

## AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA

"PASSANTE DI BOLOGNA"

### PROGETTO DEFINITIVO

#### TANGENZIALI NORD E SUD

SV.4-4BIS - VIA DEL TRIUMVIRATO - AEROPORTO

RAMPA RS54B - MURO DI SOTTOSCARPA MS035

RELAZIONE DI CALCOLO

-

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO  Ing. Marco Pietro D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano n.A20155  RESPONSABILE GEOTECNICA ALL'APERTO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068	IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Andrea Tanzi Ord. Ingg. Parma N. 1154  PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI
---	---	---

CODICE IDENTIFICATIVO										ORDINATORE	
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111465	0000	PD	A2	U54	MS035	00000	R	A P E	0950	0	SCALA -

 gruppo Atlantia	PROJECT MANAGER:  Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068	SUPPORTO SPECIALISTICO:	REVISIONE	
			n.	data
			0	SETTEMBRE 2020
			1	
			2	
REDATTO:		VERIFICATO:	3	-
			4	-

VISTO DEL COMMITTENTE    IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin	VISTO DEL CONCEDENTE    <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI
---	---

## Sommar

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	3
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA .....	3
1.3	SOFTWARE DI CALCOLO .....	4
<b>2</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....</b>	<b>6</b>
3.1	LIVELLO DELLA FALDA.....	6
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO .....</b>	<b>7</b>
4.1	CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA E VITA ATTESA .....	7
4.2	TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO .....	7
4.3	ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO.....	8
4.4	PARAMETRI DI RISENTIMENTO IN SUPERFICIE .....	9
4.4.1	<i>Effetti stratigrafici</i> .....	9
4.4.2	<i>Effetti topografici</i> .....	9
4.5	ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO .....	9
<b>5</b>	<b>ANALISI DELL'OPERA – METODO DI CALCOLO .....</b>	<b>10</b>
5.1	ANALISI DELLA STRUTTURA.....	10
5.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	10
5.3	VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI IMMORSAMENTO DEI PALI.....	10
5.4	<b>VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE .....</b>	<b>11</b>
5.4.1	<i>Generalità</i> .....	11
5.4.2	<i>Azione stabilizzante dei pali di fondazione</i> .....	11
5.4.3	<i>Azione sismica</i> .....	11
5.4.4	<i>Verifica di stabilità</i> .....	11
5.5	VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI IN ESERCIZIO .....	12
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>13</b>
6.1	PESI PROPRI .....	13
6.2	SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI STATICHE .....	13
6.3	SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI SISMICHE .....	13
6.3.1	<i>Azione sismica</i> .....	13
6.3.2	<i>Incremento del coefficiente di spinta attiva</i> .....	15
6.3.3	<i>Riduzione del coefficiente di spinta passiva</i> .....	15
6.4	TRAFFICO VEICOLARE .....	15
6.5	COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI PARZIALI .....	15
<b>7</b>	<b>ANALISI DELL'OPERA - DATI DI INPUT .....</b>	<b>17</b>
7.1	FASI DI CALCOLO.....	17
7.2	COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA .....	18
7.3	OPERA DI SOSTEGNO.....	20
7.4	AZIONI ESTERNE .....	20
7.5	AZIONE SISMICA .....	21
<b>8</b>	<b>ANALISI DELL'OPERA - RISULTATI .....</b>	<b>22</b>
8.1	SPOSTAMENTI .....	22

---

8.2	SOLLECITAZIONI NELLA STRUTTURA .....	23
<b>9</b>	<b>ANALISI DELL’OPERA - VERIFICHE .....</b>	<b>25</b>
9.1	VERIFICA DELL’IMMORSAMENTO DEI PALI .....	25
9.2	VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI .....	26
9.3	VERIFICA STRUTTURALE DEL SETTO IN ELEVAZIONE .....	29
<b>9.4</b>	<b>VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE .....</b>	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>ALLEGATO 1- REPORT ANALISI DI STABILITÀ.....</b>	<b>34</b>
10.1	SLOPE/W MS035 ANALYSIS.....	34
10.2	SLOPE/W MS035 SEISMIC ANALYSIS .....	38

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli di progetto del muro di sottoscarpa MS035, previsto nell’ambito dei lavori di potenziamento in sede del sistema autostradale e tangenziale di Bologna, all’incirca in corrispondenza dello svincolo di Via del Triumvirato - Aeroporto (progressiva pk. 9+250 circa della carreggiata NORD). Più esattamente, il muro sostiene il rilevato della corsia di diversione RS54B della Tangenziale Nord verso lo svincolo, subito dopo la sopraelevata del People Mover, per una lunghezza di circa 24 m.

### 1.1 DESCRIZIONE DELL’OPERA

La geometria dell’opera, rappresentata in sezione in Figura 1-1, è di seguito descritta:

- Altezza del muro: 2.70 m ÷ 4.25 m
- Tipologia di fondazione: pali trivellati ad elica continua
- Lunghezza pali di fondazione: 10.0 m
- Diametro pali di fondazione: 1.00 m
- Interasse pali di fondazione: 1.20 m
- Dimensione trave di testa dei pali: 1.20 x 0.80 m.

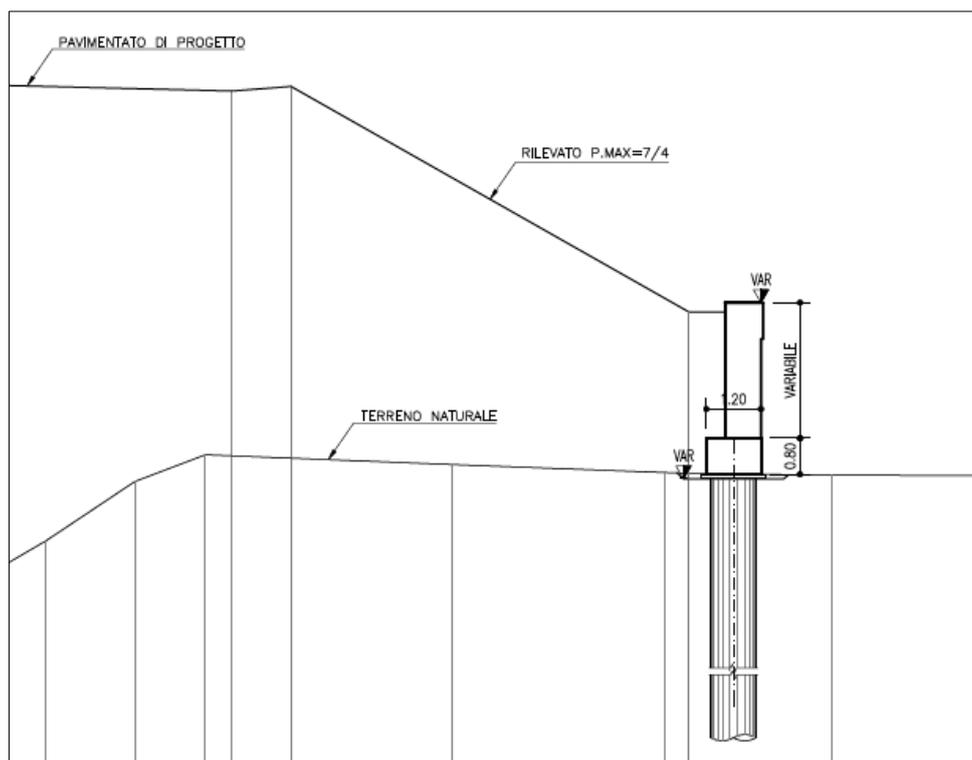


Figura 1-1. Sezione tipo muro di sottoscarpa MS035

### 1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA

Il progetto è stato svolto con riferimento alla teoria degli Stati Limite, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (nel seguito indicata per brevità con la sigla “NTC”):

- D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” - GU n°42 del 20/2/2018, supplemento ordinario n. 8.
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.L.L.P.P., "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" - GU n°35 dell'11.02.2019, supplemento ordinario n. 5.

### 1.3 SOFTWARE DI CALCOLO

Per le verifiche geotecniche e strutturali si è fatto ricorso ai seguenti codici di calcolo commerciali:

<b>PARATIE PLUS 19.1</b> – <i>Harpaceas</i>	(verifiche geotecniche)
<b>RC-SEC - 2010.4Rev.192</b> – <i>Geostru</i>	(verifiche strutturali sezioni in c.a.)
<b>GEO-SLOPE</b> - <i>GeoStudio 2012</i>	(verifiche di stabilità globale).

## 2 MATERIALI

### MAGRONE DI SOTTOFONDO

- Classe di resistenza minima: C12/15
- Classe di esposizione: XC0

### CALCESTRUZZO PER TRAVE TESTA PALI

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- Copriferro “*nominale*” (1): 40mm

### CALCESTRUZZO PER PALI DI FONDAZIONE

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- Copriferro “*nominale*” (1): 60mm

### CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONE

- Classe di resistenza minima: C32/40
- Classe di esposizione: XF2
- Copriferro “*nominale*” (1): 40mm

### ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

- Acciaio in barre: B450C
- Reti: B450A
- Sovrapposizione: 60 diametri

(1) – Copriferro *nominale di calcolo* secondo EN1992-1-1 comprensivo di  $\Delta_{Cdev} = 5\text{mm}$

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

I terreni rinvenuti in sito possono essere ascritti alle seguenti due unità geotecniche:

- La formazione A, costituita prevalentemente da argille e limi debolmente sabbiosi a consistenza da soffice a media.
- La formazione B, costituita prevalentemente da ghiaie e ghiaietto in matrice sabbiosa/limosa, addensati.

A tali formazioni sono attribuiti i valori caratteristici dei parametri geotecnici riportati di seguito:

Formazione A (da p.c. locale a 3 m di profondità)

$\gamma$  = peso di volume = 19 kN/mc

$c'$  = coesione efficace = 5 kPa

$\phi'$  = angolo di attrito = 26°

$E'$  = modulo elastico operativo = 5 MPa

$E_{ur}$  = modulo elastico operativo in scarico-ricarico = 10 MPa

Formazione A (a profondità >3 m dal p.c. locale)

$\gamma$  = peso di volume = 19 kN/mc

$c'$  = coesione efficace = 0 kPa

$\phi'$  = angolo di attrito = 28°

$E'$  = modulo elastico operativo = 10 MPa

$E_{ur}$  = modulo elastico operativo in scarico-ricarico = 20 MPa

Formazione B

$\gamma$  = peso di volume = 20 kN/mc

$c'$  = coesione efficace = 0 kPa

$\phi'$  = angolo di attrito = 38°

$E'$  = modulo elastico operativo = 30 MPa

$E_{ur}$  = modulo elastico operativo in scarico-ricarico = 45 MPa

Per quanto concerne il rilevato stradale esistente e/o di nuova realizzazione, si considerano, cautelativamente, i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma$  = peso di volume = 19 kN/mc

$c'$  = coesione efficace = 0 kPa

$\phi'$  = angolo di attrito = 35°

$E'$  = modulo elastico operativo = 35 MPa

La stratigrafia di riferimento per il progetto del muro in oggetto, desunta dagli specifici documenti di progetto, e in particolare dal sondaggio S9 della campagna di indagini SOGEO 2010, è la seguente:

Da p.c. locale a 18 m di profondità:	Formazione <b>B</b>
Da 18 m a 20 m di profondità:	Formazione <b>A</b>
Da 20 m a 30 m di profondità:	Formazione <b>B</b> .

#### 3.1 LIVELLO DELLA FALDA

Il livello piezometrico di progetto è assunto a 15 m dal p.c. locale; durante la campagna di indagini menzionata nel precedente paragrafo, nell'area di intervento, la falda era stata rilevata a profondità  $\geq 18$  m.

## 4 INQUADRAMENTO SISMICO

### 4.1 CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA E VITA ATTESA

In accordo con quanto previsto dalle NTC, la vita nominale minima dell'opera in progetto può essere definita con riferimento alla tabella n.4.1.

In relazione alle conseguenze di una interruzione di funzionalità o del collasso in caso di sisma, invece, l'opera in esame viene classificata secondo quanto riportato in tabella n.4.2.

Opera	Tipo	V <sub>N</sub>
Parti d'opera provvisoriale con V <sub>N</sub> ≤ 2anni	1	≤ 2
Parti d'opera provvisoriale con 2anni < V <sub>N</sub> ≤ 10anni	1	≤ 10
Opere ordinarie	2	≥ 50
Grandi opere	3	≥ 100

*Tabella n.4.1 – Tipo e vita nominale dell'opera (NTC – tabella 2.4.I)*

Classe d'uso	I	II	III	IV
Uso previsto	Presenza occasionale di persone	Normale affollamento	Affollamento significativo	Funzione pubblica/strategica
C <sub>U</sub>	0.7	1.0	1.5	2.0

*Tabella n.4.2 – Classi e coefficienti d'uso (NTC – tabella 2.4.II)*

Nel caso specifico in studio si assume quanto segue:

V<sub>N</sub> = 50 anni  
 Classe d'uso IV  
 C<sub>U</sub> = 2.0

Pertanto, il periodo di riferimento (V<sub>R</sub>) rispetto al quale valutare le azioni sismiche, definito come prodotto tra la vita nominale V<sub>N</sub> ed il coefficiente d'uso C<sub>U</sub> (cfr. paragrafo n.2.4.3 – NTC), risulta pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni.}$$

### 4.2 TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO

Fissato il periodo di riferimento V<sub>R</sub> e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P<sub>VR</sub> (funzione dello stato limite considerato come indicato in tabella n.4.3), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T<sub>R</sub> attraverso l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Nel caso specifico in studio si fa riferimento allo stato limite SLV, cui corrisponde il seguente valore del tempo di ritorno dell'evento sismico:

$$T_R = 949 \text{ anni.}$$

Stati limite di esercizio ( $P_{VR}$ )	Stati limite ultimi ( $P_{VR}$ )
SLO - Stato limite di operatività (81%)	SLV- Stato limite di salvaguardia (10%)
SLD - Stato limite di danno (63%)	SLD – Stato limite di prevenzione del collasso (5%)

*Tabella n.4.3 – Stati limite secondo le NTC e relative probabilità di superamento  $P_{VR}$*

### 4.3 ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO

Il valore di accelerazione orizzontale massima attesa nel sito di interesse (e degli altri parametri necessari alla determinazione delle azioni sismiche) può essere determinato a partire dai valori pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) con riferimento a diversi punti ubicati sul territorio nazionale secondo una griglia di 10 km x 10 km. Detti valori sono riportati nell'allegato B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29), cui le norme tecniche vigenti dispongono di riferirsi (cfr. § 3.2 delle NTC 2018).

Più esattamente, il valore al sito viene definito mediando i valori di accelerazione caratteristica dei 4 nodi più prossimi al sito stesso, in funzione della distanza, come di seguito indicato:

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g,i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Nella precedente espressione,  $a_g$  è l'accelerazione massima al sito, su suolo tipo A,  $a_{g,i}$  è l'accelerazione massima su suolo tipo A nell' $i$ -esimo punto del reticolo e  $d_i$  è la distanza del sito di interesse dall' $i$ -esimo punto medesimo.

Analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici di interesse:  $F_0$  e  $T^*c$ , rispettivamente valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Qualora i dati relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contemplino il periodo di ritorno corrispondente al periodo di riferimento  $V_R$  e alla probabilità di superamento  $P_{VR}$  dell'evento sismico in detto periodo fissate in progetto, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g, F_0, T^*c$ ) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai periodi di ritorno  $T_R$  disponibili, utilizzando l'espressione seguente, nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato e  $T_{R1}$  e  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ :

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

Le coordinate geografiche (WGS84) di riferimento per il muro in progetto sono:

Latitudine: 44,525661  
Longitudine: 11,300855

In tabella n.4.4 sono riportati il numero identificativo dei nodi del reticolo INGV più vicini, le relative coordinate geografiche e la rispettiva distanza dal sito in esame.

Ne derivano i parametri sismici ( $a_g, F_0$  e  $T^*c$ ) di cui alla tabella n.4.5 relativi allo stato limite di salvaguardia della vita considerato ed al relativo tempo di ritorno.

PUNTO	ID	LAT	LONG	DISTANZA (m)
1	16729	44,5137	11,2474	4439,932
2	16730	44,5150	11,3175	1771,556
3	16508	44,5650	11,3157	4526,306
4	16507	44,5637	11,2456	6087,542

*Tabella n.4.4 – Reticolo di riferimento – Coordinate*

STATI LIMITE	<b>V<sub>R</sub> = 100 anni (C.U. IV, V<sub>N</sub> = 50 anni)</b>			
	<b>T<sub>R</sub> (anni)</b>	<b>a<sub>g</sub> (g)</b>	<b>F<sub>o</sub> (-)</b>	<b>T<sub>c</sub>* (-)</b>
SLV	949	<b>0.210</b>	2.432	0.307

*Tabella n.4.5 – Parametri sismici al sito – suolo tipo A affiorante*

#### 4.4 PARAMETRI DI RISENTIMENTO IN SUPERFICIE

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante due specifici parametri: S<sub>s</sub>, per gli effetti stratigrafici e S<sub>T</sub>, per gli effetti topografici.

##### 4.4.1 Effetti stratigrafici

Il parametro S<sub>s</sub> che tiene conto degli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia, viene calcolato in funzione della categoria di sottosuolo e della sismicità locale.

Nel caso in esame, tenuto conto di quanto riportato nella Relazione Geotecnica, si assume:

Categoria di suolo tipo **C**.

Di qui, in funzione dei valori dei parametri riportati in tabella n.4.5, dalle espressioni di S<sub>s</sub> riportate in tabella 3.2.IV delle NTC, si ottiene:

$$S_s (\text{SLV}) = 1.7 - 0.6 * F_o * a_g/g \cong 1.39.$$

##### 4.4.2 Effetti topografici

Nel caso specifico in studio il terreno risulta pressoché pianeggiante. Pertanto, si assume:

Categoria pendio **T1**.

Di qui, facendo riferimento alla tabella n.3.2.III delle NTC, si ricava:

$$S_T = 1.0.$$

#### 4.5 ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO

L'accelerazione orizzontale massima al sito (a<sub>max</sub>) è calcolata come prodotto dell'accelerazione massima attesa su affioramento rigido (a<sub>g</sub>) e dei fattori di amplificazione stratigrafica e topografica (S<sub>s</sub> ed S<sub>T</sub>).

Si ottiene pertanto:

$$a_{\text{max}} (\text{SLV}) = a_g \times S_T \times S_s = 0.293 \text{ g.}$$

## 5 ANALISI DELL'OPERA – METODO DI CALCOLO

L'opera di sostegno in progetto è stata modellata come “*opera flessibile*”.

L'analisi dell'interazione terreno-struttura è stata svolta con l'ausilio del codice di calcolo non lineare ad Elementi Finiti “PARATIE PLUS 19.1” commercializzato da Harpaceas.

Si è fatto riferimento alle seguenti ipotesi:

- Stato piano di deformazione (opera di lunghezza infinita).
- Terreno modellato come letto di molle indipendenti, caratterizzate da un legame costitutivo elastico-perfettamente plastico, con criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- Struttura discretizzata in elementi perfettamente elastici.
- Eventuali contrasti modellati per mezzo di molle di opportuna rigidità.
- Sovraccarichi a monte ed a valle della paratia trasformati in spinte sul paramento in accordo a quanto previsto dalla teoria elastica.
- Mobilitazione della spinta della terra funzione del livello di deformazione partendo da una condizione iniziale di spinta “*a riposo*” ( $k_0$ ).
- Valori massimo e minimo della spinta definiti rispettivamente in funzione dei coefficienti di spinta “*passiva*” ( $K_p$ ) e “*attiva*” ( $K_a$ ) dei terreni.

La rigidità  $k$  delle molle è data dal rapporto  $k = E / L$ , dove  $E$  è il modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento della struttura in zona attiva e passiva. Il parametro  $E$  tiene conto degli effetti dello scarico/ricarico mediante opportuni coefficienti moltiplicativi. Per ogni dettaglio si rimanda al Manuale teorico del programma.

### 5.1 ANALISI DELLA STRUTTURA

In accordo al §6.5.3.1.2 delle NTC, le verifiche dell'opera di sostegno in esame sono state svolte considerando l'Approccio 1 che prevede le combinazioni di coefficienti parziali ( $A1+M1+R1-R3$  per i tiranti) e ( $A2+M2+R1$ ). L'uso dell'Approccio 1 impone (cfr. §2.6.1 NTC) che “[...] *in tutti i casi, sia nei confronti del dimensionamento strutturale, sia per quello geotecnico, si deve utilizzare la combinazione più gravosa fra le due precedenti [...]*”. Nella fase di realizzazione dell'opera si è considerato un sovra-scavo pari al massimo 50cm come previsto al §6.5.2.2 delle NTC.

### 5.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali dei pali di fondazione e del muro in elevazione sono svolte con riferimento alla teoria dello stato limite, considerando le caratteristiche di resistenza dei materiali relative alle classi definite nel precedente Capitolo 2 e negli elaborati grafici di progetto.

Si è inoltre imposto, anche in caso di sisma, un comportamento *non dissipativo*, si è imposto cioè che le strutture in c.a. permanessero in campo elastico.

### 5.3 VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI IMMORSAMENTO DEI PALI

La lunghezza di immersione dei pali di fondazione viene definita sulla base del più restrittivo dei seguenti criteri:

- Garanzia nei riguardi della stabilità globale dell'opera.
- Immorsamento minimo di 5.0 m al di sotto della quota di fondo scavo.
- Mobilitazione della spinta passiva non superiore al 90% della spinta potenzialmente disponibile nelle condizioni più gravose.

## 5.4 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

### 5.4.1 Generalità

Si fa ricorso alla nota teoria dell'equilibrio limite, nell'ambito della quale i terreni sono stati caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (analisi in termini di sforzi efficaci).

Tale approccio consente di svincolarsi da tutte le complesse problematiche legate all'analisi dello stato deformativo dell'ammasso e di definire un semplice fattore di sicurezza, convenzionalmente valutato come rapporto tra le forze di taglio potenzialmente mobilitabili lungo la superficie di rottura analizzata e le forze di taglio effettivamente mobilitate sotto l'azione delle forze agenti sull'ammasso (pesi propri, carichi esterni, ecc.).

La letteratura tecnica documenta numerosi metodi per il calcolo del fattore di sicurezza; tra di essi si è optato per quello proposto da Bishop (1955) “semplificato” per superfici di rottura di forma generica.

### 5.4.2 Azione stabilizzante dei pali di fondazione

Il contributo stabilizzante offerto dai pali di fondazione è tenuto in conto considerando, lungo le superfici di potenziale rottura che intersecano i pali, una resistenza aggiuntiva allo scivolamento pari a:

$$F = P / S$$

con:

P = resistenza al taglio del palo

S = interasse dei pali.

### 5.4.3 Azione sismica

In presenza di sisma, l'analisi di stabilità globale è condotta mediante approccio pseudo-statico: l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come  $F_h = k_h \cdot W$  ed  $F_v = k_v \cdot W$ , con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale, così definiti:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$$
$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

con:

$a_{max}$  = accelerazione massima al suolo;

g = accelerazione di gravità;

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, pari a 0.38 per analisi SLV.

### 5.4.4 Verifica di stabilità

Ai sensi delle NTC (paragrafi 6.8.2 e 7.11.4), la verifica di stabilità viene svolta adottando la combinazione A2+M2+R2 dell'Approccio di progetto 1 (si veda tabella n.5.1).

Per ciascuna potenziale superficie di scorrimento, deve risultare:

$$\tau_m \leq \tau_s / \gamma_R$$

con:

$\tau_m$  = sforzo di taglio di progetto mobilitato,

$\tau_s$  = resistenza al taglio di progetto disponibile;

$\gamma_R$  = coefficiente di sicurezza sulla resistenza allo scorrimento.

CONDIZIONI DI CARICO	COEFFICIENTI PARZIALI SULLE AZIONI $\gamma_F$		COEFFICIENTI PARZIALI SULLA RESISTENZA DEI TERRENI $\gamma_M$			COEFFICIENTE DI SICUREZZA SULLA RESISTENZA ALLO SCORRIMENTO $\gamma_R$
	Carichi Permanenti Sfavorevoli(*)	Carichi Variabili Sfavorevoli	$\tan \phi$	$c'$	$c_u$	$\tau_s$
<b>STATICHE</b>	1.00	1.30	1.25	1.25	1.40	1.10
<b>SISMICHE</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20

(\*) Sono considerati carichi permanenti la spinta della terra e dell'acqua

*Tabella n. 5-1. Coefficienti di sicurezza per le verifiche di stabilità globale*

## 5.5 VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI IN ESERCIZIO

In condizioni SLE si verifica che siano rispettate le seguenti limitazioni sugli spostamenti calcolati:

- Spostamento massimo complessivo da inizio costruzione ( $s_{max}$ ) inferiore all' 1.5% dell'altezza fuori terra del muro:

$$s_{max} \leq 1.5\% H_{muro}.$$

- Spostamento in esercizio al netto dello spostamento a fine costruzione ( $\Delta s$ ) inferiore allo 0.5% dell'altezza fuori terra del muro:

$$\Delta s \leq 0.5\% H_{muro}.$$

## 6 ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 PESI PROPRI

Per il calcestruzzo gettato in opera si è considerato un peso proprio pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

### 6.2 SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI STATICHE

Il coefficiente di spinta a riposo, che rappresenta il rapporto tra le tensioni efficaci orizzontale e verticale in sito prima delle operazioni di scavo, è calcolato in accordo alla seguente espressione:

$$K_0 = K_0^{NC} \times (OCR)^m$$

Con:

$K_0^{NC} = 1 - \sin(\phi')$ , coefficiente di spinta a riposo in condizioni di normal-consolidazione;

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio del terreno;

OCR = grado di sovraconsolidazione;

m = coefficiente empirico compreso tra 0.4 e 0.7 (Ladd et al, 1977e Jamiolkowski et al, 1979).

Il coefficiente di spinta attiva ( $K_a$ ) e di spinta passiva ( $K_p$ ) sono invece valutati ricorrendo alle correlazioni di Caquot & Kerisel (1948), valide per superfici di rottura di tipo complesso (spirale logaritmica) ed in grado di tenere conto dell'attrito tra paratia e terreno ( $\delta$ ). Con riferimento a quest'ultimo parametro, nel caso in studio si è assunto  $\delta/\phi = 0.67$ .

### 6.3 SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI SISMICHE

#### 6.3.1 Azione sismica

L'azione sismica viene tenuta in conto nella valutazione della spinta del terreno secondo un approccio pseudo-statico, considerando 2 differenti effetti:

- L'incremento del coefficiente di spinta attiva del terreno.
- Il decremento del coefficiente di spinta passiva del terreno.

Ciò si ottiene introducendo nel calcolo dei coefficienti di spinta attiva e passiva l'angolo  $\theta$ , valutato secondo quanto rappresentato nel seguente prospetto:

<b>Caso 1:</b> Assenza di falda	$\theta = \arctan \left( k_h / (1 \pm k_v) \right)$	$\gamma^* = \gamma_{nat} \cong \gamma_{sat}$
<b>Caso 2:</b> Terreno saturo impermeabile	$\theta = \arctan \left( \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \right) \cdot k_h / (1 \pm k_v)$	$\gamma^* = \gamma'$
<b>Caso 3:</b> Terreno saturo permeabile	$\theta = \arctan \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \right) \cdot k_h / (1 \pm k_v)$	$\gamma^* = \gamma'$

I coefficienti sismici orizzontale e verticale  $k_h$  e  $k_v$ , che compaiono nell'espressione di  $\theta$ , sono definiti al paragrafo n.7.11.6.3.1 delle NTC:

- $k_h = a_h/g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \geq 0.2 \cdot a_{max}$
- $k_v = a_v/g = 0$

dove:

- $a_h$  e  $a_v$  sono le componenti orizzontale e verticale dell'accelerazione statica equivalente all'accelerazione sismica;
- $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$  è l'accelerazione massima di progetto, definita nel precedente Capitolo 4;
- $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera, funzione dell'altezza complessiva H della paratia e della categoria sismica di sottosuolo (cfr. figura n.6.1);
- $\beta \leq 1$  è un coefficiente che dipende dalla capacità dell'opera di subire deformazioni senza conseguenti cadute di resistenza, funzione del massimo spostamento  $u_s$  tollerabile in tal senso dalla struttura (cfr. figura n.6.2).

Le NTC impongono che lo spostamento massimo tollerato dalla paratia senza riduzione della resistenza non possa essere in ogni caso considerato maggiore dello 0.5 % dell'altezza complessiva della paratia:  $u_s \leq 0.005 \times H$ .

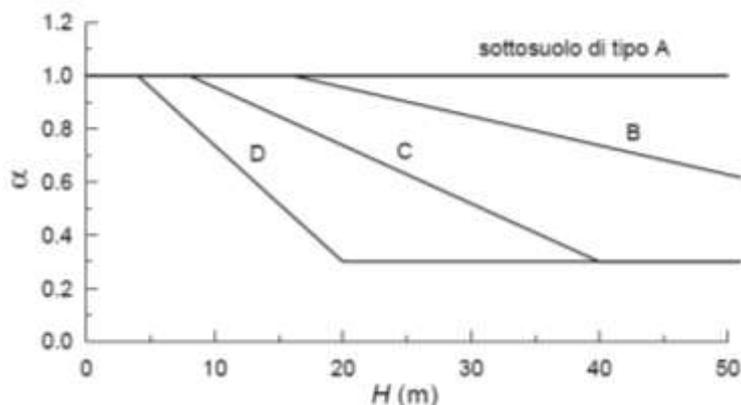


Figura 6.1 – Coefficiente  $\alpha$  (figura n.7.11.2 – NTC)

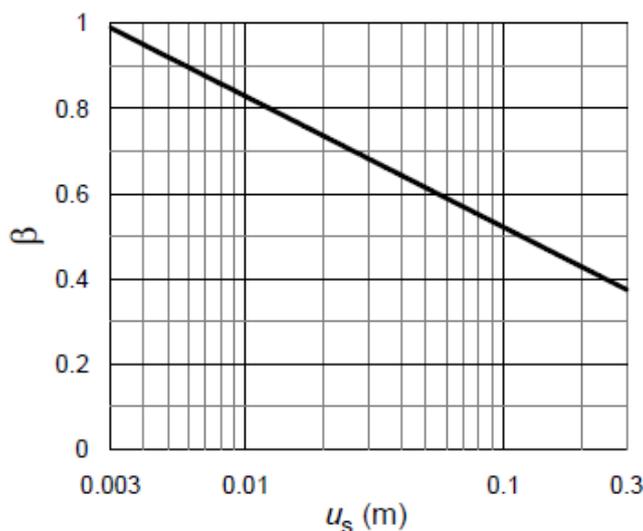


Figura 6.2 – Coefficiente  $\beta$  (figura n.7.11.3 – NTC)

Nel caso in esame (suolo di categoria sismica C, altezza totale della paratia  $H = 15.1 \text{ m} \rightarrow u_{s,max} = 0.005 \times H = 0.076 \text{ m}$ ), si ottiene:

$$\alpha \approx 1.0;$$

$$\beta \approx 0.56.$$

Per quanto riguarda il comportamento idraulico del terreno, si è fatto riferimento al caso 2: terreno impermeabile saturo.

Definito l'angolo  $\theta$ , la spinta in condizioni sismiche è stata valutata avvalendosi del metodo di Mononobe-Okabe, che estende al caso di presenza di azioni statiche equivalenti al sisma la soluzione di Coulomb, basata come noto sull'ipotesi di superficie di scorrimento piana.

Rimandando per ogni dettaglio all'ampia Letteratura Scientifica sull'argomento, qui si ricorda brevemente che l'attrito opera-terreno determina la non planarità delle superfici di scorrimento e che l'assunzione di una superficie piana comporta un errore a sfavore di sicurezza nella stima delle azioni sulla parete; questo errore è modesto nelle condizioni limite attive, ma può risultare inaccettabilmente elevato nelle condizioni limite passive, specie per valori di  $\delta/\phi > 0.5$ . Per tale motivo, nella valutazione del coefficiente di spinta passiva in condizioni sismiche, a meno di non voler utilizzare metodi che tengano conto della non planarità delle superfici di scorrimento, è preferibile porre  $\delta = 0$ .

### 6.3.2 Incremento del coefficiente di spinta attiva

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche (contributo statico + contributo sismico) viene calcolato ricorrendo alla seguente formula di Mononobe & Okabe:

$$K_{as} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \vartheta - \delta) \left[ 1 + \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta - \vartheta)}}{\sqrt{\sin(\psi - \vartheta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

Definito il coefficiente di spinta attiva ( $K_{as}$ ) si valuta la spinta attiva totale in presenza di sisma e, per differenza rispetto alla spinta attiva in condizioni statiche, si ottiene l'incremento di spinta dovuto al solo sisma:

$$\Delta S_{as} = S_{as} - S_a$$

La forza così calcolata viene distribuita sull'intera altezza dell'opera di sostegno attraverso un diagramma di pressione trapezia caratterizzato dai seguenti valori alla testa e alla base della paratia:

$$\Delta P_{testa} = (\Delta S_{as} / H) \times 1.6,$$

$$\Delta P_{base} = (\Delta S_{as} / H) \times 0.4.$$

### 6.3.3 Riduzione del coefficiente di spinta passiva

In analogia a quanto visto per la spinta attiva, sempre attraverso il metodo di Mononobe & Okabe, è possibile calcolare il coefficiente di spinta passiva in presenza di sisma, attraverso la seguente espressione:

$$K_{ps} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \vartheta) \left[ 1 - \frac{\sqrt{\sin(\varphi) \sin(\varphi - \beta - \vartheta)}}{\sqrt{\sin(\psi - \vartheta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

Si noti che nell'espressione di  $K_{ps}$  non compare l'angolo  $\delta$  di attrito parete-terreno, che per i motivi ricordati al precedente paragrafo 6.3.2 è stato posto uguale a zero.

## 6.4 TRAFFICO VEICOLARE

Si tiene conto del carico dovuto al traffico veicolare a tergo dell'opera di sostegno mediante una pressione uniforme di valore caratteristico  $q = 20\text{kPa}$ .

## 6.5 COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI PARZIALI

Per il muro in progetto, l'analisi è stata svolta con riferimento alle seguenti condizioni di carico:

- Traffico veicolare in assenza di sisma,
- Traffico veicolare in presenza di sisma.

Di default il codice di calcolo utilizzato esegue una analisi denominata *nominal* in cui tutti i coefficienti parziali sono posti pari ad 1; in tabella n.6.3, invece, sono riassunti i valori dei coefficienti parziali sulle azioni e dei coefficienti di combinazione adottati nelle ulteriori combinazioni di carico analizzate ai sensi delle NTC.

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**

**PROGETTO DEFINITIVO**

C.d.C.		Coefficienti di combinazione, $\psi_{i,j}$				Coefficienti parziali
ID	NOME	Traffico	Vento	Sisma	Urto	$\gamma_F$
<b>SLE - RARA</b>	Traffico	1.00	0.6	0	0	1.0
	Vento	0.75	1.0	0	0	1.0
<b>SLU (A1+M1+R1)</b>	Traffico	1.00	0.6	0	0	1.5
	Vento	0.75	1.0	0	0	1.5
<b>SLU (A2+M2+R1)</b>	Traffico	1.00	0.6	0	0	1.3
	Vento	0.75	1.0	0	0	1.3
<b>ECC</b>	Urto	0.25	0.0	0	1	1.0
<b>SLV</b>	Sisma	0.25	0.0	1	0	1.0

*Tabella n.6.3 – Coefficienti parziali e di combinazione*

Per brevità, nel seguito, le combinazioni SLE-RARA, SLU - (A1+M1+R1) e SLU – (A2+M2+R2), saranno denominate rispettivamente SLE, SLU-STR e SLU-GEO.

## 7 ANALISI DELL'OPERA - DATI DI INPUT

### 7.1 FASI DI CALCOLO

L'analisi dell'interazione opera-terreno è stata sviluppata attraverso le seguenti fasi:

1. Simulazione della configurazione del terreno precedente alla costruzione del muro.
2. Realizzazione dell'opera di sostegno.
3. Costruzione del nuovo rilevato stradale.
4. Applicazione del carico dovuto al traffico veicolare in assenza di sisma.
5. Applicazione della sovra-spinta sismica in presenza di traffico.

Una rappresentazione grafica delle fasi sopra elencate è riportata in Figura 7-1.

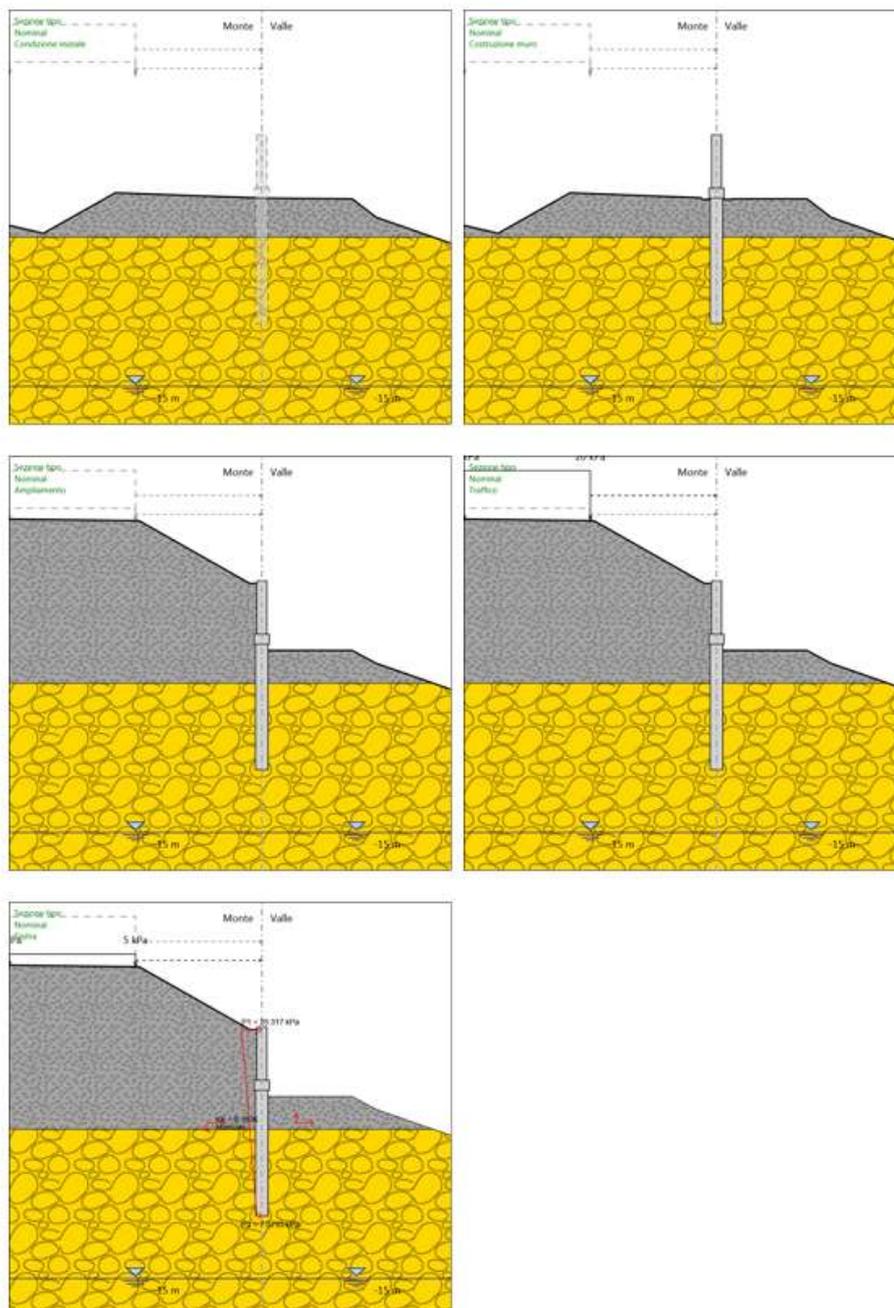


Figura 7-1. Fasi di calcolo

## 7.2 COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA

Nelle figure 7.2, 7.3 e 7.4, con ovvio significato dei simboli, sono riportati i valori dei coefficienti di spinta rispettivamente nelle combinazioni SLE e SLU-STR, nella combinazione SLU-GEO e nella combinazione SLV.

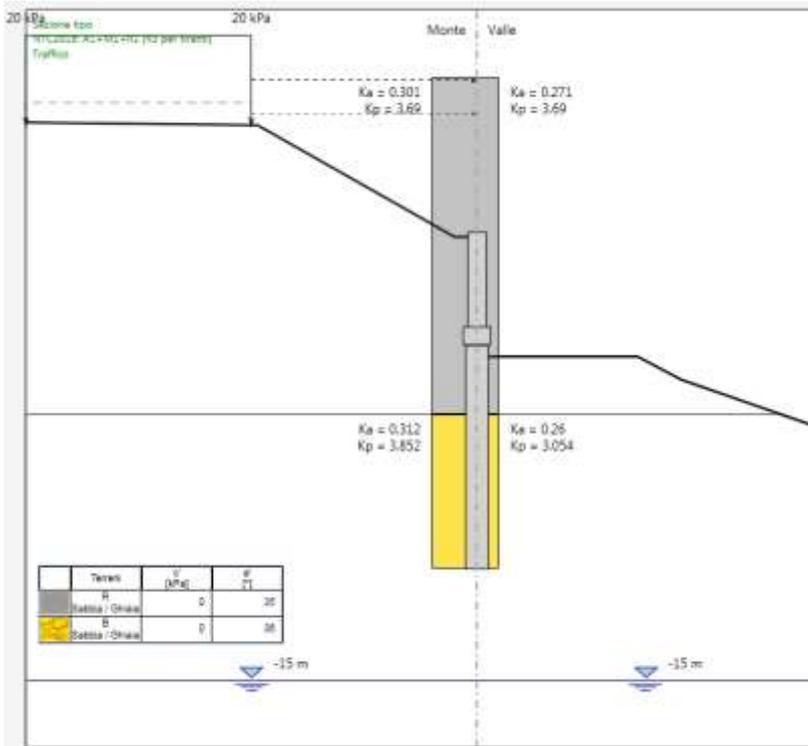


Figura 7-2. Coefficienti di spinta nelle combinazioni SLE e SLU-STR

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
 TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
 POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
 AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
 “PASSANTE DI BOLOGNA”**

**PROGETTO DEFINITIVO**

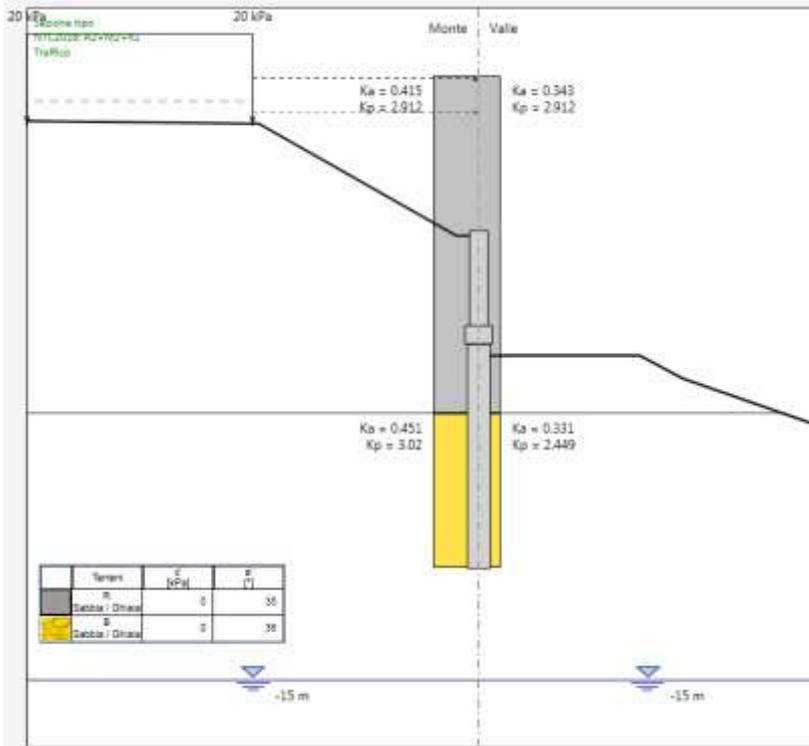


Figura 7-3 Coefficienti di spinta nella combinazione SLU-GEO

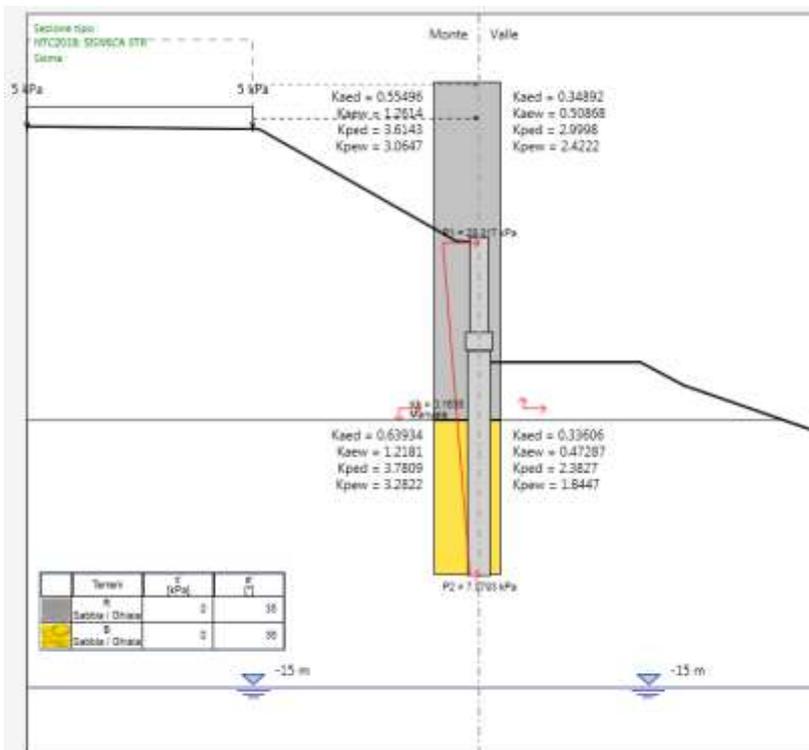


Figura 7-4 Coefficienti di spinta nella combinazione SLV

### 7.3 OPERA DI SOSTEGNO

In tabella 7-1 si riporta una sintesi della geometria dell'opera di sostegno e delle relative proprietà meccaniche.

Elemento	Tipo sezione	Quote	Proprietà			
Setto in elevazione	Solid		alto	5.1 m	Area equivalente	0.80 m
					Inerzia equivalente	0.0427 m <sup>4</sup> /m
			fondo	0.8 m	Classe CLS	C32/40
					Spessore	0.80 m
					Efficacia	1
Cordolo testa pali	Solid		alto	0.8 m	Area equivalente	1.2 m
					Inerzia equivalente	0.144 m <sup>4</sup> /m
			fondo	0.0 m	Classe CLS	C25/30
					Spessore	1.20 m
					Efficacia	1
Pali	Tangent		alto	0.0 m	Area equivalente	0.6545 m
					Inerzia equivalente	0.0409 m <sup>4</sup> /m
					Classe CLS	C25/30
			fondo	-10 m	Spaziatura	1.20 m
					Diametro	1.00 m
					Efficacia	1

Tabella n. 7-1. Proprietà dell'opera di sostegno

### 7.4 AZIONI ESTERNE

In figura 7.5 è rappresentato, con il suo valore caratteristico, il carico applicato sul rilevato sostenuto dal muro in progetto per simulare il traffico veicolare. Trattandosi di un carico variabile, nelle combinazioni SLU-STR e SLU-GEO, detto valore è amplificato, rispettivamente, del 50% e del 30%.

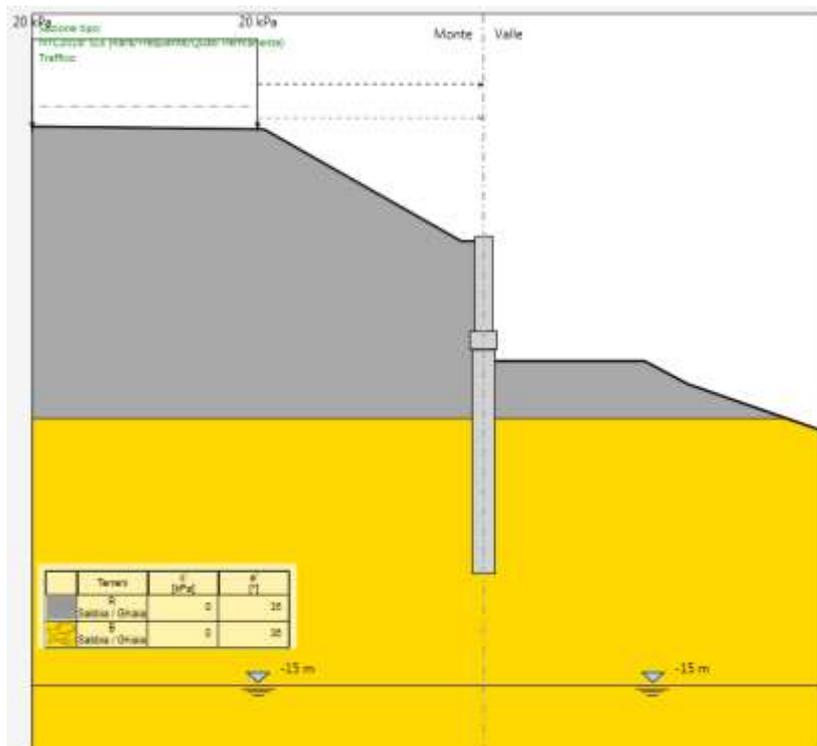


Figura 7-5 Carico esterno agente in presenza di traffico

## 7.5 AZIONE SISMICA

Nelle figure 7-6 e 7-7 sono riportati rispettivamente i dati di input per la valutazione dell'azione sismica e il diagramma trapezio di pressione applicato alla paratia per simulare l'azione sismica nella combinazione SLV.

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base  $a_g / g$  : 0.2104 NTC

Fattore importanza I: 1

Coefficiente  $S_s$ : 1.3929

Coefficiente  $S_r$ : 1

$A_{max} / g =$  0.29306616

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R:

Input diretto

Da formule:

$U_s$  [m]  $T_c$  [m/s]

$V_{max}$  [m/s]  $V_{max}/a_{max}$  [m/s]

$R_w$  [ ]

NTC

$U_{ps}$  [m] 0.07525

$\beta =$  0.5581

$\alpha =$  1

$k_b = \alpha \beta A_{max}$  0.1636

3. Definizione calcolo

Modalità spinta:  Paratia fuori terra  Paratia intera

Comportamento idraulico:  Terreno pervio  Terreno impervio

$k_{w1}$  (%  $k_w$ ): 0.5

$k_{w2}$  (%  $k_w$ ): -0.5

$R_d$ : 0

Includi inerzia paratia:

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]: 1

Valore Applicato: 0.29306616

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia:  Flessibile (usa kh)  Rigido (usa amax)

Metodo:  Wood  Mononobe-Okabe  Semirigido

$B =$  0.375 Correlazione  $\alpha1 - \alpha2$

$\alpha1 =$  1.6

$\alpha2 =$  0.4

Figura 7-6. Dati di INPUT per la valutazione dell'azione sismica con approccio pseudo-statico

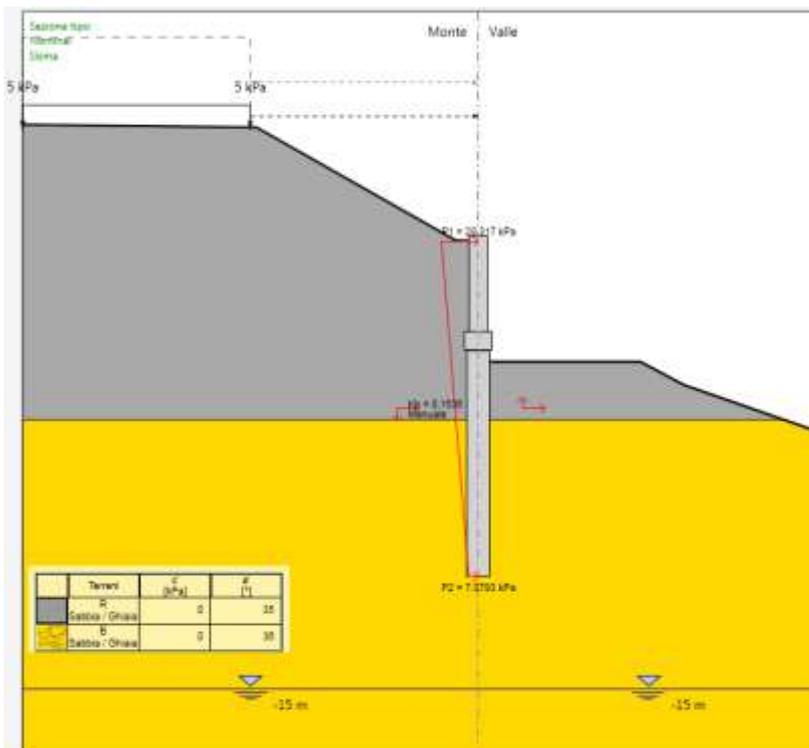


Figura 7-7. Diagramma di carico applicato al muro in condizioni sismiche

## 8 ANALISI DELL'OPERA - RISULTATI

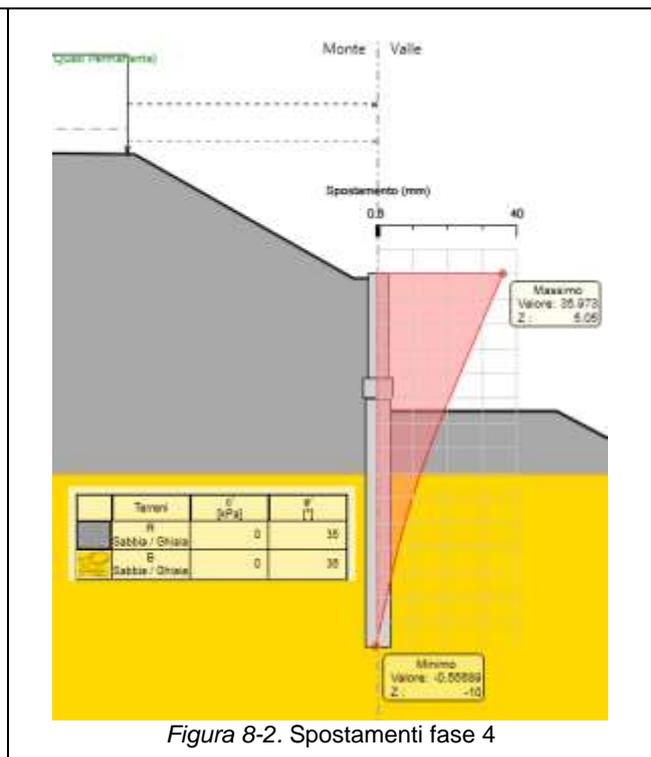
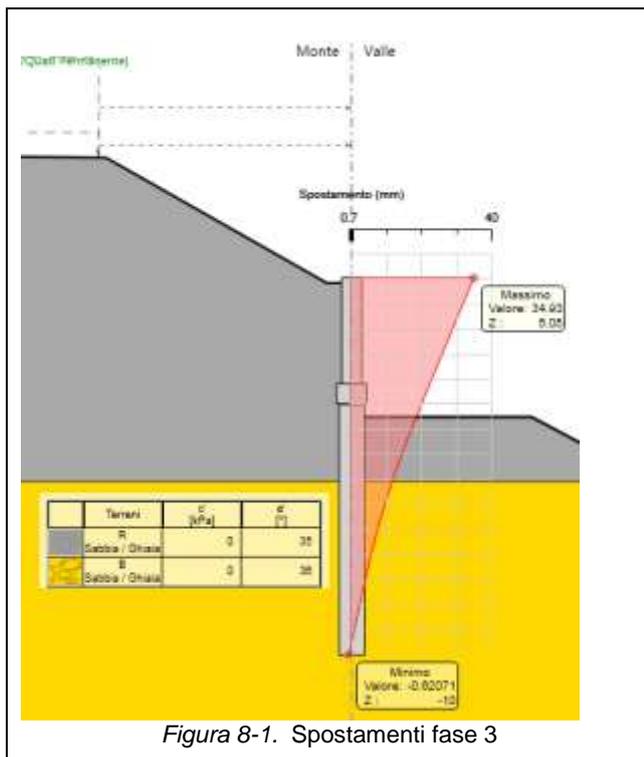
### 8.1 SPOSTAMENTI

Nelle seguenti figure è riportato il grafico degli spostamenti dell'opera di sostegno con la profondità nella fase di ampliamento della sede stradale, in assenza di carichi esterni (fase 3, figura 8-1) e in presenza di carico da traffico (fase 4, figura 8-2).

Si osserva che:

- Lo spostamento massimo in esercizio, calcolato come differenza tra lo spostamento ottenuto in fase 4 e lo spostamento ottenuto in fase 3, risulta pari a  $\Delta s = 35,97 \text{ mm} - 34,93 \text{ mm} = 1,04 \text{ mm}$ , cioè allo 0,02% dell'altezza di calcolo del muro ( $H = 5,6 \text{ m} = 5,1 \text{ m} + 0,50 \text{ m}$ );
- Lo spostamento totale massimo, comprensivo della deformazione a fine costruzione,  $s_{max} = 35,97 \text{ mm}$  risulta pari allo 0.64% circa dell'altezza di calcolo del muro.

Le condizioni di accettabilità degli spostamenti del muro imposte (cfr. § 5.4) sono pertanto rispettate.



## 8.2 SOLLECITAZIONI NELLA STRUTTURA

Nelle successive figure sono illustrati i grafici delle sollecitazioni di momento flettente e taglio calcolate nell'opera di sostegno in esame nelle combinazioni SLU-STR (fase 4) e SLU-GEO (fase 4) e SLV (fase 5).

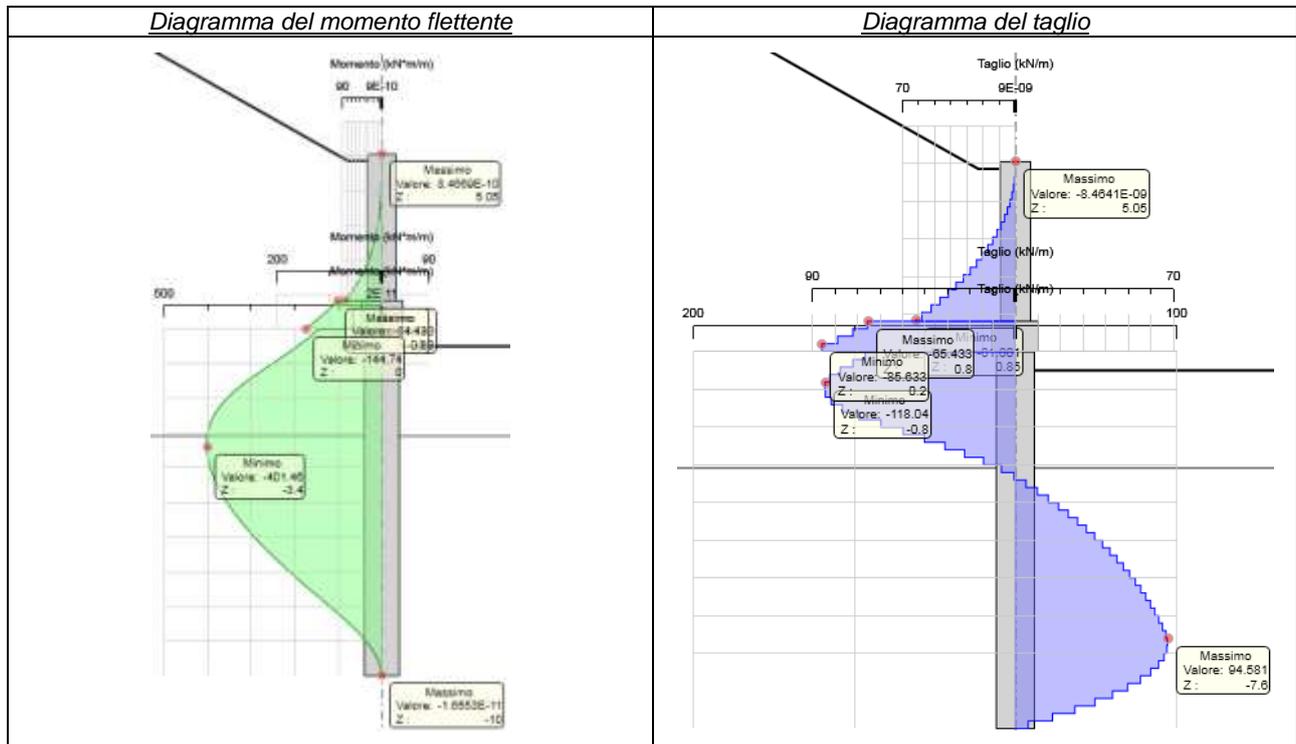


Figura 8-3. Sollecitazioni nelle strutture nella combinazione SLU A1+M1+R1 in presenza di traffico

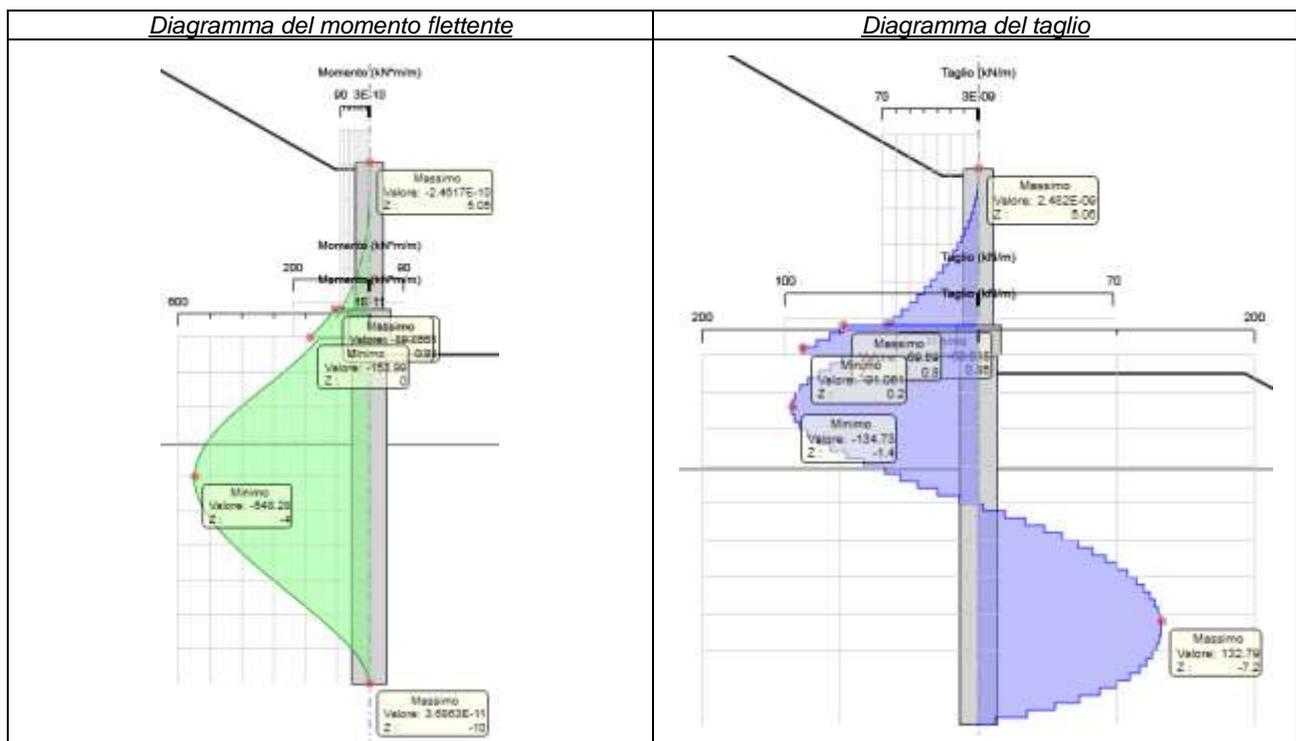


Figura 8-4. Sollecitazioni nelle strutture nella combinazione SLU A2+M2+R1 in presenza di traffico

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**

**PROGETTO DEFINITIVO**

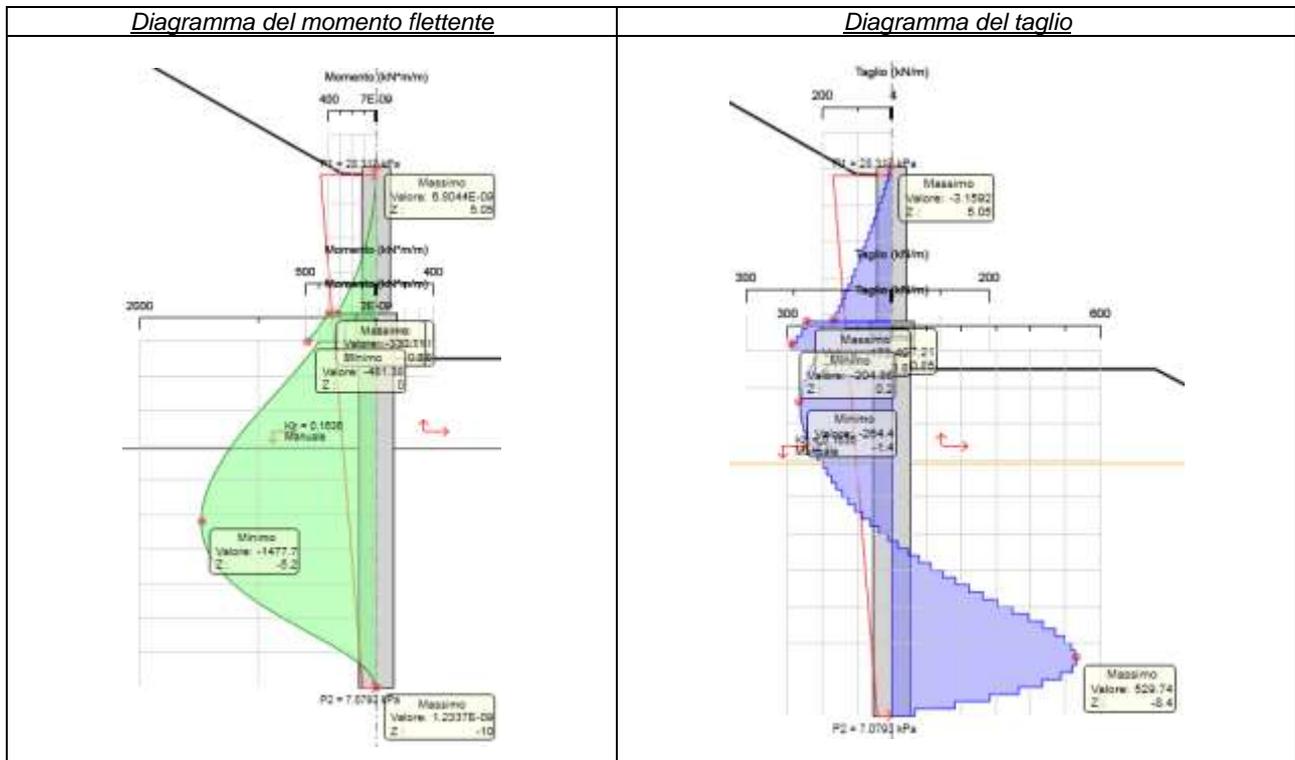


Figura 8-5. Sollecitazioni nelle strutture nella combinazione SLV (sisma)

Dalle azioni massime per metro lineare riportate in figura si ottengono le azioni di progetto per ciascun elemento strutturale sintetizzate in Tabella 8-1. Per completezza sono riportate anche le sollecitazioni massime in esercizio.

C.d.C.	Fase	Sezione	Azione	Setto in elevazione	Pali
SLE	4	M <sub>max</sub>	M (kNm)	64.7	369.3
			V (kN)	47.2	0.7
		V <sub>max</sub>	M (kNm)	64.7	231.7
			V (kN)	47.2	108.7
SLU-STR	4	M <sub>max</sub>	M (kNm)	84.4	481.8
			V (kN)	61.6	0.7
		V <sub>max</sub>	M (kNm)	84.4	302.1
			V (kN)	61.6	141.6
SLU-GEO	4	M <sub>max</sub>	M (kNm)	89.9	657.9
			V (kN)	65.5	16.2
		V <sub>max</sub>	M (kNm)	89.9	418.8
			V (kN)	65.5	161.7
SLV	5	M <sub>max</sub>	M (kNm)	330.1	1773.3
			V (kN)	167.2	14.7
		V <sub>max</sub>	M (kNm)	330.1	557.9
			V (kN)	167.2	635.7

Tabella n. 8-1. Azioni di progetto per le verifiche strutturali

## 9 ANALISI DELL'OPERA - VERIFICHE

### 9.1 VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI

In figura 9-1 e in Figura 9-2 sono rappresentati i diagrammi di spinta a monte e a valle del muro nelle due combinazioni di carico più sfavorevoli ai fini delle verifiche geotecniche: SLU-GEO (traffico) e SLV.  
In entrambi i casi la spinta passiva mobilitata a valle dell'opera è inferiore al 90% della resistenza disponibile:

- Combinazione SLU-GEO - fase 5: Thrust ratio =  $997.38/2188 = 0.456$ .
- Combinazione SLV – fase 6: Thrust ratio =  $1431.6/2139.5 = 0.669$ .

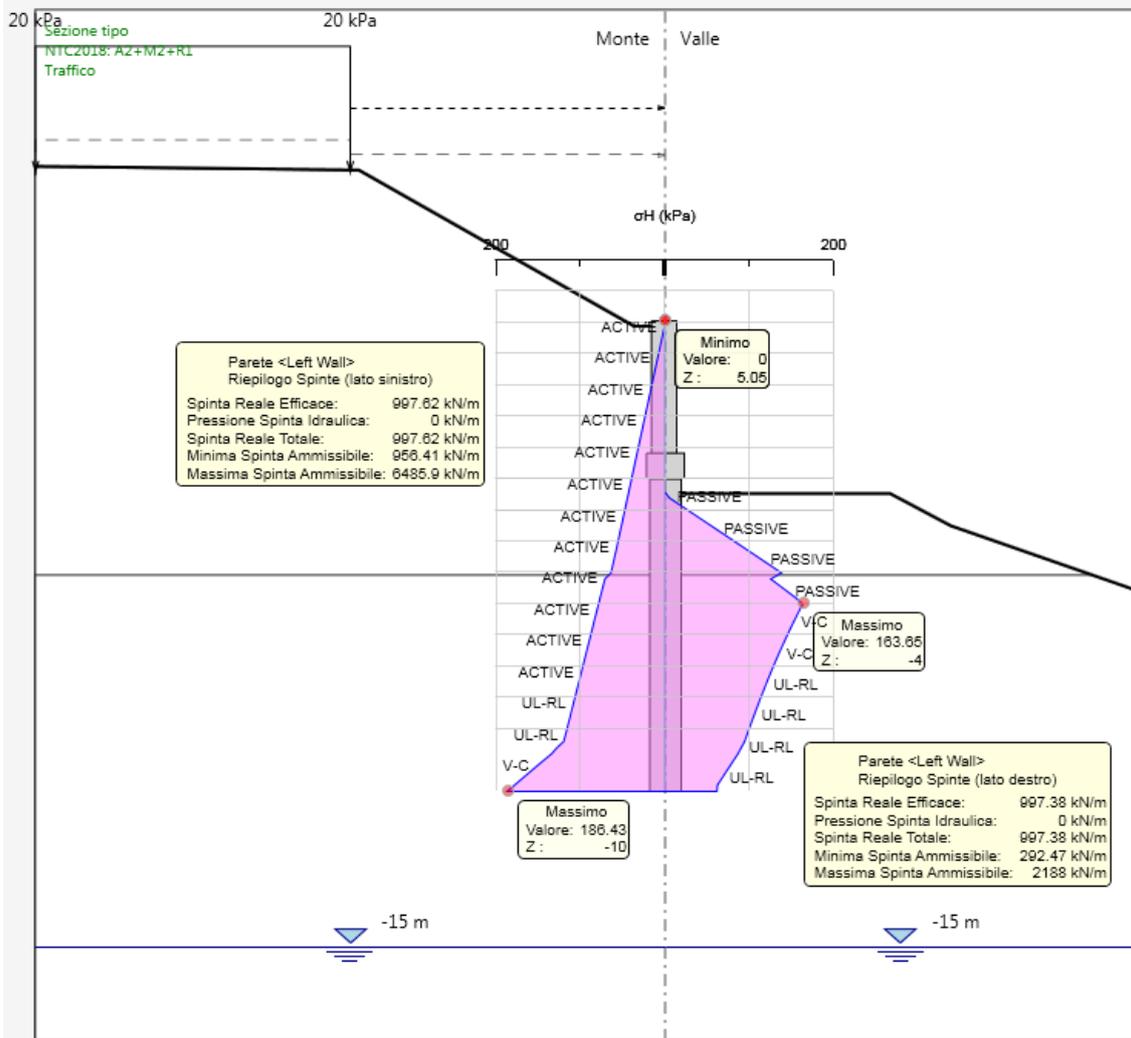


Figura 9-1. Riepilogo spinte fase 4 (traffico) – combinazione A2+M2+R1

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**

**PROGETTO DEFINITIVO**

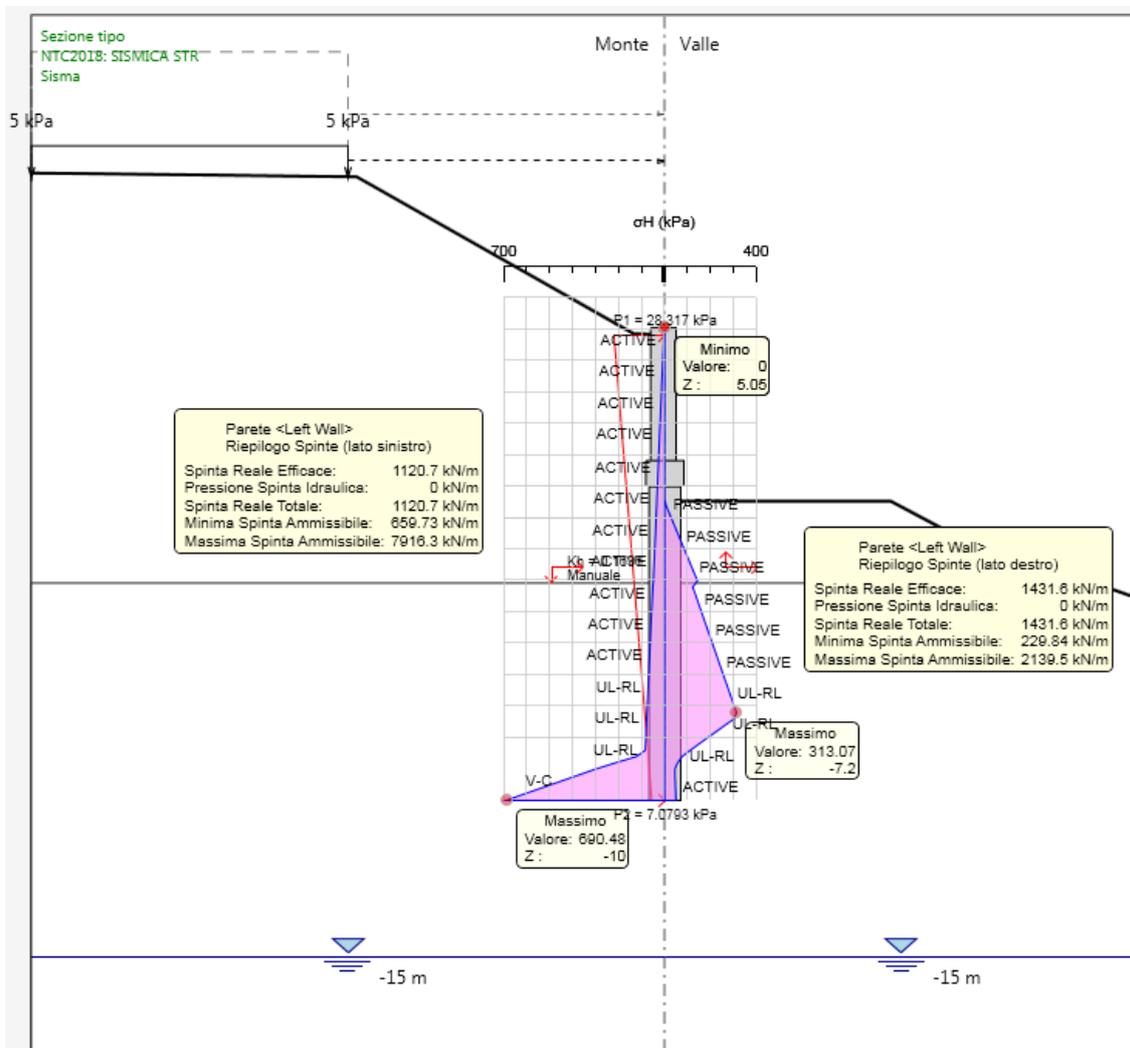


Figura 9-2. Riepilogo spinte fase 5 (sisma) – combinazione SLV

## 9.2 VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI

La verifica strutturale dei pali viene svolta trascurando (a favore di sicurezza) la componente assiale del carico.

Si dispongono:

26φ26 con staffe a spirale φ12 passo 15 cm.

Segue tabulato di calcolo.

### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Palo 1000

Descrizione Sezione:	Palo diametro 1000 mm
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive



**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7,2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7,4 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6,0 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue  
Area efficace barre inf. (per presenza di torsione) = 138,0 cm<sup>2</sup>

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d
C.Rid.								
1	S	0	177330	-11	186313	1,051	21,4	0,31
0,83								
2	S	0	55790	-11	186313	3,340	21,4	0,31
0,83								

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00350	-0,00175	50,0	0,00246	41,5	-0,00771	-41,5
2	0,00350	-0,00175	50,0	0,00246	41,5	-0,00771	-41,5

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 15,0 cm [Passo massimo di normativa = 17,3 cm]  
N.Bracci staffe: 2  
Area staffe/m : 15,1 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima normativa = 13,1 cm<sup>2</sup>/m]

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe  
Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato  
Vwd Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe  
bw Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Afst Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	1470	22041	149878	104089	87,0	21,80	1,000	0,2
2	S	63570	22041	149878	104089	87,0	21,80	1,000	9,2

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb.	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Yf min	Dw Eff.	Ac eff.	Af eff.
1	S	42,3	-50,0	0,0	-50,0	-1073	41,5	26,7	2404	47,8

Dbarre

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
ScI_min	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Sc_Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm <sup>2</sup> ]
K3	Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

N.Comb.	Ver	ScImax	ScImin	Sc Eff	K3	Beta12	Eps	Srm
1	S	27,6	-27,6	-12,9	0,183	1,0	0,000215	260

Ap.Fess.

**9.3 VERIFICA STRUTTURALE DEL SETTO IN ELEVAZIONE**

La verifica strutturale del setto in elevazione viene svolta trascurando (a favore di sicurezza) la componente assiale del carico.

Si dispongono 5φ26 + 5φ26 e staffe chiuse φ12 passo 10 cm.

Segue tabulato di calcolo.

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: Setto 800**

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Rettangolare

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Moderat. aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
 Riferimento alla sismicità: Zona sismica (CD'B')  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C28/35  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 158,60 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd': 79,30 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0,0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0,0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 323080 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0,20  
 Resis. media a trazione fctm: 28,80 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15,0  
 Combinazioni Rare in Esercizio  
     Sc Limite : 168,00 daN/cm<sup>2</sup>  
     Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500,0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk: 4500,0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913,0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd: 3913,0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0,068  
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Coeff. Aderenza ist.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 1,00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza diff.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0,50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Comb.Rare Sf Limite : 3600,0 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base: 100,0 cm  
 Altezza: 80,0 cm  
 Barre inferiori : 5Ø26 (26,5 cm<sup>2</sup>)  
 Barre superiori : 5Ø26 (26,5 cm<sup>2</sup>)  
 Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 6,0 cm  
 Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 6,0 cm

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione			
N.Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0	33010	16720	0

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

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione	
N.Comb.	N	Mx

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

1                    0                    6470

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4,7 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19,4 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 3,5 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver                    S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N                      Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
Mx                    Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
N ult                Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult                Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic.             Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)  
                         Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yneutro             Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
x/d                    Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)  
C.Rid.                Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue  
                         Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 26,5 cm<sup>2</sup>  
                         Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 26,5 cm<sup>2</sup>

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d
C.Rid.								

1	S	0	33010	23	73404	2,224	73,3	0,09
---	---	---	-------	----	-------	-------	------	------

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

ec max                Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7                Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Yc max                Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
ef min                Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Yf min                Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
ef max                Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Yf max                Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00350	-0,01452	80,0	0,00035	74,0	-0,03539	6,0

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe:                    12 mm  
Passo staffe:                        10,0 cm                    [Passo massimo di normativa = 15,1 cm]  
N.Bracci staffe:                    2  
Area staffe/m :                      22,6 cm<sup>2</sup>/m                    [Area Staffe Minima normativa = 15,0 cm<sup>2</sup>/m]

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver                    S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Vsdu                Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd                    Taglio resistente [daN] in assenza di staffe  
Vcd                    Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato  
Vwd                    Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe  
bw                    Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro  
Teta                  Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw                  Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]									
N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	16720	25680	182118	147369	100,0	21,80	1,000	2,6

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm <sup>2</sup> ])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

N.Comb. Ver Sc max Yc max Sc min Yc min Sf min Yf min Dw Eff. Ac eff. Af eff.  
Dbarre

1	S	5,0	80,0	-5,0	80,0	-64	74,0	0,0	0	47,8
---	---	-----	------	------	------	-----	------	-----	---	------

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax	Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
ScI_min	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Sc Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm <sup>2</sup> ]
K3	Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)
Beta12	Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps	Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm	Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess.	Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

N.Comb. Ver ScImax ScImin Sc Eff K3 Beta12 Eps Srm  
Ap.Fess.

1	S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000000	0
---	---	-----	-----	-----	-----	----------	---

## 9.4 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

In tabella n.9.1 sono riassunti i risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche e simiche per la configurazione finale di progetto.

Nelle successive figure.9.3 e 9.4 i risultati ottenuti sono riportati in forma grafica, mentre i tabulati di calcolo sono raccolti nell'allegato 1 cui si rimanda per i dettagli.

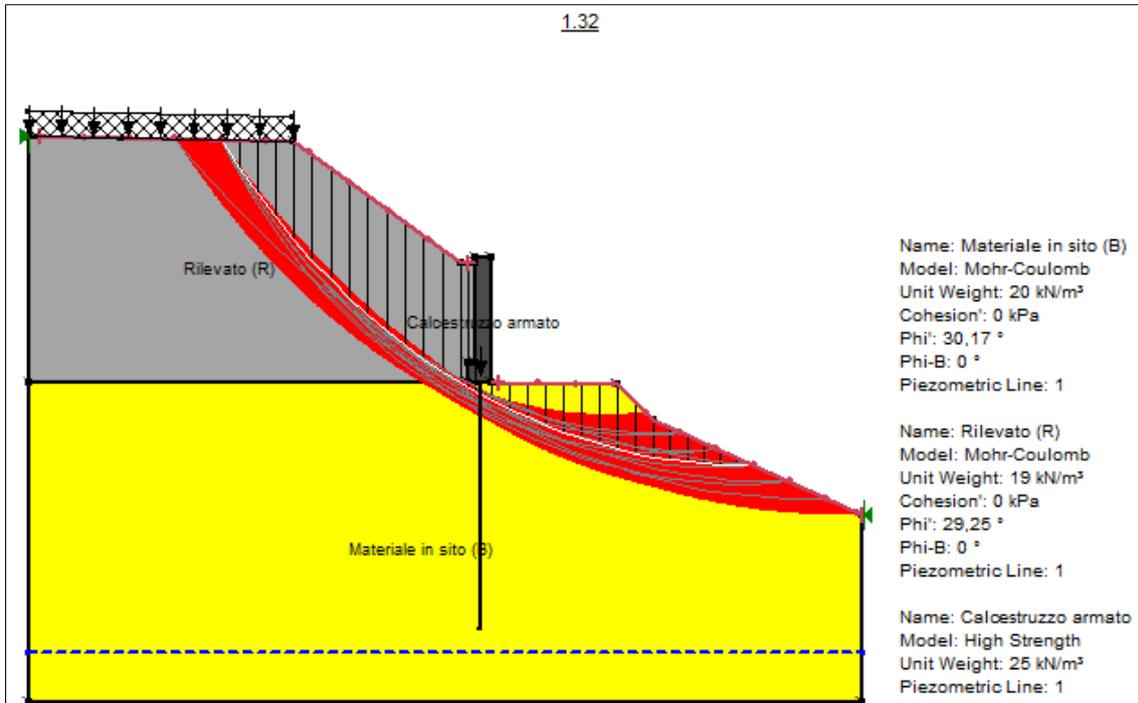
I pali sono modellati come rinforzi passivi con resistenza al taglio calcolata in assenza di staffe e in funzione dell'interasse ( $T_d = V_{rd}/(i \cdot \gamma_M) = 220/(1.2 \cdot 1.4) \approx 131$  kN/m).

ANALISI	METODO	FIGURA	FS <sub>min</sub>	VERIFICA
STATICA	<i>Bishop</i>	9.3	1.32	FS <sub>min</sub> > γ <sub>R</sub> = 1.1
SISMICA		9.4	1.40	FS <sub>min</sub> > γ <sub>R</sub> = 1.2

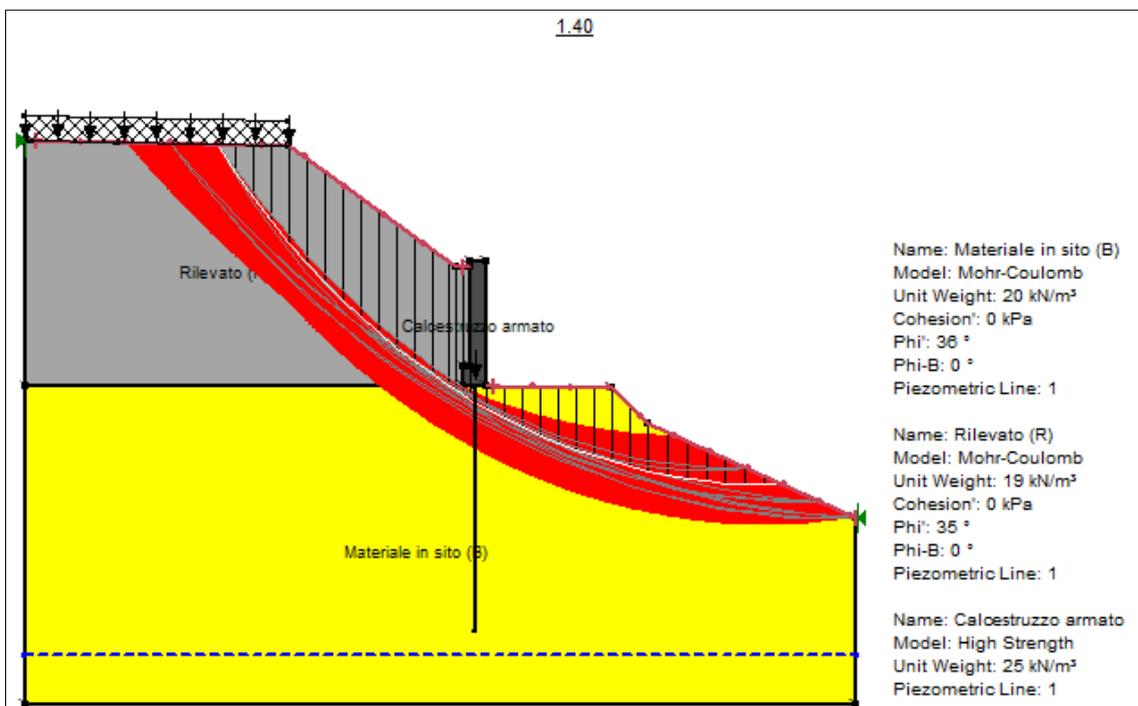
Tabella n. 9-1. Analisi di stabilità – coefficienti di sicurezza con e senza sisma

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**

**PROGETTO DEFINITIVO**



*Figura 9-3. Analisi di stabilità – Configurazione finale – Verifica statica*



*Figura 9-4. Analisi di stabilità – Configurazione finale – Verifica sismica*

---

## 10 ALLEGATO 1- REPORT ANALISI DI STABILITÀ

### 10.1 SLOPE/W MS035 ANALYSIS

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

#### Project Settings

Length(L) Units: **meters**  
Time(t) Units: **Seconds**  
Force(F) Units: **kN**  
Pressure(p) Units: **kPa**  
Strength Units: **kPa**  
Unit Weight of Water: **9,807 kN/m<sup>3</sup>**  
View: **2D**

#### Analysis Settings

Kind: **SLOPE/W**  
Method: **Bishop**  
Settings  
PWP Conditions Source: **Piezometric Line**  
Apply Phreatic Correction: **No**  
Use Staged Rapid Drawdown: **No**  
Slip Surface  
Direction of movement: **Left to Right**  
Use Passive Mode: **No**  
Slip Surface Option: **Entry and Exit**  
Critical slip surfaces saved: **1**  
Optimize Critical Slip Surface Location: **No**  
Tension Crack  
Tension Crack Option: **(none)**  
F of S Distribution  
F of S Calculation Option: **Constant**  
Advanced  
Number of Slices: **30**  
F of S Tolerance: **0,001**  
Minimum Slip Surface Depth: **0,1 m**  
Optimization Maximum Iterations: **2.000**  
Optimization Convergence Tolerance: **1e-007**  
Starting Optimization Points: **8**  
Ending Optimization Points: **16**  
Complete Passes per Insertion: **1**  
Driving Side Maximum Convex Angle: **5 °**  
Resisting Side Maximum Convex Angle: **1 °**

#### Materials

##### Materiale in sito (B)

PROGETTO DEFINITIVO

Model: **Mohr-Coulomb**  
Unit Weight: **20 kN/m<sup>3</sup>**  
Cohesion': **0 kPa**  
Phi': **30,17 °**  
Phi-B: **0 °**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**

### Rilevato (R)

Model: **Mohr-Coulomb**  
Unit Weight: **19 kN/m<sup>3</sup>**  
Cohesion': **0 kPa**  
Phi': **29,25 °**  
Phi-B: **0 °**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**

### Calcestruzzo armato

Model: **High Strength**  
Unit Weight: **25 kN/m<sup>3</sup>**  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: **1**

### Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: **Range**  
Left-Zone Left Coordinate: **(-23, 23.051643) m**  
Left-Zone Right Coordinate: **(-0.6, 17.85) m**  
Left-Zone Increment: **10**  
Right Projection: **Range**  
Right-Zone Left Coordinate: **(1, 12.996947) m**  
Right-Zone Right Coordinate: **(20, 7.64) m**  
Right-Zone Increment: **10**  
Radius Increments: **20**

### Slip Surface Limits

Left Coordinate: **(-23.55, 23.06) m**  
Right Coordinate: **(20, 7.64) m**

### Piezometric Lines

#### Piezometric Line 1

### Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	-23,55	2
Coordinate 2	20	2

### Surcharge Loads

## Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 26 kN/m<sup>3</sup>

Direction: Vertical

## Coordinates

	X (m)	Y (m)
	-23,55	24,06
	-9,73	23,85

## Reinforcements

### Reinforcement 1

Type: Pile

Outside Point: (0, 13) m

Inside Point: (0, 3) m

Slip Surface Intersection: (0, 12.558364) m

Total Length: 10 m

Reinforcement Direction: 90 °

F of S Dependent: No

Shear Force: 220 kN

Shear Reduction Factor: 1,4

Pile Spacing: 1,2 m

Shear Option: Parallel to Slip

Shear Force Applied: 130,95238 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

## Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	-23,55	13
Point 2	-23,55	23,06
Point 3	-9,73	22,85
Point 4	-0,98	17,85
Point 5	-0,2	17,85
Point 6	-0,2	13,8
Point 7	-0,6	13,8
Point 8	-0,6	13
Point 9	-0,2	18,1
Point 10	0,6	18,1
Point 11	0,6	13
Point 12	-23,55	0
Point 13	7,15	12,95
Point 14	9,08	11,47

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

Point 15	20	7,64
Point 16	20	0

### Regions

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	Rilevato (R)	1,2,3,4,5,6,7,8	205,35
Region 2	Calcestruzzo armato	8,7,6,5,9,10,11	4,4
Region 3	Materiale in sito (B)	12,1,8,11,13,14,15,16	526,84

### Current Slip Surface

Slip Surface: 1.079

F of S: 1.32

F of S Rank: 1

Exit: (14,294408, 9,6411372) m

Entry: (-13,509354, 22,907429) m

Radius: 35,220452 m

Center: (14,032213, 44,860613) m

### Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	-13,036935	22,339604	-199,4705	24,277421	13,596009	0
Slice 2	-12,092096	21,249084	-188,77577	38,863868	21,764812	0
Slice 3	-11,147258	20,243184	-178,91091	52,964512	29,661552	0
Slice 4	-10,202419	19,311859	-169,7774	66,578528	37,285767	0
Slice 5	-9,2439167	18,435579	-161,18373	57,22154	32,045602	0
Slice 6	-8,27175	17,609578	-153,08313	62,16006	34,811306	0
Slice 7	-7,2995833	16,841665	-145,55221	66,348956	37,157201	0
Slice 8	-6,3274167	16,127169	-138,54515	69,81315	39,097242	0
Slice 9	-5,35525	15,462187	-132,02367	72,574237	40,643526	0
Slice 10	-4,3830834	14,84342	-125,95542	74,650783	41,806447	0
Slice 11	-3,4109167	14,268059	-120,31286	76,058582	42,594853	0
Slice 12	-2,43875	13,733693	-115,07233	76,810896	43,016169	0
Slice 13	-1,4663334	13,238122	-110,21226	76,918517	43,076439	0
Slice 14	-0,79	12,911617	-107,01023	77,990155	45,336703	0
Slice 15	-0,4	12,733625	-105,26466	85,391409	49,639149	0
Slice 16	0,2	12,472947	-102,70819	62,078647	36,087134	0
Slice 17	1,0678571	12,116873	-99,216177	14,980193	8,7081831	0
Slice 18	2,0035714	11,761607	-95,73208	21,167319	12,304841	0
Slice 19	2,9392857	11,436308	-92,54187	26,975684	15,68132	0
Slice 20	3,875	11,140108	-89,637035	32,401516	18,835427	0

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

Slice 21	4,8107143	10,872245	-87,010105	37,440613	21,764721	0
Slice 22	5,7464286	10,632054	-84,65455	42,088258	24,466458	0
Slice 23	6,6821429	10,418955	-82,564689	46,339145	26,937554	0
Slice 24	7,6325	10,229945	-80,711075	43,46524	25,266916	0
Slice 25	8,5975	10,065418	-79,09755	33,208379	19,304468	0
Slice 26	9,514534	9,9338494	-77,807261	26,184018	15,221114	0
Slice 27	10,383602	9,8323817	-76,812168	22,573026	13,121997	0
Slice 28	11,25267	9,7527171	-76,030897	18,461717	10,732039	0
Slice 29	12,121738	9,6947073	-75,461994	13,838181	8,0443167	0
Slice 30	12,990806	9,6582451	-75,10441	8,689002	5,0510311	0
Slice 31	13,859874	9,6432637	-74,957487	2,9991153	1,7434252	0

## 10.2 SLOPE/W MS035 SEISMIC ANALYSIS

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

### Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)  
 Time(t) Units: [Seconds](#)  
 Force(F) Units: [kN](#)  
 Pressure(p) Units: [kPa](#)  
 Strength Units: [kPa](#)  
 Unit Weight of Water: [9,807 kN/m<sup>3</sup>](#)  
 View: [2D](#)

### Analysis Settings

Kind: [SLOPE/W](#)  
 Method: [Bishop](#)  
 Settings  
     PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)  
     Apply Phreatic Correction: [No](#)  
     Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)  
 Slip Surface  
     Direction of movement: [Left to Right](#)  
     Use Passive Mode: [No](#)  
     Slip Surface Option: [Entry and Exit](#)  
     Critical slip surfaces saved: [1](#)  
     Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)  
     Tension Crack  
         Tension Crack Option: [\(none\)](#)  
 F of S Distribution  
     F of S Calculation Option: [Constant](#)  
 Advanced  
     Number of Slices: [30](#)

F of S Tolerance: 0,001  
 Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m  
 Optimization Maximum Iterations: 2.000  
 Optimization Convergence Tolerance: 1e-007  
 Starting Optimization Points: 8  
 Ending Optimization Points: 16  
 Complete Passes per Insertion: 1  
 Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °  
 Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

## Materials

### Materiale in sito (B)

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 0 kPa  
 Phi': 36 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

### Rilevato (R)

Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion': 0 kPa  
 Phi': 35 °  
 Phi-B: 0 °  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

### Calcestruzzo armato

Model: High Strength  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>  
 Pore Water Pressure  
 Piezometric Line: 1

### Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range  
 Left-Zone Left Coordinate: (-23, 23.051643) m  
 Left-Zone Right Coordinate: (-0.6, 17.85) m  
 Left-Zone Increment: 10  
 Right Projection: Range  
 Right-Zone Left Coordinate: (1, 12.996947) m  
 Right-Zone Right Coordinate: (20, 7.64) m  
 Right-Zone Increment: 10  
 Radius Increments: 20

### Slip Surface Limits

Left Coordinate: (-23.55, 23.06) m

Right Coordinate: (20, 7.64) m

## Piezometric Lines

### Piezometric Line 1

#### Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	-23,55	2
Coordinate 2	20	2

## Surcharge Loads

### Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 20 kN/m<sup>3</sup>

Direction: Vertical

#### Coordinates

	X (m)	Y (m)
	-23,55	24,06
	-9,73	23,85

## Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0,11134

Vert Seismic Load: 0,05567

Ignore seismic load in strength: Yes

## Reinforcements

### Reinforcement 1

Type: Pile

Outside Point: (0, 13) m

Inside Point: (0, 3) m

Slip Surface Intersection: (0, 12.371246) m

Total Length: 10 m

Reinforcement Direction: 90 °

F of S Dependent: No

Shear Force: 220 kN

Shear Reduction Factor: 1

Pile Spacing: 1,2 m

Shear Option: Parallel to Slip

Shear Force Applied: 183,33333 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

## Points

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGOPANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

	X (m)	Y (m)
Point 1	-23,55	13
Point 2	-23,55	23,06
Point 3	-9,73	22,85
Point 4	-0,98	17,85
Point 5	-0,2	17,85
Point 6	-0,2	13,8
Point 7	-0,6	13,8
Point 8	-0,6	13
Point 9	-0,2	18,1
Point 10	0,6	18,1
Point 11	0,6	13
Point 12	-23,55	0
Point 13	7,15	12,95
Point 14	9,08	11,47
Point 15	20	7,64
Point 16	20	0

### Regions

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	Rilevato (R)	1,2,3,4,5,6,7,8	205,35
Region 2	Calcestruzzo armato	8,7,6,5,9,10,11	4,4
Region 3	Materiale in sito (B)	12,1,8,11,13,14,15,16	526,84

### Current Slip Surface

Slip Surface: 1.100

F of S: 1.40

F of S Rank: 1

Exit: (16,196272, 8,9740915) m

Entry: (-13,509354, 22,907429) m

Radius: 37,26631 m

Center: (15,552812, 46,234846) m

### Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	-13,036935	22,342137	-199,49534	20,997619	14,702691	0
Slice 2	-12,092096	21,254045	-188,82442	35,84043	25,095739	0
Slice 3	-11,147258	20,245898	-178,93752	50,177307	35,134528	0
Slice 4	-10,202419	19,308677	-169,74619	64,011565	44,82138	0
Slice 5	-9,2620055	18,438998	-161,21726	58,693662	41,097745	0

**AUTOSTRADA A14 BOLOGNA - BARI - TARANTO  
TRATTO BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO  
POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA  
AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA  
“PASSANTE DI BOLOGNA”**



**PROGETTO DEFINITIVO**

Slice 6	-8,3260166	17,630514	-153,28846	63,620671	44,547673	0
Slice 7	-7,3900276	16,874137	-145,87066	67,861295	47,516991	0
Slice 8	-6,4540386	16,165924	-138,92522	71,43917	50,022245	0
Slice 9	-5,5180497	15,502539	-132,4194	74,37509	52,077999	0
Slice 10	-4,5820607	14,881131	-126,32525	76,687277	53,697009	0
Slice 11	-3,6460718	14,299246	-120,6187	78,391616	54,890401	0
Slice 12	-2,7100828	13,754755	-115,27889	79,501867	55,667806	0
Slice 13	-1,7740939	13,245806	-110,28762	80,029842	56,037499	0
Slice 14	-1,1430497	12,918291	-107,07568	79,707849	57,911142	0
Slice 15	-0,79	12,743867	-105,3651	81,495822	59,210181	0
Slice 16	-0,4	12,556415	-103,52676	89,08156	64,721542	0
Slice 17	0,2	12,280813	-100,82394	40,246538	29,240821	0
Slice 18	1,0678571	11,902556	-97,114371	18,740657	13,615884	0
Slice 19	2,0035714	11,522547	-93,387616	25,401328	18,455145	0
Slice 20	2,9392857	11,171623	-89,946106	31,688034	23,022704	0
Slice 21	3,875	10,848919	-86,781345	37,59904	27,317302	0
Slice 22	4,8107143	10,553668	-83,885819	43,132242	31,337408	0
Slice 23	5,7464286	10,285193	-81,252889	48,285102	35,08118	0
Slice 24	6,6821429	10,042898	-78,876706	53,054605	38,546427	0
Slice 25	7,6325	9,8232721	-76,72283	50,754655	36,875415	0
Slice 26	8,5975	9,6266461	-74,794518	41,16434	29,907643	0
Slice 27	9,5883051	9,4525491	-73,087149	34,56014	25,109411	0
Slice 28	10,604915	9,3020262	-71,610971	31,014349	22,533243	0
Slice 29	11,621526	9,1800005	-70,414265	26,84229	19,502065	0
Slice 30	12,638136	9,086191	-69,494275	22,031333	16,0067	0
Slice 31	13,654746	9,0203842	-68,848908	16,566848	12,03652	0
Slice 32	14,671356	8,9824315	-68,476706	10,432024	7,5793091	0
Slice 33	15,687967	8,9722478	-68,376834	3,6076482	2,6211099	0