

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

CORPO STRADALE da pk 13+184 a pk 13+465

MURO DI SOSTEGNO MS034

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

RIFERIMENTO PROGETTO			CODICE IDENTIFICATIVO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	--
111465	0000	PD	A2	C06	MS034	00000	R	A P E	0910	0	SCALA -

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

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

Sommar

1	PREMESSA	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA	5
1.3	SOFTWARE DI CALCOLO	5
2	MATERIALI	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO	7
3.1	LIVELLO DELLA FALDA	8
4	INQUADRAMENTO SISMICO	9
4.1	CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA E VITA ATTESA	9
4.2	TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO	9
4.3	ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO	10
4.4	PARAMETRI DI RISENTIMENTO IN SUPERFICIE	11
4.4.1	<i>Effetti stratigrafici</i>	11
4.4.2	<i>Effetti topografici</i>	11
4.5	ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO	11
5	ANALISI DELL'OPERA – METODO DI CALCOLO	12
5.1	ANALISI DELLA STRUTTURA	12
5.2	VERIFICHE STRUTTURALI	12
5.3	VERIFICA DELLA LUNGHEZZA DI IMMORSAMENTO DEI PALI	12
5.4	VERIFICA DEI TIRANTI	13
5.4.1	<i>Verifica di resistenza allo sfilamento (GEO)</i>	13
5.4.2	<i>Verifica di resistenza della barra di ancoraggio (STR)</i>	14
5.5	VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI IN ESERCIZIO	14
6	ANALISI DEI CARICHI	15
6.1	PESI PROPRI	15
6.2	SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI STATICHE	15
6.3	SPINTA DELLA TERRA IN CONDIZIONI SISMICHE	15
6.3.1	<i>Azione sismica</i>	15
6.3.2	<i>Incremento del coefficiente di spinta attiva</i>	17
6.3.3	<i>Riduzione del coefficiente di spinta passiva</i>	17
6.4	AZIONE TRASMESSA DALLE BARRIERE FONOASSORBENTI	17
6.5	TRAFFICO VEICOLARE	18
6.6	URTO	18
6.7	COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI PARZIALI	19
7	ANALISI MURO TIPO 1 - DATI DI INPUT	20
7.1	FASI DI CALCOLO	20
7.2	COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA	21
7.3	OPERA DI SOSTEGNO	23
7.4	AZIONI ESTERNE	23
7.5	AZIONE SISMICA	25
8	ANALISI MURO TIPO 1 - RISULTATI	27
8.1	SPOSTAMENTI	27

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



PROGETTO DEFINITIVO

8.2	SOLLECITAZIONI NELLA STRUTTURA	28
9	ANALISI MURO TIPO 1 - VERIFICHE.....	30
9.1	VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI.....	30
9.2	VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI.....	31
9.3	VERIFICA STRUTTURALE DEL SETTO IN ELEVAZIONE	34
10	ANALISI MURO TIPO 2 - DATI DI INPUT	38
10.1	FASI DI CALCOLO.....	38
10.2	COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA	38
10.3	OPERA DI SOSTEGNO	40
10.4	AZIONI ESTERNE	40
10.5	AZIONE SISMICA	41
11	ANALISI MURO TIPO 2 - RISULTATI	43
11.1	SPOSTAMENTI	43
11.2	SOLLECITAZIONI NELLA STRUTTURA	45
12	ANALISI MURO TIPO 2 - VERIFICHE.....	49
12.1	VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI.....	49
12.2	VERIFICA DEI TIRANTI	50
12.3	VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI.....	50
12.4	VERIFICA STRUTTURALE DEL CORDOLO TESTA PALI.....	53

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli di progetto del muro di sostegno MS034, previsto nell'ambito dei lavori di potenziamento in sede del sistema autostradale e tangenziale di Bologna, in corrispondenza dello svincolo di Via C. Colombo (progressiva pk. 12+750 circa della carreggiata NORD).

Il muro corre lungo la corsia di immissione dello svincolo, per una lunghezza di circa 123 m, poi prosegue lungo l'autostrada fino alla spalla del Cavalcavia Colombo, per ulteriori 180 m circa.

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La geometria dell'opera, rappresentata in sezione in Figura 1-1 e in Figura 1-2, è di seguito descritta.

A. Muro tipo 1

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ▪ Altezza del muro (compreso cordolo di altezza 0.80 m): | 2.50 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: | 2.00 m |
| ▪ Dimensione trave di testa dei pali: | 1.20 x 0.80 m. |

B. Muro tipo 2

- | | |
|--|-----------------------------------|
| ▪ Altezza del muro (compreso cordolo di altezza 1.00 m): | 2.50 m ÷ 5.30 m |
| ▪ Tipologia di fondazione: | pali trivellati ad elica continua |
| ▪ Lunghezza pali di fondazione: | 15.00 m |
| ▪ Diametro pali di fondazione: | 1.00 m |
| ▪ Interasse pali di fondazione: | 1.20 m |
| ▪ Dimensione trave di testa dei pali: | 1.80 x 1.00 m. |
| ▪ Tiranti ¹ : | a barra tipo DYWIDAG Φ 32 |
| ▪ Iniezione tiranti: | Tipo IRS |
| ▪ Lunghezza tratto libero tiranti: | 10.00 m |
| ▪ Lunghezza bulbo tiranti: | 15.00 m |
| ▪ Diametro di perforazione dei tiranti: | 200 mm |
| ▪ Inclinazione sulla verticale dei tiranti: | 20° |
| ▪ Interasse longitudinale dei tiranti: | 3.60m. |

Alla sommità del muro è prevista l'installazione delle barriere antifoniche FO 011 (h = 4.00 m), FO 013 (h = 4.00 m + 2.00 m di sbraccio) e FO 015 (h = 4.00 m).

Il muro assolve inoltre la funzione di redirettivo, è destinato cioè ad assorbire l'impatto di eventuali veicoli in svio. Ai fini del dimensionamento geotecnico dell'opera in oggetto, questo aspetto è poco significativo nei tratti in cui essa si configura come muro di controripa.

Ciò premesso, i calcoli riportati nella presente relazione sono stati svolti:

- Per il Muro tipo 1, con riferimento alla sezione tipo riportata in Figura 1-1, tenendo conto delle azioni del vento e dell'urto dei veicoli oltre che del sisma;
- Per il Muro tipo 2, con riferimento alla sezione di altezza massima (5.30 m), tenendo conto della spinta della terra e dei sovraccarichi a monte, in condizioni statiche e sismiche.

¹ I tiranti sono previsti per altezze di ritenuta H >4.5 m.

PROGETTO DEFINITIVO

SEZIONE TIPO MURO MS034 SU FO 013-015

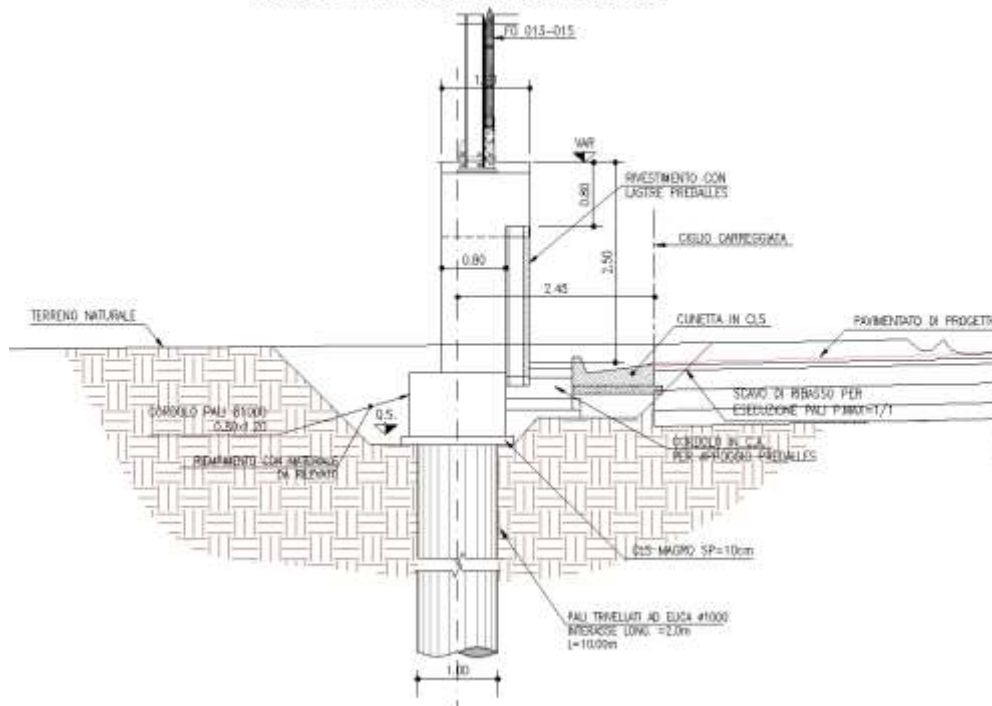


Figura 1-1. Sezione tipo 1 opera di sostegno MS034

SEZIONE TIPO MURO MS034 SU FO 011

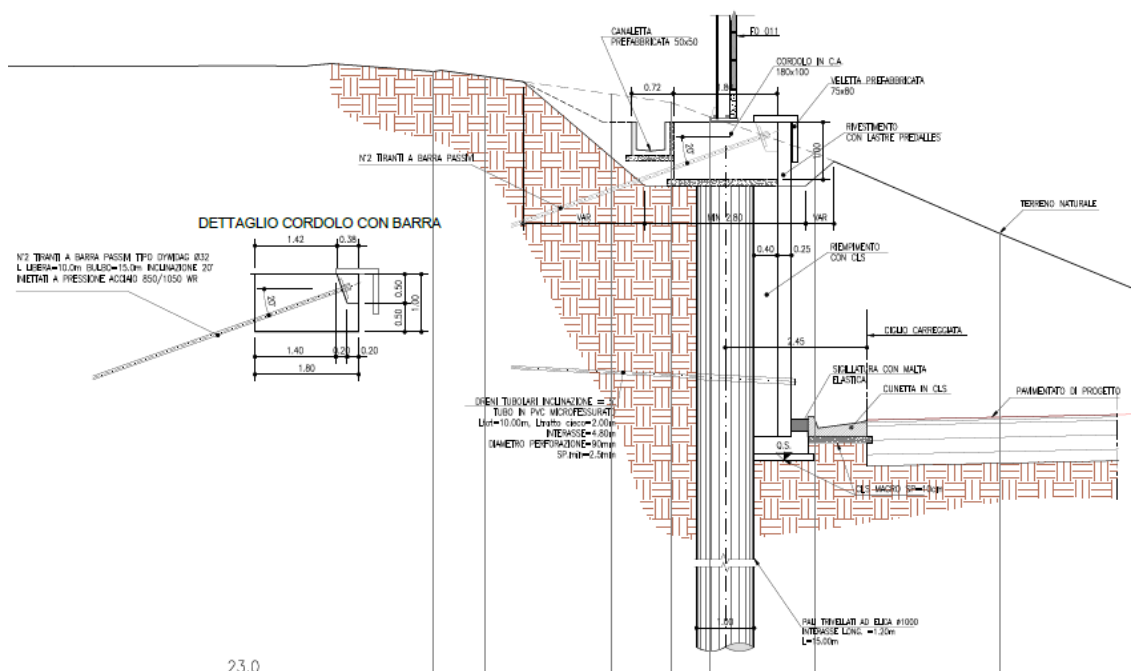


Figura 1-2. Sezione tipo 2 opera di sostegno MS034

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:

PARATIE PLUS 19.1 – *Harpaceas* (verifiche geotecniche)
RC-SEC - 2010.4Rev.192 – *Geostru* (verifiche strutturali sezioni in c.a.).

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

CALCESTRUZZO PER PREDALLES DI RIVESTIMENTO

- Classe di resistenza minima: C32/40
- Classe di esposizione: XF2
- Copriferro “nominale” (1): 30mm

ACCIAIO PER ANCORAGGI IN BARRA TIPO DYWIDAG

- Tensione di snervamento f_{pyk} : 950MPa
- Tensione di rottura f_{ptk} : 1'050MPa

MALTE PER TIRANTI DI ANCORAGGIO

- Classe di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- Eventuali additivi: secondo NTA

INIEZIONE BULBO TIRANTI DI ANCORAGGIO

- Tipo iniezioni: IRS (iniezioni ripetute e selettive)
- Tipo valvole di iniezione: a “manchettes”.

(1) – Copriferro *nominale di calcolo* secondo EN1992-1-1 comprensivo di $\Delta C_{dev} = 5\text{mm}$.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

I terreni rinvenuti nel sito di costruzione del muro in oggetto possono essere ascritti alle seguenti due unità geotecniche principali:

- La formazione A, costituita 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)

γ = peso di volume = 19 kN/mc

c' = coesione efficace = 5 kPa

ϕ' = 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)

γ = peso di volume = 19 kN/mc

c' = coesione efficace = 0 kPa

ϕ' = angolo di attrito = 28°

E' = modulo elastico operativo = 10 MPa

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

Formazione B

γ = peso di volume = 20 kN/mc

c' = coesione efficace = 0 kPa

ϕ' = angolo di attrito = 38°

E' = modulo elastico operativo = 30 MPa

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

Per quanto concerne i rilevati stradali esistenti e/o di nuova realizzazione (R), si considerano, cautelativamente, i seguenti parametri geotecnici:

γ = peso di volume = 19 kN/mc

c' = coesione efficace = 0 kPa

ϕ' = angolo di attrito = 35°

E' = modulo elastico operativo = 35 MPa.

Al terreno di riporto (Rip) presente, infine, sono assegnate le seguenti proprietà:

γ = peso di volume = 19 kN/mc

c' = coesione efficace = 0 kPa

ϕ' = angolo di attrito = 30°

E' = modulo elastico operativo = 10 MPa

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

La stratigrafia di riferimento, desunta dai documenti di progetto (sondaggi PB13bis e PB13ter, Servizi Geotecnici, 2017), è la seguente:

PROGETTO DEFINITIVO

Muro tipo 1		Muro tipo 2	
Profondità (m)	p.c. ~30 m s.l.m.	Profondità (m)	p.c. ~33.5 m s.l.m.
0÷1.0	Rip	0÷3.5	Rip
1.0÷10.5	A	3.5÷10.5	A
10.5÷14.5	B	10.5÷14.5	B
14.5÷19.0	A	14.5÷19.0	A
> 19	B	> 19	B

3.1 LIVELLO DELLA FALDA

Il livello piezometrico di progetto è assunto cautelativamente a 2 m dal p.c. locale.

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 _N
Parti d'opera provvisoriale con V _N ≤ 2anni	1	≤ 2
Parti d'opera provvisoriale con 2anni < V _N ≤ 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 _U	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_N = 50 anni
 Classe d'uso IV
 C_U = 2.0

Pertanto, il periodo di riferimento (V_R) rispetto al quale valutare le azioni sismiche, definito come prodotto tra la vita nominale V_N ed il coefficiente d'uso C_U (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_R e stabilita la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (funzione dello stato limite considerato come indicato in tabella n.4.3), è possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R 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: 44,531509
Longitudine: 11,338774

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	16730	44,5150	11,3175	2625,137
2	16731	44,5163	11,3875	4193,641
3	16509	44,5662	11,3858	5236,675
4	16508	44,5650	11,3157	4088,870

Tabella n.4.4 – Reticolo di riferimento – Coordinate

STATI LIMITE	V_R = 100 anni (C.U. IV, V_N = 50 anni)			
	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c* (-)
SLV	949	0.213	2.437	0.305

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_S, per gli effetti stratigrafici e S_T, per gli effetti topografici.

4.4.1 Effetti stratigrafici

Il parametro S_S 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_S riportate in tabella 3.2.IV delle NTC, si ottiene:

$$S_S (SLV) = 1.7 - 0.6 * F_o * a_g/g \cong 1.39.$$

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_{max}) è calcolata come prodotto dell'accelerazione massima attesa su affioramento rigido (a_g) e dei fattori di amplificazione stratigrafica e topografica (S_S ed S_T).

Si ottiene pertanto:

$$a_{max} (SLV) = a_g * S_T * S_S = 0.296 \text{ g.}$$

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.
- Immersione minima 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 DEI TIRANTI

Gli stati limite ultimi dei tiranti di ancoraggio si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che li compongono.

5.4.1 Verifica di resistenza allo sfilamento (GEO)

La verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto E_d con la resistenza di progetto R_{ad} , entrambe valutate con riferimento alla combinazione di coefficienti A1+M1+R3.

La resistenza allo sfilamento del bulbo si può valutare ricorrendo al metodo empirico di *Bustamante e Doix* (1985):

$$R_{a,c} = \pi \cdot D_b \cdot L_B \cdot \tau$$

con:

D_b = diametro medio del bulbo: $D_b = \alpha \cdot D_p$

D_p = diametro di perforazione

L_B = lunghezza del bulbo

$\alpha = D_b/D_p$

τ = resistenza unitaria allo sfilamento all'interfaccia bulbo–terreno.

Quest'ultima è indicata in grafici forniti dagli autori in relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni o delle rocce interessati (natura, stato di addensamento e/o consistenza e/o grado di alterazione) e al tipo di iniezione (globale unica o ripetuta e selettiva). Anche i valori di α variano in funzione del tipo di terreno e del tipo di iniezione.

Nel caso in esame (tiranti del tipo a “barra”, con bulbo di ancoraggio realizzato mediante iniezioni ripetute e selettive, IRS), si assume:

- Per la formazione A ($z < 3$ m) $\alpha \cdot \tau = 180\text{kPa}$
- Per la formazione A ($z > 3$ m): $\alpha \cdot \tau = 220\text{kPa}$

Ai sensi delle NTC, il valore *caratteristico* della resistenza allo sfilamento si ricava dal valore *di calcolo* determinato con il metodo sopra esposto, attraverso la formula seguente:

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

in cui ξ_{a3} e ξ_{a4} sono i coefficienti di correlazione da adottare in funzione del numero di verticali di indagine disponibili nel sito di installazione dei tiranti, come indicato in tabella n. 5-1.

	N° VERTICALI INDAGINE				
	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60
ξ_{a4}	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55

Tabella n. 5-1. Coefficienti di correlazione (Tabella 6.6.III NTC 2018)

Per i tiranti in oggetto si assume:

$$\xi_{a3} = \xi_{a4} = 1.80.$$

La resistenza di progetto R_{ad} si determina applicando alla resistenza caratteristica R_{ak} i coefficienti parziali γ_R riportati nella Tab. 6.6.I. delle NTC:

- per ancoraggi temporanei, $\gamma_R = 1.1$,
- per ancoraggi definitivi, $\gamma_R = 1.2$.

5.4.2 Verifica di resistenza della barra di ancoraggio (STR)

Si fa riferimento a quanto previsto nelle NTC (paragrafo 4.1.8.1, 4.1.2.1 e 11.3.3.2) per strutture a barra. La resistenza di progetto delle barre (f_{pyd}) si ottiene dal valore caratteristico (f_{pyk}) come segue:

$$f_{pyd} = f_{pyk} / 1.15.$$

Nel caso di studio (barre tipo *Dywidag* in acciaio 950/1050, $\phi = 32\text{mm}$) la resistenza strutturale è pertanto pari a:

$$T_k = (\pi\phi^2/4) * f_{pyk} / 1.15 = 804 \times 950 / 1.15 = 664'359 \text{ N/mm}^2 \cong 663 \text{ kN}.$$

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 (Δs) 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/m³.

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;

ϕ' = 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 in conto l'attrito tra paratia e terreno (δ). 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 θ , valutato secondo quanto rappresentato nel seguente prospetto:

Caso 1: Assenza di falda	$\theta = \arctan k_h / (1 \pm k_v)$	$\gamma^* = \gamma_{nat} \cong \gamma_{sat}$
Caso 2: Terreno saturo impermeabile	$\theta = \arctan \left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \right) \cdot k_h / (1 \pm k_v)$	$\gamma^* = \gamma'$
Caso 3: 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 θ , 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 considerato maggiore dello 0.5 % dell'altezza complessiva della paratia: $u_s \leq 0.005 \times H$.

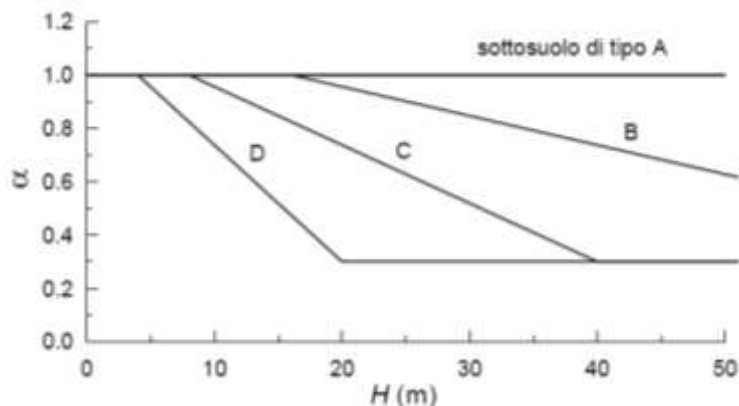


Figura 6.1 – Coefficiente α (figura n.7.11.2 – NTC)

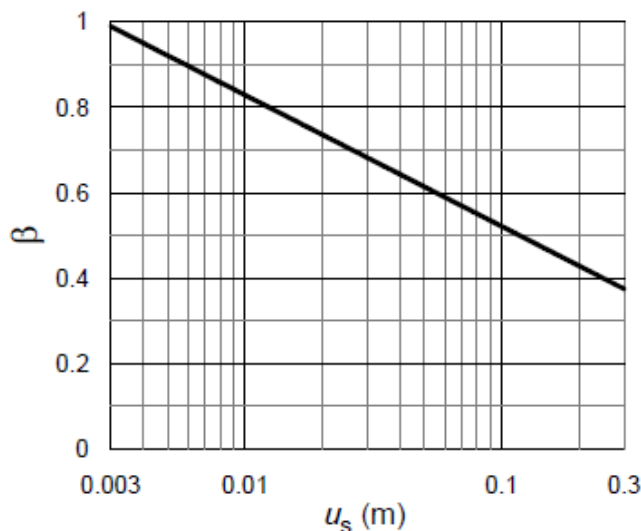


Figura 6.2 – Coefficiente β (figura n.7.11.3 – NTC)

Nel caso in esame (suolo di categoria sismica C), si ottiene:

- per il muro tipo 1, altezza totale della paratia $H = 13.5 \text{ m} \rightarrow u_{s,max} = 0.005 \times H = 0.0675 \text{ m}$,
 $\alpha \approx 1.00$;
 $\beta \approx 0.57$.
- per il muro tipo 2, altezza totale della paratia $H = 16.0 \text{ m} \rightarrow u_{s,max} = 0.005 \times H = 0.0800 \text{ m}$,
 $\alpha \approx 1.00$;
 $\beta \approx 0.55$.

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

Definito l'angolo θ , 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 δ di attrito parete-terreno, che per i motivi ricordati al precedente paragrafo 6.3.2 è stato posto uguale a zero.

6.4 AZIONE TRASMESSA DALLE BARRIERE FONOASSORBENTI

La valutazione della pressione del vento sulle barriere fonoassorbenti e delle azioni al piede dei montanti da essa derivanti sono oggetto di elaborati di progetto specifici ai quali si rimanda per ogni dettaglio.

Ai fini del progetto e delle verifiche delle opere di sostegno sulle quali le barriere insistono, cautelativamente, si considera il valore massimo della pressione, cioè quello che agisce sui pannelli “di bordo”; inoltre, a favore di sicurezza, si trascura l'effetto “stabilizzante” del peso dei montanti e dei pannelli sulle paratie.

I valori caratteristici delle sollecitazioni agenti al piede dei montanti di bordo della barriera fonoassorbente installata sul muro in oggetto (altezza pari a 6.00m, interasse tra i montanti uguale a 4m) sono riassunti in tabella n.6.1.

Per il dimensionamento dell'opera di sostegno in oggetto è significativa la combinazione “4 VENTO X-” (vento diretto dalla sede autostradale verso l'esterno della carreggiata).

Le azioni agenti per metro lineare di paratia si ottengono dividendo i valori riportati in tabella n. 6.2 per l'interasse tra i montanti, che è pari come si è detto a 4 m (tabella n. 6-2).

PROGETTO DEFINITIVO

	Peso risultante	Azione normale	Taglio	Momento
	F_k	N_k	T_k	M_k
	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)
1 Peso proprio	5.4	-5.4	0.0	-0.3
G1a - inferiore	3.6	-3.6	0.0	0.0
G1b - superiore	1.8	-1.8	0.0	-0.3
2 Carichi permanenti	18.5	-18.5	0.0	-5.0
G2 - pannello inferiore in ds	7.5	-7.5	0.0	-1.8
G3 - pannelli inferiori in acciaio	7.0	-7.0	0.0	-1.6
G4 - pannelli superiori in acciaio	4.0	-4.0	0.0	-1.6
G - Pesl propri e permanenti	23.9			

	Forza risultante	Azione normale	Taglio	Momento
	F_k	N_k	T_k	M_k
	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)
3 Vento X+		-2.9	49.3	-153.3
pannelli inferiori	33.0	0.0	33.0	-69.3
pannelli superiori	16.5	-2.9	16.3	-84.0
4 Vento X-		2.6	-45.4	141.2
pannelli inferiori	-30.4	0.0	-30.4	63.8
pannelli superiori	-15.2	2.6	-15.0	77.3
6 Pressione dinamica veicolare		1.1	-19.1	59.4
pannelli inferiori	-12.8	0.0	-12.8	26.9
pannelli superiori	-6.4	1.1	-6.3	32.6

. Tabella n.6.1 – Azioni sui montanti di bordo per FOA di altezza $h=6.0$ m

	Azione normale	Taglio	Momento
	N_k	T_k	M_k
	(kN)	(kN)	(kNm)
1 Peso proprio + permanenti	-6.0	0.0	-1.3
4 Vento X-	0.7	-11.3	35.3

Tabella n.6.2 – Azioni del vento per metro lineare di muro

6.5 TRAFFICO VEICOLARE

Si tiene conto del carico dovuto al traffico veicolare a tergo dell'opera di sostegno (traffico autostradale e/o di cantiere) mediante una pressione uniforme di valore caratteristico $q = 20$ kPa.

6.6 URTO

In ottemperanza alle disposizioni di normativa, l'azione determinata dall'eventuale collisione di veicoli in svio è tenuta in conto attraverso una forza orizzontale equivalente pari a 500 kN, considerata agente 1.25 m sopra il livello del piano di marcia e applicata su una linea di lunghezza 1.50 m.

Considerando uno schema di diffusione a 45° dell'azione d'urto (Figura 6-1), le sollecitazioni di taglio e momento alla testa dei pali di fondazione del muro tipo 1 sono rispettivamente:

- $T_{Ed,k} = 500 \text{ kN} / [1.50 + 2 \cdot (1.25 + 1.0)] \text{ m} = 500 \text{ kN} / 6.00 \text{ m} = 83.3 \text{ kN/m}$;
- $M_{Ed,k} = 89.3 \text{ kN/m} \cdot (1.25 + 1.0) \text{ m} = 187.5 \text{ kNm/m}$.

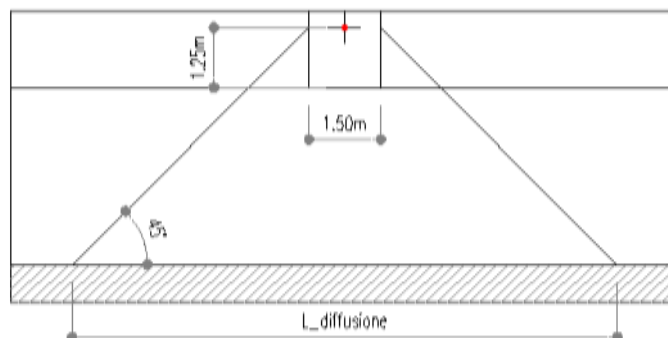


Figura 6-1. Schema di diffusione della forza di collisione

6.7 COMBINAZIONI DI CARICO E COEFFICIENTI PARZIALI

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

- Vento dominante rispetto al traffico,
- Traffico dominante rispetto al vento,
- 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.

C.d.C.		Coefficienti di combinazione, $\psi_{i,j}$				Coefficienti parziali
ID	NOME	Traffico	Vento	Sisma	Urto	γ_F
SLE - RARA	Traffico	1.00	0.6	0	0	1.0
	Vento	0.75	1.0	0	0	1.0
SLU (A1+M1+R1)	Traffico	1.00	0.6	0	0	1.5
	Vento	0.75	1.0	0	0	1.5
SLU (A2+M2+R1)	Traffico	1.00	0.6	0	0	1.3
	Vento	0.75	1.0	0	0	1.3
ECC	Urto	0.25	0.0	0	1	1.0
SLV	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 MURO TIPO 1 - 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. Riprofilatura terreno a monte e a valle. In questa fase, lato autostrada, il terreno di riporto (Rip) è sostituito con materiale da rilevato (R).
4. Applicazione del carico dovuto al traffico veicolare (condizione di traffico dominante).
5. Applicazione delle azioni dovute al vento (condizione di vento dominante).
6. Applicazione delle azioni dovute all'urto.
7. Applicazione della sovra-spinta sismica.

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

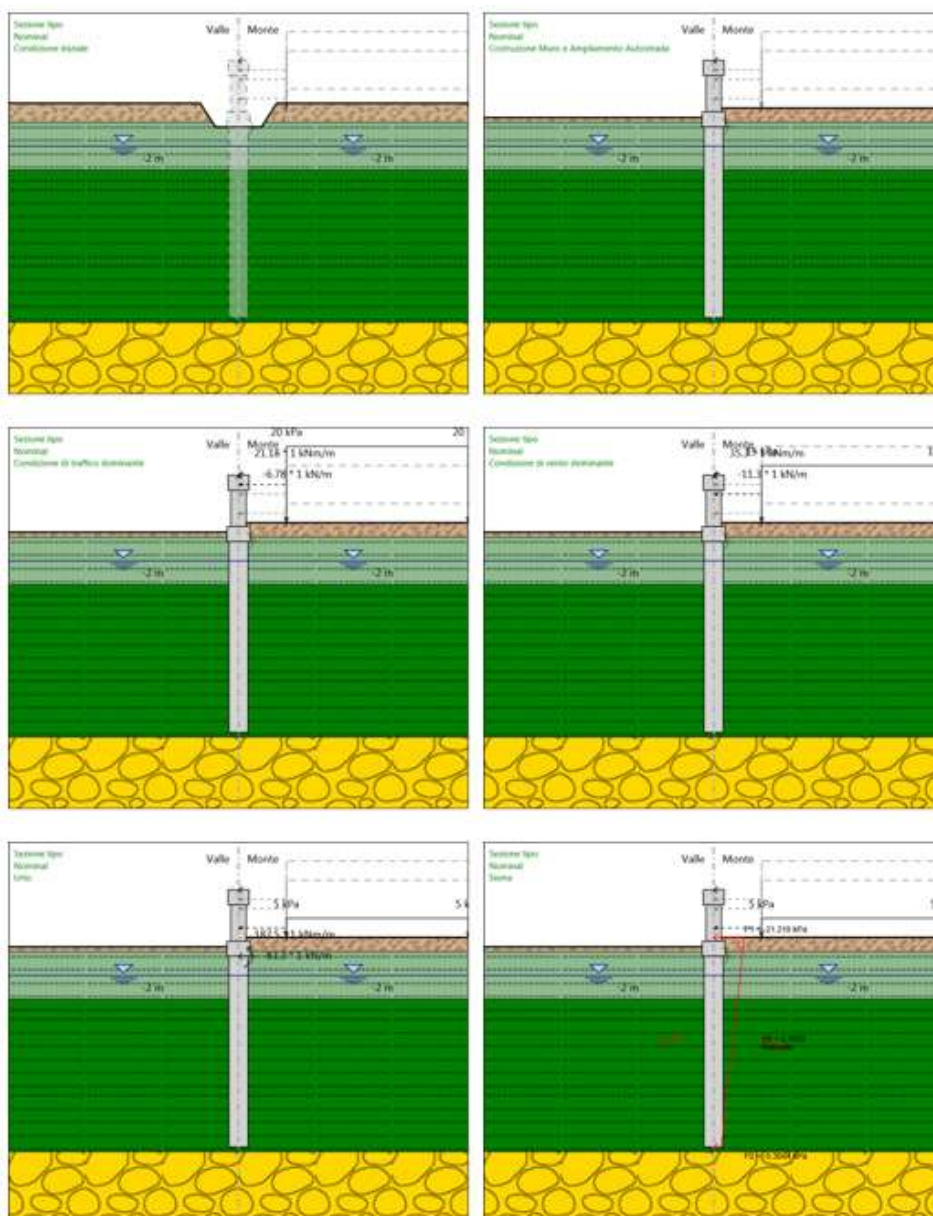


Figura 7-1. Fasi di calcolo

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.

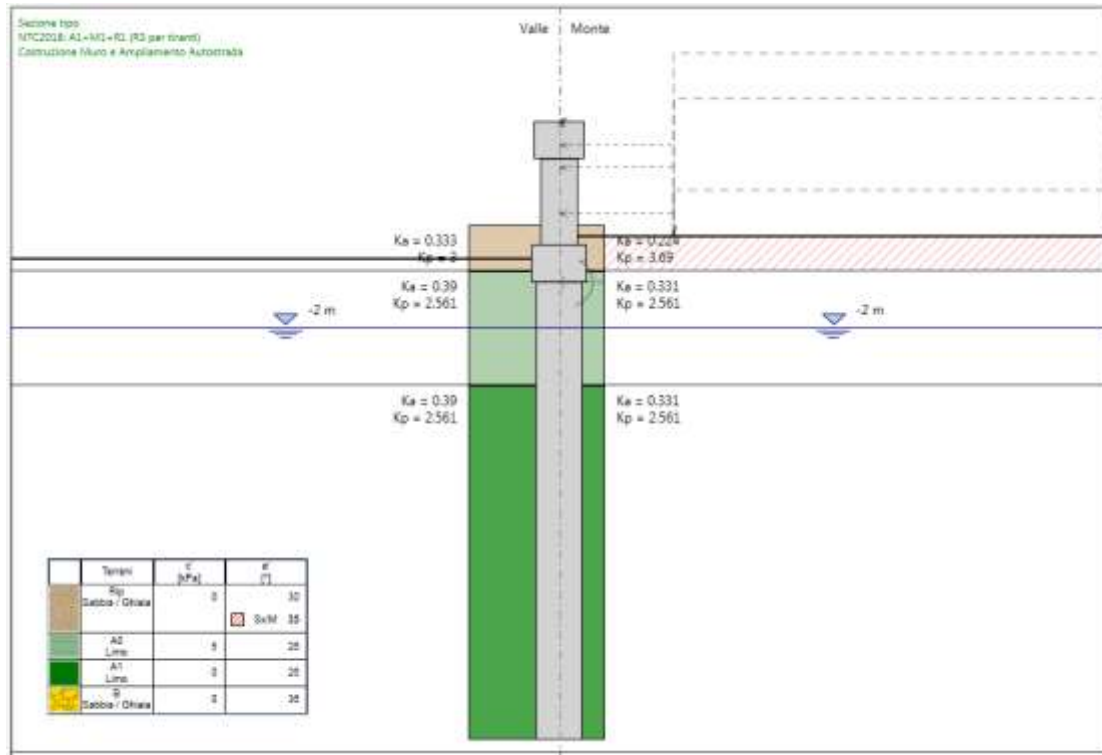


Figura 7-2. Coefficienti di spinta nelle combinazioni SLE e SLU-STR

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

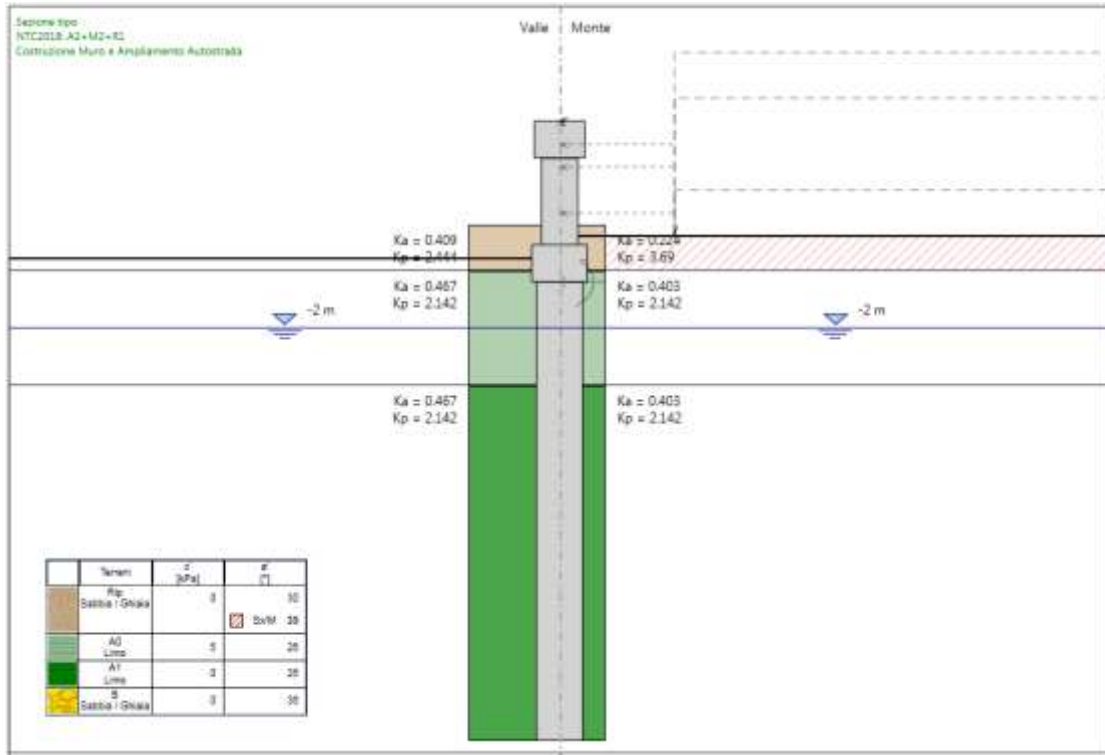


Figura 7-3 Coefficienti di spinta nella combinazione SLU-GEO

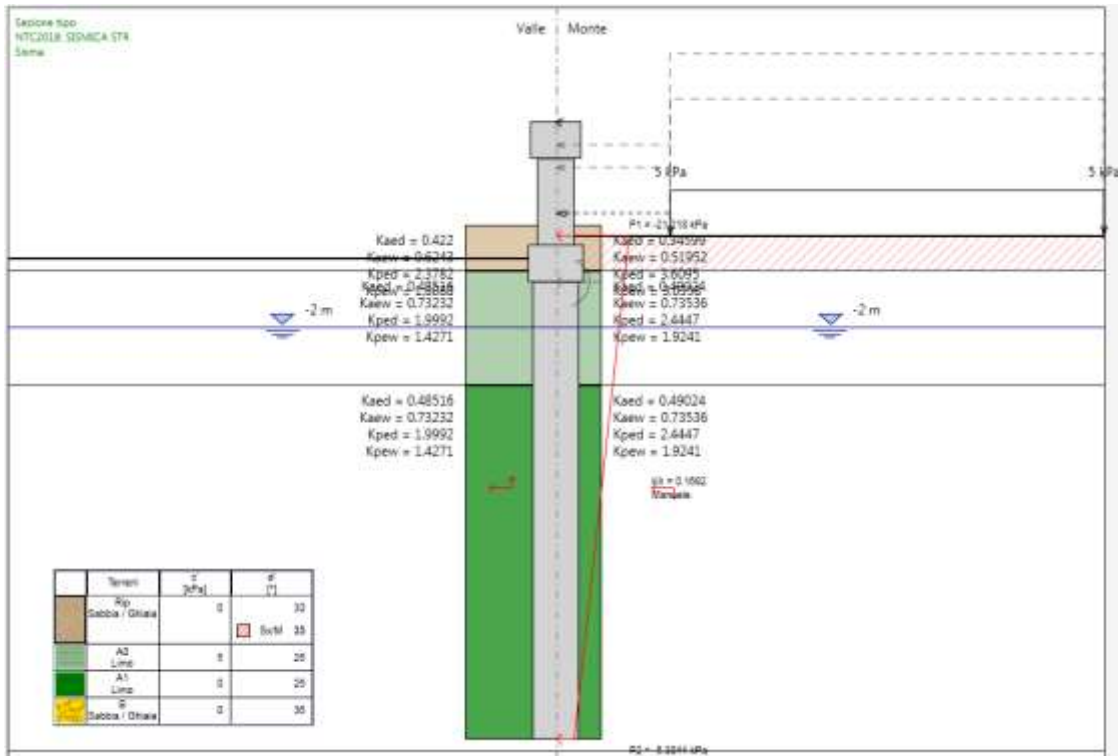


Figura 7-4 Coefficienti di spinta nella combinazione SLV

7.3 OPERA DI SOSTEGNO

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





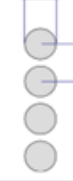
Elemento	Tipo sezione		Quote		Proprietà	
Cordolo testa muro	Solid		alto	2.5 m	Area equivalente	1.10 m
					Inerzia equivalente	0.1109 m ⁴ /m
			fondo	1.7 m	Classe CLS	C32/40
					Spessore	1.10 m
Setto in elevazione	Solid		alto	1.7 m	Efficacia	1
					Inerzia equivalente	0.0427 m ⁴ /m
			fondo	-0.2 m	Classe CLS	C32/40
					Spessore	0.80 m
Cordolo testa pali	Solid		alto	-0.2 m	Efficacia	1
					Inerzia equivalente	0.144 m ⁴ /m
			fondo	-1.0 m	Classe CLS	C25/30
					Spessore	1.20 m
Pali	Tangent		alto	-1.0 m	Area equivalente	0.3927 m
					Inerzia equivalente	0.0245 m ⁴ /m
					Classe CLS	C25/30
			fondo	-11 m	Spaziatura	2.00 m
					Diametro	1.00 m
					Efficacia	1

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

7.4 AZIONI ESTERNE

Nelle figure 7.5 e 7.6, sono rappresentate le azioni applicate al muro nelle condizioni di traffico dominante e vento dominante rispettivamente, con il loro valore caratteristico; trattandosi di carichi variabili, nelle combinazioni SLU-STR e SLU-GEO, detti valori sono amplificati rispettivamente del 50% e del 30%.

In Figura 7.7, invece, sono rappresentate le azioni applicate al muro per simulare l'urto di un mezzo in svio; trattandosi di una condizione eccezionale, il valore caratteristico coincide in questo caso con il valore di progetto.

**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**

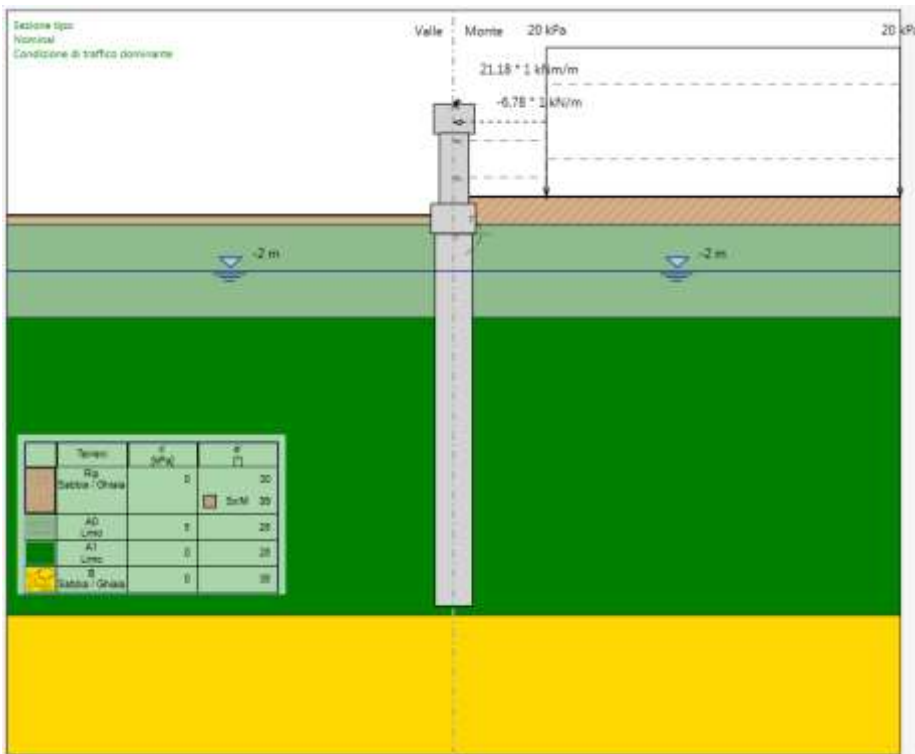


Figura 7-5 Carichi esterni agenti sul muro in condizioni di traffico dominante

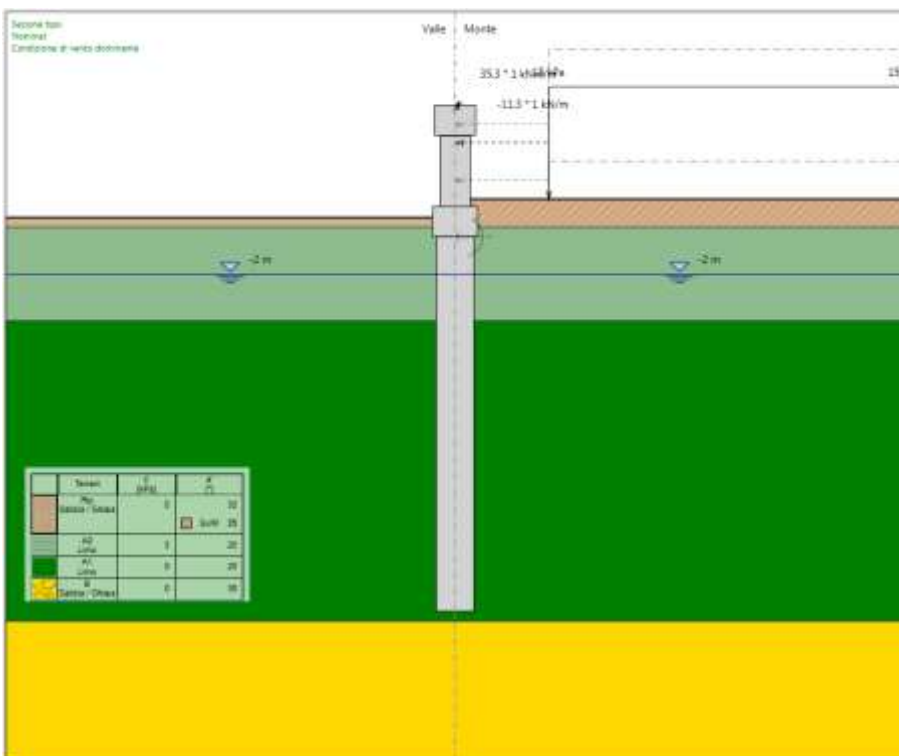


Figura 7-6 Carichi esterni agenti sul muro in condizioni di vento dominante

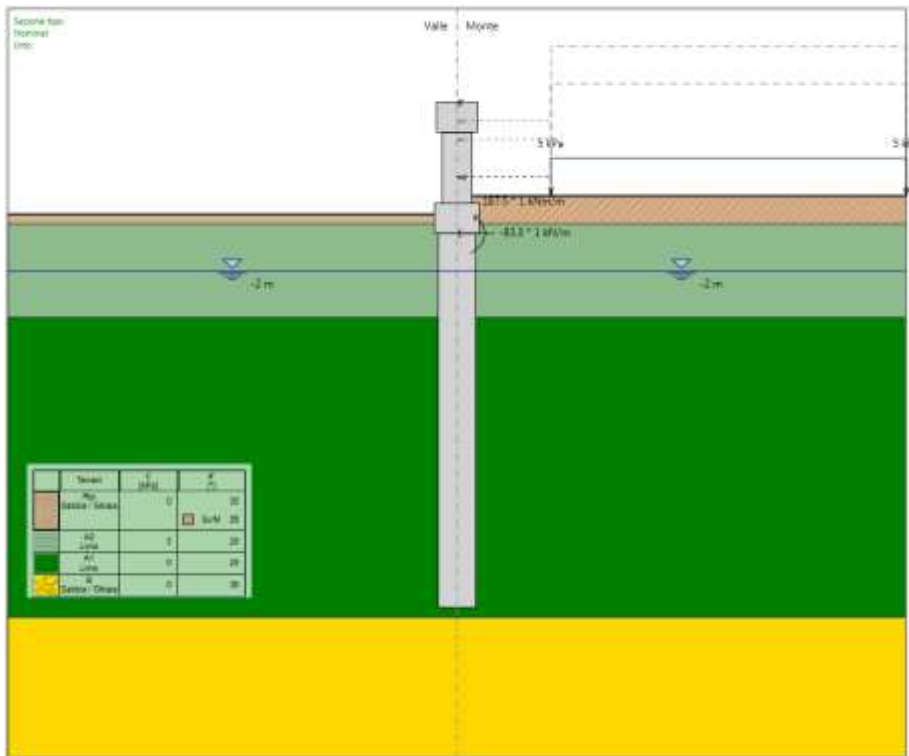


Figura 7-7 Carichi esterni agenti sul muro in condizioni eccezionali (urto)

7.5 AZIONE SISMICA

Nelle figure 7-8 e 7-9 sono riportati rispettivamente i dati di input per la valutazione dell'azione sismica e il diagramma trapezoido di pressione applicato alla paratia per simulare l'azione sismica nella combinazione SLV.

**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

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base a_g / g

Fattore importanza I

Coefficiente S_s

Coefficiente S_t

$a_{max} / g =$

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}

$R_s =$

NTC

U_{ps} 0.0675 m

β_{ps} 0.5726

$\alpha_s =$

$R_s = \alpha \beta_{ps} a_{max}$

3. Definizione calcolo

Modalità spinta Paratia fuori terra Paratia intera

Comportamento idraulico Terreno pervio Terreno impervio

k_{vu} (% k_h)

k_{vd} (% k_h)

R_u

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia Flessibile (usa k_h) Rigido (usa a_{max})

Metodo Wood Mononobe-Okabe Semirigido

$B =$ Correlazione $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$

$\alpha_2 =$

Figura 7-8. Dati di INPUT per la valutazione dell'azione sismica con approccio pseudo-statico

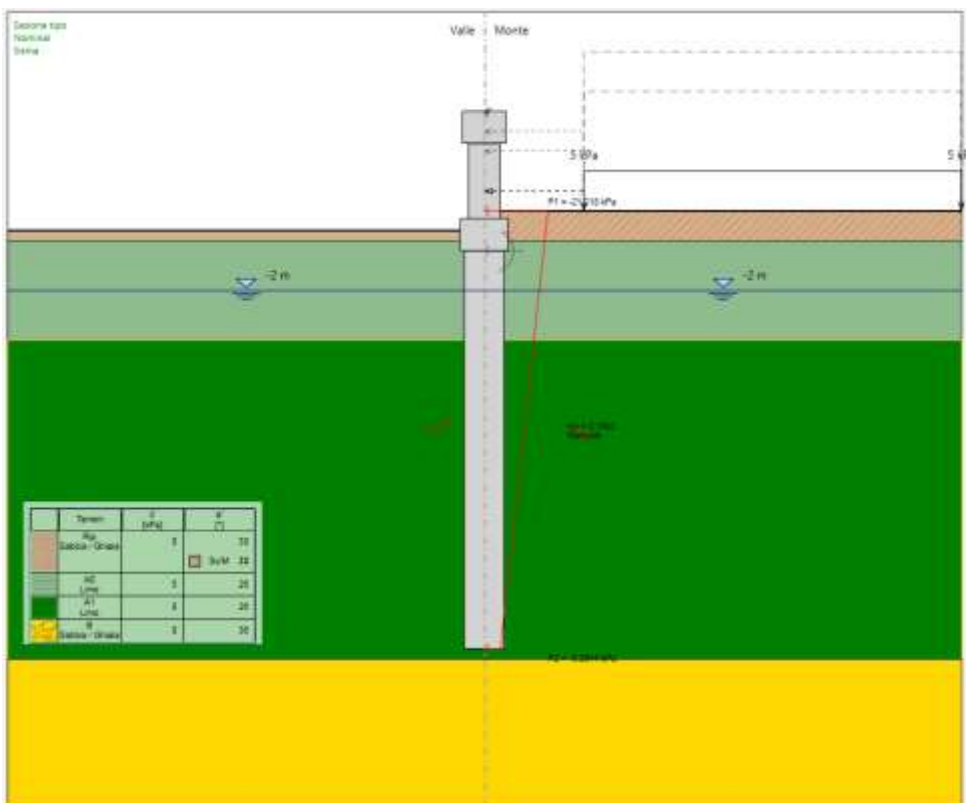


Figura 7-9. Diagramma di carico applicato al muro in condizioni sismiche

8 ANALISI MURO TIPO 1 - RISULTATI

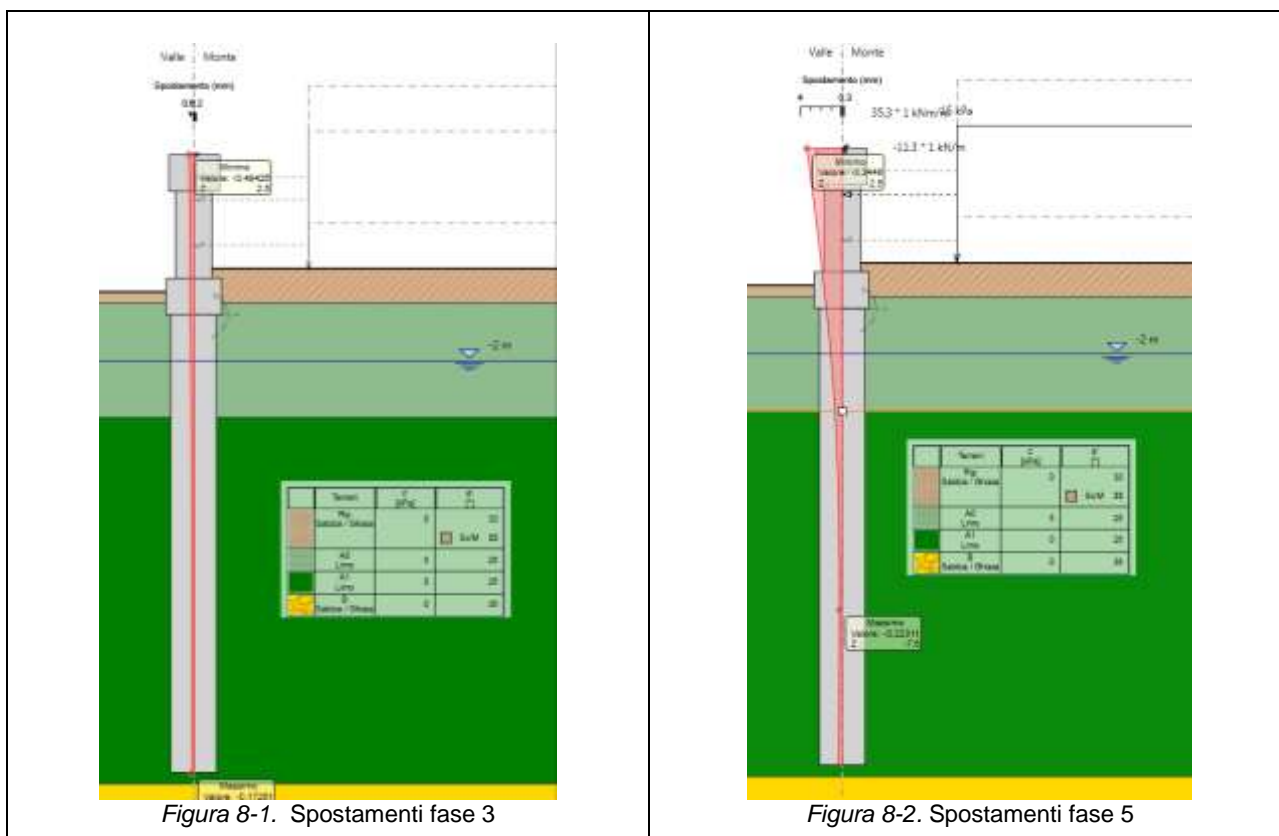
8.1 SPOSTAMENTI

Nelle seguenti figure è riportato il grafico degli spostamenti dell'opera di sostegno con la profondità nella fase di ampliamento della sede autostradale, in assenza di carichi esterni (fase 3, figura 8-1) e nella combinazione SLE relativa alla condizione di servizio più gravosa (fase 5, vento dominante, figura 8-2).

Si osserva che:

- Lo spostamento massimo in esercizio, calcolato come differenza tra lo spostamento ottenuto in fase 5 e lo spostamento ottenuto in fase 3, risulta pari a $\Delta s = 3,34 \text{ mm} - 0,49 \text{ mm} = 2,85 \text{ mm}$, cioè inferiore allo 0.1% dell'altezza di calcolo del muro ($H = 3,0 \text{ m} = 2,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$);
- Lo spostamento totale massimo, comprensivo della deformazione a fine costruzione, $s_{\text{max}} = 3,34 \text{ mm}$ risulta pari allo 0.11% 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 ECC e SLV, maggiormente significative ai fini del dimensionamento strutturale dell'opera.

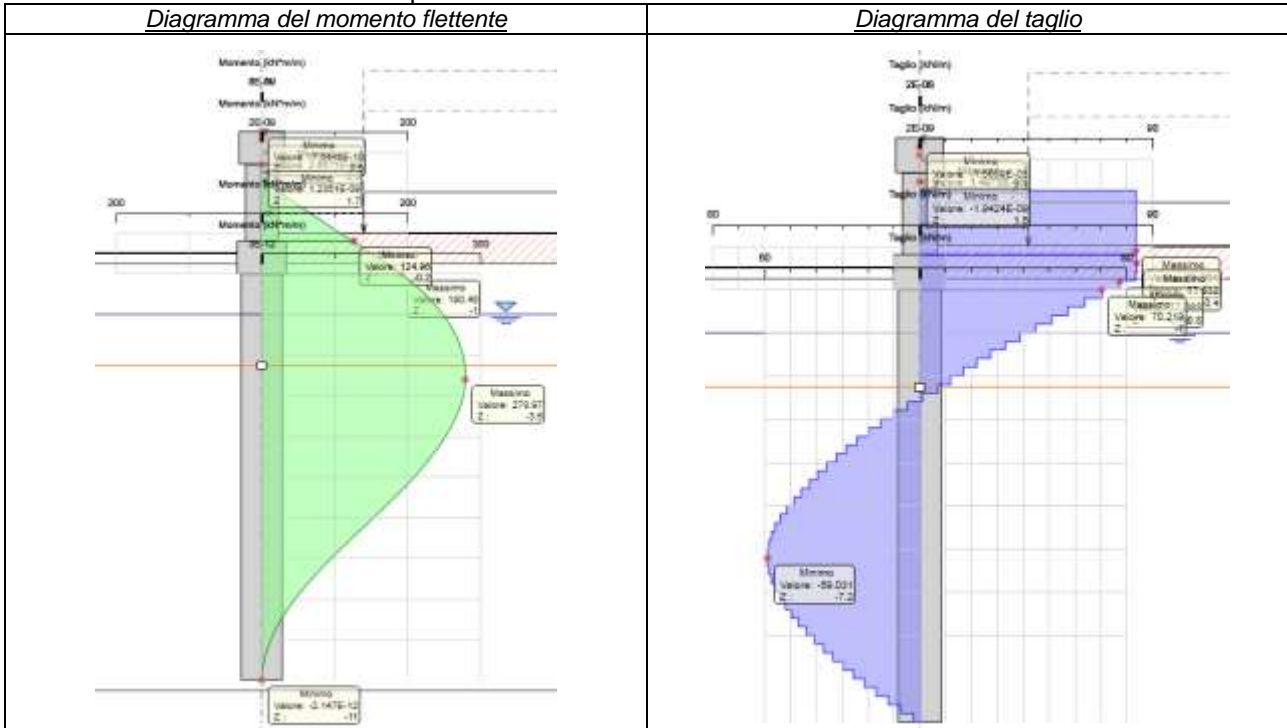


Figura 8-3. Sollecitazioni nelle strutture nella combinazione ECC (urto)

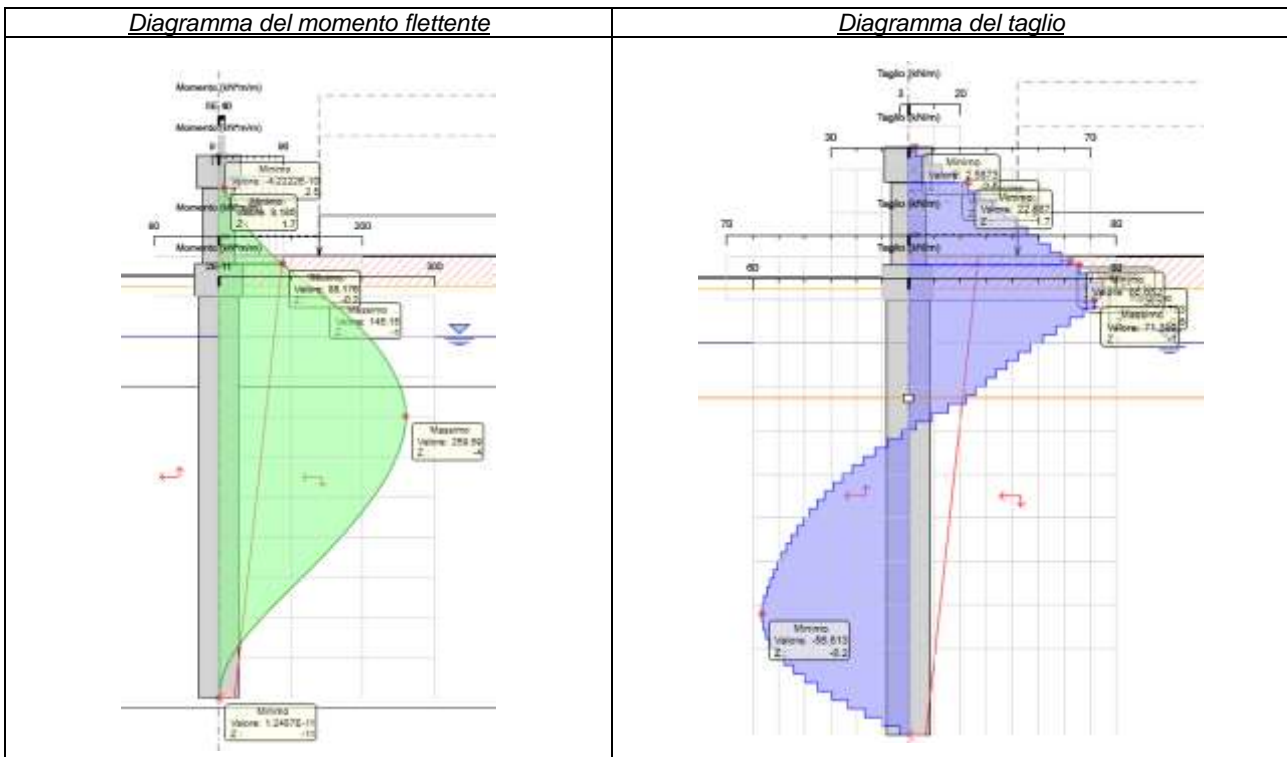


Figura 8-4. Sollecitazioni nelle strutture nella combinazione SLV (sisma)

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



PROGETTO DEFINITIVO

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	Cordolo in sommità	Setto in elevazione	Cordolo testa pali	Pali
SLE	5	M_{max}	M (kNm)	44.3	65.8	74.6	149.3
			V (kN)	11.3	11.4	9.5	15.3
		V_{max}	M (kNm)	44.3	65.8	70.5	92.4
			V (kN)	11.3	11.4	11.8	30.3
ECC	6	M_{max}	M (kNm)	0.0	125.0	190.5	557.9
			V (kN)	0.0	83.4	77.1	1.5
		V_{max}	M (kNm)	0.0	125.0	83.8	409.0
			V (kN)	0.0	83.4	158.4	140.4
SLV	7	M_{max}	M (kNm)	8.2	88.2	145.2	519.2
			V (kN)	17.8	62.1	74.0	5.2
		V_{max}	M (kNm)	8.2	88.2	130.4	318.9
			V (kN)	17.8	62.1	74.7	142.8

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

9 ANALISI MURO TIPO 1 - 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 (Vento dominante) 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 = $405.74/1406.7 = 0.288$.
- Combinazione SLV – fase 6: Thrust ratio = $500.07/1114 = 0.448$.

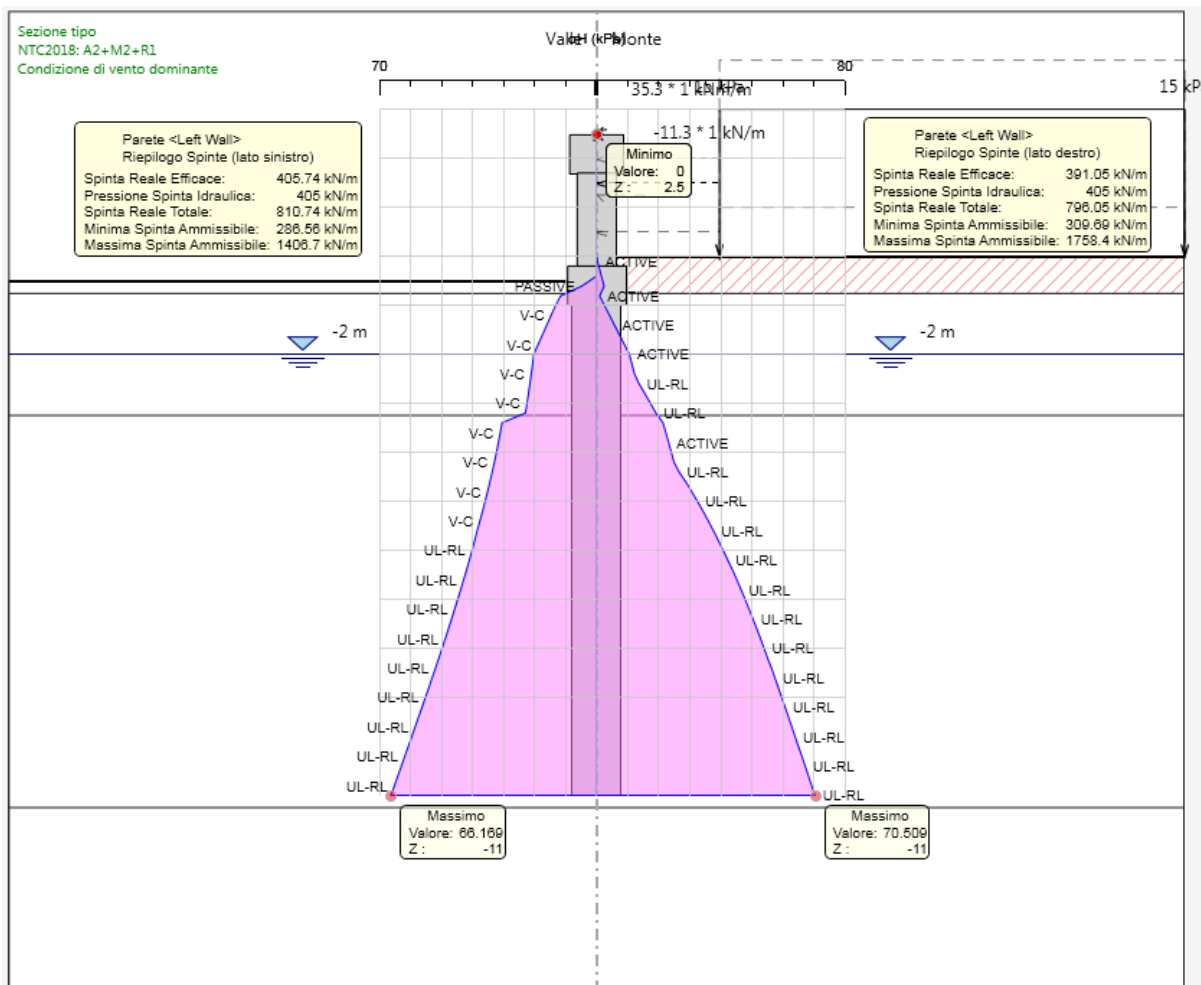


Figura 9-1. Riepilogo spinte fase 5 (vento dominante) – combinazione A2+M2+R1

**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

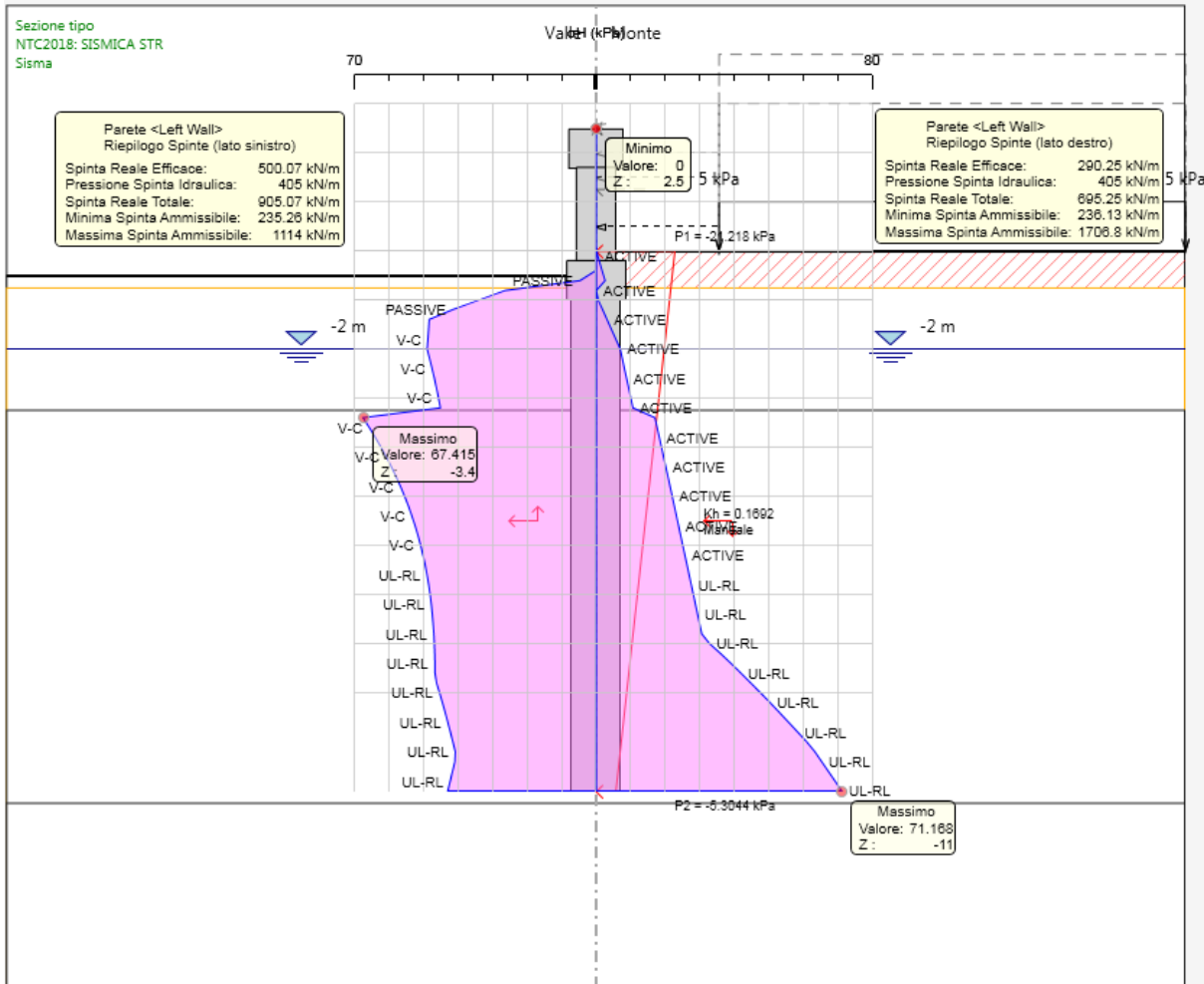


Figura 9-2. Riepilogo spinte fase 6 (sisma) – combinazione SLV

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:

15φ26 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
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inertia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona critica

**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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo f_{cd} : 141,60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta f_{cd}' : 70,80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza $ec2$: 0,0020
 Def.unit. ultima ecu : 0,0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale E_c : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0,20
 Resis. media a trazione f_{ctm} : 26,00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15,0
 Combinazioni Rare in Esercizio
 Sc Limite : 150,00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. f_{yk} : 4500,0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura f_{tk} : 4500,0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo f_{yd} : 3913,0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo f_{td} : 3913,0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo E_{pu} : 0,068
 Modulo Elastico E_f : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1,00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0,50 daN/cm²
 Comb.Rare S_f Limite : 3600,0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione (cm) : 100,0 cm
 Barre circonfer.: 15Ø26 (79,6 cm²)
 Copriferro (dal baric. barre): 8,5 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	55790	150	0
2	0	31890	14280	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
1	0	14930

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7,2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 14,7 cm

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



PROGETTO DEFINITIVO

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 ≥ 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) = 79,6 cm ²

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d	
0,75	1	S	0	55790	1	114879	2,059	27,0	0,25
0,75	2	S	0	31890	1	114879	3,602	27,0	0,25

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	-0,00302	50,0	0,00221	41,5	-0,01041	-41,5
2	0,00350	-0,00302	50,0	0,00221	41,5	-0,01041	-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 = 18,4 cm]
N.Bracci staffe:	2	
Area staffe/m :	15,1 cm ² /m	[Area Staffe Minima normativa = 12,3 cm ² /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 ² /m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	150	21118	144297	106113	82,2	21,80	1,000	0,0

**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

2 S 14280 21118 144297 106113 82,2 21,80 1,000 2,0

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 ²]
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 ²]
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 ²]
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 ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica 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 10 ϕ 18 + 10 ϕ 18 e staffe chiuse ϕ 12 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
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inertia
Riferimento alla sismicit�:	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 ²
	Resis. compr. ridotta fcd' :	79,30 daN/cm ²
	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 ²
	Coeff. di Poisson :	0,20
	Resis. media a trazione fctm:	28,80 daN/cm ²
	Coeff. Omogen. S.L.E. :	15,0
Combinazioni Rare in Esercizio		
	Sc Limite :	168,00 daN/cm ²
	Apert.Fess.Limite :	Non prevista
ACCIAIO -	Tipo: B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500,0 daN/cm ²
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500,0 daN/cm ²
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913,0 daN/cm ²
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913,0 daN/cm ²

**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

Deform. ultima di calcolo Epu: 0,068
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1,00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0,50 daN/cm²
 Comb.Rare Sf Limite : 3600,0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100,0 cm
 Altezza: 80,0 cm
 Barre inferiori : 10Ø18 (25,4 cm²)
 Barre superiori : 10Ø18 (25,4 cm²)
 Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 6,2 cm
 Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 6,2 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	12500	8340	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
1	0	6580

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5,3 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7,9 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 4,1 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 >=1.000							
Yneutro	Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,0 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)= 25,4 cm ² Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 25,4 cm ²							
N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d
C.Rid.								

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



PROGETTO DEFINITIVO

0,70 1 S 0 12500 8 70250 5,620 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	-0,01438	80,0	0,00027	73,8	-0,03500	6,2

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 = 14,4 cm]
 N.Bracci staffe: 2
 Area staffe/m : 22,6 cm²/m [Area Staffe Minima normativa = 15,0 cm²/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 [cm²/m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	8340	25628	181625	146971	100,0	21,80	1,000	1,3

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/cm²])
 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/cm²])
 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/cm²]
 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. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
 Af eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] 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

0,0 1 S 5,1 80,0 -5,1 80,0 -65 73,8 0,0 0 0,0

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



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/cm²]
 ScI_min Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]
 Sc_Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm²]
 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
0,000								

10 ANALISI MURO TIPO 2 - DATI DI INPUT

10.1 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. Realizzazione tiranti in testa.
4. Scavo a valle del muro per consentire l'ampliamento dell'autostrada.
5. Applicazione del carico dovuto al traffico di mezzi di cantiere a tergo del muro.
6. Applicazione della sovra-spinta sismica.

Una rappresentazione grafica delle fasi sopra elencate è riportata in Figura 10-1.

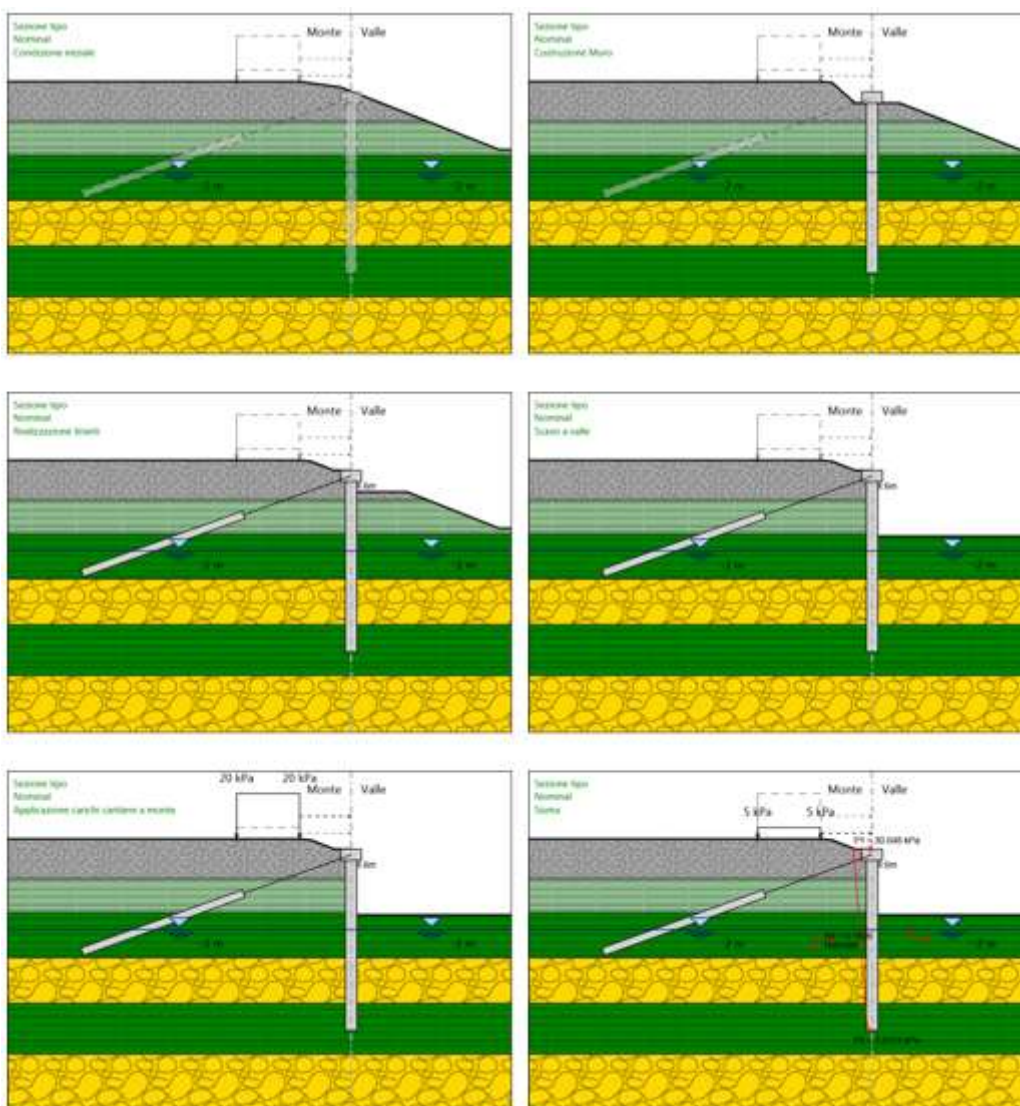


Figura 10-1. Fasi di calcolo

10.2 COEFFICIENTI DI SPINTA DELLA TERRA

Nelle figure 10-2, 10-3 e 10-4, 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.

**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

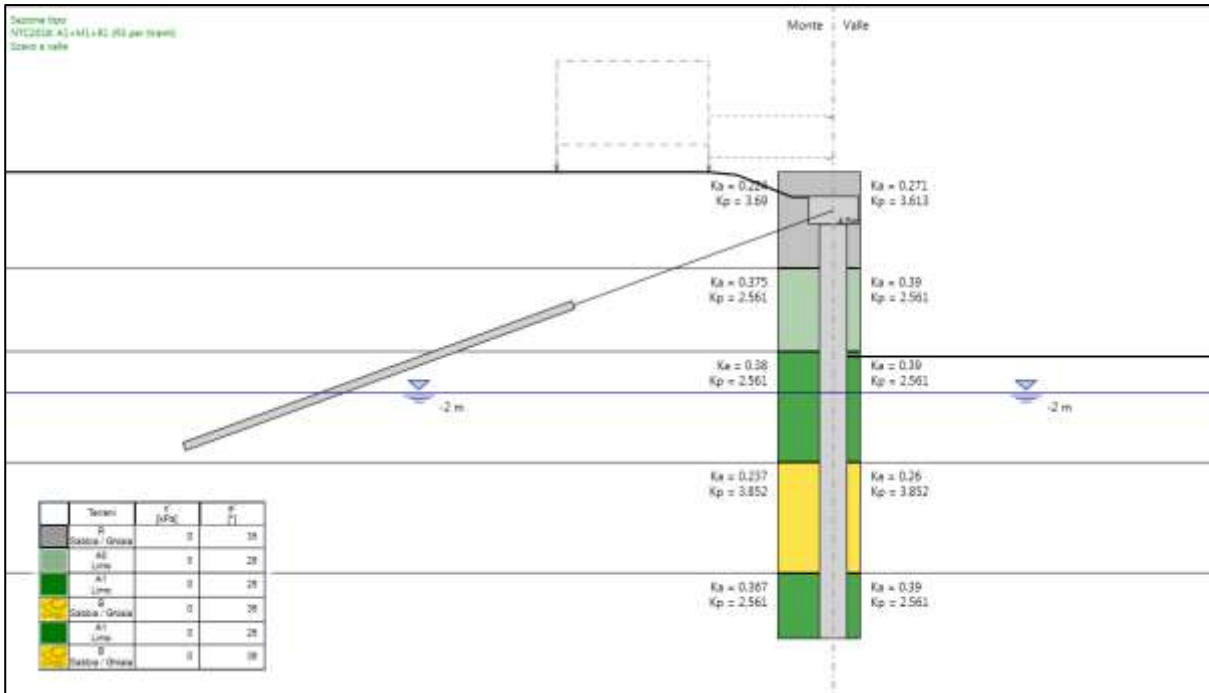


Figura 10-2. Coefficienti di spinta nelle combinazioni SLE e SLU-STR

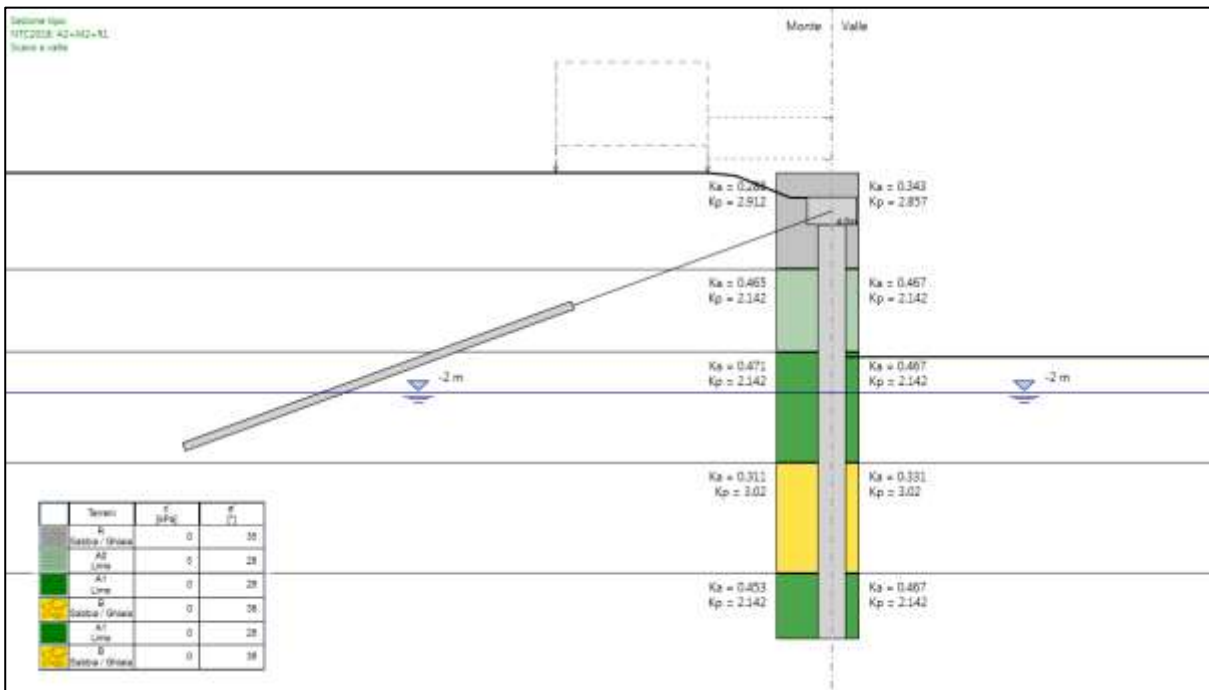


Figura 10-3 Coefficienti di spinta nella combinazione SLU-GEO

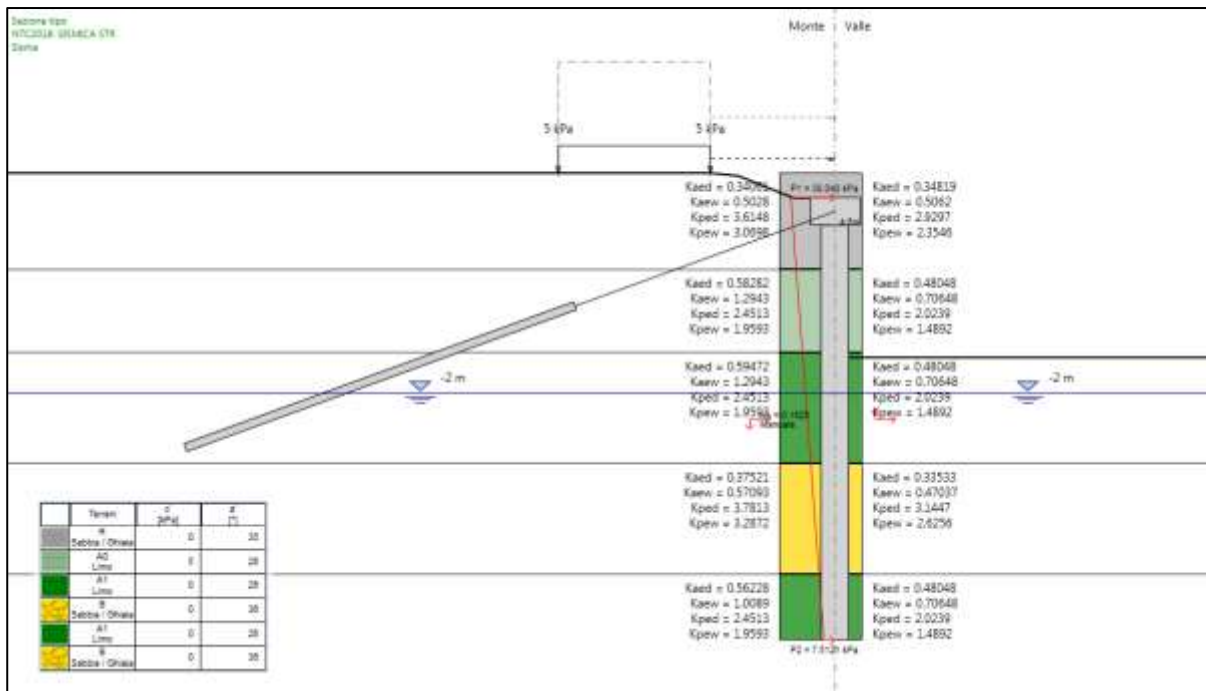


Figura 10-4 Coefficienti di spinta nella combinazione SLV

10.3 OPERA DI SOSTEGNO

In tabella 10-1 si riporta una sintesi della geometria dell’opera di sostegno e delle relative proprietà meccaniche.

Elemento	Tipo sezione		Quote		Proprietà	
Cordolo testa pali	Solid		alto	5.1 m	Area equivalente	1.8 m
					Inerzia equivalente	0.486 m ⁴ /m
			fondo	4.1 m	Classe CLS	C32/40
					Spessore	1.80 m
Pali	Tangent		alto	4.1 m	Area equivalente	0.6545 m
					Inerzia equivalente	0.0409 m ⁴ /m
					Classe CLS	C25/30
			fondo	-10.9 m	Spaziatura	1.20 m
					Diametro	1.00 m
					Efficacia	1

Tabella n. 10-1. Proprietà dell’opera di sostegno

10.4 AZIONI ESTERNE

In figura 10.5 sono rappresentate, con il loro valore caratteristico, le azioni applicate al muro nella condizione di traffico a tergo del muro. Trattandosi di un carico variabile, nelle combinazioni SLU-STR e SLU-GEO, detti valori sono amplificati rispettivamente del 50% e del 30%.

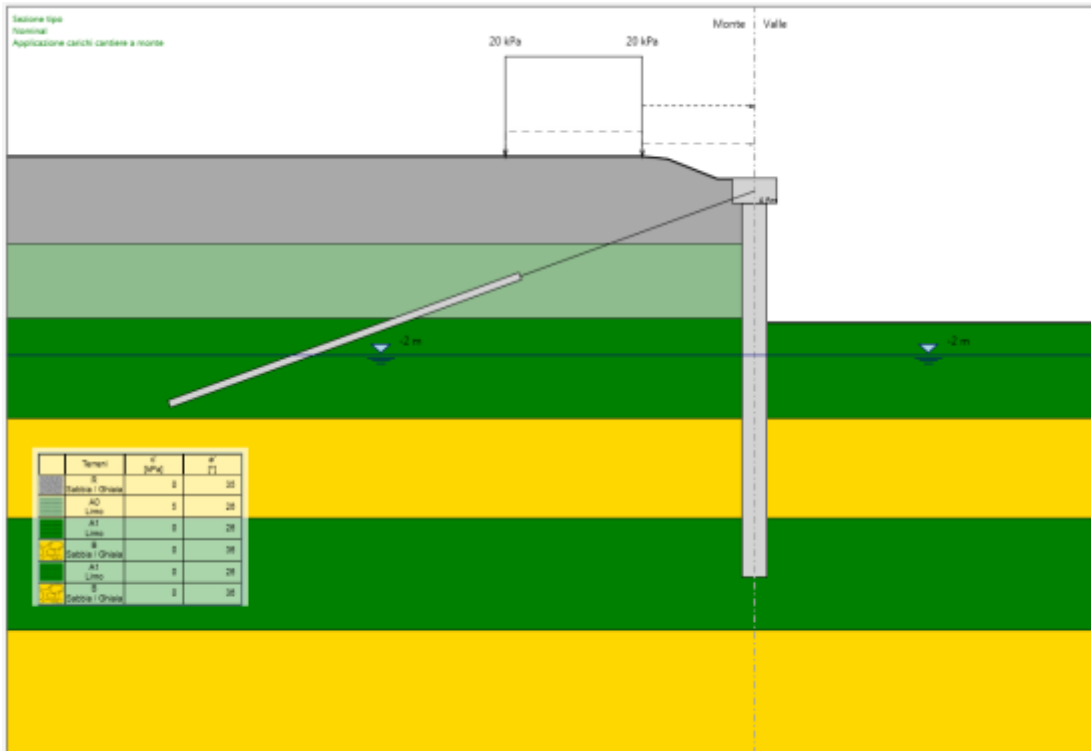


Figura 10-5 Carichi esterni agenti sul muro in condizioni di traffico a monte

10.5 AZIONE SISMICA

Nelle figure 10-6 e 10-7 sono riportati rispettivamente i dati di input per la valutazione dell'azione sismica e il diagramma trapezoidale di pressione applicato alla paratia per simulare l'azione sismica nella combinazione SLV.

**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

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base a_g / g : 0.2128 NTC

Fattore importanza I : 1

Coefficiente S_s : 1.3889

Coefficiente S_r : 1

$a_{max} / g =$: 0.29555792

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} :

R = : 1

NTC

U_{L20} : 0.08 m

β_{vis} : 0.55

$\alpha =$: 1

$k_h = \alpha \beta a_{max}$: 0.1626

3. Definizione calcolo

Modalità spinta

Paratia fuori terra

Paratia intera

Comportamento idraulico

Terreno pervio

Terreno impervio

k_{hu} (% k_h) : 0.5

k_{hd} (% k_h) : -0.5

R_u : 0

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1] : 1

Valore Applicato : 0.29555792

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia

Flessibile (usa k_h)

Rigido (usa a_{max})

Metodo

Wood

Mononobe-Okabe

Semirigido

B = : 0.375 Correlazione $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$: 1.6

$\alpha_2 =$: 0.4




Figura 10-6. Dati di INPUT per la valutazione dell'azione sismica con approccio pseudo-statico

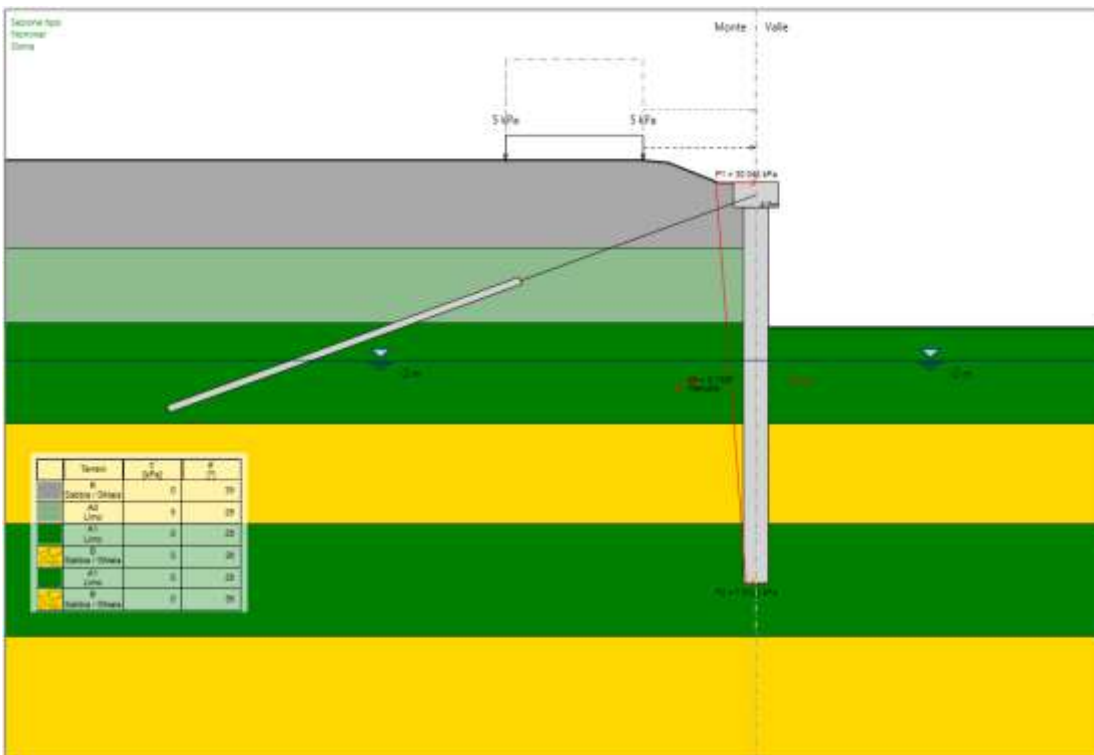


Figura 10-7. Diagramma di carico applicato al muro in condizioni sismiche

11 ANALISI MURO TIPO 2 - RISULTATI

11.1 SPOSTAMENTI

Nelle seguenti figure è riportato il grafico degli spostamenti dell'opera di sostegno con la profondità nella fase di ampliamento della sede autostradale, in assenza di carichi esterni (fase 4, scavo a valle della paratia, figura 11-1) e nella combinazione SLE relativa alla condizione di servizio più gravosa (fase 5, traffico veicolare a monte, figura 11-2).

Si osserva che:

- Lo spostamento massimo in esercizio, calcolato come differenza tra lo spostamento ottenuto in fase 5 e lo spostamento ottenuto in fase 3, risulta pari a $\Delta s = 23,85 \text{ mm} - 22,58 \text{ mm} = 1,27 \text{ mm}$, cioè allo 0.02% dell'altezza di calcolo del muro ($H = 5,8 \text{ m} = 5,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$);
- Lo spostamento totale massimo, comprensivo della deformazione a fine costruzione, $s_{\text{max}} = 23,85 \text{ mm}$ risulta pari allo 0.41% circa dell'altezza di calcolo del muro.

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

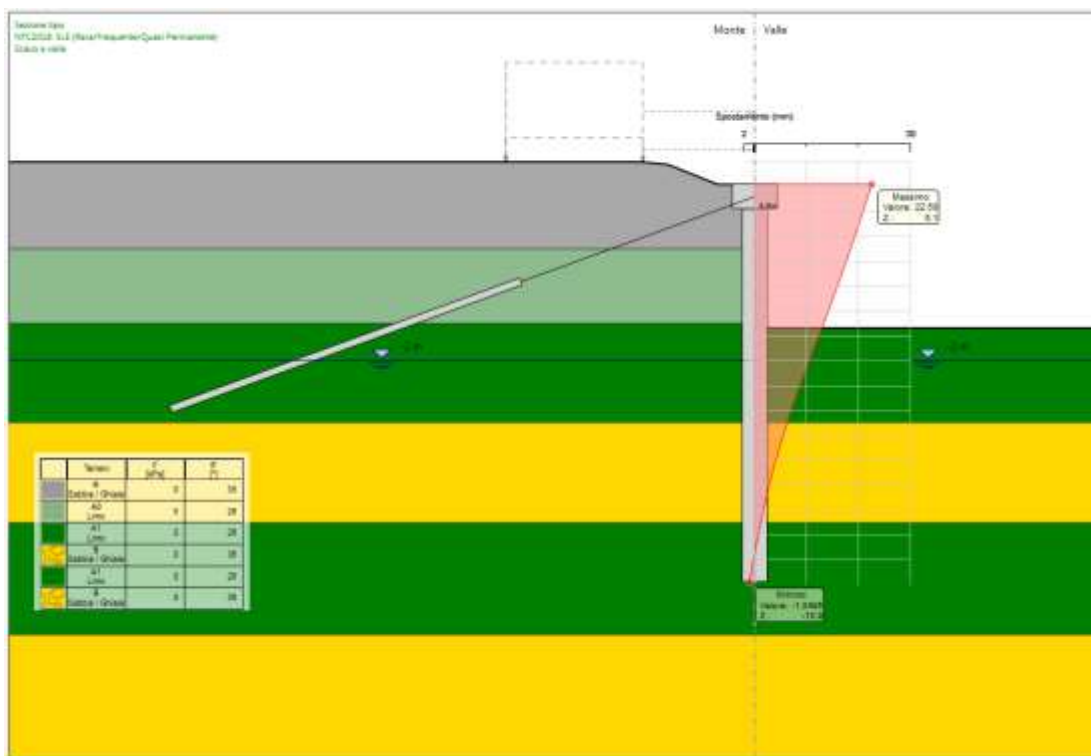


Figura 11-1. Spostamento a fine scavo (fase 4)

**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

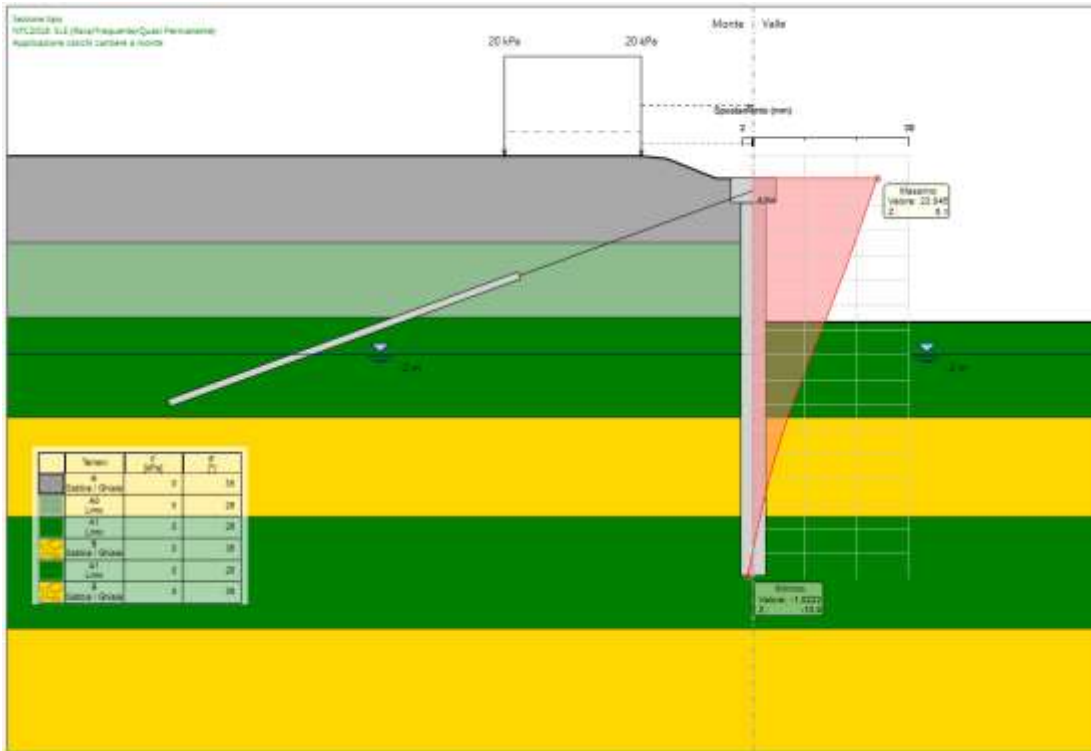


Figura 11-2. Spostamento dovuto al carico a monte

11.2 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, SLU-GEO e SLV.

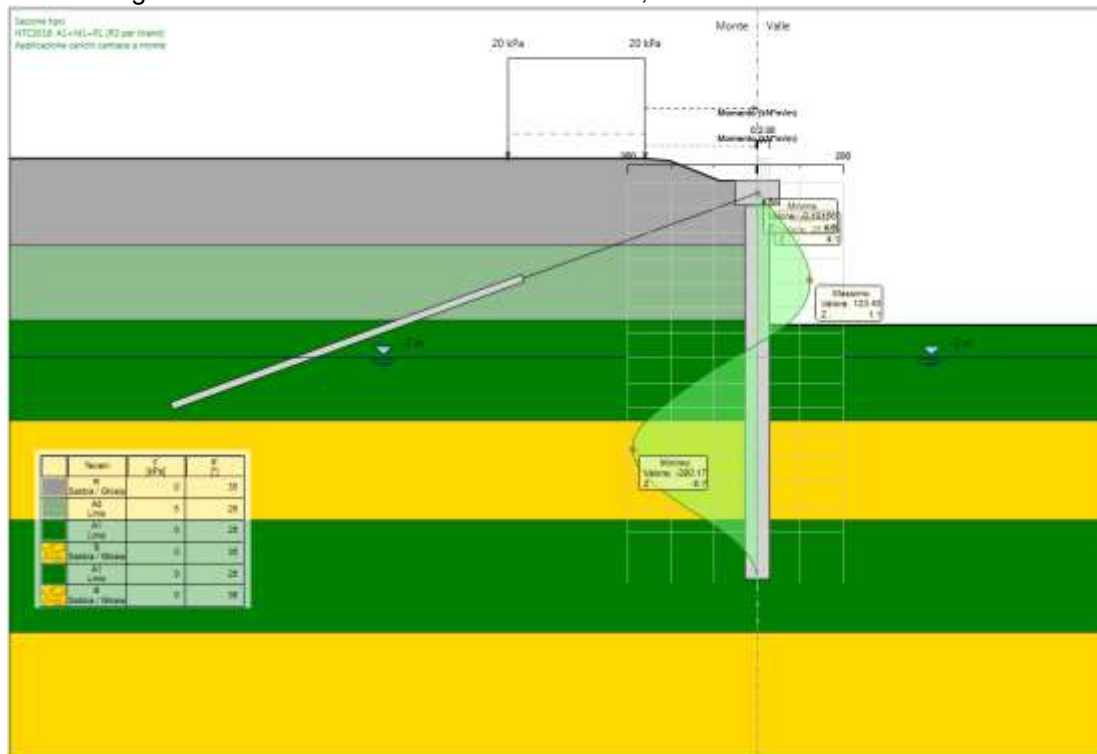


Figura 11-3. Diagramma del momento flettente nella combinazione SLU A1+M1+R1 nella fase 5

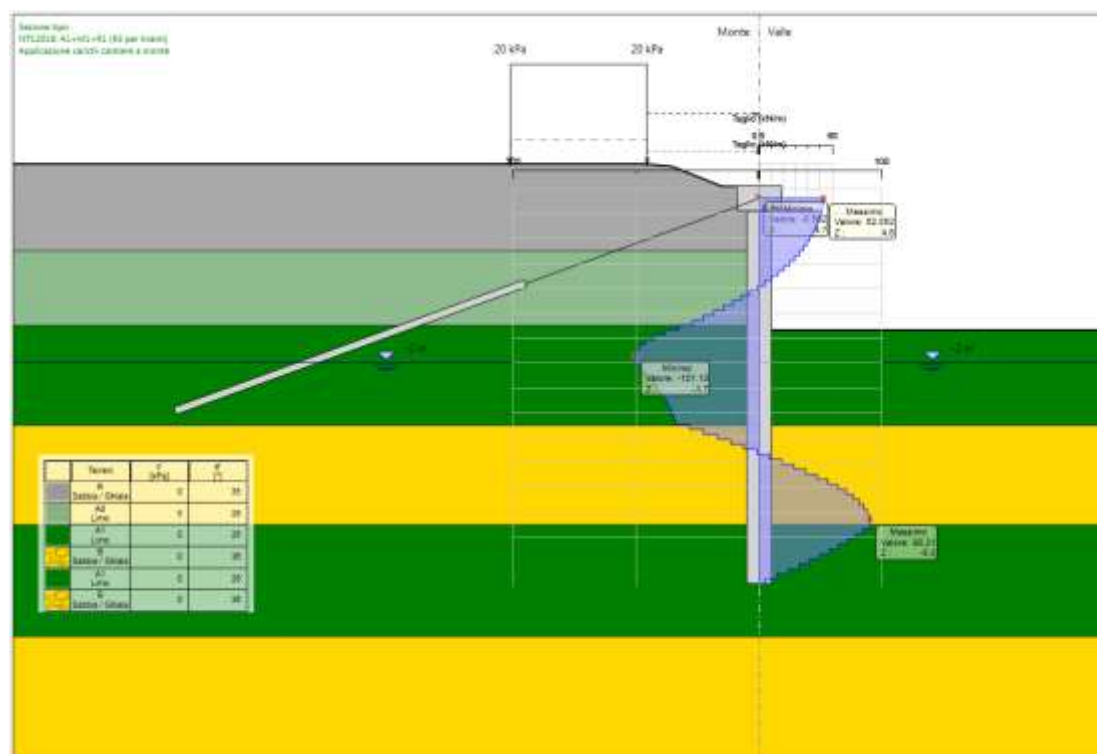


Figura 11-4. Diagramma del taglio nella combinazione SLU A1+M1+R1 nella fase 5

**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

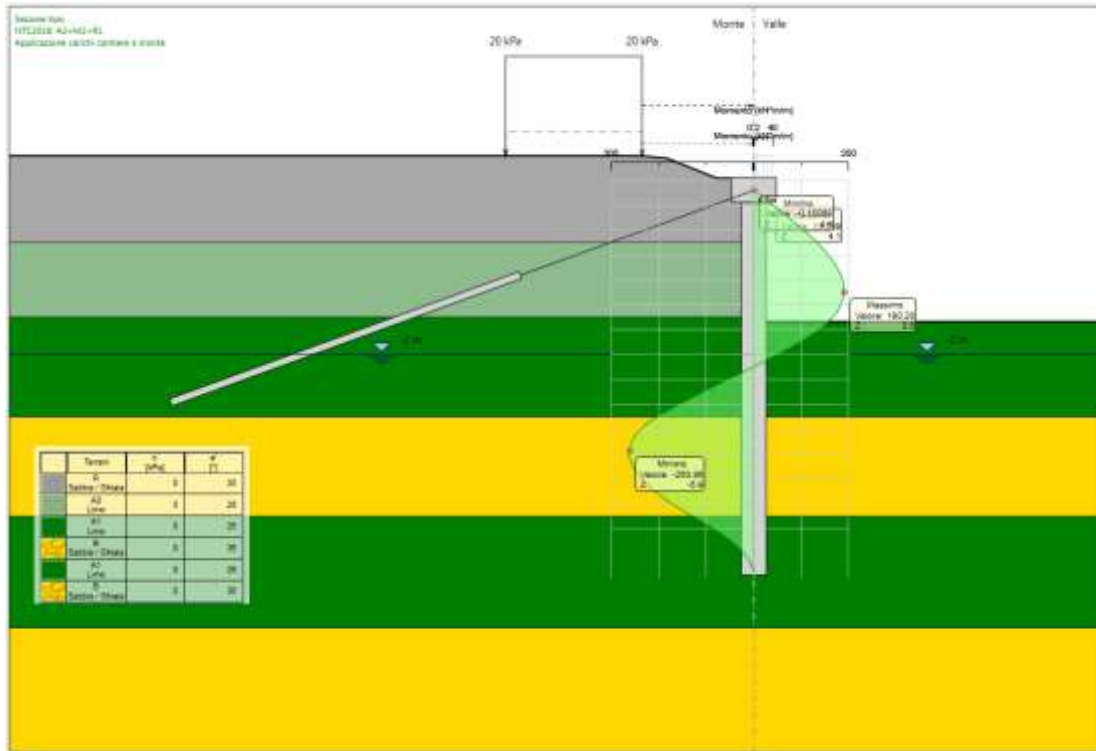


Figura 11-5. Diagramma del momento flettente nella combinazione SLU A2+M2+R1 nella fase 5

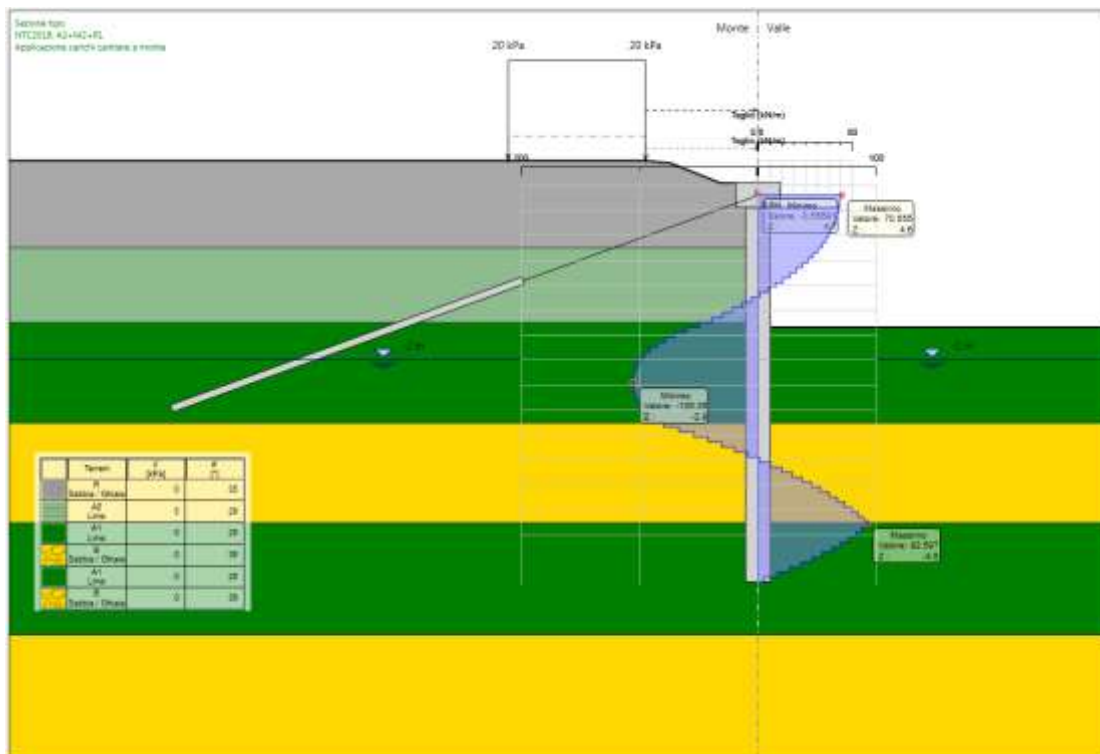


Figura 11-6. Diagramma del taglio nella combinazione SLU A2+M2+R1 nella fase 5

**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

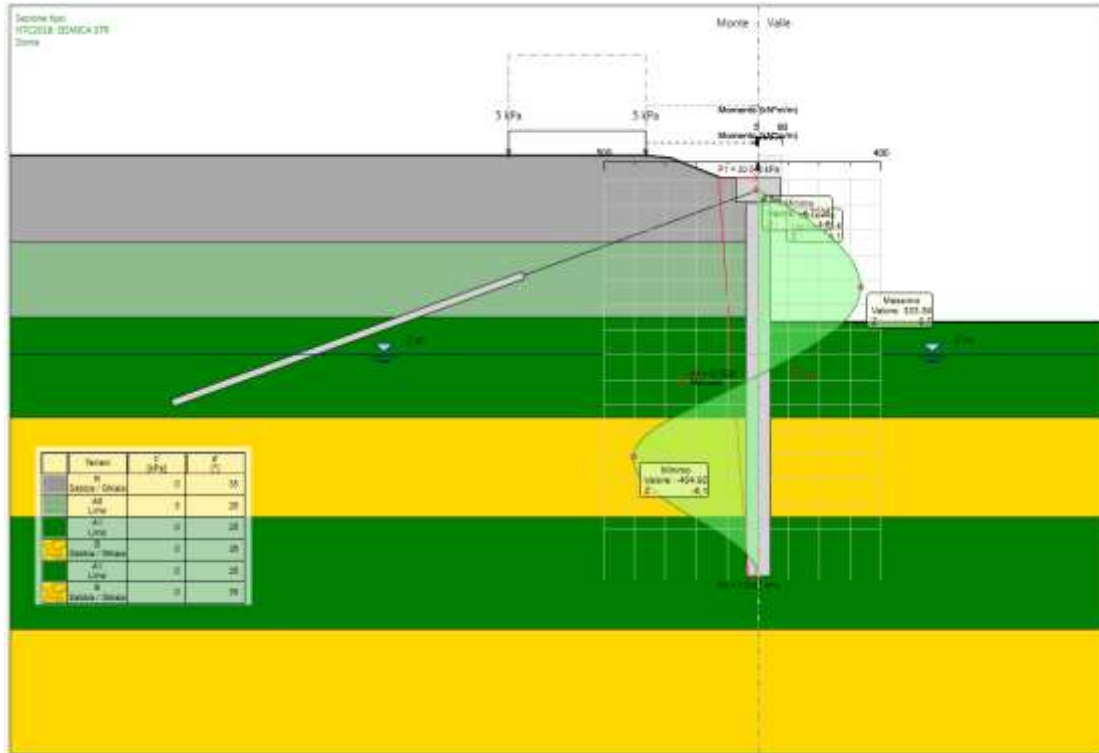


Figura 11-7. Diagramma del momento flettente nella combinazione SLV (sisma)

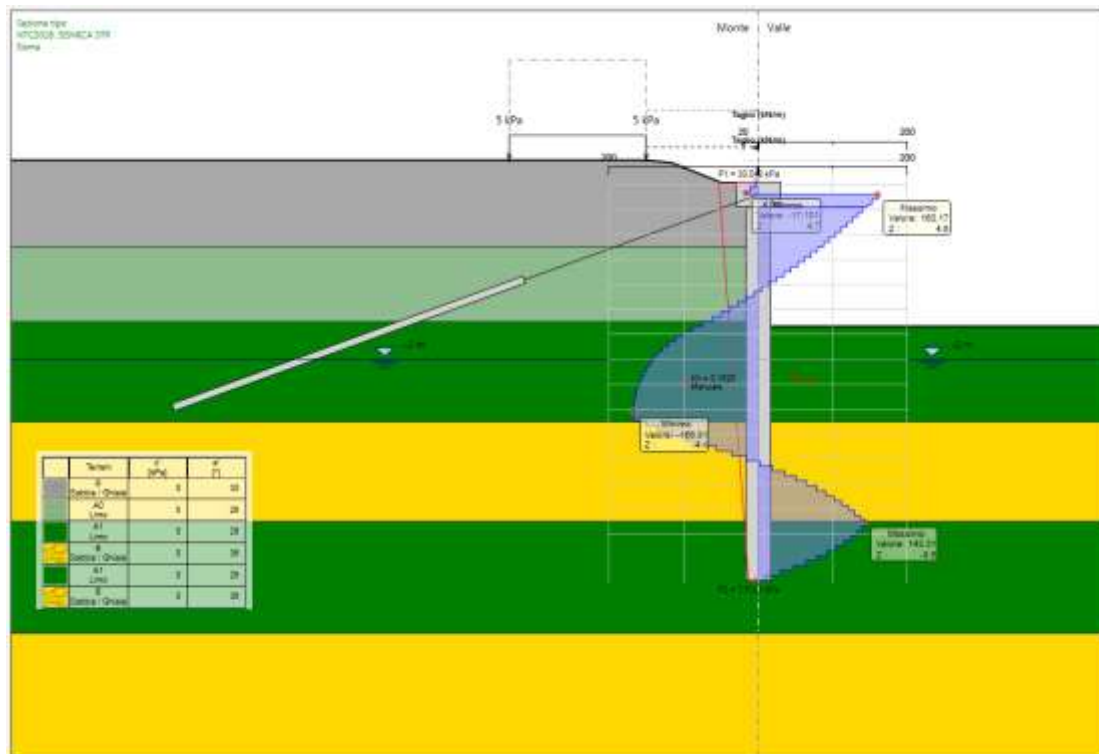


Figura 11-8. Diagramma del taglio nella combinazione SLV (sisma)

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	Cordolo testa pali	Pali
SLE	5	M_{max}	M (kNm)	19.7	267.0
			V (kN)	38.9	1.3
		V_{max}	M (kNm)	7.9	111.7
			V (kN)	40.1	82.8
SLU-STR	5	M_{max}	M (kNm)	25.9	348.2
			V (kN)	51.0	2.3
		V_{max}	M (kNm)	10.4	51.5
			V (kN)	52.6	121.3
SLU-GEO	5	M_{max}	M (kNm)	34.9	313.2
			V (kN)	69.0	10.8
		V_{max}	M (kNm)	14.0	73.4
			V (kN)	70.6	126.5
SLV	6	M_{max}	M (kNm)	72.4	485.9
			V (kN)	146.3	19.1
		V_{max}	M (kNm)	27.3	283.0
			V (kN)	160.2	200.2

Tabella n. 11-1. Azioni di progetto per le verifiche strutturali

12 ANALISI MURO TIPO 2 - VERIFICHE

12.1 VERIFICA DELL'IMMORSAMENTO DEI PALI

In figura 12-1 e in Figura 12-2 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 (fase 5) e SLV (fase 6). 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 = $807.53/1554.2 = 0.520$.
- Combinazione SLV – fase 6: Thrust ratio = $886.7/1353.4 = 0.655$.

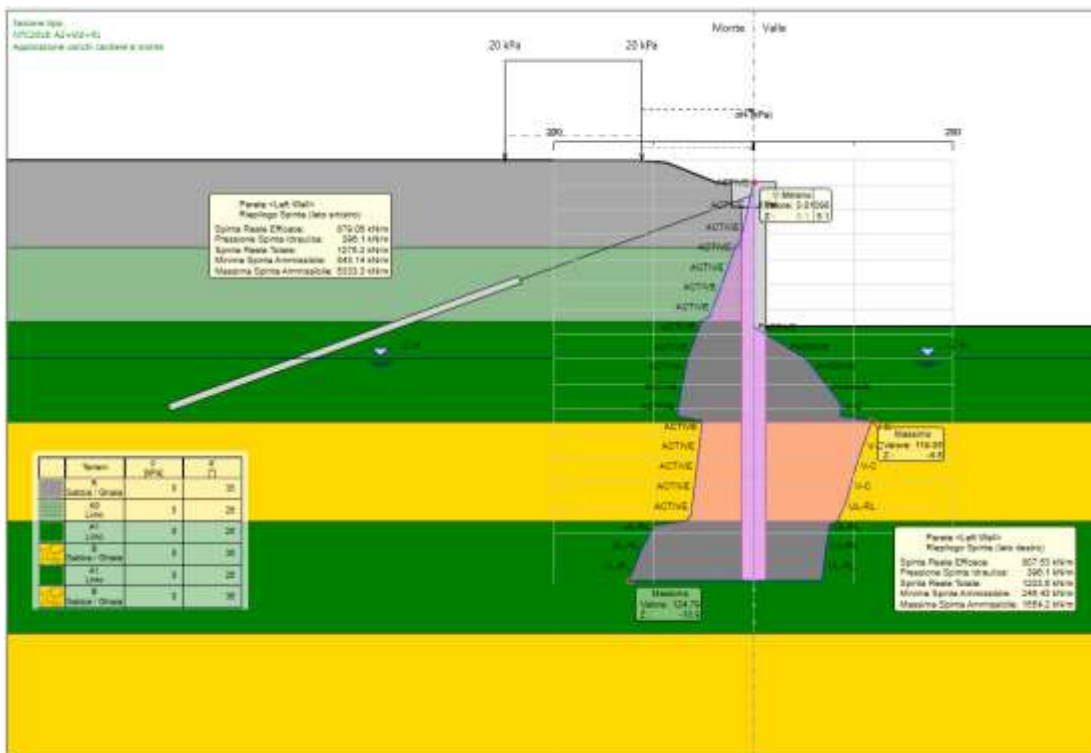


Figura 12-1. Riepilogo spinte fase 5 – combinazione A2+M2+R1

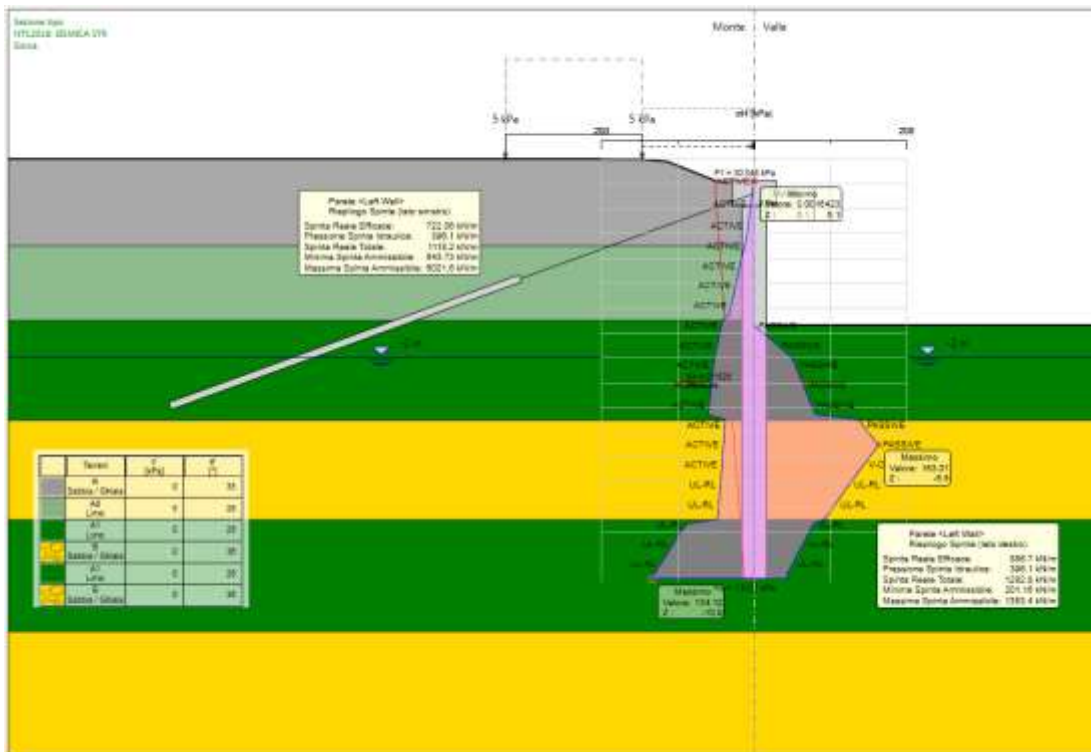


Figura 12-2. Riepilogo spinte fase 6 – combinazione SLV

12.2 VERIFICA DEI TIRANTI

I risultati della verifica allo sfilamento e della verifica di resistenza strutturale dei tiranti nelle fasi significative del calcolo sono riportati nella tabella n.12-1.

La fase più gravosa risulta quella di applicazione del sisma, per la quale si ottengono i valori minimi dei coefficienti di sicurezza:

- Verifica GEO: $F.S. = 902.78/642.97 = 1.40$
- Verifica STR: $F.S. = 664.38/642.97 = 1.03.$

Fase	Combinazione	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR
3	A1+M1+R3	9.97	902.78	664.38	0.011	0.015
4	A1+M1+R3	176.46	902.78	664.38	0.195	0.266
5	A1+M1+R3	188.00	902.78	664.38	0.208	0.283
6	SLV	642.97	902.78	664.38	0.712	0.968

Tabella n. 12-1- Risultati delle verifiche GEO e STR dei tiranti

12.3 VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI

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

Si dispongono:

15φ26 con staffe a spirale φ12 passo 15 cm.

Segue tabulato di calcolo.

**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

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Palo 1000

(Percorso File: C:\Users\cantone\Desktop\1.PASSANTE BOLOGNA\Palo 1000.sez)

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
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertzia
 Riferimento alla sismicit : Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141,60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70,80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0,0020
 Def.unit. ultima ecu : 0,0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0,20
 Resis. media a trazione fctm: 26,00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15,0
 Combinazioni Rare in Esercizio
 Sc Limite : 150,00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500,0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura ftk: 4500,0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913,0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo ftd: 3913,0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0,068
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. β1*β2 : 1,00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. β1*β2 : 0,50 daN/cm²
 Comb.Rare Sf Limite : 3600,0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione (cm): 100,0 cm
 Barre circonf.: 15Ø26 (79,6 cm²)
 Copriferro (dal baric. barre): 8,5 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N.Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0	48580	1910	0
2	0	28300	20020	0

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

**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

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
1	0	26700

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7,2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 14,7 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 ≥ 1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,0 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) = 79,6 cm²

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d	
0,75	1	S	0	48580	1	114879	2,365	27,0	0,25
0,75	2	S	0	28300	1	114879	4,059	27,0	0,25

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,0 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,0 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,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00350	-0,00302	50,0	0,00221	41,5	-0,01041	-41,5
2	0,00350	-0,00302	50,0	0,00221	41,5	-0,01041	-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 = 18,4 cm]
N.Bracci staffe: 2
Area staffe/m : 15,1 cm²/m [Area Staffe Minima normativa = 12,3 cm²/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

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 ² /m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	1910	21118	144297	106113	82,2	21,80	1,000	0,3
2	S	20020	21118	144297	106113	82,2	21,80	1,000	2,8

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 ²])
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 ²])
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 ²]
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 ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] 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	22,5	-50,0	-22,5	-50,0	-280	40,6	0,0	0	0,0	0,0
---	---	------	-------	-------	-------	------	------	-----	---	-----	-----

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 ²]
ScI_min	Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²]
Sc_Eff	Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm ²]
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	0,0	0,0	0,0		0,0	0,000000	0
---	---	-----	-----	-----	--	-----	----------	---

12.4 VERIFICA STRUTTURALE DEL CORDOLO TESTA PALI

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

Si dispongono 6φ24 + 6φ24 e n.2 staffe chiuse φ12 passo 20 cm.

**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

Segue tabulato di calcolo.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Cordolo 180

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inertza
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30

Resis. compr. di calcolo fcd :	141,60 daN/cm ²
Resis. compr. ridotta fcd' :	70,80 daN/cm ²
Def.unit. max resistenza ec2 :	0,0020
Def.unit. ultima ecu :	0,0035
Diagramma tensione-deformaz. :	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec :	314750 daN/cm ²
Coeff. di Poisson :	0,20
Resis. media a trazione fctm :	26,00 daN/cm ²
Coeff. Omogen. S.L.E. :	15,0

Combinazioni Rare in Esercizio

Sc Limite :	150,00 daN/cm ²
Apert.Fess.Limite :	Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C

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

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100,0 cm
Altezza:	180,0 cm
Barre inferiori :	6Ø24 (27,1 cm ²)
Barre superiori :	6Ø24 (27,1 cm ²)
Copriferro barre inf. (dal baric. barre) :	6,4 cm
Copriferro barre sup. (dal baric. barre) :	6,4 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	7240	14630	0
2	0	2730	16020	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

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
1	0	1970

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5,2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 15,0 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4,0 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 ≥ 1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,0 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)= 27,1 cm²
Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 27,1 cm²

N.Comb.	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yneutro	x/d
1	S	0	7240	-1	180365	24,912	172,5	0,04
2	S	0	2730	-1	180365	66,068	172,5	0,04

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,0 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,0 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,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Yc max	ef min	Yf min	ef max	Yf max
1	0,00304	-0,02831	180,0	0,00043	173,6	-0,06750	6,4
2	0,00304	-0,02831	180,0	0,00043	173,6	-0,06750	6,4

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

Diametro staffe: 12 mm

**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

Passo staffe: 20,0 cm [Passo massimo di normativa = 30,2 cm]
 N.Bracci staffe: 4
 Area staffe/m : 22,6 cm²/m [Area Staffe Minima normativa = 15,0 cm²/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 [cm²/m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	14630	47094	381442	345720	100,0	21,80	1,000	1,0
2	S	16020	47094	381442	345720	100,0	21,80	1,000	1,0

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/cm²)
 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/cm²)
 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/cm²)
 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. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
 Af eff. Area barre tese di acciaio [cm²] 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	0,3	180,0	-0,3	180,0	-5	173,6	0,0	0	0,0	0,0

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/cm²)
 ScI_min Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²)
 Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm²)
 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	0,0	0,0	0,0		0,0	0,000000	0