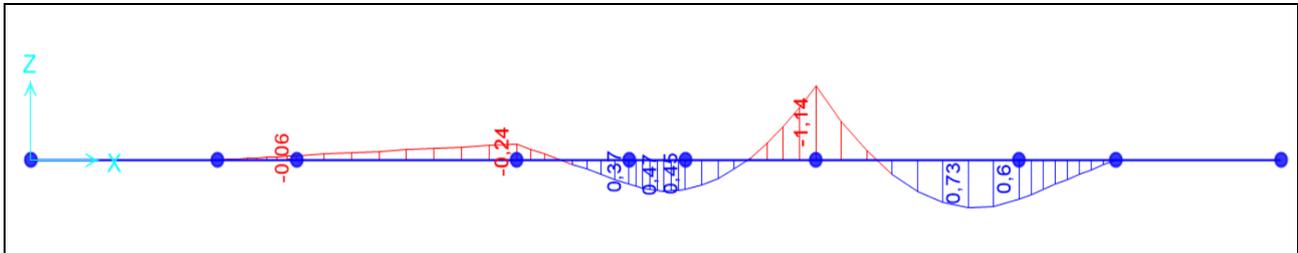


Figura 104 – Schema A5: momento flettente M3 [kNm] per p= 1kN/m

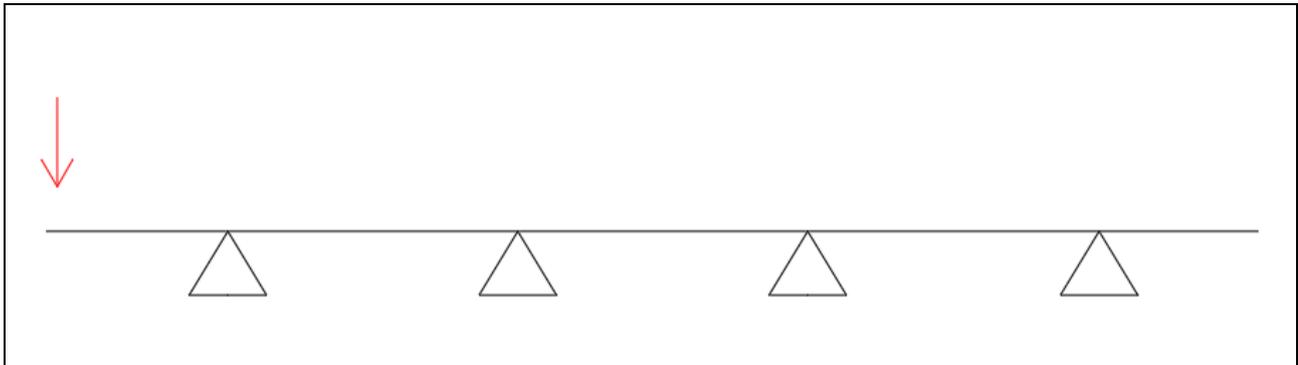


Figura 105 – Schema di carico A6

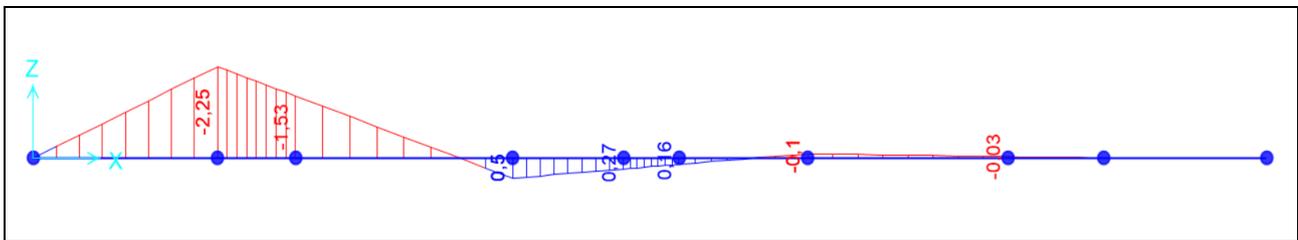


Figura 106 – Schema A6: momento flettente M3 [kNm] per p= 1kN/m

**MATRICE COMBINAZIONI DEI CARICHI ALLO SLU**

Matrice	MCC_SLU	SLU_01	SLU_02	SLU_03	SLU_04	SLU_05	SLU_06	$\psi$
		$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	
G1		1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,00
G2		1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,00
Treno LM71 SX		1,45	0,00	0,00	1,45	0,00	0,00	1,00
Treno LM71 DX		0,00	1,45	0,00	0,00	1,45	0,00	1,00
Treni LM71 SX+DX		0,00	0,00	1,45	0,00	0,00	1,45	1,00



La figura seguente mostra le sezioni di verifica:

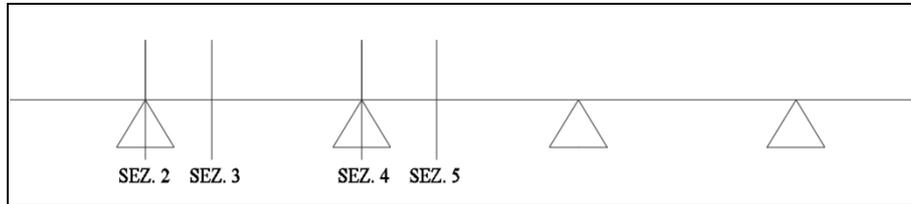


Figura 107 – Sezioni di verifica per il solettone di fondazione

La seguente tabella riassume l'armatura della platea di fondazione.

Tabella 60: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	L (m)	As (mm <sup>2</sup> ) Inferiore	As' (mm <sup>2</sup> ) Superiore	Asw (mm <sup>2</sup> )
I	10	4Φ24	6Φ24	Φ12/500/500mm
II	8	4Φ24	6Φ24	Φ12/500/500mm

Le verifiche eseguite vengono sintetizzate nei paragrafi seguenti, considerando le sollecitazioni indotte dai carichi indicati al punto 7.

## SEZIONE 2

Tabella 61 – Verifiche allo SLU per la sezione 2 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	SF>=1.00	VEd kN	Vrd,min kN	cotg (q)	Vrcd kN	Vrsd SF>=1.00 kN	
SLU_01	0,0	-449,3	2,22	-273,7	456,2	1,000	0,0	0,0	1.67
SLU_02	0,0	-449,3	2,22	-234,9	456,2	1,000	0,0	0,0	1.94
SLU_06	0,0	-449,3	2,22	-270,1	456,2	1,000	0,0	0,0	1.69
SLU_07	0,0	-449,3	2,22	-273,7	456,2	1,000	0,0	0,0	1.67
SLU_08	0,0	-449,3	2,22	-234,9	456,2	1,000	0,0	0,0	1.94
SLU_12	0,0	-449,3	2,22	-270,1	456,2	1,000	0,0	0,0	1.69

Tabella 62 – Verifiche allo SLE per la sezione 2 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	sig_b N/mm <sup>2</sup>	sig_s N/mm <sup>2</sup>	M_fess kNm	w mm
RR_01	0,0	-332,8	-2,9	139,8	402,3	0,145
RR_03	0,0	-332,8	-2,9	139,8	402,3	0,145
FR_02	0,0	-332,8	-2,9	139,8	402,3	0,145
FR_06	0,0	-332,8	-2,9	139,8	402,3	0,145
QP_01	0,0	-332,8	-2,9	139,8	402,3	0,145
QP_03	0,0	-332,8	-2,9	139,8	402,3	0,145

### SEZIONE 3

Tabella 63 – Verifiche allo SLU per la sezione 3 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	SF>=1.00	VEd kN	Vrd,min kN	cotg (q)	Vrcd kN	Vrsd kN	SF>=1.00
SLU_01	0,0	-212,2	4,50	-225,5	456,2	1,000	0,0	0,0	2.02
SLU_02	0,0	-249,0	3,84	-186,7	456,2	1,000	0,0	0,0	2.44
SLU_06	0,0	-215,6	4,43	-221,9	456,2	1,000	0,0	0,0	2.06
SLU_07	0,0	-212,2	4,50	-225,5	456,2	1,000	0,0	0,0	2.02
SLU_08	0,0	-249,0	3,84	-186,7	456,2	1,000	0,0	0,0	2.44
SLU_12	0,0	-215,6	4,43	-221,9	456,2	1,000	0,0	0,0	2.06

Tabella 64 – Verifiche allo SLE per la sezione 3 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	sig_b N/mm2	sig_s N/mm2	M_fess kNm	w mm
RR_01	0,0	-163,5	-1,4	68,7	402,3	0,068
RR_03	0,0	-165,4	-1,4	69,5	402,3	0,069
FR_02	0,0	-183,8	-1,6	77,2	402,3	0,077
FR_06	0,0	-165,4	-1,4	69,5	402,3	0,069
QP_01	0,0	-181,9	-1,6	76,4	402,3	0,076
QP_03	0,0	-181,9	-1,6	76,4	402,3	0,076

### SEZIONE 4

Tabella 65 – Verifiche allo SLU per la sezione 4 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	SF>=1.00	VEd kN	Vrd,min kN	cotg (q)	Vrcd kN	Vrsd kN	SF>=1.00
SLU_01	0,0	-56,1	17,02	-196,6	456,2	1,000	0,0	0,0	2.32
SLU_02	0,0	-8,8	108,04	-129,1	456,2	1,000	0,0	0,0	3.53
SLU_06	0,0	-69,1	13,83	-220,9	456,2	1,000	0,0	0,0	2.07
SLU_07	0,0	-56,1	17,02	-196,6	456,2	1,000	0,0	0,0	2.32
SLU_08	0,0	-8,8	108,04	-129,1	456,2	1,000	0,0	0,0	3.53
SLU_12	0,0	-69,1	13,83	-220,9	456,2	1,000	0,0	0,0	2.07

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	134 di 145

Tabella 66 – Verifiche allo SLE per la sezione 4 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	sig_b N/mm2	sig_s N/mm2	M_fess kNm	w mm
RR_01	0,0	-30,2	-0,3	12,7	402,3	0,013
RR_03	0,0	-37,3	-0,3	15,7	402,3	0,016
FR_02	0,0	-4,1	0,0	1,7	402,3	0,002
FR_06	0,0	-37,3	-0,3	15,7	402,3	0,016
QP_01	0,0	3,0	0,0	1,3	402,3	0,001
QP_03	0,0	3,0	0,0	1,3	402,3	0,001

**SEZIONE 5**

Tabella 67 – Verifiche allo SLU per la sezione 5 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	SF>=1.00	VEd kN	Vrd,min kN	cotg (q)	Vrcd kN	Vrsd kN	SF>=1.00
SLU_01	0,0	94,8	6,84	-26,9	456,2	1,000	0,0	0,0	16.96
SLU_02	0,0	99,4	6,53	-31,2	456,2	1,000	0,0	0,0	14.62
SLU_06	0,0	114,6	5,66	-51,1	456,2	1,000	0,0	0,0	8.93
SLU_07	0,0	94,8	6,84	-26,9	456,2	1,000	0,0	0,0	16.96
SLU_08	0,0	99,4	6,53	-31,2	456,2	1,000	0,0	0,0	14.62
SLU_12	0,0	114,6	5,66	-51,1	456,2	1,000	0,0	0,0	8.93

Tabella 68 – Verifiche allo SLE per la sezione 5 della soletta di fondazione

Comb.	NEd kN	MEd kNm	sig_b N/mm2	sig_s N/mm2	M_fess kNm	w mm
RR_01	0,0	67,4	-0,6	41,8	402,3	0,054
RR_03	0,0	78,3	-0,7	48,6	402,3	0,063
FR_02	0,0	69,9	-0,7	43,4	402,3	0,056
FR_06	0,0	78,3	-0,7	48,6	402,3	0,063
QP_01	0,0	59,0	-0,6	36,6	402,3	0,047
QP_03	0,0	59,0	-0,6	36,6	402,3	0,047

Tutte le verifiche risultano soddisfatte considerando le armature a flessione e taglio indicate precedentemente.

### 11.3.2 PALI DI FONDAZIONE

#### 11.3.2.1 VERIFICHE STRUTTURALI

I pali di fondazione sono stati verificati allo stato limite ultimo, poiché la loro funzione è quella di resistere agli sforzi generati in fase sismica dalla sovraspinta dovuta alle azioni dinamiche in assenza dei tiranti, che sono solamente tiranti provvisori, e non si sono effettuate verifiche di cedimento allo SLE perché non rilevanti, dal momento che i pali non sono stati progettati allo scopo di diminuire i cedimenti.

La sezione di calcolo in cui i pali sono maggiormente sollecitati è la **Sezione D**.

Le verifiche allo Stato Limite Ultimo per i pali DN1200 mm con lunghezza 15m e spaziatura 3.6 m in direzione longitudinale e trasversale sono qui riportate, considerando la seguente armatura disposta in due gabbie.

Tabella 69: Disposizione delle gabbie di armatura

Sezione	L (m)	As (mm <sup>2</sup> )	As' (mm <sup>2</sup> )	Asw (mm <sup>2</sup> )
I	6	24Φ24	-	Φ14/100mm
II	10	24Φ16	-	Φ14/200mm

Le verifiche allo SLU sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 70: Verifiche agli SLU, verifica di pressoflessione

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU		
				MEd (kNm)	NEd (kN)	MRd (kNm)
I	-9	EQK	Sisma	1773.7	0	1928
II	-17	EQK	Sisma	-394.2	220	-1029

Il valore di sforzo normale  $N_{Ed}$  (positivo se di compressione) è stato assunto pari al peso proprio del palo e degli eventuali carichi permanenti portati dal palo, valutati in corrispondenza della sezione di verifica.

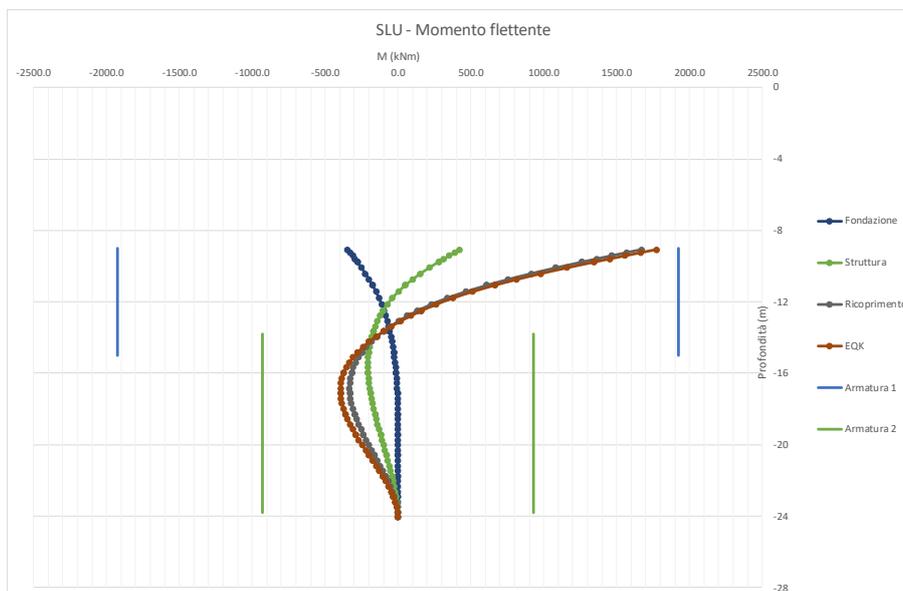


Figura 108: Sezione D – Pali di Fondazione – Sollecitazione di momento flettente (SLU)

Tabella 71: Verifiche agli SLU, verifica al taglio

Sezione	Posizione (m)	Combinazione	Fase	SLU	
				VEd (kN)	VRd (kN)
I	-9	EQK	Sisma	-623.5	-824.6
II	-15	STR	Ricoprimento	-116.6	-412.3

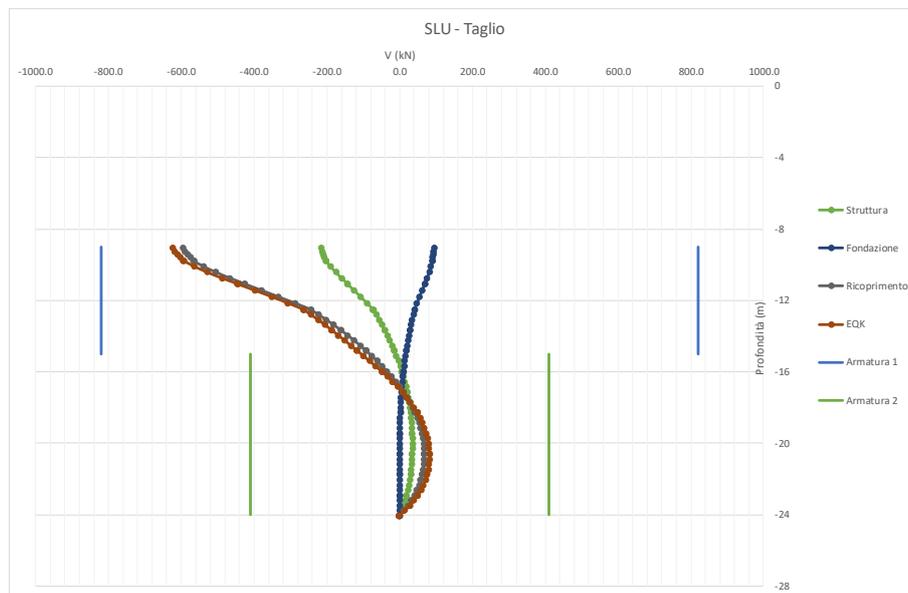


Figura 109: Sezione D – Pali di Fondazione – Sollecitazione di taglio (SLU)

### 11.3.2.2 VERIFICHE GEOTECNICHE – CAPACITÀ PORTANTE PALI

La verifica di capacità portante del Palo DN1200 è stata condotta in accordo al punto 10.3. La lunghezza del palo pari a 15m garantisce un fattore di sicurezza FS=1.18 nei confronti del carico verticale, come mostrato in seguito.

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato  
Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	137 di 145

Verifica della Portanza Assiale dei Pali

GA02

SEZ\_D

Teoria di Terzaghi-Berezantzev

D\_palo = 1.200 m  
A\_palo = 1.131 m<sup>2</sup>  
S\_palo = 2.513 m<sup>2</sup>/m  
J\_palo = 0.102 m<sup>4</sup>  
γ\_clis = 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.

t\_max = 100.0 kN/m<sup>2</sup> max portata laterale per terreno coesivo  
α\_v = 0.0 kN/m<sup>2</sup> tensione totale a quota zp

z = profondità dal p.c.  
γ\_clis = 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 m	γ kN/mc	φ °	c' kN/m <sup>2</sup>	cu kN/m <sup>2</sup>	m per c<0	m	m	m*D m	qb kN/m <sup>2</sup>
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	βφ	cu kN/m <sup>2</sup>	α	(α*cu) <sub>max</sub> kN/m <sup>2</sup>
0	0.00	1	1.70				
18	2.44	2	1.55				
22	3.64	3	1.48	Battuto in acciaio	20/φ	<= 25	1.00
24	4.46	4	1.42			25.50	0.80
26	5.51	5	1.34			50.75	0.65
30	8.56	7	1.28			>= 75	0.50
35	15.48	10	1.21				
38	22.75			Battuto in cls		<= 25	1.00
42	39.70			Prefabbricato	0.75	25.50	0.85
				Gettato in opera	1.00	50.75	0.65
						>= 75	0.50
				Trivellato	1.00	<= 25	0.90
						25.50	0.80
						50.75	0.60
						>= 75	0.40

N\_max = 900 kN  
N\_attrito\_neg = 0 kN >= 0  
N\_min = 0 kN

	L_palo	ξ4	γ_base	γ_later.	ξ+γ_p	ξ+γ_l	
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**

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato**  
**Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	138 di 145

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

## 12 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.

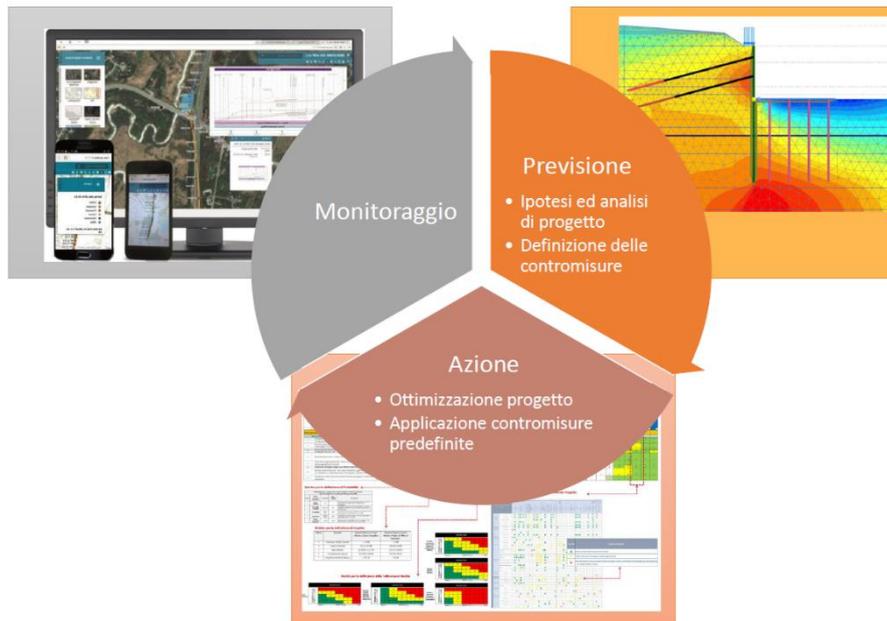


Figura 110: Diagramma di flusso relativo alla metodologia di progettazione flessibile

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.

### 12.1 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.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>140 di 145</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	140 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	140 di 145								

## 12.2 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 calcolo. Per le opere d'imbocco si dovrà verificare l'andamento degli spostamenti piano-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.

## 12.3 GRANDEZZE MONITORATE

### 12.3.1 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, traggiate mediante un teodolite o distanziometro. La misura si effettua come una normale triangolazione di precisione.

### 12.3.2 MISURE INCLINOMETRICHE

Consistono nel determinare il decorso, nel tempo, degli spostamenti del terreno nell'intorno delle opere di sostegno d'imbocco della galleria (paratie) in seguito alle successive fasi di scavo. Le misure sono effettuate mediante una sonda inclinometrica fatta scorrere in un tubo scanalato reso solidale con il terreno all'interno di un foro di sondaggio.

## 12.4 STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

In corrispondenza della paratia di Imbocco lato Benevento e della Sezione Tipo D 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 per l'imbocco lato Benevento:

- **N.30** punti di controllo topografico di precisione di superficie, chiodi e mire topografiche (**CT**) posizionati rispettivamente in prossimità del cordolo della paratia e lungo l'altezza libera di scavo della stessa;
- **N.3** tubi inclinometrici (**IN**) a tergo della paratia, di lunghezza pari a 32m, 32m e 28m rispettivamente, posti sulle paratie di valle e di monte, in corrispondenza delle parti più alte delle stesse;

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

- le mire ottiche e i chiodi sono posti:
  - in corrispondenza del cordolo di testa delle paratie ad interasse orizzontale approssimativamente pari a 8-10m e comunque in corrispondenza di ogni vertice piano-altimetrico del cordolo stesso;
  - lungo l'altezza libera di scavo, a quinconce, allo scopo di ricostruire l'andamento della deformata;
  - su ogni ordine di tiranti in corrispondenza della sezione di calcolo.
- gli inclinometri sono posti almeno in corrispondenza delle sezioni di calcolo, al fine di controllare con precisione l'evoluzione della deformata e confrontarla, nelle varie fasi di scavo, con i risultati provenienti dalle analisi di progetto.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>141 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	141 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	141 di 145								

## 12.5 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 72: 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	

## 12.6 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 aggiuntivo 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;

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

**GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	142 di 145

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

Tabella 73: Tabella riassuntiva delle soglie – mire topografiche

Mire ottiche				
Sezione tipo	Strumentazione	Fase	Limite di attenzione (mm)	Limite di allarme (mm)
-	-	-	(mm)	(mm)
Sezione Tipo D	CT - Cordolo	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	10	15
		Fondo Scavo	35	45
		Rimozione Tiranti	55	70
	CT - 1a fila di tiranti	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	10	15
		Fondo Scavo	30	40
		Rimozione Tiranti	45	55
	CT - 2a fila di tiranti	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	8	10
		Fondo Scavo	25	30
		Rimozione Tiranti	35	45
Sezione Tipo E	CT - Cordolo	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	10	15
		Fondo Scavo	30	40
		Rimozione Tiranti	50	60
	CT - 1a fila di tiranti	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	10	15
		Fondo Scavo	25	30
		Rimozione Tiranti	45	55
	CT - 2a fila di tiranti	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	8	10
		Fondo Scavo	25	30
		Rimozione Tiranti	35	45

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>GA02 - Relazione di calcolo Imbocco lato Benevento e Sezione Tipo D</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>GA0200 012</td> <td>B</td> <td>143 di 145</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	143 di 145
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	GA0200 012	B	143 di 145								

Tabella 74: Tabella riassuntiva delle soglie – inclinometri

Inclinometri				
Sezione tipo	Strumentazione	Fase	Limite di attenzione	Limite di allarme
-	-	-	(mm)	(mm)
Sezione Tipo D	INC	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	10	15
		Fondo Scavo	30	40
		Rimozione Tiranti	40	50
Sezione Tipo E	INC	Scavo -2m QP	5	10
		Scavo -5.5m QP	10	15
		Fondo Scavo	25	30
		Rimozione Tiranti	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.

Tabella 75: 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>

## 13 CONCLUSIONI

La presente relazione ha lo scopo di verificare dal punto di vista strutturale e geotecnico le strutture della GA02 riguardanti l'imbocco lato Benevento e la sezione tipo D, in particolare:

- Paratia di monte
- Paratia di valle
- Piedritto e soletta di copertura
- Platea di fondazione
- Pali di fondazione

Le seguenti tabelle riassumono le armature considerate nel dimensionamento di ciascun elemento strutturale.

Tabella 76: Armatura dei pali della Paratia Di Monte – Sezione D

Gabbia	Armatura principale	Spirali
I	32Φ24	Φ14/150mm
II	48Φ30	Φ14/100mm
III	32Φ24	Φ14/300mm

Tabella 77: Armatura dei pali della Paratia Di Valle – Sezione D

Gabbia	Armatura principale	Spirali
I	32Φ24	Φ14/100mm
II	32Φ16	Φ14/300mm

Tabella 78: Armatura del piedritto – Sezione D

Gabbia	Armatura Intradosso	Armatura Estradosso	Staffe
I	4Φ24	8+8Φ24 8Φ24	Φ16/500mm

Tabella 79: Armatura della soletta di copertura – Sezione D

Gabbia	Armatura Intradosso	Armatura Estradosso	Staffe
I	8Φ26 (L=10m)	8Φ24 (L=7.5m)	Φ16/250mm (vicino al nodo) Φ16/500mm (lontano dal nodo)
II	4Φ24 (L=5m)	8Φ24 (L=7.5m) + 8Φ24 (L=3.5m)	Φ16/250mm (vicino al nodo) Φ16/500mm (lontano dal nodo)

Tabella 80: Armatura dei pali della Paratia Di Monte – Sezione E

Gabbia	Armatura principale	Spirali
I	32Φ24	Φ14/150mm
II	48Φ30	Φ14/100mm
III	32Φ24	Φ14/300mm

Tabella 81: Armatura della soletta di fondazione

Gabbia	Armatura Inferiore	Armatura Superiore	Spilli
I	4Φ24	6Φ24	Φ12/500/500mm
II	4Φ24	6Φ24	Φ12/500/500mm

Tabella 82: Armatura dei pali di fondazione

Gabbia	Armatura Principale	Spirali
I	24Φ24	Φ14/100mm
II	24Φ16	Φ14/200mm

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