

AUTOSTRADA VALDASTICO

A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP G21B1 30006 60005
WBS B25.A31N.L1
COMMESSA J16L1

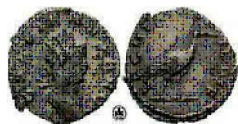
COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PROVAZIONI SPECIALISTICHE:
Technita S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:

ROCKSOIL S.p.A.

Il Responsabile
Dott. Ing. Giovanni Cassani



ELABORATO: OPERE D'ARTE MAGGIORI
OPERE IN SOTTERANEO
GALLERIA S. PIETRO
OPERE DI IMBOCCO - RELAZIONE DI CALCOLO

Progressivo Rev.
07 02 06 003 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA: --
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	ROCKSOIL - ZIMBALDI	AMADI	GATTI	NOME FILE: J16L1_07_02_06_003_0101_OPD_02.doc
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	ROCKSOIL - ZIMBALDI	AMADI	GATTI	CM. PROGR. FG. LIV. REV. J16L1_07_02_06_003_0101_OPD_02
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	ROCKSOIL - ZIMBALDI	AMADI	GATTI	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO
PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA

Opere in sotterraneo

Galleria San Pietro

Opere di imbocco - Relazione di calcolo

INDICE

1	INTRODUZIONE	10
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	13
3	SOFTWARE UTILIZZATI	14
	3.1 PARATIE PLUS	14
	3.2 MAX 10.10	15
4	DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO	17
	4.1 PARATIA IN PALI – Imbocco San Pietro sud	17
	4.2 PARATIA IN MICROPALI – Imbocco San Pietro nord	18
	4.3 FASI ESECUTIVE	19
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO	20
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	22
	6.1 RESISTENZA DEI MATERIALI	23
7	DEFINIZIONE DEI CARICHI AGENTI	25
	7.1 SPINTA DEL TERRENO	25
	7.2 CARICO IDRAULICO	25
	7.3 CARICO SISMICO	25
8	CRITERI DI VERIFICA	28
	8.1 Stati limite ultimi (S.L.U.)	28
	8.2 Stati limite di esercizio (S.L.E.)	31
	8.2.1 <i>Verifica a Fessurazione</i>	32
	8.3 Tiranti	33
	8.4 Trave di ripartizione	36
9	ANALISI NUMERICHE	38
	9.1 FASI DI CALCOLO	40
	9.2 PARAMETRI GEOTECNICI	40
10	IMBOCCO SAN PIETRO SUD	45
	10.1 VERIFICA DEI PALI	45
	10.1.1 <i>Spostamenti</i>	45
	10.1.1 <i>Verifiche a pressoflessione</i>	45
	10.1.2 <i>Verifiche a taglio</i>	47
	10.2 VERIFICA DEI TIRANTI	48

10.2.1	<i>Verifiche dei trefoli</i>	48
10.2.2	<i>Verifiche della lunghezza libera e dell’ancoraggio</i>	50
10.3	VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONI	52
10.4	VERIFICA DELLA TRAVE DI TESTA	56
11	IMBOCCO SAN PIETRO NORD	58
11.1	VERIFICA DEI MICROPALI	58
11.1.1	<i>Spostamenti</i>	58
11.1.2	<i>Verifiche a flessione e taglio</i>	58
11.2	VERIFICA DEI TIRANTI	60
11.2.1	<i>Verifiche dei trefoli</i>	60
11.2.2	<i>Verifiche della lunghezza libera e dell’ancoraggio</i>	63
11.3	VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONI	66
11.4	VERIFICA DELLA TRAVE DI TESTA	71
12	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	73
12.1	Modello di calcolo	73
12.2	Parametri di calcolo	76
12.3	Risultati	77
13	IMBOCCO SAN PIETRO SUD – MURO DEFINITIVO	94
13.1	VERIFICHE GEOTECNICHE	94
13.2	Verifica strutturale muro	97
13.2.1	<i>Verifica allo SLU</i>	98
13.2.2	<i>Verifica allo SLE</i>	99
14	IMBOCCO SAN PIETRO NORD – MURO DEFINITIVO	100
14.1	VERIFICHE GEOTECNICHE	100
14.2	Verifica strutturale muro	103
14.2.1	<i>Verifica allo SLU</i>	104
14.2.2	<i>Verifica allo SLE</i>	105
15	CONCLUSIONI	106
ALLEGATI		107
15.1	SAN PIETRO SUD – 1	107
15.2	SAN PIETRO SUD – 2	110
15.3	SAN PIETRO SUD – 3	113
15.1	SAN PIETRO NORD – 1	116
15.1	SAN PIETRO NORD – 2	119
15.1	SAN PIETRO NORD – 3	122

Indice delle tabelle

Tabella 1: Coefficienti parziali per le azioni	28
Tabella 2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici	29
Tabella 3: Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi	33
Tabella 4: Valori di α in funzione del tipo di terreno e delle modalità di iniezione (semplice o ripetute).	34
Tabella 5: Sezioni di calcolo	38
Tabella 6: Specifiche – San Pietro sud - 1	38
Tabella 7: Specifiche – San Pietro sud – 2	39
Tabella 8: Specifiche – San Pietro sud – 3	39
Tabella 9: Specifiche per modello bidimensionale – San Pietro sud – 3	39
Tabella 10: Specifiche – San Pietro nord - 1	39
Tabella 11: Specifiche – San Pietro nord – 2	39
Tabella 12: Specifiche – San Pietro nord - 3	40
Tabella 13: Stratigrafia per San Pietro sud	40
Tabella 14: Stratigrafia per San Pietro nord	42
Tabella 15: Spostamenti orizzontali	45
Tabella 16: Armatura	45
Tabella 17: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro sud – 1	47
Tabella 18: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro sud - 2	47
Tabella 19: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro sud – 3	47
Tabella 20: Verifica a taglio – San Pietro sud - 1	47
Tabella 21: Verifica a taglio – San Pietro sud - 2	47
Tabella 22: Verifica a taglio – San Pietro sud – 3.....	47
Tabella 23: Verifica dei trefoli – San Pietro sud – 1.....	48
Tabella 24: Verifica dei trefoli – San Pietro sud – 2.....	49
Tabella 25: Verifica dei trefoli – San Pietro sud - 3.....	50
Tabella 26: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro sud – 1	50
Tabella 27: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro sud – 2	50
Tabella 28: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro sud – 3	50
Tabella 29: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro sud – 1.....	51
Tabella 30: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro sud - 2.....	51
Tabella 31: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro sud – 3.....	52
Tabella 32: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro sud – 1	53

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Tabella 33: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro sud – 3.....	54
Tabella 34: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro sud – 2.....	54
Tabella 35: Verifica a taglio - travi di ripartizione – San Pietro sud – 2.....	55
Tabella 36: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro sud – 1.....	55
Tabella 37: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro sud – 3.....	55
Tabella 38: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro sud – 2.....	56
Tabella 39: Verifica trave di testa.....	57
Tabella 40: Spostamenti orizzontali.....	58
Tabella 41: Armatura.....	59
Tabella 42: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro Nord – 1.....	60
Tabella 43: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro Nord – 2.....	60
Tabella 44: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro Nord – 3.....	60
Tabella 45: Verifica dei trefoli – San Pietro Nord - 1.....	61
Tabella 46: Verifica dei trefoli – san Pietro Nord – 2.....	62
Tabella 47: Verifica dei trefoli – san Pietro Nord – 3.....	63
Tabella 48: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro Nord – 1.....	63
Tabella 49: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro Nord – 2.....	63
Tabella 50: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro Nord – 3.....	63
Tabella 51: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro Nord – 1.....	64
Tabella 52: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro Nord – 2.....	65
Tabella 53: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro Nord – 3.....	66
Tabella 54: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro Nord – 1.....	67
Tabella 55: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro Nord – 3.....	68
Tabella 56: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro Nord – 2.....	69
Tabella 57: Verifica a taglio - travi di ripartizione – San Pietro Nord – 2.....	70
Tabella 58: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro Nord – 1.....	70
Tabella 59: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro Nord – 3.....	70
Tabella 60: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro Nord – 2.....	71
Tabella 61: Verifica trave di testa.....	72
Tabella 62: Parametri di progetto – Analisi statica (A2+M2) – San Pietro sud – 1.....	76
Tabella 63: Parametri di progetto – Analisi statica (A2+M2) – San Pietro nord – 2.....	76
Tabella 64: Parametri di progetto – Analisi sismica (A1+M1) - San Pietro sud – 1.....	76
Tabella 65: Parametri di progetto – Analisi sismica (A1+M1) – San Pietro nord – 2.....	76
Tabella 66: Analisi di stabilità globale - statica.....	77
Tabella 67: Analisi di stabilità globale – sismica.....	77

Tabella 68: Parametri di progetto – Analisi statica (A2+M2)	91
Tabella 69: Combinazioni di carico	95
Tabella 70: Coefficienti di sicurezza sulle azioni	95
Tabella 71: Coefficienti di sicurezza sulla resistenza dei terreni	95
Tabella 72: Dati per l’analisi sismica	95
Tabella 73: Risultati	96
Tabella 74: Sollecitazioni allo SLU - Paramento	98
Tabella 75: Sollecitazioni allo SLU - Fondazione	98
Tabella 76: Verifiche tensionali - Paramento	99
Tabella 77: Verifiche tensionali – Fondazione	99
Tabella 78: Combinazioni di carico	101
Tabella 79: Coefficienti di sicurezza sulle azioni	101
Tabella 80: Coefficienti di sicurezza sulla resistenza dei terreni	101
Tabella 81: Dati per l’analisi sismica	101
Tabella 82: Risultati	102
Tabella 83: Sollecitazioni allo SLU - Paramento	104
Tabella 84: Sollecitazioni allo SLU - Fondazione	104
Tabella 85: Verifiche tensionali - Paramento	105
Tabella 86: Verifiche tensionali - Fondazione	105

Indice delle figure

Figura 1 - Sezione tipo San Pietro sud	10
Figura 2 - Planimetria imbocco San Pietro sud	11
Figura 3 - Planimetria imbocco San Pietro nord	12
Figura 4 - Sezione tipo San Pietro nord	12
Figura 5 - Interazione suolo – struttura nel programma PARATIE	14
Figura 6 - Input di MAX	16
Figura 7 - Sviluppata imbocco San Pietro sud	18
Figura 8 - Sviluppata imbocco San Pietro nord	18
Figura 9 - Stratigrafia imbocco San Pietro sud	20
Figura 10 - Stratigrafia imbocco San Pietro nord	21
Figura 11 - Metodo di Clarke e Birjandi	30
Figura 12 - Diagramma per il calcolo del valore di τ_{lim} per terreni incoerenti	35
Figura 13 - Diagramma per il calcolo del valore di τ_{lim} per rocce alterate e fratturate	35
Figura 14 - Modello “San Pietro sud – 1”	41

Figura 15 - Modello “San Pietro sud – 2”	41
Figura 16 - Modello “San Pietro sud – 3”	42
Figura 17 - Modello “San Pietro nord – 1”	43
Figura 18 - Modello “San Pietro nord – 2”	43
Figura 19 - Modello “San Pietro nord – 3”	44
Figura 20 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro sud – 1	46
Figura 21 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro sud - 2.....	46
Figura 22 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro sud – 3.....	46
Figura 23 - Verifica a flessione – San Pietro sud – 2.....	55
Figura 24 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro Nord - 1	59
Figura 25 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro Nord – 2	59
Figura 26 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro Nord - 3	59
Figura 27 - Verifica a flessione – San Pietro Nord – 2	69
Figura 28 - Suddivisione in conci del meccanismo di rottura	73
Figura 29 - Forze agenti sul singolo concio.....	74
Figura 30 - Sfruttamento dei tiranti.....	75
Figura 31 - Analisi stabilità statica San Pietro Sud – 1	78
Figura 32 - Analisi stabilità sismica San Pietro Sud – 1	78
Figura 33 - Analisi stabilità statica San Pietro Nord - 2.....	79
Figura 34 - Analisi stabilità sismica San Pietro Nord – 2	79
Figura 35 - Imbocco nord, con in rosso la zona della frana della Marogna.....	81
Figura 36 - Paratia dell’imbocco San Pietro Nord (linea gialla che raccorda i vertici numerati)	82
Figura 37 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea azzurra	83
Figura 38 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea rossa	84
Figura 39 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea verde.....	85
Figura 40 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea gialla	86
Figura 41 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea arancione.....	87
Figura 42 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea bianca	88
Figura 43 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea viola	89
Figura 44 - Analisi stabilità statica San Pietro Nord – 2 - superficie passante per la paratia	90
Figura 45 - Analisi stabilità statica San Pietro Nord – 2 - superficie passante per il piede	91
Figura 46 - Analisi stabilità del versante – meccanismo superficiale – FS = 1.143.....	92
Figura 47 - Analisi stabilità del versante – superficie passante per canna Nord – FS = 1.220	92
Figura 48 - Analisi stabilità del versante – superficie passante per canna Sud – FS = 1.303	93
Figura 49 - Modello di calcolo.....	94

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Figura 50 - Superficie critica.....	96
Figura 51 - Andamento tipo delle sollecitazioni sul muro	97
Figura 52 - Verifica MN – Paramento	98
Figura 53 - Verifica MN – Fondazione.....	98
Figura 54 - Verifica a taglio – Paramento	99
Figura 55 - Verifica a taglio – Fondazione	99
Figura 56 - Modello di calcolo.....	100
Figura 57 - Superficie critica.....	102
Figura 58 - Andamento tipo delle sollecitazioni sul muro	103
Figura 59 - Verifica MN – Paramento	104
Figura 60 - Verifica MN – Fondazione.....	104
Figura 61 - Verifica a taglio – Paramento	105
Figura 62 - Verifica a taglio – Fondazione	105
Figura 63 - Involuppo spostamenti SLE.....	107
Figura 64 - Involuppo momento flettente SLE	108
Figura 65 - Involuppo taglio SLE.....	108
Figura 66 - Involuppo momento flettente SLU.....	109
Figura 67 - Involuppo taglio SLU	109
Figura 68 - Involuppo spostamenti SLE.....	110
Figura 69 - Involuppo momento flettente SLE	111
Figura 70 - Involuppo taglio SLE.....	111
Figura 71 - Involuppo momento flettente SLU.....	112
Figura 72 - Involuppo taglio SLU	112
Figura 73 - Involuppo spostamenti SLE.....	113
Figura 74 - Involuppo momento flettente SLE	114
Figura 75 - Involuppo taglio SLE.....	114
Figura 76 - Involuppo momento flettente SLU.....	115
Figura 77 - Involuppo taglio SLU	115
Figura 78 - Involuppo spostamenti SLE.....	116
Figura 79 - Involuppo momento flettente SLE	117
Figura 80 - Involuppo taglio SLE.....	117
Figura 81 - Involuppo momento flettente SLU.....	118
Figura 82 - Involuppo taglio SLU	118
Figura 83 - Involuppo spostamenti SLE.....	119
Figura 84 - Involuppo momento flettente SLE	120

Figura 85 - Inviluppo taglio SLE	120
Figura 86 - Inviluppo momento flettente SLU	121
Figura 87 - Inviluppo taglio SLU	121
Figura 88 - Inviluppo spostamenti SLE	122
Figura 89 - Inviluppo momento flettente SLE	123
Figura 90 - Inviluppo taglio SLE	123
Figura 91 - Inviluppo momento flettente SLU	124
Figura 92 - Inviluppo taglio SLU	124

1 INTRODUZIONE

Oggetto della presente Relazione di Calcolo sono le opere a sostegno degli scavi previste per la realizzazione degli imbocchi della galleria “San Pietro”, nell’ambito del Progetto Definitivo dell’Autostrada A 31 Nord Trento Rovigo – Tronco Trento - Valdastico – Piovene Rocchette.

La galleria naturale e le gallerie artificiali ai 2 imbocchi saranno oggetto di un’apposita relazione tecnica e di calcolo.

All’imbocco sud della galleria “San Pietro”, l’opera di contenimento degli scavi, costituita da pali di grande diametro, interessa un’area dove sono presenti detriti di versante.

All’imbocco nord della galleria “San Pietro”, si è scelta la berlinese in micropali, in quanto detriti di frana di grossa pezzatura rendono difficoltoso la realizzazione di pali di grosso diametro.

Nel seguito vengono descritte in dettaglio le fasi esecutive per la realizzazione delle opere, si forniscono le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati e si riportano i risultati delle verifiche statiche condotte

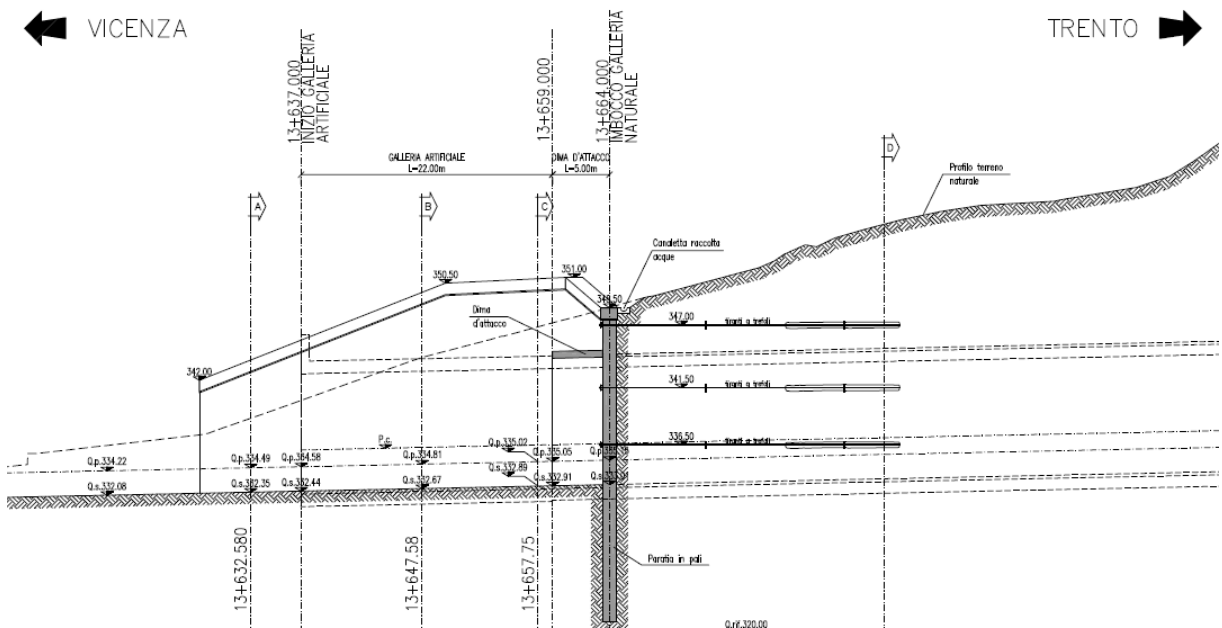


Figura 1 - Sezione tipo San Pietro sud

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

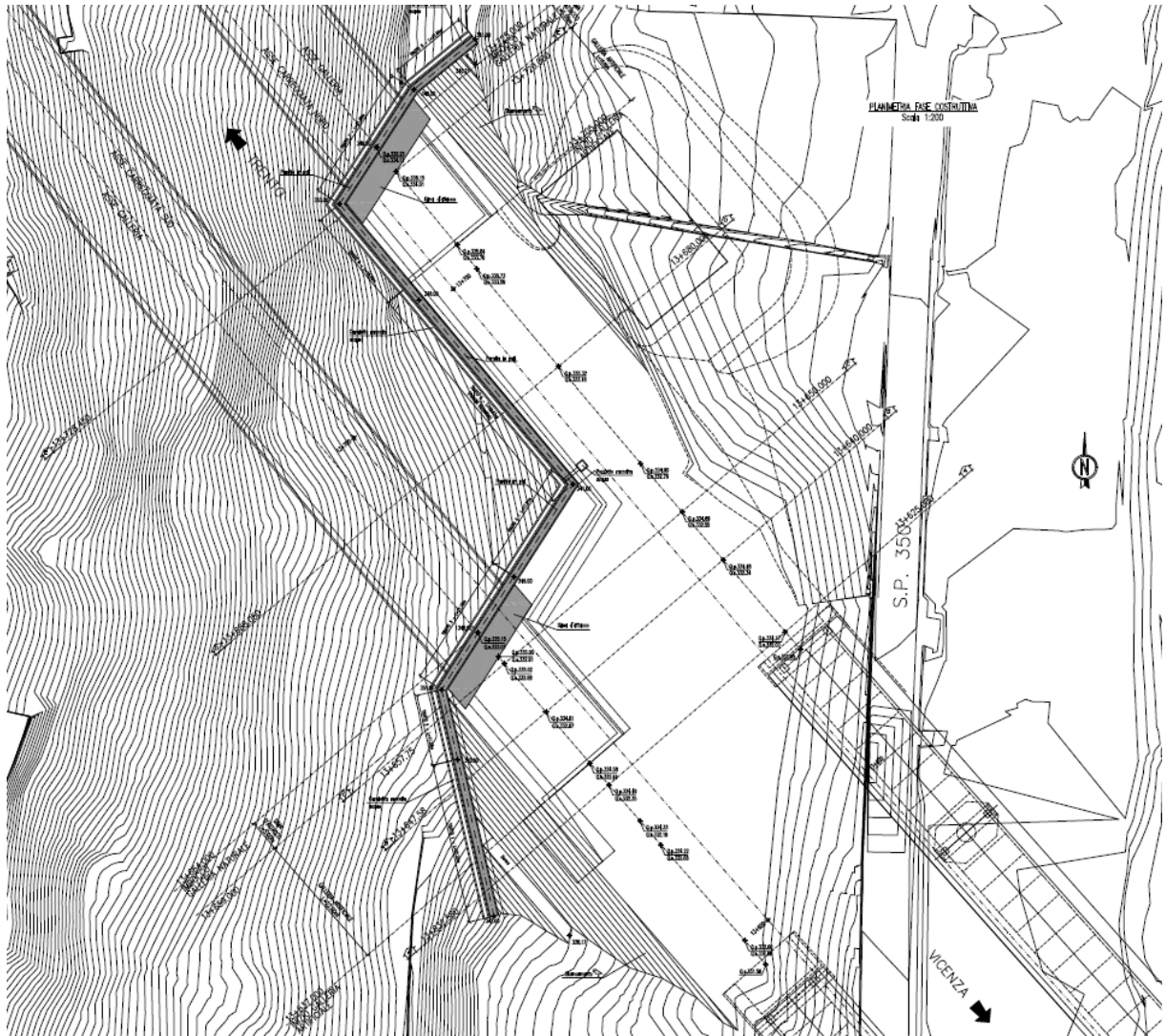


Figura 2 - Planimetria imbocco San Pietro sud

All'imbocco nord, lo scavo in naturale della canna sud intercetta una fila di tiranti della paratia a carattere provvisorio tra le due gallerie. Per assicurare la stabilità del versante, la realizzazione della galleria artificiale in canna nord ed il relativo ritombamento devono essere completati prima della partenza dello scavo in naturale della canna sud.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

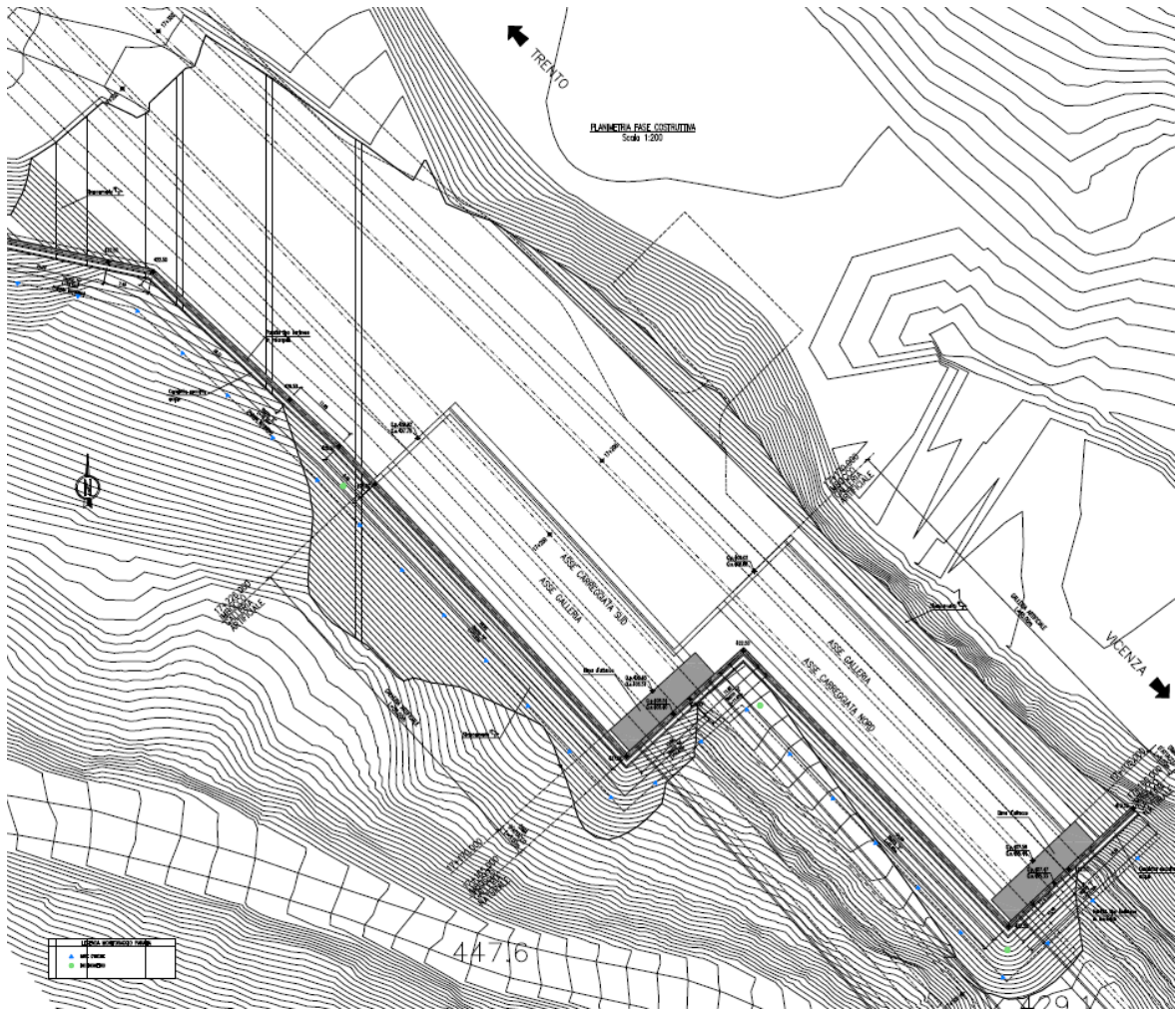


Figura 3 - Planimetria imbocco San Pietro nord

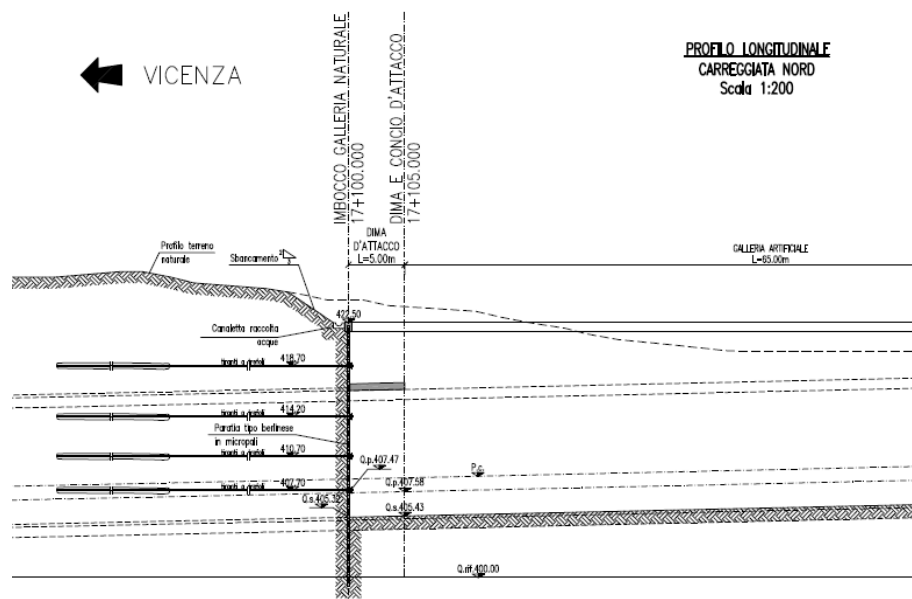


Figura 4 - Sezione tipo San Pietro nord

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche statiche degli interventi, la redazione della presente relazione e degli elaborati tecnici allegati sono state effettuate nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune Raccomandazioni.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 – Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- EC2_UNI-ENV-1992: “Progettazione Strutture in c.a.”;
- EC3_UNI-ENV-1993: “Progettazione delle strutture in acciaio”;
- EC7_UNI-ENV-1997: “Progettazione geotecnica”;
- EC8_UNI-ENV-1998: “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”;
- Ancoraggi nei Terreni e nelle Rocce, Raccomadazioni AGI-AICAP, AGI, Roma, 2012;
- UNI-EN 1537, Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Tiranti di ancoraggio;
- Circolare 617 – 2/2/2009.

3 SOFTWARE UTILIZZATI

Nella presente relazione di calcolo si è fatto uso dei seguenti codici di calcolo:

- PARATIE PLUS per Windows, Versione 14.1. Programma per il progetto e la verifica di paratie, CEAS.
- SLOPE / W, Versione 5. Programma per l’analisi di stabilità di pendii, GEO-SLOPE Int. Ltd., Canada.
- MAX 10.10 di Aztec Informatica. Programma per l’analisi di muri

3.1 PARATIE PLUS

Il programma Paratie affronta il problema della simulazione di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili attraverso il metodo degli elementi finiti. La schematizzazione del fenomeno fisico è del tipo “Trave su suolo elastico” detto anche terreno alla Winkler.

La paratia viene rappresentata come elementi trave il cui comportamento flessionale è definito dalla rigidezza flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie.

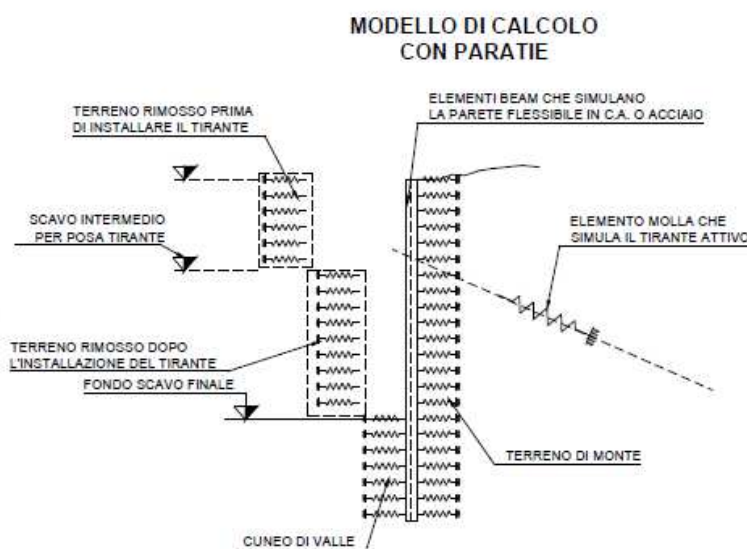


Figura 5 - Interazione suolo – struttura nel programma PARATIE

Con questo modello di calcolo la realizzazione dello scavo sostenuto da paratie tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi elencate in precedenza. L’analisi con il modello ad elementi finiti è quindi un’analisi “Statica Incrementale”: ogni passo coincide con una ben precisa configurazione, caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una distribuzione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi

finiti (terreno) è di tipo elastoplastico, ogni step richiede più iterazioni ed ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti: lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo step di carico condiziona la risposta della struttura negli step successivi.

I parametri che caratterizzano il modello possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p . I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidezza delle molle.

Le due componenti di sforzo verticale ed orizzontale vengono intese come sforzi principali. Viene definita una funzione di plasticità dipendente da esse, e la funzione anzidetta determina i confini di una regione entro la quale è determinato lo stato tensionale. A seconda dello stato in cui l'elemento si trova, esso reagisce con differenti caratteristiche di rigidezza.

Sono possibili tre situazioni:

- Fase elastica: l'elemento si comporta elasticamente; questa fase corrisponde ad una porzione di terreno in fase di scarico-ricarico, sollecitato a livelli di sforzo al di sotto dei massimi livelli precedentemente sperimentati.
- Fase incrudente: l'elemento viene sollecitato a livelli di tensione mai ancora sperimentati.
- Collasso: il terreno è sottoposto ad uno stato di sollecitazione coincidente con i limiti minimo o massimo dettati dalla resistenza del materiale. Questa fase corrisponde a quelle che solitamente vengono chiamate condizioni di spinta attiva o passiva.

3.2 MAX 10.10

Il programma MAX è dedicato all'analisi e al calcolo dei muri di sostegno. I tipi di muri che è possibile analizzare con il programma MAX sono:

- muri a gravità;
- a semigravità;
- muri in calcestruzzo armato.

Dopo aver definito la geometria del muro e la stratigrafia, l'analisi dei carichi, le verifiche di sezione ed il calcolo delle spinte dei terreni verranno effettuate in accordo con le Norme Tecniche 2008. In particolare le verifiche di sezione verranno effettuate secondo gli stati limite ultimi e gli stati limite di esercizio. In tale ambito normativo bisogna impostare i

coefficienti di amplificazione dei carichi o di riduzione delle caratteristiche dei terreni.

Tale norma si basa sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considera due famiglie di combinazioni (indicate come A1-M1 e A2-M2).

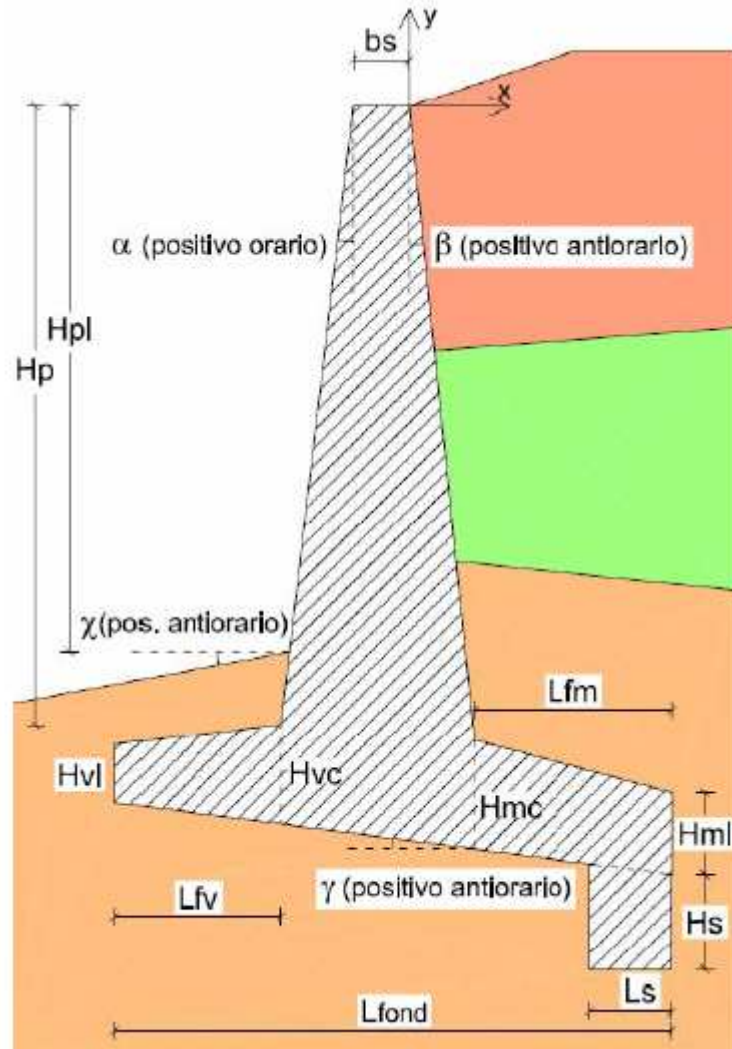


Figura 6 - Input di MAX

Il programma esegue le seguenti verifiche geotecniche per il muro di sostegno:

- verifica al ribaltamento;
- verifica a scorrimento;
- verifica a carico ultimo;
- verifica della stabilità globale.

MAX calcola inoltre le sollecitazioni agenti nel muro, per permetterne il dimensionamento strutturale.

4 DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO

Nel seguito si fornisce una descrizione dei principali interventi previsti per la realizzazione degli imbocchi della Galleria “San Pietro”, oggetto di questa relazione; per ulteriori informazioni si rimanda agli appositi elaborati grafici.

4.1 PARATIA IN PALI – Imbocco San Pietro sud

Quale opera di contenimento degli scavi è prevista la realizzazione di una paratia in pali di grosso diametro $\varnothing 1200$ mm, in calcestruzzo armato C28/35 disposti a passo 1400 mm e collegati da una trave di coronamento, anch’essa in calcestruzzo armato C28/35, di dimensioni 150x100 cm.

Con riferimento alle geometrie di progetto, i pali presentano un’altezza massima fuori terra di circa 18.7 m, un’infissione relativa pari a circa 5.3 m, per un’altezza totale massima pari a circa 24 m.

I pali sono sostenuti da un intervento di tirantatura disposto su più ordini (al massimo 3); si sono impiegati tiranti aventi 5–6 trefoli (sezione nominale del trefolo 139 mm^2), disposti con passo 1,4-2,8 m ed inclinazione di -5° - 0° - 30° rispetto alla verticale e di 0° sul piano orizzontale (tranne limitate zone). I tiranti sono a carattere provvisorio; l’iniezione della miscela cementizia dovrà avvenire ad alta pressione e dovrà essere ripetuta.

Le travi di ripartizione dei tiranti saranno realizzate mediante 2 profilati metallici HEB 140/160/180 accoppiati in acciaio S275.

L’uscita delle due gallerie è sfalsata di circa 65m e la stabilità a lungo termine tra i 2 imbocchi è assicurata da pali tirantati a carattere permanente (C28/35): l’inclinazione dei tiranti è stata studiata in modo tale da evitare l’interferenza tra lo scavo della galleria sud ed i tiranti stessi.

In questo tratto le travi di ripartizione sono costituite da travi in cemento armato, con calcestruzzo C28/35, di base pari a 35cm e altezza pari a 60cm, e la trave di ripartizione è in C28/35.

In corrispondenza dei micropali si prevede il getto di uno strato di betoncino proiettato, armato con rete elettrosaldata, attraversato da perforazioni in cui sono inseriti tubi drenanti per lo scarico delle acque di filtrazione e per l’intercettazione, con il conseguente abbattimento, del livello della falda acquifera.

Gli scavi di sbancamento in corrispondenza della struttura di sostegno hanno pendenza 2:3.

Per ulteriori informazioni inerenti gli interventi previsti in corrispondenza dell’imbocco in esame, si rimanda agli appositi elaborati grafici.

A fianco dell’uscita dalla canna sud è previsto un muro definitivo di contenimento del ritombamento, che prolunga la paratia definitiva. E’ realizzato in calcestruzzo C28/35 e supera i 10m di altezza.

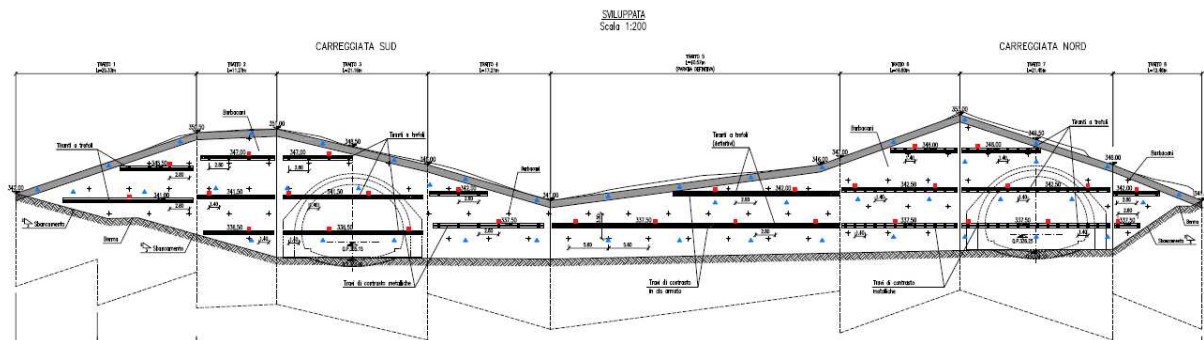


Figura 7 - Sviluppata imbocco San Pietro sud

4.2 PARATIA IN MICROPALI – Imbocco San Pietro nord

Quale opera principale di contenimento degli scavi è stata prevista la realizzazione di una paratia tipo “berlinese” in micropali, mediante tubi in acciaio S355 con diametro esterno $\varnothing 244.5$ mm, spessore 12.5 mm, disposti a passo 450 mm con un preforo $\varnothing \geq 300$ mm e collegati ad una trave di coronamento in calcestruzzo armato C28/35, di dimensioni 70x80 cm. L’altezza massima fuori terra della paratia è di circa 20 m, cui corrisponde un’altezza di infissione pari a circa 7 m e una lunghezza totale di 27 m.

I micropali sono sostenuti da un intervento di tirantatura disposto su più ordini (al massimo 5); si sono impiegati tiranti aventi 4–5–6 trefoli (sezione nominale del trefolo 139 mm²), disposti con passo variabile da 1.35 m a 1.8 m ed inclinazione di 0°-15° rispetto alla verticale e di 0° sul piano orizzontale. I tiranti sono a carattere provvisorio; l’iniezione della miscela cementizia dovrà avvenire ad alta pressione e dovrà essere ripetuta.

Le travi di ripartizione dei tiranti saranno realizzate mediante 2 profilati metallici HEB 160/180 accoppiati in acciaio S275.

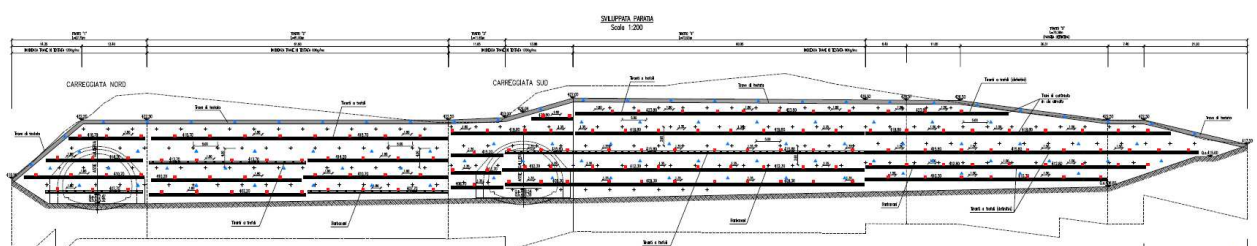


Figura 8 - Sviluppata imbocco San Pietro nord

A fianco della carreggiata sud verrà realizzata una paratia a carattere definitivo, utilizzando tubi in acciaio S355 con diametro esterno $\varnothing 177.8$ mm, spessore 25 mm, disposti a passo 500 mm con un preforo $\varnothing \geq 300$ mm, al fine di avere più di 5 cm di copriferro. L'intervento di tirantatura, disposto su 5 file, è a carattere definitivo e le travi di ripartizione sono in CA.

4.3 FASI ESECUTIVE

Per la realizzazione della paratia, si prevedono le seguenti fasi operative:

- Realizzazione dei pali/micropali secondo la geometria di progetto ed esecuzione della trave di testata.
- Scavo fino a 0,50 m sotto la quota del primo ordine di tiranti.
- Realizzazione di uno strato di spritz-beton dello spessore di 10 cm, armato con rete elettrosaldata, sulla superficie di paratia messa a nudo dallo scavo.
- Realizzazione del 1° ordine di tiranti e drenaggi ove previsti.
- Realizzazione degli ordini di tiranti e drenaggi successivi con modalità analoghe alla realizzazione del primo ordine e ripetizione delle fasi seguenti per i successivi ordini di tiranti fino al raggiungimento della quota di fondo scavo.
- Realizzazione della dima di attacco, che ha la funzione di definire la geometria di scavo e di costituire un ulteriore elemento di stabilità della parete nella delicata fase di attacco della galleria naturale.
- Scavo della galleria.
- Ritombamento finale e sistemazione definitiva dell'imbocco.

L'esecuzione dei tiranti dovrà avvenire secondo le seguenti fasi:

- Perforazione secondo la geometria di progetto.
- Posa in opera del tirante, dotato di distanziatori e canne per la successiva iniezione del bulbo di ancoraggio.
- Iniezione della miscela cementizia per la formazione del bulbo di ancoraggio, di lunghezza pari a quella prevista in progetto.
- Iniezione di cementazione secondaria nella parte libera del tirante, tra guaina liscia e parete del foro.
- Tesatura del tirante; prima di procedere al fissaggio della testa sarà necessario attendere la completa maturazione della miscela iniettata per il bulbo di ancoraggio, per un tempo dell'ordine di almeno 72 ore.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

L’imbocco sud della Galleria “San Pietro” interessa completamente detriti di versante.

Dalla sintesi dei dati raccolti durante le campagne di indagine si evince un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

Si riporta di seguito un quadro di sintesi della stratigrafia e per un approfondimento, si rimanda alla relazione geologica.

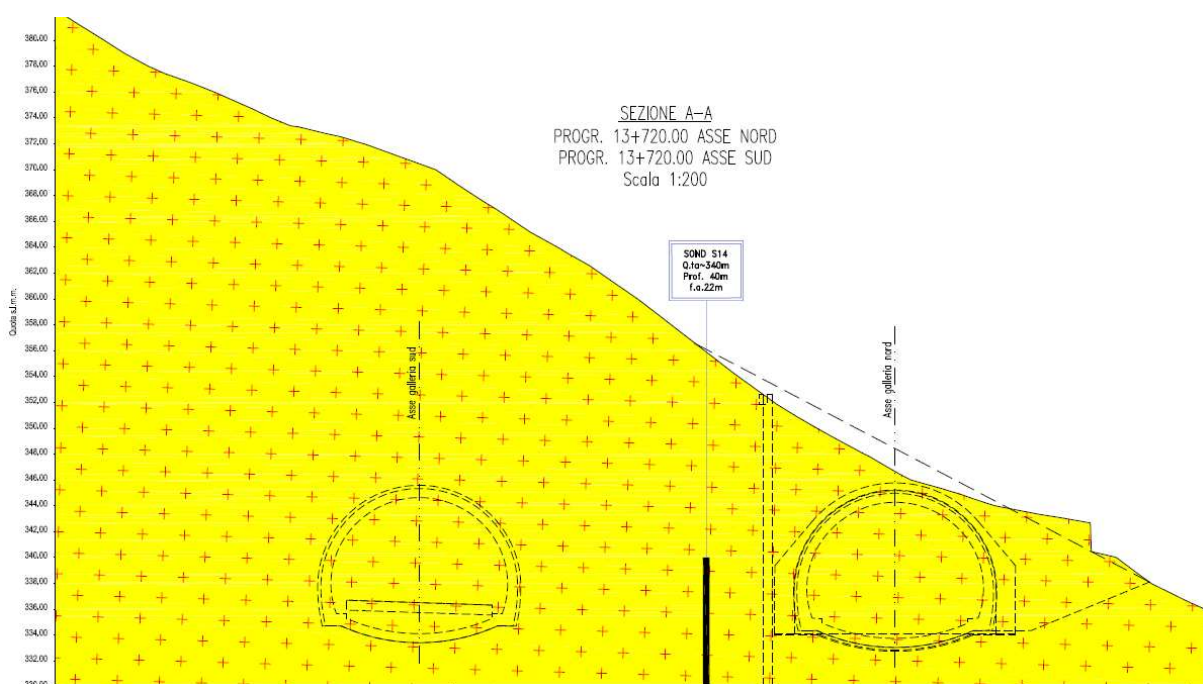


Figura 9 - Stratigrafia imbocco San Pietro sud

L’imbocco nord della Galleria “San Pietro” interessa per intero detriti di frana.

Dalla sintesi dei dati raccolti durante le campagne di indagine si evince un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

Si riporta di seguito un quadro di sintesi della stratigrafia e per un approfondimento, si rimanda alla relazione geologica.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

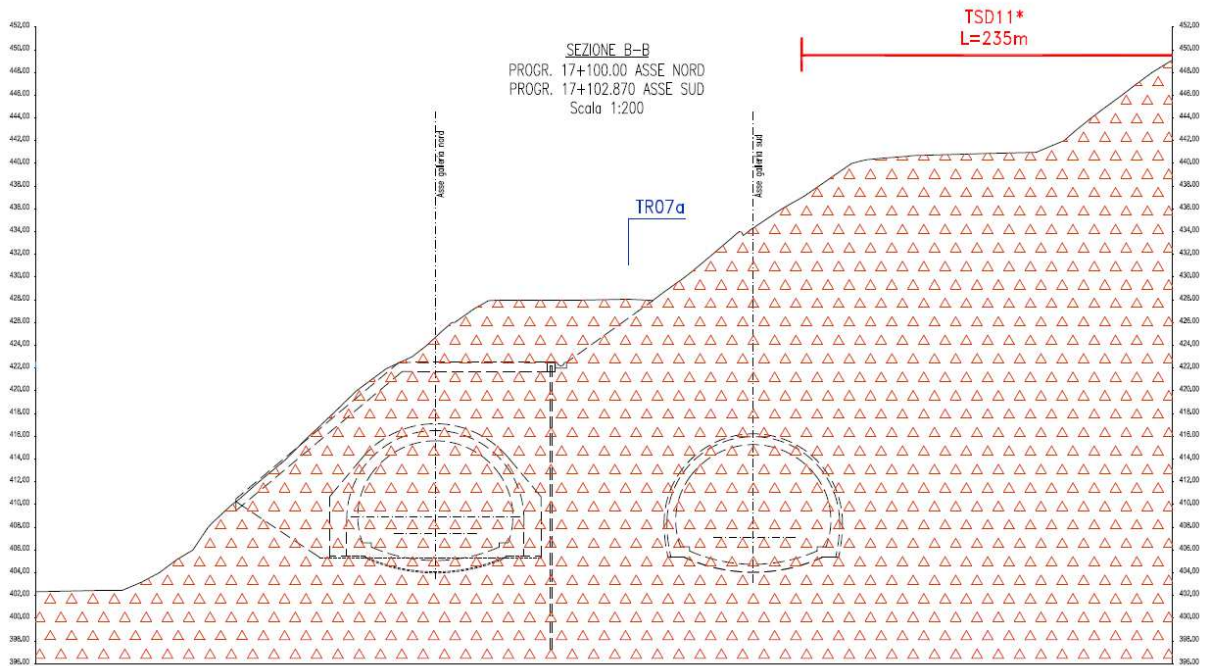


Figura 10 - Stratigrafia imbocco San Pietro nord

6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

La scelta della classe del calcestruzzo dipende dalle classe di esposizione, in questo caso definita come XD1-XC3-XF2. In accordo con il par. C.4.1.6.1.3 del D.M. 14 gennaio 2008 e la circolare 02 febbraio 2009 UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006, per rispettare la condizione ambientale aggressiva data da XD1 e XF2, risulta necessaria una classe di resistenza minima C28/35 ed il copriferro minimo risulta pari a 50mm (per elementi a piastra c_{min} è pari a 30mm, da incrementare di 10mm per le tolleranze costruttive e di ulteriori 10mm perché la vita nominale dell’opera è al massimo di 100 anni).

Per la progettazione delle opere di sostegno dell’imbocco San Pietro sud, si sono utilizzati i seguenti materiali:

- calcestruzzo per pali: C28/35;
- calcestruzzo per trave testata/ travi di ripartizione: C28/35;
- calcestruzzo per trave testata definitiva/ di ripartizione: C28/35;
- acciaio per armatura: B 450 C;
- acciaio per travi di ripartizione: S275;
- malta per cementazione tiranti: C28/35;
- betoncino proiettato: C28/35;
- rete elettrosaldata: B 450 C;
- acciaio armonico per tiranti: $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$;
 $f_{pyk} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$;
- barbacani in PVC microfessurato.

Per la progettazione delle opere di sostegno dell’imbocco San Pietro nord, si sono utilizzati i seguenti materiali:

- acciaio per micropali S355;
- calcestruzzo per trave testata: C28/35;
- calcestruzzo micropali: C28/35;
- acciaio per armatura: B 450 C;
- acciaio per travi di ripartizione: S275;
- malta per cementazione tiranti: C28/35;
- betoncino proiettato: C28/35;

- rete elettrosaldada: B 450 C;
- acciaio armonico per tiranti: $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$;
 $f_{pyk} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$;
- barbacani in PVC microfessurato.

6.1 RESISTENZA DEI MATERIALI

Le caratteristiche di resistenza dei materiali considerati nelle analisi sono le seguenti:

- Miscela cementizia per micropali: C28/35
Resistenza a compressione: $f_{ck} = 28 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto: $f_{cd} = 15.8 \text{ MPa}$
- Calcestruzzo per pali, trave di testa e di ripartizione: C28/35
Resistenza a compressione: $f_{ck} = 28 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto: $f_{cd} = 15.8 \text{ MPa}$
- Acciaio per armatura ordinaria: B 450 C
Tensione di rottura $f_{tk} = 540 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto $f_{yd} = 391 \text{ MPa}$
- Acciaio per micropali: S 355
Tensione di rottura $f_{tk} = 510 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto $f_{yd} = 338 \text{ MPa}$
- Acciaio per profilati: S 275
Tensione di rottura $f_{tk} = 430 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento $f_{yk} = 275 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$
- Acciaio armonico per tiranti: trefoli stab. da 0,6''

Tensione di rottura	$f_{ptk} = 1860 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento	$f_{yk} = 1670 \text{ MPa}$

Per quanto riguarda le prove di normativa sui tiranti (UNI-EN 1537: prove di indagine preliminare; prove di idoneità; prove di accettazione; DM2008: prove di verifica), il numero e le modalità esecutive, si rimanda alle specifiche di Capitolato.

7 DEFINIZIONE DEI CARICHI AGENTI

Le opere di sostegno sono state verificate applicando i carichi indicati nel seguito.

7.1 SPINTA DEL TERRENO

Il terreno esercita una spinta orizzontale sulla paratia proporzionale al carico verticale cui esso è soggetto. Il fattore di proporzionalità (coefficiente di spinta) dipende dallo stato deformativo del terreno e varia tra il valore del coefficiente di spinta attiva K_a e quello del coefficiente di spinta passiva K_p , i quali, a loro volta, dipendono dall'angolo d'attrito interno del terreno, dall'angolo d'attrito paratia – terreno, dall'inclinazione del terreno a tergo dell'opera e dall'inclinazione della paratia stessa.

Come assunzione di default, PARATIE PLUS tiene conto dell'attrito paratia – terreno (angolo δ) solo nel calcolo di K_p , che viene valutato tramite la correlazione di Lancellotta (2007). Il coefficiente K_a viene valutato con le formule di Coulomb, ignorando, di default, l'effetto di δ . Nelle analisi effettuate si è supposto un coefficiente d'attrito paratia – terreno pari a $1/2$ dell'angolo d'attrito interno del terreno.

Il programma di calcolo utilizzato applica alla paratia la componente orizzontale della spinta del terreno, calcolata utilizzando un coefficiente di spinta ottenuto iterativamente ad ogni passo dell'analisi in funzione dello stato deformativo puntuale del terreno.

7.2 CARICO IDRAULICO

Le elaborazioni numeriche sono state condotte in presenza della falda acquifera, dove presente.

7.3 CARICO SISMICO

L'azione di un ipotetico sisma è stata valutata secondo quanto prescritto dalla recente normativa sismica attraverso la formulazione pseudo-statica proposta da Mononobe-Okabe; tale approccio permette di determinare una nuova coppia di coefficienti di spinta (K_{as} e K_{ps}), in relazione alla categoria sismica di riferimento e al contesto geologico e topografico del sito.

Il programma calcola in automatico l'incremento di spinta dovuto alla terra in caso di sisma e lo applica alla parete come carico distribuito.

Per determinare l'azione sismica, con riferimento alla galleria Pedescala che si sviluppa interamente nel comune di San Pietro Valdastico, si utilizza il foglio excel Spettri-NTC ver 1.03, disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Per le opere con sola funzione statica durante la fase di scavo degli imbocchi, si determinano i seguenti valori:

- Vita nominale = $V_N = 10$ anni (opere provvisorie – provvisionali – fase costruttiva);
- Classe d'uso = $c_u = 1$ (classe II);
- Periodo di riferimento = $V_R = \max(V_N c_u ; 35) = 35$;
- Probabilità di superamento = $P_{VR} = 10\%$;
- Tempo di ritorno = $T_R = 332$ anni.
- Accelerazione orizzontale di picco su suolo di riferimento rigido $a_g = 0.109 g$.

Per le opere di sostegno permanenti, si determinano i seguenti valori:

- Vita nominale = $V_N = 100$ anni (opere definitive);
- Classe d'uso = $c_u = 2$ (classe IV);
- Periodo di riferimento = $V_R = \max(V_N c_u ; 35) = 200$;
- Probabilità di superamento = $P_{VR} = 10\%$;
- Tempo di ritorno = $T_R = 1898$ anni.
- Accelerazione orizzontale di picco su suolo di riferimento rigido $a_g = 0.205 g$.

Il coefficiente sismico orizzontale (K_h) per le paratie viene calcolato come:

$$K_h = \alpha \beta S_S S_T \frac{a_g}{g}$$

dove:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione della categoria di sottosuolo;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della categoria topografica;

α = coefficiente di deformabilità, funzione dalla categoria di suolo e dall'altezza complessiva dell'opera;

β = coefficiente di spostamento, funzione del massimo spostamento (D_r) che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza (con $D_r < 0,005 * H$ dove H = altezza complessiva dell'opera). Imponendo uno spostamento ammissibile di 3cm, β risulta pari a 0.5183.

Per le paratie, la Normativa consente di utilizzare il coefficiente sismico verticale $K_v = 0$.
Inserendo i valori ottenuti di K_h e K_v nelle formulazioni proposte da Mononobe – Okabe, si ottengono i relativi valori dei coefficienti di spinta sismici (K_{as} e K_{ps}).

8 CRITERI DI VERIFICA

La verifica dell’opera di sostegno è stata effettuata secondo un approccio agli Stati Limite, analizzando sia lo stato limite ultimo che lo stato limite di esercizio, con riferimento a quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 - Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Il D.M. 2008 T.U. segue l’approccio agli Stati Limite degli Eurocodici: la sicurezza e la prestazione di un’opera devono essere valutati in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale, Stati Limite Ultimi (S.L.U.) [combinazioni A1+M1+R1 e A2+M2+R1 in accordo con par. 6.5.3 del D.M. da e analisi sismica in accordo con par. 7.11] e Stati Limite di Esercizio (S.L.E.), secondo il metodo semiprobabilistico basato sull’impiego dei “coefficienti parziali di sicurezza”.

8.1 Stati limite ultimi (S.L.U.)

Per la sicurezza di opere e sistemi geotecnici i valori dei coefficienti di sicurezza sono riportati ai capitoli 6.2-7 del Testo Unico 2008. La Normativa impone che sia rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell’azione, pari all’azione nominale moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni γ_f , mentre R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno γ_m .

Per la verifica delle paratie la condizione $E_d \leq R_d$ deve essere rispettata impiegando due combinazioni di gruppi di coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici (A1+M1 e A2+M2). In particolare la combinazione A1+M1 risulta rilevante per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno, mentre la combinazione A2+M2 determina il dimensionamento geotecnico.

Azione	Coeff. Parziale γ_f	
	A1	A2
Permanente sfavorevole	1,30	1,00
Permanente favorevole	1,00	1,00
Variabile sfavorevole	1,50	1,30
Variabile favorevole	0,00	0,00

Tabella 1: Coefficienti parziali per le azioni

Parametro al quale applicare		Coeff. Parziale γ_m	
il coefficiente parziale		M1	M2
Angolo d’attrito	$\tan \phi$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_u	1,00	1,40
Peso dell’unità di volume	γ	1,00	1,00

Tabella 2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici

In condizioni sismiche le verifiche agli Stati Limite Ultimi vengono condotte ponendo pari all’unità i coefficienti parziali sulle azioni.

VERIFICA A TAGLIO DEI PALI

Per quanto riguarda la verifica al taglio dei pali in CA allo stato limite ultimo, deve essere:

$$V_{rd} \geq V_{sd}$$

dove:

V_{rd} = azione tagliante resistente di progetto;

V_{sd} = azione tagliante sollecitante di progetto.

In particolare, la resistenza a taglio V_{rd} è la minore tra la resistenza di calcolo “a taglio trazione” (V_{Rsd}) con riferimento all’armatura trasversale e la resistenza di calcolo “a taglio compressione” (V_{Rcd}) con riferimento al calcestruzzo d’anima:

$$V_{Rsd} = 0,9d \frac{A_{sw}}{s} f_{yd} (ctg\alpha + ctg\theta) \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9db_w \alpha_c f'_{cd} (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

dove:

f'_{cd} = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo;

f_{yd} = resistenza a snervamento di progetto;

α = angolo di inclinazione dell’armatura trasversale rispetto all’asse del palo;

θ = angolo di inclinazione dei puntoni compressi nello schema a traliccio;

b_w = larghezza sezione;

d = altezza utile della sezione;

A_{sw} = area dell’armatura trasversale;

s = passo dell’armatura trasversale;

α_c = coefficiente maggiorativo.

Per la verifica a taglio di una sezione circolare, non è possibile fare riferimento all'impostazione classicamente utilizzata per le travi. Per poter utilizzare il criterio di verifica allo stato limite ultimo, ci si è riportati ad una sezione rettangolare.

La teoria di Clarke e Birjandi prevede di calcolare la sezione rettangolare equivalente come:

$$d = r \cdot (1 + \sin \alpha)$$

$$\sin \alpha = \frac{2 \cdot r_s}{\pi \cdot r}$$

con riferimento alle quantità illustrate nella seguente figura.

L'area effettiva della sezione circolare risulta quindi:

$$A = r^2 \left(\frac{\pi}{2} + \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right)$$

da cui $b = A / d$.

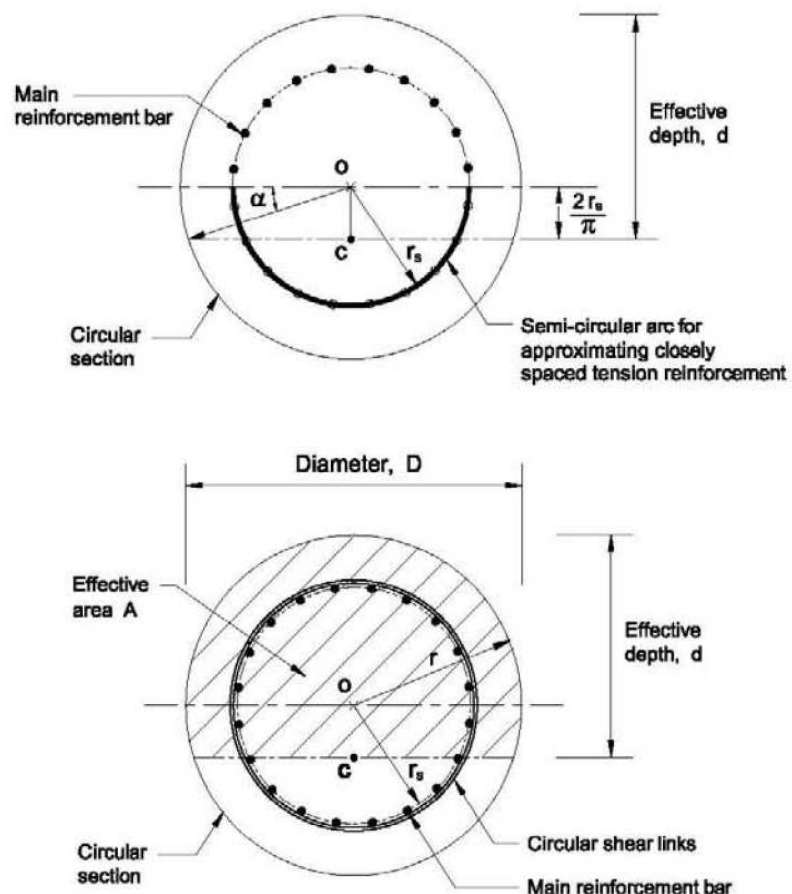


Figura 11 - Metodo di Clarke e Birjandi

VERIFICA A TAGLIO MICROPALI

Allo stato limite ultimo, per i tubi in acciaio la verifica combinata momento flettente-taglio è stata condotta verificando che:

$$M_{rd} \geq M_{sd} \quad \text{e} \quad V_{rd} \geq V_{sd}$$

dove:

M_{rd} = momento flettente resistente di progetto;

M_{sd} = momento flettente sollecitante di progetto;

V_{rd} = azione tagliante resistente di progetto;

V_{sd} = azione tagliante sollecitante di progetto.

Le ipotesi che stanno alla base del calcolo con “metodo plastico” a rottura richiedono, in corrispondenza della sezione sollecitata a momento flettente, che si possa formare una cerniera plastica prima che fenomeni di instabilità locale penalizzino la resistenza della sezione (sezione di classe 1); la capacità della sezione di sviluppare rotazioni plastiche è assicurata se è verificata la seguente disuguaglianza:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove:

c = lunghezza di metà ala del profilato;

t_f = spessore dell’ala del profilato;

f_y = tensione di snervamento dell’acciaio.

Tuttavia, in presenza di un’azione di taglio, deve essere valutata la possibilità di ridurre il valore del momento resistente plastico ($M_{pl rd}$).

Nel caso, infatti, in cui si verifichi la seguente condizione:

$$V_{sd} > 50\% V_{pl rd}$$

il modulo di resistenza che dovrà essere utilizzato nelle verifiche sarà ridotto e cautelativamente posto pari a quello elastico (W_{el}).

8.2 Stati limite di esercizio (S.L.E.)

La verifica allo stato limite di esercizio viene condotta ponendo pari all’unità i coefficienti

parziali sulle azioni ed impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto.

Le tensioni ricavate dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo dovranno essere confrontate con le seguenti tensioni di riferimento, rispettivamente nel calcestruzzo e nell'acciaio:

$$\sigma_c = 0,45 \times f_{ck}$$

$$\sigma_s = 0,80 \times f_{yk}$$

dove:

f_{ck} = Resistenza caratteristica di compressione del calcestruzzo;

f_{yk} = Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

MICROPALI

Per i micropali, allo stato limite di esercizio, le verifiche sono state condotte accertando che, in fase di esercizio, sia rispettata la condizione:

$$\sigma_{id} \leq \sigma_s = 0,80 \times f_{yk}$$

dove:

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma_{\max}^2(\bar{z}) + 3 \cdot \tau^2(\bar{z}))}$$

$$\sigma_{\max}(\bar{z}) = \frac{M_{\max}}{W} \quad \tau_{\max} = \frac{V}{A_{ridotta}}$$

con W e $A_{ridotta}$ rispettivamente pari al modulo di resistenza e all'area dell'anima della sezione metallica del profilato.

8.2.1 Verifica a Fessurazione

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture si deve:

- garantire un sufficiente ricoprimento delle armature con calcestruzzo di buona qualità e compattezza, bassa porosità e bassa permeabilità;
- non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione;
- tener conto delle esigenze estetiche.

In ordine di severità decrescente si distinguono i seguenti stati limite di fessurazione:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;

- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1.2}$$

dove f_{ctm} rappresenta la resistenza a trazione media del cls.

- stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione è stato fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Per armature poco sensibili e condizioni ambientali aggressive (XF2), $w_d=w_1=0.2\text{mm}$.

8.3 Tiranti

Per quanto riguarda i tiranti (cap. 6.6 del Testo Unico 2008), ai fini della verifica della fondazione di ancoraggio, la condizione $E_d \leq R_d$ deve essere rispettata confrontando l'azione di progetto con una resistenza R_d calcolata come:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

dove γ_R è il coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi pretesi:

Tipologia tiranti	Coeff. Parziale γ_R
Temporanei	1,10
Permanenti	1,20

Tabella 3: Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

La resistenza caratteristica R_k è definitiva come:

$$R_k = L_{anc} \cdot \pi \cdot (D \cdot \alpha) \cdot \frac{\tau_{lim}}{\xi}$$

dove:

L_{anc} lunghezza del bulbo di ancoraggio;

- D diametro di perforazione, pari a 15cm fino a 4 trefoli e a 18cm per più trefoli;
- α coefficiente di sbulbamento, assunto cautelativamente pari a 1.2 per terreni e 1.1 per roccia per iniezioni ripetute.
- τ_{lim} tensione limite di aderenza fra la malta del buldo ed il terreno, assunta pari a 300kPa;
- ξ fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica da prove geotecniche, assunto pari a 1.8, come il massimo proposto nel DM2008.

Per la valutazione di α e τ_{lim} , si è fatto riferimento alla pubblicazione di Bustamante e Doix (1985) per il dimensionamenti dei tiranti di ancoraggio. Il metodo proposto dagli autori si applica ad ancoraggi realizzati mediante iniezione semplice (in un'unica fase) o ripetuta e non si applica pertanto a tiranti per i quali la fondazione viene colata a gravità.

I valori di α possono essere ricavati dalla tabella riportata nella figura che segue, in funzione del tipo di terreno e delle modalità di iniezione (semplici o ripetute). Nella stessa tabella sono indicati i corrispondenti volumi minimi di miscela da iniettare. Nel computo dei volumi non si tiene conto della presenza delle armature.

TIPO DI TERRENO	COEFFICIENTE α		QUANTITÀ MINIMA DI MISCELA
	INIEZIONI RIPETUTE	INIEZIONI RIPETUTE	
Ghiaia	1.8	1.3 ÷ 1.4	1.5 Vp
Ghiaia sabbiosa	1.6 ÷ 1.8	1.2 ÷ 1.4	1.5 Vp
Sabbia ghiaiosa	1.5 ÷ 1.6	1.2 ÷ 1.3	1.5 Vp
Sabbia (grossolana media o fine)	1.4 ÷ 1.5	1.1 ÷ 1.2	1.5 Vp
Sabbia limosa	1.4 ÷ 1.5	1.1 ÷ 1.2	1.5 ÷ 2 Vp per iniezioni ripetute 1.5 Vp per iniezione semplice
Limo	1.4 ÷ 1.6	1.1 ÷ 1.2	2 Vp per iniezione ripetute 1.5 Vs per iniezione semplice
Argilla	1.8 ÷ 2.0	1.2	2.5 ÷ 3 Vp per iniezione ripetute 1.5 ÷ 2 Vp per iniezione semplice
Marna, marna calcarea arenaria alterata o fratturata	1.8	1.1 ÷ 1.2	1.5 ÷ Vp per strati compatti 2 ÷ 6 Vp per strati fratturati
Roccia alterata o fratturata	1.2	1.1	1.1 ÷ 1.5 Vp per roccia poco fessurata ≥ 2 Vp per roccia fratturata

Vp = volume di perforazione

Tabella 4: Valori di α in funzione del tipo di terreno e delle modalità di iniezione (semplice o ripetute).

I valori di τ_{lim} sono stati stimati partendo dai diagrammi delle figure che seguono rispettivamente per

- terreni incoerenti;
- rocce alterate e fratturate.

In ciascun diagramma la curva uno, si riferisce a fondazioni realizzate mediante iniezioni

ripetute e la curva due, inferiore, a fondazioni mediante iniezione semplice.

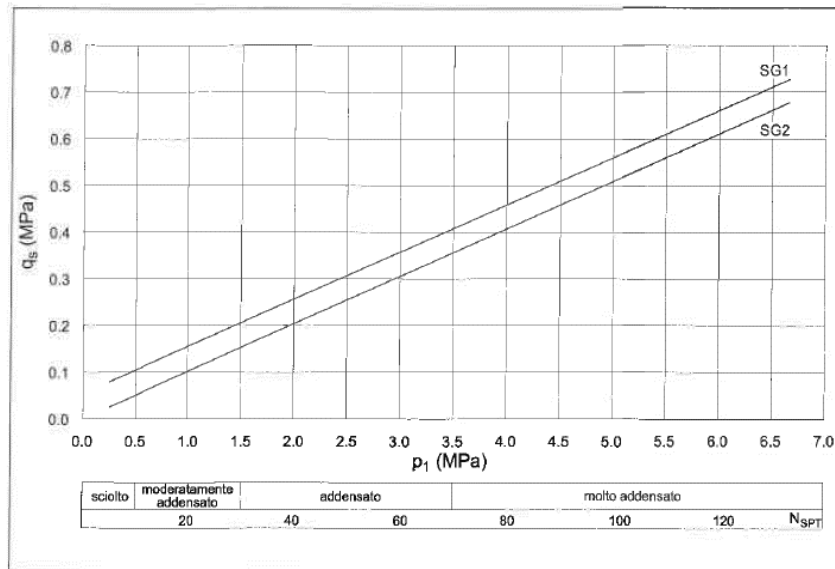


Fig. 6.6 - Resistenza unitaria limite per terreni incoerenti

Figura 12 - Diagramma per il calcolo del valore di τ_{lim} per terreni incoerenti

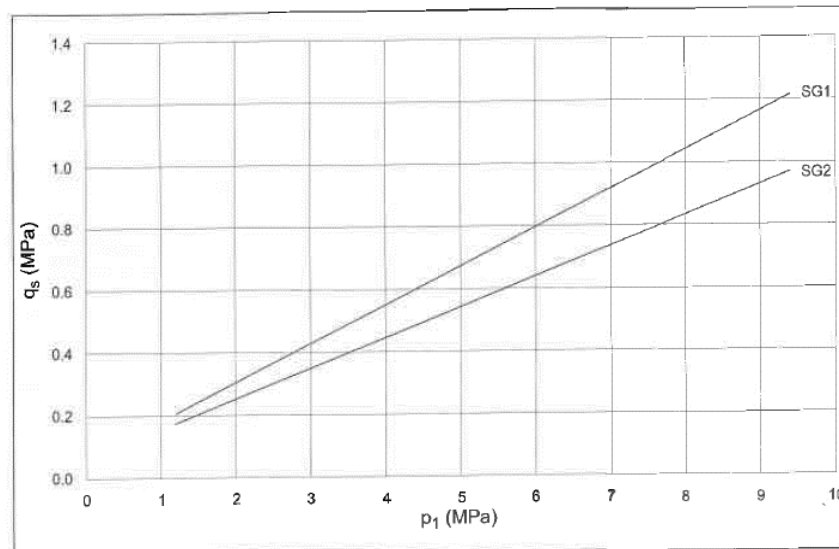


Fig. 6.9 - Resistenza unitaria limite per rocce tenere e fratturate

Figura 13 - Diagramma per il calcolo del valore di τ_{lim} per rocce alterate e fratturate

Nell'intenzione di raccomandare che i meccanismi di collasso più critici siano il più possibile duttili, le NTC 2008 contengono una richiesta specifica in merito ai tiranti. Nel paragrafo 6.6.2 "VERIFICHE DI SICUREZZA (SLU)" è richiesto quanto segue: "Nei tiranti il cui tratto libero è realizzato con trefoli di acciaio armonico, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, si deve verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del

tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell’ancoraggio”.

La lunghezza libera è definita dall’intersezione del tirante con un piano inclinato di $45^\circ - \phi/2$ sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante $0,20 h$. Si ha quindi:

$$L_s \geq h' + d$$

dove:

$$h' = 0,20 h / \cos(45^\circ - \phi/2);$$

$$d = (h + t - h_i) \sin(45^\circ - \phi/2) / \sin(45^\circ + \phi/2);$$

α = inclinazione tirante;

ϕ = angolo di attrito del terreno;

h = altezza fuori scavo paratia;

t = infissione paratia;

h_i = profondità tirante.

Si deve inoltre tenere presente che, a causa dell’evento sismico, la potenziale superficie di scorrimento risulta più inclinata sull’orizzontale rispetto a quella relativa al caso statico. Questo comporta un incremento della lunghezza libera:

$$L_{s \text{ sismica}} = L_{s \text{ statica}} (1 + 1,5 S_s S_T a_g)$$

8.4 Trave di ripartizione

Allo stato limite ultimo, per le travi in acciaio la verifica combinata momento flettente-taglio è stata condotta verificando che:

$$M_{rd} \geq M_{sd} \quad \text{e} \quad V_{rd} \geq V_{sd}$$

dove:

M_{rd} = momento flettente resistente di progetto;

M_{sd} = momento flettente sollecitante di progetto;

V_{rd} = azione tagliante resistente di progetto;

V_{sd} = azione tagliante sollecitante di progetto.

Le ipotesi che stanno alla base del calcolo con “metodo plastico” a rottura richiedono, in

corrispondenza della sezione sollecitata a momento flettente, che si possa formare una cerniera plastica prima che fenomeni di instabilità locale penalizzino la resistenza della sezione (sezione di classe 1); la capacità della sezione di sviluppare rotazioni plastiche è assicurata se è verificata la seguente disuguaglianza:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove:

c = lunghezza di metà ala del profilato;

t_f = spessore dell’ala del profilato;

f_y = tensione di snervamento dell’acciaio.

Tuttavia, in presenza di un’azione di taglio, deve essere valutata la possibilità di ridurre il valore del momento resistente plastico (M_{pl rd}).

Nel caso, infatti, in cui si verifichi la seguente condizione:

$$V_{sd} > 50\% V_{pl rd}$$

il modulo di resistenza che dovrà essere utilizzato nelle verifiche sarà ridotto e cautelativamente posto pari a quello elastico (W_{el}).

Allo stato limite di esercizio, le verifiche sono state condotte accertando che, in fase di esercizio, sia rispettata la condizione:

$$\sigma_{id} \leq \sigma_s = 0,80 \times f_{yk}$$

dove:

$$\sigma_{id} = \sqrt{(\sigma_{\max}^2(\bar{z}) + 3 \cdot \tau^2(\bar{z}))}$$

$$\sigma_{\max}(\bar{z}) = \frac{M_{\max}}{W} \quad \tau_{\max} = \frac{V}{A_{ridotta}}$$

con W e A_{ridotta} rispettivamente pari al modulo di resistenza e all’area dell’anima della sezione metallica del profilato.

9 ANALISI NUMERICHE

Il dimensionamento degli imbocchi in esame è stato eseguito con riferimento ai risultati dedotti da una serie di analisi numeriche che hanno permesso di valutare il comportamento tenso-deformativo della struttura di sostegno nelle sezioni ritenute maggiormente rappresentative. Sono state analizzate le seguenti sezioni:

Analisi	H _{SCAVO}	H _{PALO}	n° tiranti
	[m]	[m]	[-]
San Pietro sud - 1	18.7	24	3
San Pietro sud - 2	12.5	17.5	2
San Pietro sud - 3	18	24	3
San Pietro nord - 1	16.5	24	4
San Pietro nord - 2	18.5	25	5
San Pietro nord - 3	20	27	5

Tabella 5: Sezioni di calcolo

La sezione “San Pietro sud – 1”, vicino all’imbocco della canna nord, ha l’altezza di scavo maggiore; la sezione “San Pietro sud – 2” verifica l’opera di sostegno a carattere definitivo tra le due canne; la sezione “San Pietro sud – 3” è in corrispondenza dell’imbocco della canna sud.

La sezione “San Pietro nord – 1” è rappresentativa della paratia che si sviluppa a fianco della carreggiata sud, ad una distanza così ridotta che lo scavo della canna sud, comportando il taglio di una fila di tiranti della paratia, deve essere realizzato a seguito del ritombamento della galleria artificiale in canna nord. La sezione “San Pietro nord – 2” si riferisce alla berlinese definitiva nella zona di massimo ribasso, mentre la sezione “San Pietro nord – 3” analizza il prolungamento della paratia definitiva, nella zona a carattere provvisorio, in corrispondenza dell’altezza di scavo massimo di tutta la paratia d’imbocco.

Tiranti		Trefoli	Incl.	Incl.	Passo	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.	Travi di ripartiz.
ordine	m da P.C.	n°	vert °	orizz.°	m	m	m	m	KN	
1	4.5	5	-5	0	1.4	18	8	26	400	2HEB140
2	10	6	30	0	1.4	12	8	20	400	2HEB160
3	15	6	30	0	1.4	9.5	7.5	17	400	2HEB160

Tabella 6: Specifiche – San Pietro sud - 1

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Tiranti		Trefoli	Incl.	Incl.	Passo	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.	Travi di ripartiz.
ordine	m da P.C.	n°	vert °	orizz.°	m	m	m	m	KN	
1	4	6	30	0	2.8	12	12.5	24.5	500	CA 40x60
2	8	6	30	0	2.8	9.5	11	20.5	500	CA 40x60

Tabella 7: Specifiche – San Pietro sud – 2

Tiranti		Trefoli	Incl.	Incl.	Passo	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.	Travi di ripartiz.
ordine	m da P.C.	n°	vert °	orizz.°	m	m	m	m	KN	
1	4	5	0	17	2.8	18	9	27	400	2HEB160
2	9.5	5	0	17	1.4	14.5	8	22.5	400	2HEB180
3	14.5	5	0	17	1.4	11	7	18	400	2HEB180

Tabella 8: Specifiche – San Pietro sud – 3

Nella sezione di calcolo bidimensionale, si tiene conto dell’inclinazione orizzontale dei tiranti, considerando le proiezioni delle lunghezze libere e di ancoraggio, così come la proiezione del tiro iniziale. Nella direzione ortogonale alla paratia, la proiezione è pari al valore di partenza moltiplicato per il coseno di 17°, che equivale ad una riduzione inferiore al 5%.

Tiranti	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.
ordine	m	m	m	KN
1	17.2	8.6	25.8	382.5
2	13.9	7.7	21.5	382.5
3	10.5	6.7	17.2	382.5

Tabella 9: Specifiche per modello bidimensionale – San Pietro sud – 3

Tiranti		Trefoli	Incl.	Incl.	Passo	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.	Travi di ripartiz.
ordine	m da P.C.	n°	vert °	orizz.°	m	m	m	m	KN	
1	3	4	-5	0	1.8	19.5	5.5	25	300	2HEB140
2	8	6	10	0	1.8	14	8	22	500	2HEB160
3	11.5	6	30	0	1.8	11	9	20	650	2HEB180
4	14.5	6	30	0	1.8	9.5	8.5	18	650	2HEB180

Tabella 10: Specifiche – San Pietro nord - 1

Tiranti		Trefoli	Incl.	Incl.	Passo	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.	Travi di ripartiz.
ordine	m da P.C.	n°	vert °	orizz.°	m	m	m	m	KN	
1	2.5	5	15	0	1.5	19.5	6	25.5	400	CA 40x60
2	6.5	6	15	0	1.5	17	7.5	24.5	500	CA 40x60
3	10.5	6	15	0	1.5	14.5	10.5	25	720	CA 40x60
4	13.5	6	15	0	1.5	12.5	11	23.5	720	CA 40x60
5	16	6	15	0	1.5	11	10.5	21.5	720	CA 40x60

Tabella 11: Specifiche – San Pietro nord – 2

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Tiranti		Trefoli	Incl.	Incl.	Passo	L libera	L ancor	L tot	Tiro iniz.	Travi di ripartiz.
ordine	m da P.C.	n°	vert °	orizz.°	m	m	m	m	KN	
1	2.5	5	15	0	1.8	19.5	5.5	25	400	2HEB140
2	6.5	6	15	0	1.35	17	7	24	500	2HEB160
3	10.5	6	15	0	1.35	14.5	10	24.5	720	2HEB180
4	14	6	15	0	1.35	12.5	10.5	23	720	2HEB180
5	17	6	15	0	1.35	11	10.5	21.5	720	2HEB180

Tabella 12: Specifiche – San Pietro nord - 3

9.1 FASI DI CALCOLO

Si riporta la metodologia impiegata per simulare le fasi di realizzazione della paratia.

- step 1 geostatico: vengono applicati i pesi propri del terreno e viene attivato l'elemento "beam";
- step 2: scavo fino a 0.5m sotto la quota di installazione del tirante.
- step 3: attivazione del tirante, con relativo precarico.
- step 4 - fino ad i: ripetizione degli step 2 e 3 fino alla realizzazione di tutti i tiranti.
- step i+1: scavo fino a fondo scavo.
- step i+2 fase sismica: applicazione delle spinte in fase sismica.

9.2 PARAMETRI GEOTECNICI

Le opere di sostegno sono state verificate in accordo con le NTC2008, eseguendo i calcoli nelle combinazioni SLE, A1+M1+R1, A2+M2+R2, SISMICA STR e SISMICA GEO (quest'ultima solo per la verifica degli ancoraggi). La stratigrafia ed i parametri geotecnici caratteristici considerati nelle singole analisi sono riportati di seguito.

Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	0 - 10	22	100	35	0
Detrito - b	10 - 20	23	150	37	0
Detrito - c	> 20	23	200	37	0

Tabella 13: Stratigrafia per San Pietro sud

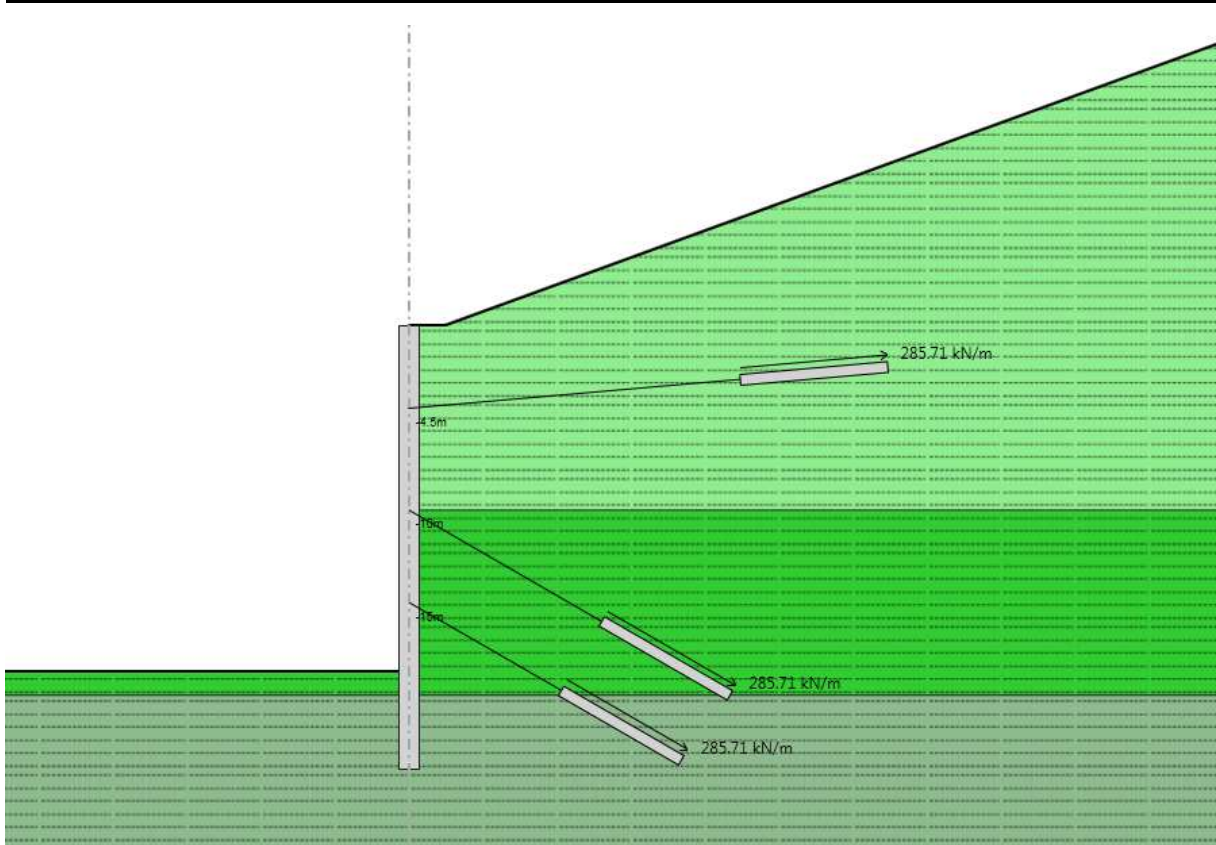


Figura 14 - Modello "San Pietro sud - 1"

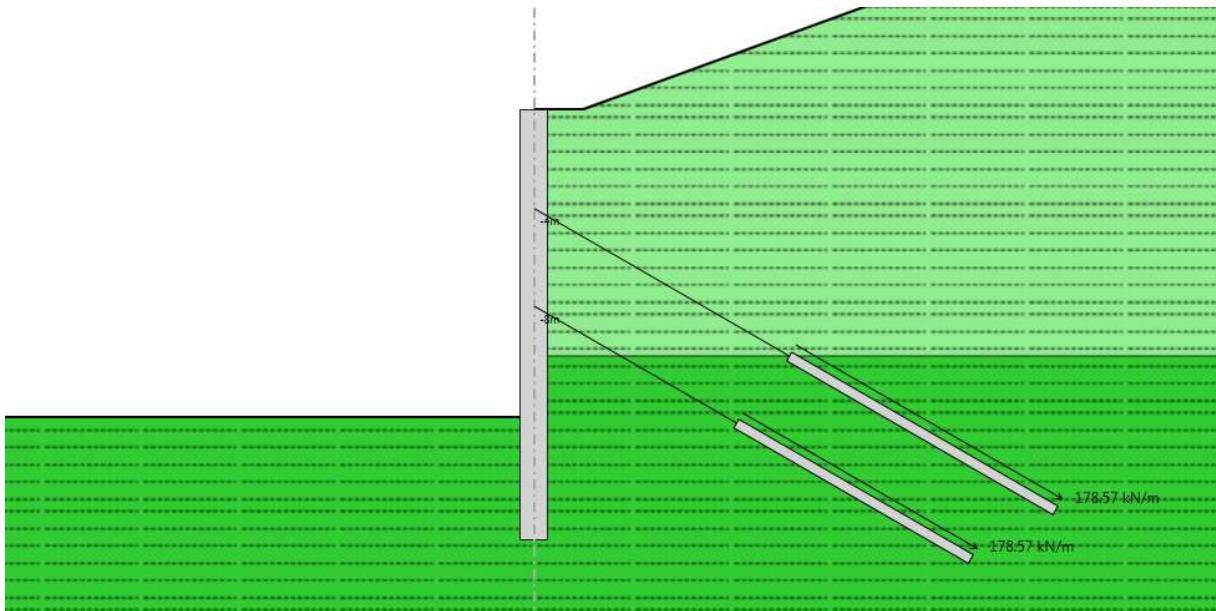


Figura 15 - Modello "San Pietro sud - 2"

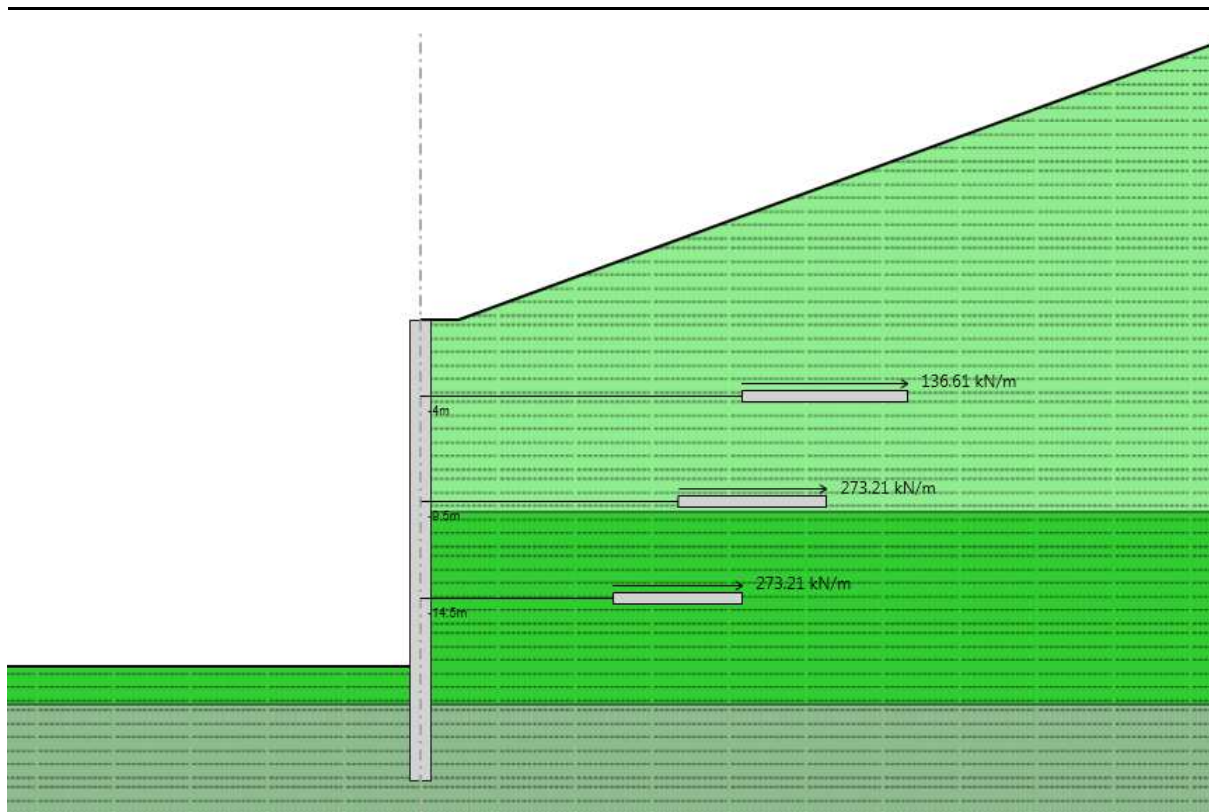


Figura 16 - Modello “San Pietro sud – 3”

Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	0 - 10	22	100	35	0
Detrito - b	10 - 20	23	150	37	0
Detrito - c	> 20	23	200	37	0

Tabella 14: Stratigrafia per San Pietro nord

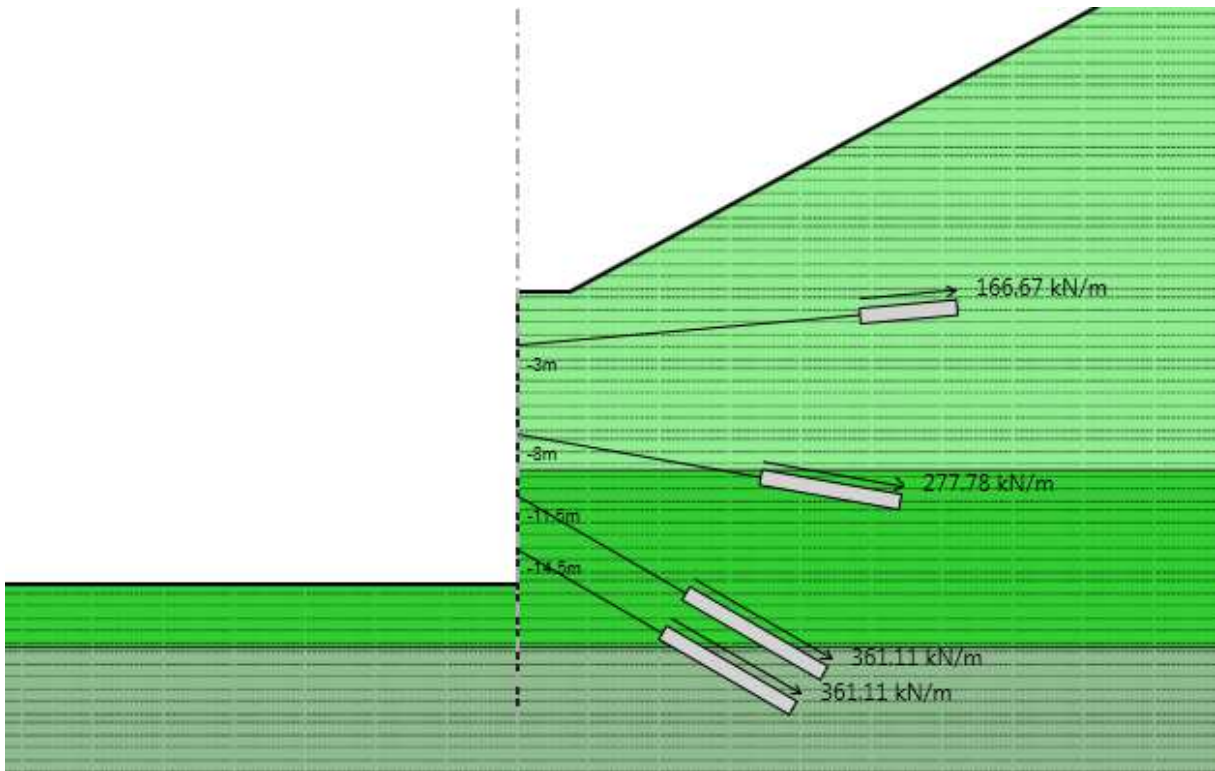


Figura 17 - Modello "San Pietro nord - 1"

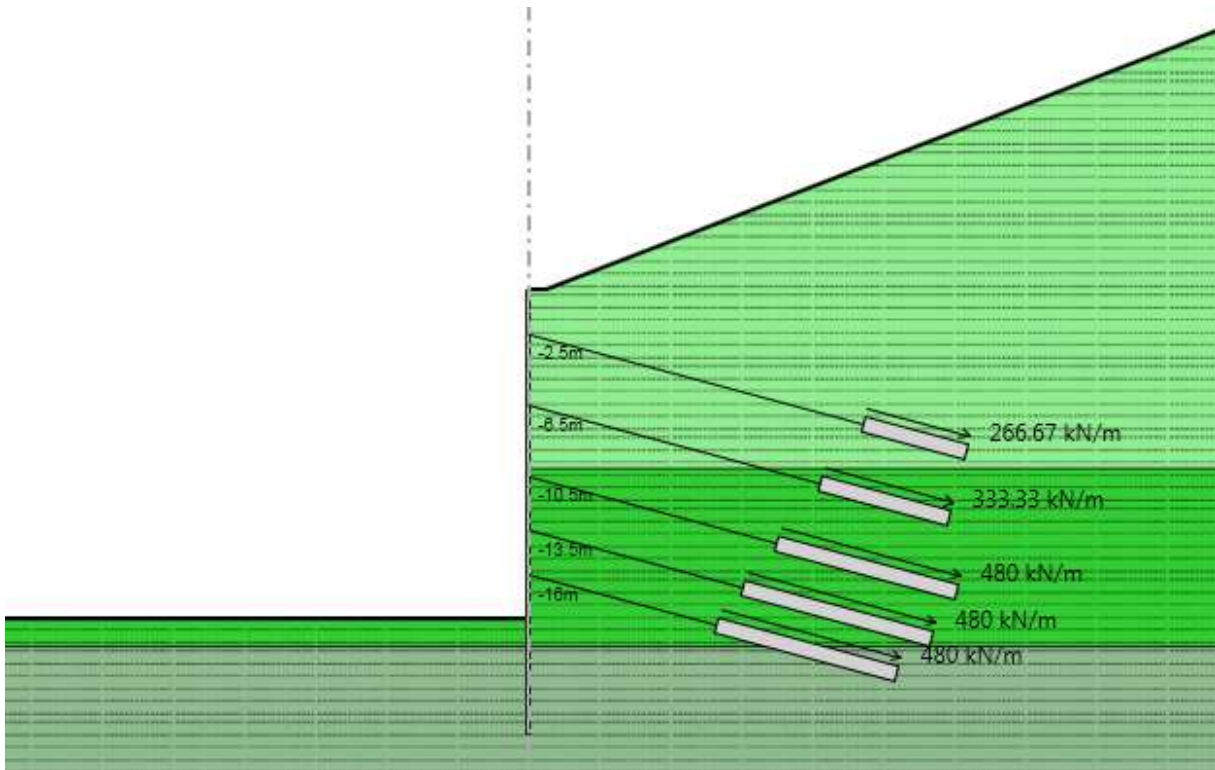


Figura 18 - Modello "San Pietro nord - 2"

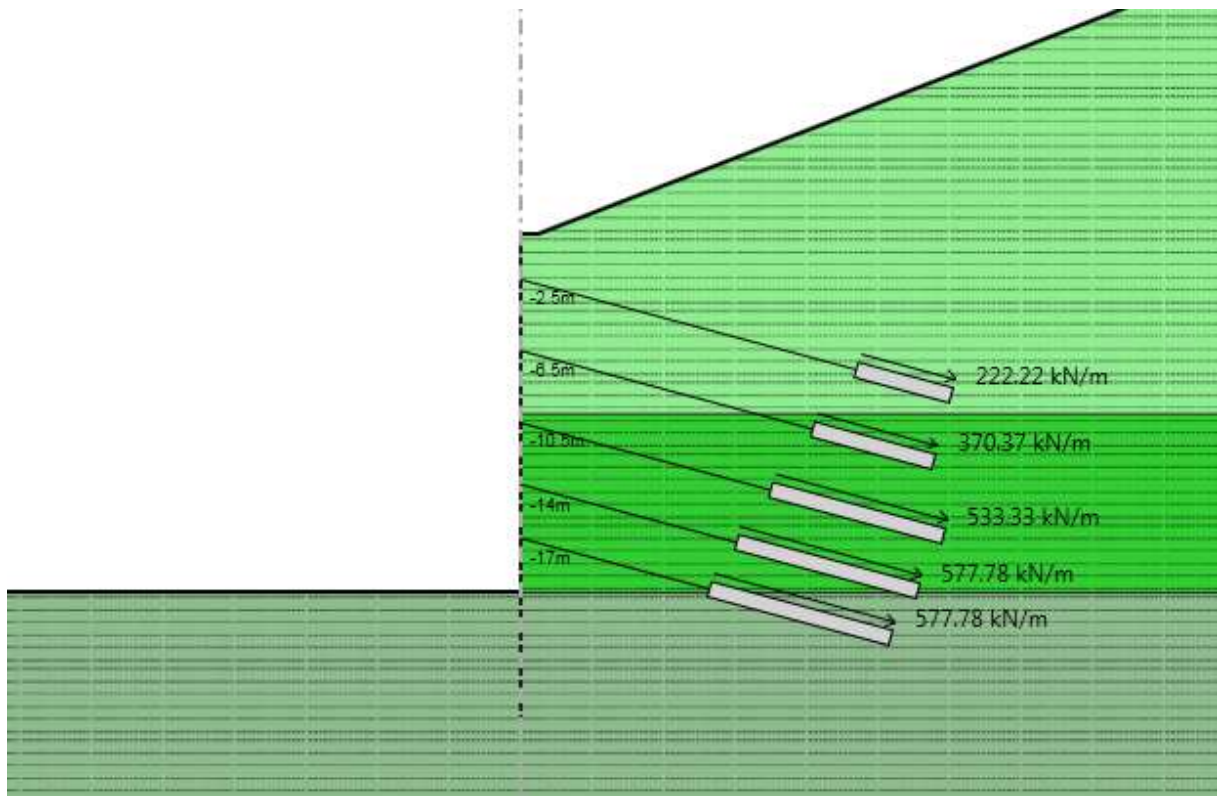


Figura 19 - Modello "San Pietro nord – 3"

Per quanto riguarda il livello idrico, da profilo geologico risulta che la falda rimane al di sotto del piano di scavo finale agli imbocchi San Pietro sud e nord.

10 IMBOCCO SAN PIETRO SUD

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti le sezioni di paratia esaminate nei calcoli di San Pietro Sud.

10.1 VERIFICA DEI PALI

10.1.1 Spostamenti

Il codice di calcolo ha permesso di valutare il regime deformativo corrispondente ad ogni step di calcolo; nella seguente tabella si riportano i valori massimi degli spostamenti orizzontali evidenziati dall’elaborazione numerica in fase statica: il regime deformativo mostrato dal programma di calcolo è compatibile con la tipologia di struttura considerata e la spinta passiva mobilitata massima è circa il 50% di quella disponibile.

Calcolo	Spostamenti orizzontali [mm]	Utilizzo spinta passiva
San Pietro sud - 1	14.18	53%
San Pietro sud - 2	15.92	40%
San Pietro sud – 3	25.05	45%

Tabella 15: Spostamenti orizzontali

10.1.1 Verifiche a pressoflessione

La verifica di resistenza dei pali è stata condotta considerando reagenti le armature e i pali di calcestruzzo. Si è analizzata la sezione in corrispondenza della quota del palo z per la quale si verifica lo stato di sollecitazione più gravoso, considerando agente uno sforzo assiale N pari al peso della porzione di palo sovrastante la sezione considerata.

Il valore del copriferro adottato nelle verifiche è di 7cm.

La tabella seguente riporta, per ogni sezione di calcolo, l’armatura della gabbia prevista nella sezione più sollecitata.

Calcolo	Armatura
San Pietro sud - 1	24Ø30
San Pietro sud - 2	20Ø20
San Pietro sud – 3	20Ø26

Tabella 16: Armatura

Stato Limite Ultimo

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati delle verifiche condotte. Come è possibile osservare, le verifiche risultano soddisfatte.

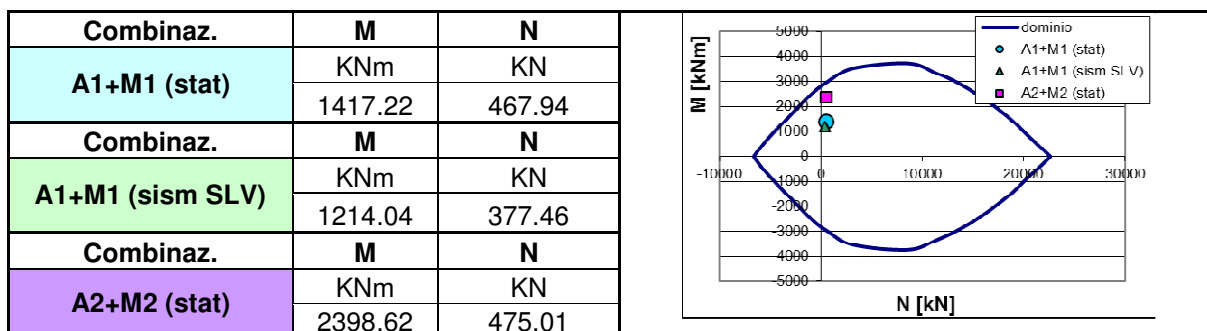


Figura 20 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro sud – 1

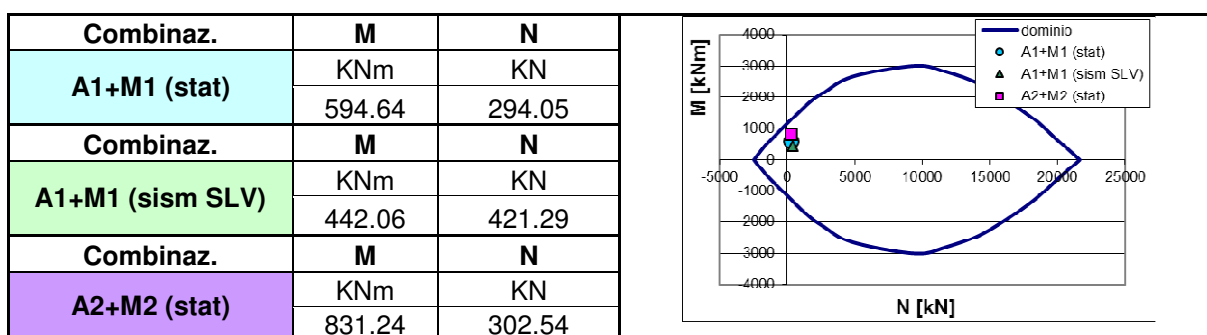


Figura 21 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro sud - 2

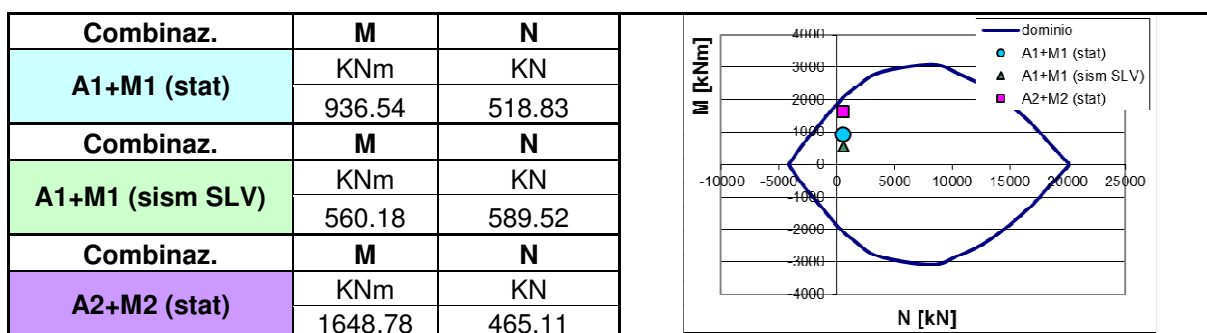


Figura 22 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro sud – 3

Stato Limite di Esercizio

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati delle verifiche condotte (negativi gli sforzi di trazione): come è possibile osservare le tensioni risultano sempre inferiori al limite e la verifica risulta quindi soddisfatta.

M	N	σ cls	σ steel
KNm	KN	MPa	MPa
1090.12	467.94	7.93	-180.9

Tabella 17: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro sud – 1

M	N	σ cls	σ steel	w_k
KNm	KN	MPa	MPa	mm
456.39	294.05	5.26	-163.04	0.155

Tabella 18: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro sud - 2

M	N	σ cls	σ steel
KNm	KN	MPa	MPa
720.41	518.83	6.58	-159.2

Tabella 19: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro sud – 3

10.1.2 Verifiche a taglio

L’armatura trasversale prevista è costituita da una spirale $\varnothing 14$ con passo 20 cm per tutti i pali che costituiscono la paratia. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche condotte.

Combinazione	N [kN]	V_{sd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
A1+M1	551.35	534.72	2978.06	871.26
A1+M1 (sism SLV)	552.76	447.86	2978.29	871.26
A2+M2	575.38	581.94	2981.94	871.26

Tabella 20: Verifica a taglio – San Pietro sud - 1

Combinazione	N [kN]	V_{sd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
A1+M1	367.57	313.67	2958.38	871.26
A1+M1 (sism SLV)	370.39	289.58	2958.84	871.26
A2+M2	383.12	315.42	2960.90	871.26

Tabella 21: Verifica a taglio – San Pietro sud - 2

Combinazione	N [kN]	V_{sd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	V_{Rsd} [kN]
A1+M1	408.56	543.77	2959.00	872.45
A1+M1 (sism SLV)	531.56	358.65	2978.91	872.45
A2+M2	268.61	512.37	2936.34	872.45

Tabella 22: Verifica a taglio – San Pietro sud – 3

10.2 VERIFICA DEI TIRANTI

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti i tiranti previsti in progetto a sostegno delle paratie; le verifiche riguardano la resistenza a trazione dei trefoli in acciaio e la resistenza a sfilamento del bulbo d'ancoraggio, sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

10.2.1 Verifiche dei trefoli

Le verifiche sono state condotte accertando, sia in fase statica che in fase sismica, che sia rispettata la condizione: $E_d \leq R_d$.

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.4	401.5	1.39	1670	1009.3	562.16	1.80	> 1
2	6	1.4	452.3	1.39	1670	1211.1	633.16	1.91	> 1
3	6	1.4	448.5	1.39	1670	1211.1	627.96	1.93	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.4	364.4	1.39	1670	1009.3	510.13	1.98	> 1
2	6	1.4	406.9	1.39	1670	1211.1	569.59	2.13	> 1
3	6	1.4	391.8	1.39	1670	1211.1	548.46	2.21	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.4	394.9	1.39	1670	1009.3	552.89	1.83	> 1
2	6	1.4	476.0	1.39	1670	1211.1	666.43	1.82	> 1
3	6	1.4	435.3	1.39	1670	1211.1	609.37	1.99	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.4	477.6	1.39	1670	1009.3	668.66	1.51	> 1
2	6	1.4	556.2	1.39	1670	1211.1	778.72	1.56	> 1
3	6	1.4	499.5	1.39	1670	1211.1	699.23	1.73	> 1

Tabella 23: Verifica dei trefoli – San Pietro sud – 1

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	6	2.8	264.8	1.39	1670	1211.1	741.30	1.63	> 1
2	6	2.8	261.8	1.39	1670	1211.1	733.01	1.65	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	6	2.8	310.0	1.39	1670	1211.1	868.11	1.40	> 1
2	6	2.8	285.5	1.39	1670	1211.1	799.41	1.52	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	6	2.8	290.6	1.39	1670	1211.1	813.61	1.49	> 1
2	6	2.8	262.6	1.39	1670	1211.1	735.41	1.65	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	6	2.8	416.7	1.39	1670	1211.1	1166.80	1.04	> 1
2	6	2.8	367.6	1.39	1670	1211.1	1029.40	1.18	> 1

Tabella 24: Verifica dei trefoli – San Pietro sud – 2

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	2.8	231.5	1.39	1670	1009.3	648.08	1.56	> 1
2	5	1.4	445.3	1.39	1670	1009.3	623.44	1.62	> 1
3	5	1.4	409.3	1.39	1670	1009.3	573.03	1.76	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	2.8	229.7	1.39	1670	1009.3	643.04	1.57	> 1
2	5	1.4	419.9	1.39	1670	1009.3	587.80	1.72	> 1
3	5	1.4	368.3	1.39	1670	1009.3	515.66	1.96	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	2.8	263.0	1.39	1670	1009.3	736.39	1.37	> 1
2	5	1.4	482.2	1.39	1670	1009.3	675.10	1.49	> 1
3	5	1.4	386.8	1.39	1670	1009.3	541.55	1.86	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	2.8	316.4	1.39	1670	1009.3	885.97	1.14	> 1
2	5	1.4	567.4	1.39	1670	1009.3	794.32	1.27	> 1
3	5	1.4	453.5	1.39	1670	1009.3	634.96	1.59	> 1

Tabella 25: Verifica dei trefoli – San Pietro sud - 3

10.2.2 Verifiche della lunghezza libera e dell'ancoraggio

Le lunghezze libere dei tiranti sono state definite secondo i criteri esposti in precedenza.

Di seguito sono riassunte le lunghezze adottate per i diversi ordini di tiranti.

ordine	H1 [m]	H2 [m]	Inclinaz. verticale	Inclinaz. orizz.	Angolo d'attrito	Infiss. pannello	L. libera [m]	L. libera + sisma	L. libera arrot. 0.5
1	18.7	4.5	-5	0	36.4	5.3	14.73	17.62	18
2	18.7	10	30	0	37	5.3	10.00	11.96	12
3	18.7	15	30	0	37	5.3	7.77	9.29	9.5

Tabella 26: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro sud – 1

ordine	H1 [m]	H2 [m]	Inclinaz. verticale	Inclinaz. orizz.	Angolo d'attrito	Infiss. pannello	L. libera [m]	L. libera + sisma	L. libera arrot. 0.5
1	12.5	4	30	0	37	5	8.54	11.69	12
2	12.5	8	30	0	37	5	6.75	9.24	9.5

Tabella 27: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro sud – 2

ordine	H1 [m]	H2 [m]	Inclinaz. verticale	Inclinaz. orizz.	Angolo d'attrito	Infiss. pannello	L. libera [m]	L. libera + sisma	L. libera arrot. 0.5
1	18	4	0	17	36.4	6	14.59	17.46	18.0
2	18	9.5	0	17	36.9	6	11.59	13.87	14.5
3	18	14.5	0	17	37	6	8.97	10.73	11.0

Tabella 28: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro sud – 3

Nel seguito si riportano le verifiche allo sfilamento del bulbo di ancoraggio.

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	231.6	9.0	167	18	1.2	924.9	648.4	1.43
2	1.4	445.9	8.0	167	18	1.2	822.1	624.2	1.32
3	1.4	410.1	7.0	167	18	1.2	719.3	574.2	1.25

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	229.5	9.0	167	18	1.2	924.9	642.6	1.44
2	1.4	420.2	8.0	167	18	1.2	822.1	588.2	1.40
3	1.4	369.1	7.0	167	18	1.2	719.3	516.8	1.39

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	262.5179	9.0	167	18	1.2	924.9	735.1	1.26
2	1.4	482.3857	8.0	167	18	1.2	822.1	675.3	1.22
3	1.4	387.8714	7.0	167	18	1.2	719.3	543.0	1.32

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	315.8357	9.0	167	18	1.2	924.9	884.3	1.05
2	1.4	567.5071	8.0	167	18	1.2	822.1	794.5	1.03
3	1.4	454.85	7.0	167	18	1.2	719.3	636.8	1.13

Tabella 29: Verifica dell'ancoraggio – San Pietro sud – 1

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	264.8	12.5	167	18	1.2	1177.5	741.3	1.59
2	2.8	261.8	11.0	167	18	1.2	1036.2	733.0	1.41

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	310.0	12.5	167	18	1.2	1177.5	868.1	1.36
2	2.8	285.5	11.0	167	18	1.2	1036.2	799.4	1.30

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	290.575	12.5	167	18	1.2	1177.5	813.6	1.45
2	2.8	262.6464	11.0	167	18	1.2	1036.2	735.4	1.41

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	416.7143	12.5	167	18	1.2	1177.5	1166.8	1.01
2	2.8	367.6429	11.0	167	18	1.2	1036.2	1029.4	1.01

Tabella 30: Verifica dell'ancoraggio – San Pietro sud - 2

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	231.5	9.0	167	18	1.2	924.9	648.1	1.43
2	1.4	445.3	8.0	167	18	1.2	822.1	623.4	1.32
3	1.4	409.3	7.0	167	18	1.2	719.3	573.0	1.26

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	229.7	9.0	167	18	1.2	924.9	643.0	1.44
2	1.4	419.9	8.0	167	18	1.2	822.1	587.8	1.40
3	1.4	368.3	7.0	167	18	1.2	719.3	515.7	1.39

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	262.9964	9.0	167	18	1.2	924.9	736.4	1.26
2	1.4	482.2143	8.0	167	18	1.2	822.1	675.1	1.22
3	1.4	386.8214	7.0	167	18	1.2	719.3	541.6	1.33

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	2.8	316.4179	9.0	167	18	1.2	924.9	886.0	1.04
2	1.4	567.3714	8.0	167	18	1.2	822.1	794.3	1.03
3	1.4	453.5429	7.0	167	18	1.2	719.3	635.0	1.13

Tabella 31: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro sud – 3

10.3 VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONI

Stato limite ultimo

I risultati delle verifiche della trave di ripartizione sono riportati nelle tabelle seguenti, in cui compaiono:

- $T_{paratie}$ = azione di trazione nel tirante derivante dal codice di calcolo PARATIE;
- f_{yk} = tensione di snervamento dell’acciaio;
- γ_{MO} = coefficiente riduttivo della resistenza dell’acciaio;
- f_{yd} = tensione di snervamento di progetto dell’acciaio;
- b, t, r, h = caratteristiche geometriche del profilato;
- W_{el} = modulo di resistenza della sezione;
- W_{pl} = modulo di resistenza “plastico” della sezione;
- A = area della sezione del profilato;

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

- A_v = area ridotta "di taglio";
- M_{sk} = momento flettente agente sulla sezione di verifica ($(T_{paratie} * \text{passo}^2)/10$);
- V_{sk} = azione di taglio agente sulla sezione di verifica ($(T_{paratie} * \text{passo})/2$);
- γ_A = coefficiente amplificativo delle azioni sollecitanti;
- M_{sd} = momento flettente di progetto;
- V_{sd} = azione di taglio agente di progetto;
- $M_{pl\ rd}$ = momento flettente resistente "plastico" ($f_{yd} * W_{pl}$);
- $M_{el\ rd}$ = momento flettente resistente "elastico" ($f_{yd} * W_{el}$);
- $V_{pl\ rd}$ = azione tagliante resistente "plastica" ($A_v * f_{yd} / \sqrt{3}$)

I ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [KNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{flangia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	A_v [cm ²]
Combinazione	401.5428571	1.4	S275	275	1.05	261.9047619	HEB140	14	1.2	0.7	1.2	11.6	215.6	245.4	42.96	13.08
STATICO	401.5428571						2									
SISMICO	364.3785714						2									
A2+M2	394.9214286															

I ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche		controllo classe sezioni			
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X	Y		
Combinazione	39.4	140.5	1.0	39.4	140.5	56.5	64.3	56.5	197.8	1.43	> 1	1.41	> 1	5.8	66.6
STATICO	39.4	140.5	1.0	39.4	140.5	56.5	64.3	56.5	197.8	1.43	> 1	1.41	> 1	5.8	66.6
SISMICO	35.7	127.5	1.0	35.7	127.5	56.5	64.3	56.5	197.8	1.58	> 1	1.55	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	38.7	138.2	1.0	38.7	138.2	56.5	64.3	56.5	197.8	1.46	> 1	1.43	> 1		

II ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [KNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{flangia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	A_v [cm ²]
Combinazione	452.2571429	1.4	S275	275	1.05	261.9047619	HEB160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.59
STATICO	452.2571429						2									
SISMICO	406.85						2									
A2+M2	476.0214286															

II ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche		controllo classe sezioni			
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X	Y		
Combinazione	44.3	158.3	1.0	44.3	158.3	81.6	92.7	81.6	266.0	1.84	> 1	1.68	> 1	6.2	66.6
STATICO	44.3	158.3	1.0	44.3	158.3	81.6	92.7	81.6	266.0	1.84	> 1	1.68	> 1	6.2	66.6
SISMICO	39.9	142.4	1.0	39.9	142.4	81.6	92.7	81.6	266.0	2.05	> 1	1.87	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	46.7	166.6	1.0	46.7	166.6	81.6	92.7	81.6	266.0	1.75	> 1	1.60	> 1		

III ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [KNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{flangia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	A_v [cm ²]
Combinazione	448.5428571	1.4	S275	275	1.05	261.9047619	HEB160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.59
STATICO	448.5428571						2									
SISMICO	391.7571429						2									
A2+M2	435.2642857															

III ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche		controllo classe sezioni			
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X	Y		
Combinazione	44.0	157.0	1.0	44.0	157.0	81.6	92.7	81.6	266.0	1.86	> 1	1.69	> 1	6.2	66.6
STATICO	44.0	157.0	1.0	44.0	157.0	81.6	92.7	81.6	266.0	1.86	> 1	1.69	> 1	6.2	66.6
SISMICO	38.4	137.1	1.0	38.4	137.1	81.6	92.7	81.6	266.0	2.12	> 1	1.94	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	42.7	152.3	1.0	42.7	152.3	81.6	92.7	81.6	266.0	1.91	> 1	1.75	> 1		

Tabella 32: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro sud – 1

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

I ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie} [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f _{yk} [MPa]	γ _{m0} [-]	f _{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	t _{flangia} [cm]	t _{web} [cm]	r [cm]	h _{web} [cm]	W _{el} [cm ³]	W _{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	231.46	2.8	S275	275	1.05	261.9047619	HEB180	18	1.4	0.85	1.5	15.2	426	481	65.3	20.29
STATICO	229.66															
SISMICO	263.00															
A2+M2	263.00						2									

I ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni			
	M _{sk} [kNm]	V _{sk} [kNm]	γ _A [-]	M _{sd} [kNm]	V _{sd} [kN]	M _{el rd} [kNm]	M _{pl rd} [kNm]	M _{rd} [kNm]	V _{pl rd} [kN]	M _{rd} / M _{sd} [-]	V _{rd} / V _{sd} [-]	X	Y			
Combinazione	90.7	162.0	1.0	90.7	162.0	111.6	126.0	111.6	306.8	1.23	> 1	1.89	> 1	6.4	66.6	(235/f _y) ^{0.5}
STATICO	90.7	162.0	1.0	90.7	162.0	111.6	126.0	111.6	306.8	1.23	> 1	1.89	> 1	6.4	66.6	(235/f _y) ^{0.5}
SISMICO	90.0	160.8	1.0	90.0	160.8	111.6	126.0	111.6	306.8	1.24	> 1	1.91	> 1	K: X<Y sez. di classe		
A2+M2	103.1	184.1	1.0	103.1	184.1	111.6	126.0	111.6	306.8	1.08	> 1	1.67	> 1			

II ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie} [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f _{yk} [MPa]	γ _{m0} [-]	f _{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	t _{flangia} [cm]	t _{web} [cm]	r [cm]	h _{web} [cm]	W _{el} [cm ³]	W _{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	445.31	1.4	S275	275	1.05	261.9047619	HEB160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.59
STATICO	419.86															
SISMICO	482.21															
A2+M2	482.21						2									

II ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni			
	M _{sk} [kNm]	V _{sk} [kNm]	γ _A [-]	M _{sd} [kNm]	V _{sd} [kN]	M _{el rd} [kNm]	M _{pl rd} [kNm]	M _{rd} [kNm]	V _{pl rd} [kN]	M _{rd} / M _{sd} [-]	V _{rd} / V _{sd} [-]	X	Y			
Combinazione	43.6	155.9	1.0	43.6	155.9	81.6	92.7	81.6	266.0	1.87	> 1	1.71	> 1	6.2	66.6	(235/f _y) ^{0.5}
STATICO	43.6	155.9	1.0	43.6	155.9	81.6	92.7	81.6	266.0	1.87	> 1	1.71	> 1	6.2	66.6	(235/f _y) ^{0.5}
SISMICO	41.1	147.0	1.0	41.1	147.0	81.6	92.7	81.6	266.0	1.98	> 1	1.81	> 1	K: X<Y sez. di classe		
A2+M2	47.3	168.8	1.0	47.3	168.8	81.6	92.7	81.6	266.0	1.73	> 1	1.58	> 1			

III ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie} [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f _{yk} [MPa]	γ _{m0} [-]	f _{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	t _{flangia} [cm]	t _{web} [cm]	r [cm]	h _{web} [cm]	W _{el} [cm ³]	W _{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	409.31	1.4	S275	275	1.05	261.9047619	HEB160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.59
STATICO	368.33															
SISMICO	386.82															
A2+M2	386.82						2									

III ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni			
	M _{sk} [kNm]	V _{sk} [kNm]	γ _A [-]	M _{sd} [kNm]	V _{sd} [kN]	M _{el rd} [kNm]	M _{pl rd} [kNm]	M _{rd} [kNm]	V _{pl rd} [kN]	M _{rd} / M _{sd} [-]	V _{rd} / V _{sd} [-]	X	Y			
Combinazione	40.1	143.3	1.0	40.1	143.3	81.6	92.7	81.6	266.0	2.03	> 1	1.86	> 1	6.2	66.6	(235/f _y) ^{0.5}
STATICO	40.1	143.3	1.0	40.1	143.3	81.6	92.7	81.6	266.0	2.03	> 1	1.86	> 1	6.2	66.6	(235/f _y) ^{0.5}
SISMICO	36.1	128.9	1.0	36.1	128.9	81.6	92.7	81.6	266.0	2.57	> 1	2.06	> 1	K: X<Y sez. di classe		
A2+M2	37.9	135.4	1.0	37.9	135.4	81.6	92.7	81.6	266.0	2.15	> 1	1.96	> 1			

Tabella 33: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro sud – 3

In corrispondenza dei pali definitivi, le travi di ripartizione sono realizzate in CA, con calcestruzzo C28/35, di dimensioni 40 x 70 cm, armate con 5Ø30 su entrambi i lati e staffe Ø14 passo 10cm.

I ordine	T _{paratie}	passo	M _{sk}	V _{sk}
Combinazione	[kNm/m]	[m]	[kNm]	[kNm]
A1+M1	264.75	2.8	207.6	370.7
A1+M1+sisma	310.04		243.1	434.1
A2+M2	290.58		227.8	406.8

II ordine	T _{paratie}	passo	M _{sk}	V _{sk}
Combinazione	[kNm/m]	[m]	[kNm]	[kNm]
A1+M1	261.79	2.8	205.2	366.5
A1+M1+sisma	285.50		223.8	399.7
A2+M2	262.65		205.9	367.7

Tabella 34: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro sud – 2

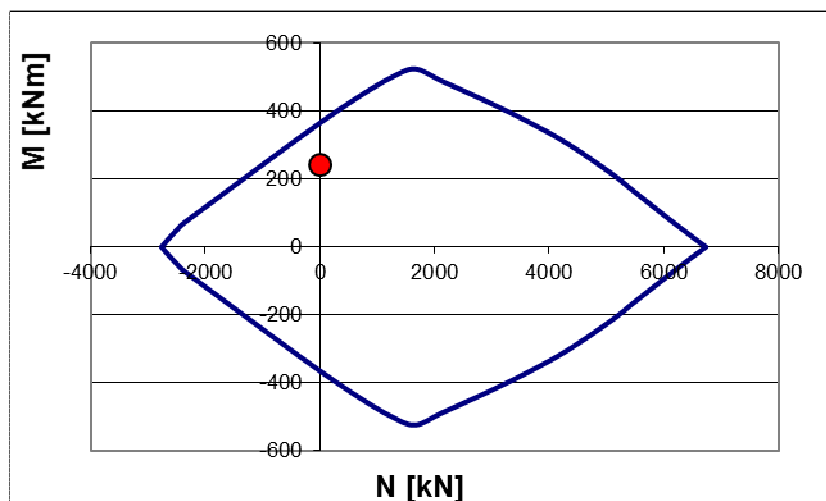


Figura 23 - Verifica a flessione – San Pietro sud – 2

Combinazione	N [kN]	V _{sd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
A1+M1+sisma	0	434.1	721.96	629.13

Tabella 35: Verifica a taglio - travi di ripartizione – San Pietro sud – 2

Stato limite di esercizio

Le tensioni risultano sempre inferiori al limite $\sigma_s=220$ MPa e la verifica risulta quindi soddisfatta.

Ordine	Profilato	M _{MAX}	V _{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
	[-]	[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
I	2 HEB140	30.27	108.11	140.40	82.65	200.51
II	2 HEB160	34.09	121.76	109.45	69.22	162.34
III	2 HEB160	33.81	120.76	108.55	68.65	161.00

Tabella 36: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro sud – 1

Ordine	Profilato	M _{MAX}	V _{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
	[-]	[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
I	2 HEB180	69.79	124.63	163.83	61.42	195.35
II	2 HEB160	33.57	119.89	107.77	68.16	159.85
III	2 HEB160	30.86	110.20	99.05	62.65	146.92

Tabella 37: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro sud – 3

Nelle travi definitive in CA, le tensioni risultano compatibili coi limiti di normativa e l’apertura delle fessure è inferiore a 0.2mm.

Ordine	T _{paratie}	passo	M _{MAX}	σ _c	σ _s	w _k
	[kNm]	[m]	[KN*m]	[MPa]	[MPa]	[mm]
I	203.65	2.8	159.66	8.54	-170.8	0.173
II	201.38	2.8	157.88	8.44	-168.9	0.175

Tabella 38: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro sud – 2

10.4 VERIFICA DELLA TRAVE DI TESTA

La trave di testa, che collega i pali, ha una sezione larga 150 cm e alta 100 cm ed è armata in corrispondenza degli imbrocchi con 14Ø30 ad un lembo e con 14+14Ø30 dall’altro. In corrispondenza degli imbrocchi, i pali verranno tagliati e rimarranno appesi alla trave di testa. Sulla trave agisce un momento ed un taglio dovuti al peso distribuito q equivalente a quello dei pali tagliati sulla larghezza l dell’imbocco:

$$M_{ks} = M_{max} = \frac{ql^2}{10} \quad \text{e} \quad V_{ks} = V_{max} = \frac{ql}{2}$$

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

AZIONI						
Spezzione medio palo[m]	Largh. scavo	Peso Spezz. KN	Carico distrib. KN/m	Momento PL ² /8 [KNm]	Taglio PL/2 [KN]	
5.2	15.2	147.03	105.02	3032.95	798.14	
M	N	V	Md	Nd	Vd	
KNm	KN	KN	KNm	KN	KN	
3032.95	0.00	798.14	3942.83	0.00	1037.59	
VERIFICA SLE - T.U. 2008						
Verifica	M	N	σ cls	σ steel	σ lim cls	σ lim steel
S.L.E.	KNm	KN	MPa	MPa	MPa	MPa
	3032.95	0.00	12.68	-284.5	13.07	360
VERIFICA SLU						
Md	Nd					
KNm	KN					
3942.83	0.00					
VERIFICA TAGLIO (T.U. 2008)						
V	N	Vd	V slu	Coefficiente		
KN	KN	KN	KN	γ_s	γ_c	
798.14	0.00	1037.59	1037.59	1.15	1.5	
Staffe ϕ	Passo	Asw	Copriferro	f_{yk} staffe	f_{yd} staffe	f_{cd}
mm	cm	mm ²	cm	Mpa	MPa	MPa
14	15	307.88	7	450	391.30	15.8
altezza utile	bw	σ_{cp}	α_c	α	θ	
d [cm]	cm	MPa	-	°	°	
91.50	150	0	1.00	90	30	
V R_{sd}	V R_{cd}	V R_d		Verifica OK		
KN	KN	KN				
1145.58	4225.54	1145.58				

Tabella 39: Verifica trave di testa

11 IMBOCCO SAN PIETRO NORD

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti le sezioni di paratia esaminate nei calcoli di San Pietro Nord.

11.1 VERIFICA DEI MICROPALI

11.1.1 Spostamenti

Il codice di calcolo ha permesso di valutare il regime deformativo corrispondente ad ogni step di calcolo; nella seguente tabella si riportano i valori massimi degli spostamenti orizzontali evidenziati dall’elaborazione numerica in fase statica: il regime deformativo mostrato dal programma di calcolo è compatibile con la tipologia di struttura considerata e la spinta passiva mobilitata massima è inferiore al 50% di quella disponibile.

Calcolo	Spostamenti orizzontali [mm]	Utilizzo spinta passiva
San Pietro nord - 1	29.3	31%
San Pietro nord - 2	19.6	31%
San Pietro nord - 3	31.1	32%

Tabella 40: Spostamenti orizzontali

11.1.2 Verifiche a flessione e taglio

La verifica di resistenza dei micropali è stata condotta considerando reagente il solo tubo di acciaio, mentre il calcestruzzo contenuto all’interno è stato considerato per la definizione dell’inerzia e dell’area della sezione equivalente dell’elemento beam utilizzato nella modellazione (nel secondo calcolo, riguardante la berlinese definitiva, per l’omogeneizzazione si è considerato anche il calcestruzzo esterno al tubo, che in fase costruttiva deve essere realizzato con cura in quanto costituisce il copriferro del tubo in acciaio). Si è analizzata la sezione in corrispondenza della quota del palo z per la quale si verifica lo stato di sollecitazione più gravoso, considerando agente uno sforzo assiale N pari al peso della porzione di palo sovrastante la sezione considerata.

La tabella seguente riporta, per ogni sezione di calcolo, il tubo considerato nelle verifiche:

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Calcolo	Tubo
San Pietro nord - 1	Ø244.5 spessore 12.5 passo 450
San Pietro nord - 2	Ø177.8 spessore 25 passo 500
San Pietro nord - 3	Ø244.5 spessore 12.5 passo 450

Tabella 41: Armatura

Stato Limite Ultimo

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati delle verifiche condotte. Come è possibile osservare, le verifiche risultano soddisfatte.

	Dati da Paratie			Tipo acciaio				Tubo					Controllo classe sezioni		
	M _{paratie}	V _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{M0}	f _{yd}	Ø	t	W _{el}	W _{pl}	A			Av
CASO	[KNm/m]	[KN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]	[mm]	[mm]	[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]		
STATICO	200.15	268.95	0.45	S355	355	1.05	338	244.5	13	503	639	91.1	58.0		
SISMICO	116.86	192.64													
A2+M2	326.53	289.55													

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche				Controllo classe sezioni	
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
CASO	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	90.1	121.0	1.0	90.1	121.0	170.0	215.9	215.9	1132.2	2.40	> 1	9.35	> 1	9.8	58.6
SISMICO	52.6	86.7	1.0	52.6	86.7	170.0	215.9	215.9	1132.2	4.11	> 1	13.06	> 1	OK: X<Y sez. di classe 1	
A2+M2	146.9	130.3	1.0	146.9	130.3	170.0	215.9	215.9	1132.2	1.47	> 1	8.69	> 1		

Figura 24 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro Nord - 1

	Dati da Paratie			Tipo acciaio				Tubo					Controllo classe sezioni		
	M _{paratie}	V _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{M0}	f _{yd}	Ø	t	W _{el}	W _{pl}	A			Av
CASO	[KNm/m]	[KN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]	[mm]	[mm]	[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]		
STATICO	208.51	332.29	0.5	S355	355	1.05	338	177.8	25	405	514	119.9	76.4		
SISMICO	154.4	262.04													
A2+M2	269.7	293.47													

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche				Controllo classe sezioni	
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
CASO	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	104.3	166.1	1.0	104.3	166.1	136.8	173.7	173.7	1491.3	1.67	> 1	8.98	> 1	3.6	58.6
SISMICO	77.2	131.0	1.0	77.2	131.0	136.8	173.7	173.7	1491.3	2.25	> 1	11.38	> 1	OK: X<Y sez. di classe 1	
A2+M2	134.9	146.7	1.0	134.9	146.7	136.8	173.7	173.7	1491.3	1.29	> 1	10.16	> 1		

Figura 25 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro Nord – 2

	Dati da Paratie			Tipo acciaio				Tubo					Controllo classe sezioni		
	M _{paratie}	V _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{M0}	f _{yd}	Ø	t	W _{el}	W _{pl}	A			Av
CASO	[KNm/m]	[KN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]	[mm]	[mm]	[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]		
STATICO	262.86	392.42	0.45	S355	355	1.05	338	244.5	13	503	639	91.1	58.0		
SISMICO	208.6	311.74													
A2+M2	431.29	417.26													

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche				Controllo classe sezioni	
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
CASO	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	118.3	176.6	1.0	118.3	176.6	170.0	215.9	215.9	1132.2	1.83	> 1	6.41	> 1	9.8	58.6
SISMICO	93.9	140.3	1.0	93.9	140.3	170.0	215.9	215.9	1132.2	2.30	> 1	8.07	> 1	OK: X<Y sez. di classe 1	
A2+M2	194.1	187.8	1.0	194.1	187.8	170.0	215.9	215.9	1132.2	1.11	> 1	6.03	> 1		

Figura 26 - Verifica a pressoflessione SLU – San Pietro Nord - 3

Stato Limite di Esercizio

Le tensioni risultano sempre inferiori al limite ($\sigma_s=220$ MPa per micropali temporanei e $\sigma_s=284$ MPa per micropali definitivi) e la verifica risulta quindi soddisfatta.

M_{MAX}	V_{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
69.29	93.1	137.8	20.4	142.3

Tabella 42: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro Nord – 1

M_{MAX}	V_{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
80.2	127.8	198.3	21.3	201.7

Tabella 43: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro Nord – 2

M_{MAX}	V_{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
90.99	135.8	180.9	29.8	188.2

Tabella 44: Verifica a pressoflessione SLE – San Pietro Nord – 3

11.2 VERIFICA DEI TIRANTI

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche riguardanti i tiranti previsti in progetto a sostegno delle paratie; le verifiche riguardano la resistenza a trazione dei trefoli in acciaio e la resistenza a sfilamento del bulbo d'ancoraggio, sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

11.2.1 Verifiche dei trefoli

Le verifiche sono state condotte accertando, sia in fase statica che in fase sismica, che sia rispettata la condizione: $E_d \leq R_d$.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	4	1.8	246.7	1.39	1670	807.4	443.98	1.82	> 1
2	6	1.8	402.4	1.39	1670	1211.1	724.31	1.67	> 1
3	6	1.8	511.7	1.39	1670	1211.1	921.06	1.31	> 1
4	6	1.8	483.4	1.39	1670	1211.1	870.10	1.39	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{s_d}	E_{s_d}	R_{s_d}/E_{s_d}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	4	1.8	192.2	1.39	1670	807.4	345.87	2.33	> 1
2	6	1.8	307.8	1.39	1670	1211.1	554.09	2.19	> 1
3	6	1.8	392.9	1.39	1670	1211.1	707.27	1.71	> 1
4	6	1.8	376.7	1.39	1670	1211.1	678.10	1.79	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	4	1.8	229.9	1.39	1670	807.4	413.77	1.95	> 1
2	6	1.8	371.5	1.39	1670	1211.1	668.66	1.81	> 1
3	6	1.8	479.5	1.39	1670	1211.1	863.14	1.40	> 1
4	6	1.8	399.6	1.39	1670	1211.1	719.33	1.68	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{s_d}	E_{s_d}	R_{s_d}/E_{s_d}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	4	1.8	229.0	1.39	1670	807.4	412.20	1.96	> 1
2	6	1.8	369.8	1.39	1670	1211.1	665.57	1.82	> 1
3	6	1.8	477.3	1.39	1670	1211.1	859.19	1.41	> 1
4	6	1.8	422.6	1.39	1670	1211.1	760.69	1.59	> 1

Tabella 45: Verifica dei trefoli – San Pietro Nord - 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.5	353.1	1.39	1670	1009.3	529.71	1.91	> 1
2	6	1.5	455.7	1.39	1670	1211.1	683.61	1.77	> 1
3	6	1.5	640.6	1.39	1670	1211.1	960.85	1.26	> 1
4	6	1.5	640.9	1.39	1670	1211.1	961.42	1.26	> 1
5	6	1.5	637.3	1.39	1670	1211.1	955.96	1.27	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{s_d}	E_{s_d}	R_{s_d}/E_{s_d}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.5	273.6	1.39	1670	1009.3	410.37	2.46	> 1
2	6	1.5	353.1	1.39	1670	1211.1	529.64	2.29	> 1
3	6	1.5	492.3	1.39	1670	1211.1	738.38	1.64	> 1
4	6	1.5	488.7	1.39	1670	1211.1	733.12	1.65	> 1
5	6	1.5	498.5	1.39	1670	1211.1	747.70	1.62	> 1

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.5	282.4	1.39	1670	1009.3	423.54	2.38	> 1
2	6	1.5	386.5	1.39	1670	1211.1	579.78	2.09	> 1
3	6	1.5	526.1	1.39	1670	1211.1	789.18	1.53	> 1
4	6	1.5	531.7	1.39	1670	1211.1	797.51	1.52	> 1
5	6	1.5	529.0	1.39	1670	1211.1	793.46	1.53	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.5	282.6	1.39	1670	1009.3	423.84	2.38	> 1
2	6	1.5	386.1	1.39	1670	1211.1	579.15	2.09	> 1
3	6	1.5	519.9	1.39	1670	1211.1	779.90	1.55	> 1
4	6	1.5	526.0	1.39	1670	1211.1	789.01	1.53	> 1
5	6	1.5	575.8	1.39	1670	1211.1	863.65	1.40	> 1

Tabella 46: Verifica dei trefoli – san Pietro Nord – 2

Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.8	297.0	1.39	1670	1009.3	534.63	1.89	> 1
2	6	1.35	505.0	1.39	1670	1211.1	681.80	1.78	> 1
3	6	1.35	718.9	1.39	1670	1211.1	970.55	1.25	> 1
4	6	1.35	781.3	1.39	1670	1211.1	1054.70	1.15	> 1
5	6	1.35	781.7	1.39	1670	1211.1	1055.30	1.15	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.8	229.6	1.39	1670	1009.3	413.20	2.44	> 1
2	6	1.35	389.4	1.39	1670	1211.1	525.75	2.30	> 1
3	6	1.35	552.9	1.39	1670	1211.1	746.45	1.62	> 1
4	6	1.35	595.8	1.39	1670	1211.1	804.38	1.51	> 1
5	6	1.35	611.8	1.39	1670	1211.1	825.92	1.47	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_d	E_d	R_d/E_d	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.8	244.0	1.39	1670	1009.3	439.20	2.30	> 1
2	6	1.35	426.4	1.39	1670	1211.1	575.70	2.10	> 1
3	6	1.35	605.1	1.39	1670	1211.1	816.89	1.48	> 1
4	6	1.35	669.0	1.39	1670	1211.1	903.11	1.34	> 1
5	6	1.35	683.3	1.39	1670	1211.1	922.42	1.31	> 1

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	numero trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	f_{yk}	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}	verifica
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[kN]	[kN]	[-]	
1	5	1.8	243.4	1.39	1670	1009.3	438.03	2.30	> 1
2	6	1.35	422.2	1.39	1670	1211.1	569.95	2.12	> 1
3	6	1.35	598.2	1.39	1670	1211.1	807.60	1.50	> 1
4	6	1.35	655.9	1.39	1670	1211.1	885.41	1.37	> 1
5	6	1.35	729.8	1.39	1670	1211.1	985.18	1.23	> 1

Tabella 47: Verifica dei trefoli – san Pietro Nord – 3

11.2.2 Verifiche della lunghezza libera e dell'ancoraggio

Le lunghezze libere dei tiranti sono state definite secondo i criteri esposti in precedenza.

Di seguito sono riassunte le lunghezze adottate per i diversi ordini di tiranti.

ordine	H1 [m]	H2 [m]	Inclinaz. verticale	Inclinaz. orizz.	Angolo d'attrito	Infiss. pannello	L. libera [m]	L. libera + sisma	L. libera arrot. 0.5
1	16.5	3	-5	0	35	7.5	15.41	19.04	19.5
2	16.5	8	10	0	35	7.5	11.20	13.84	14
3	16.5	11.5	30	0	37	7.5	8.89	10.98	11
4	16.5	14.5	30	0	37	7.5	7.55	9.33	9.5

Tabella 48: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro Nord – 1

ordine	H1 [m]	H2 [m]	Inclinaz. verticale	Inclinaz. orizz.	Angolo d'attrito	Infiss. pannello	L. libera [m]	L. libera + sisma	L. libera arrot. 0.5
1	18.5	2.5	15	0	36.3	6.5	14.16	19.38	19.5
2	18.5	6.5	15	0	37	6.5	12.20	16.70	17
3	18.5	10.5	15	0	37	6.5	10.38	14.20	14.5
4	18.5	13.5	15	0	37	6.5	9.01	12.34	12.5
5	18.5	16	15	0	37	6.5	7.87	10.78	11

Tabella 49: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro Nord – 2

ordine	H1 [m]	H2 [m]	Inclinaz. verticale	Inclinaz. orizz.	Angolo d'attrito	Infiss. pannello	L. libera [m]	L. libera + sisma	L. libera arrot. 0.5
1	20	2.5	15	0	36.3	7	15.39	19.01	19.5
2	20	6.5	15	0	37	7	13.41	16.57	17
3	20	10.5	15	0	37	7	11.59	14.32	14.5
4	20	14	15	0	37	7	10.00	12.35	12.5
5	20	17	15	0	37	7	8.63	10.67	11

Tabella 50: Lunghezza libera dei tiranti – San Pietro Nord – 3

Nel seguito si riportano le verifiche allo sfilamento del bulbo di ancoraggio.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	246.7	5.5	167	15	1.2	471.0	444.0	1.06
2	1.8	402.4	8.0	167	18	1.2	822.1	724.3	1.14
3	1.8	511.7	9.0	167	18	1.2	924.9	921.1	1.00
4	1.8	483.4	8.5	167	18	1.2	873.5	870.1	1.00

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_{s_d}	E_{s_d}	R_{s_d}/E_{s_d}
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	192.2	5.5	167	15	1.2	471.0	345.9	1.36
2	1.8	307.8	8.0	167	18	1.2	822.1	554.1	1.48
3	1.8	392.9	9.0	167	18	1.2	924.9	707.3	1.31
4	1.8	376.7	8.5	167	18	1.2	873.5	678.1	1.29

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	229.8722	5.5	167	15	1.2	471.0	413.8	1.14
2	1.8	371.4778	8.0	167	18	1.2	822.1	668.7	1.23
3	1.8	479.5222	9.0	167	18	1.2	924.9	863.1	1.07
4	1.8	399.6278	8.5	167	18	1.2	873.5	719.3	1.21

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	229	5.5	167	15	1.2	471.0	412.2	1.14
2	1.8	369.7611	8.0	167	18	1.2	822.1	665.6	1.24
3	1.8	477.3278	9.0	167	18	1.2	924.9	859.2	1.08
4	1.8	422.6056	8.5	167	18	1.2	873.5	760.7	1.15

Tabella 51: Verifica dell'ancoraggio – San Pietro Nord – 1

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.5	353.1	6.0	167	18	1.2	565.2	529.7	1.07
2	1.5	455.7	7.5	167	18	1.2	706.5	683.6	1.03
3	1.5	640.6	10.5	167	18	1.2	989.1	960.9	1.03
4	1.5	640.9	11.0	167	18	1.2	1036.2	961.4	1.08
5	1.5	637.3	10.5	167	18	1.2	989.1	956.0	1.03

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.5	273.6	6.0	167	18	1.2	565.2	410.4	1.38
2	1.5	353.1	7.5	167	18	1.2	706.5	529.6	1.33
3	1.5	492.3	10.5	167	18	1.2	989.1	738.4	1.34
4	1.5	488.7	11.0	167	18	1.2	1036.2	733.1	1.41
5	1.5	498.5	10.5	167	18	1.2	989.1	747.7	1.32

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.5	282.36	6.0	167	18	1.2	565.2	423.5	1.33
2	1.5	386.52	7.5	167	18	1.2	706.5	579.8	1.22
3	1.5	526.12	10.5	167	18	1.2	989.1	789.2	1.25
4	1.5	531.6733	11.0	167	18	1.2	1036.2	797.5	1.30
5	1.5	528.9733	10.5	167	18	1.2	989.1	793.5	1.25

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.5	282.56	6.0	167	18	1.2	565.2	423.8	1.33
2	1.5	386.1	7.5	167	18	1.2	706.5	579.2	1.22
3	1.5	519.9333	10.5	167	18	1.2	989.1	779.9	1.27
4	1.5	526.0067	11.0	167	18	1.2	1036.2	789.0	1.31
5	1.5	575.7667	10.5	167	18	1.2	989.1	863.7	1.15

Tabella 52: Verifica dell'ancoraggio – San Pietro Nord – 2

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	297.0	5.5	167	18	1.2	565.2	534.6	1.06
2	1.35	505.0	7.0	167	18	1.2	719.3	681.8	1.06
3	1.35	718.9	10.0	167	18	1.2	1027.6	970.6	1.06
4	1.35	781.3	10.5	167	18	1.2	1079.0	1054.7	1.02
5	1.35	781.7	10.5	167	18	1.2	1079.0	1055.3	1.02

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_{sd}	E_{sd}	R_{sd}/E_{sd}
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	229.6	5.5	167	18	1.2	565.2	413.2	1.37
2	1.35	389.4	7.0	167	18	1.2	719.3	525.8	1.37
3	1.35	552.9	10.0	167	18	1.2	1027.6	746.5	1.38
4	1.35	595.8	10.5	167	18	1.2	1079.0	804.4	1.34
5	1.35	611.8	10.5	167	18	1.2	1079.0	825.9	1.31

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	244	5.5	167	18	1.2	565.2	439.2	1.29
2	1.35	426.4444	7.0	167	18	1.2	719.3	575.7	1.25
3	1.35	605.1037	10.0	167	18	1.2	1027.6	816.9	1.26
4	1.35	668.9704	10.5	167	18	1.2	1079.0	903.1	1.19
5	1.35	683.2741	10.5	167	18	1.2	1079.0	922.4	1.17

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A2+M2									
Ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	Lungh. ancorag.	τ terr-fond.	Diametro perforaz.	α sbulbam.	R_d	E_d	R_d/E_d
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kPa]	[cm]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
1	1.8	243.35	5.5	167	18	1.2	565.2	438.0	1.29
2	1.35	422.1852	7.0	167	18	1.2	719.3	570.0	1.26
3	1.35	598.2222	10.0	167	18	1.2	1027.6	807.6	1.27
4	1.35	655.8593	10.5	167	18	1.2	1079.0	885.4	1.22
5	1.35	729.763	10.5	167	18	1.2	1079.0	985.2	1.10

Tabella 53: Verifica dell’ancoraggio – San Pietro Nord – 3

11.3 VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONI

Stato limite ultimo

I risultati delle verifiche della trave di ripartizione sono riportati nelle tabelle seguenti, in cui compaiono:

- $T_{paratie}$ = azione di trazione nel tirante derivante dal codice di calcolo PARATIE;
- f_{yk} = tensione di snervamento dell’acciaio;
- γ_{MO} = coefficiente riduttivo della resistenza dell’acciaio;
- f_{yd} = tensione di snervamento di progetto dell’acciaio;
- b, t, r, h = caratteristiche geometriche del profilato;
- W_{el} = modulo di resistenza della sezione;
- W_{pl} = modulo di resistenza “plastico” della sezione;
- A = area della sezione del profilato;
- A_v = area ridotta “di taglio”;
- M_{sk} = momento flettente agente sulla sezione di verifica ($(T_{paratie} * \text{passo}^2)/10$);
- V_{sk} = azione di taglio agente sulla sezione di verifica ($(T_{paratie} * \text{passo})/2$);
- γ_A = coefficiente amplificativo delle azioni sollecitanti;
- M_{sd} = momento flettente di progetto;
- V_{sd} = azione di taglio agente di progetto;

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

$M_{pl\ rd}$ = momento flettente resistente "plastico" ($f_{yd} \cdot W_{pl}$);

$M_{el\ rd}$ = momento flettente resistente "elastico" ($f_{yd} \cdot W_{el}$);

$V_{pl\ rd}$ = azione tagliante resistente "plastica" ($A_v \cdot f_{yd} / \sqrt{3}$)

I ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{f\ angia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	246.7	1.8	S275	275	1.05	261.9047619	HEB140	14	1.2	0.7	1.2	11.6	215.6	245.4	42.96	13.08
STATICO	246.7						2									
SISMICO	192.2						2									
A2+M2	229.9															

I ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X C/t _f	Y (235/f _y) ^{0.5}		
Combinazione	40.0	111.0	1.0	40.0	111.0	56.5	64.3	56.5	197.8	1.41	> 1	1.78	> 1	5.8	66.6
STATICO	40.0	111.0	1.0	40.0	111.0	56.5	64.3	56.5	197.8	1.41	> 1	1.78	> 1	5.8	66.6
SISMICO	31.1	86.5	1.0	31.1	86.5	56.5	64.3	64.3	197.8	2.06	> 1	2.29	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	37.2	103.4	1.0	37.2	103.4	56.5	64.3	56.5	197.8	1.52	> 1	1.91	> 1		

II ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{f\ angia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	402.4	1.8	S275	275	1.05	261.9047619	HEB160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.59
STATICO	402.4						2									
SISMICO	307.8						2									
A2+M2	371.5															

II ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X C/t _f	Y (235/f _y) ^{0.5}		
Combinazione	65.2	181.1	1.0	65.2	181.1	81.6	92.7	81.6	266.0	1.25	> 1	1.47	> 1	6.2	66.6
STATICO	65.2	181.1	1.0	65.2	181.1	81.6	92.7	81.6	266.0	1.25	> 1	1.47	> 1	6.2	66.6
SISMICO	49.9	138.5	1.0	49.9	138.5	81.6	92.7	81.6	266.0	1.64	> 1	1.92	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	60.2	167.2	1.0	60.2	167.2	81.6	92.7	81.6	266.0	1.36	> 1	1.59	> 1		

III ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{f\ angia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	511.7	1.8	S275	275	1.05	261.9047619	HEB180	18	1.4	0.85	1.5	15.2	426	481	65.3	20.29
STATICO	511.7						2									
SISMICO	392.9						2									
A2+M2	479.5															

III ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X C/t _f	Y (235/f _y) ^{0.5}		
Combinazione	82.9	230.3	1.0	82.9	230.3	111.6	126.0	111.6	306.8	1.35	> 1	1.33	> 1	6.4	66.6
STATICO	82.9	230.3	1.0	82.9	230.3	111.6	126.0	111.6	306.8	1.35	> 1	1.33	> 1	6.4	66.6
SISMICO	63.7	176.8	1.0	63.7	176.8	111.6	126.0	111.6	306.8	1.75	> 1	1.74	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	77.7	215.8	1.0	77.7	215.8	111.6	126.0	111.6	306.8	1.44	> 1	1.42	> 1		

IV ordine	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	$T_{paratie}$ [kNm/m]	passo [m]	Tipo acciaio	f_{yk} [MPa]	γ_{M0} [-]	f_{yd} [MPa]	Tipo e numero	b [cm]	$t_{f\ angia}$ [cm]	t_{web} [cm]	r [cm]	h_{web} [cm]	W_{el} [cm ³]	W_{pl} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]
Combinazione	483.4	1.8	S275	275	1.05	261.9047619	HEB180	18	1.4	0.85	1.5	15.2	426	481	65.3	20.29
STATICO	483.4						2									
SISMICO	376.7						2									
A2+M2	399.6															

IV ordine	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M_{sk} [kNm]	V_{sk} [kNm]	γ_A [-]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	$M_{el\ rd}$ [kNm]	$M_{pl\ rd}$ [kNm]	M_{rd} [kNm]	$V_{pl\ rd}$ [kN]	M_{rd} / M_{sd} [-]	V_{rd} / V_{sd} [-]	X C/t _f	Y (235/f _y) ^{0.5}		
Combinazione	78.3	217.5	1.0	78.3	217.5	111.6	126.0	111.6	306.8	1.42	> 1	1.41	> 1	6.4	66.6
STATICO	78.3	217.5	1.0	78.3	217.5	111.6	126.0	111.6	306.8	1.42	> 1	1.41	> 1	6.4	66.6
SISMICO	61.0	169.5	1.0	61.0	169.5	111.6	126.0	111.6	306.8	1.83	> 1	1.81	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	64.7	179.8	1.0	64.7	179.8	111.6	126.0	111.6	306.8	1.72	> 1	1.71	> 1		

Tabella 54: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro Nord – 1

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

I	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{Mo}	f _{yd}	Tipo e numero	b	t _{triangia}	t _{web}	r	h _{web}	W _{el}	W _{pl}	A	Av
Combinazione	[kNm/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	297.0	1.8	S275	275	1.05	261.9047619	HEB140	14	1.2	0.7	1.2	11.6	215.6	245.4	42.96	13.08
SISMICO	229.6						2									
A2+M2	244.0						2									

I	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
Combinazione	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	48.1	133.7	1.0	48.1	133.7	56.5	64.3	56.5	197.8	1.17	> 1	1.48	> 1	5.8	66.6
SISMICO	37.2	103.3	1.0	37.2	103.3	56.5	64.3	56.5	197.8	1.52	> 1	1.91	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	39.5	109.8	1.0	39.5	109.8	56.5	64.3	56.5	197.8	1.43	> 1	1.80	> 1		

II	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{Mo}	f _{yd}	Tipo e numero	b	t _{triangia}	t _{web}	r	h _{web}	W _{el}	W _{pl}	A	Av
Combinazione	[kNm/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	505.0	1.35	S275	275	1.05	261.9047619	HEB160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.59
SISMICO	389.4						2									
A2+M2	426.4						2									

II	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
Combinazione	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	46.0	170.5	1.0	46.0	170.5	81.6	92.7	81.6	266.0	1.77	> 1	1.56	> 1	6.2	66.6
SISMICO	35.5	131.4	1.0	35.5	131.4	81.6	92.7	81.6	266.0	2.61	> 1	2.02	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	38.9	143.9	1.0	38.9	143.9	81.6	92.7	81.6	266.0	2.10	> 1	1.85	> 1		

III	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{Mo}	f _{yd}	Tipo e numero	b	t _{triangia}	t _{web}	r	h _{web}	W _{el}	W _{pl}	A	Av
Combinazione	[kNm/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	718.9	1.35	S275	275	1.05	261.9047619	HEB180	18	1.4	0.85	1.5	15.2	426	481	65.3	20.29
SISMICO	552.9						2									
A2+M2	605.1						2									

III	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
Combinazione	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	65.5	242.6	1.0	65.5	242.6	111.6	126.0	111.6	306.8	1.70	> 1	1.26	> 1	6.4	66.6
SISMICO	50.4	186.6	1.0	50.4	186.6	111.6	126.0	111.6	306.8	2.21	> 1	1.64	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	55.1	204.2	1.0	55.1	204.2	111.6	126.0	111.6	306.8	2.02	> 1	1.50	> 1		

IV	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{Mo}	f _{yd}	Tipo e numero	b	t _{triangia}	t _{web}	r	h _{web}	W _{el}	W _{pl}	A	Av
Combinazione	[kNm/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	781.3	1.35	S275	275	1.05	261.9047619	HEB180	18	1.4	0.85	1.5	15.2	426	481	65.3	20.29
SISMICO	595.8						2									
A2+M2	669.0						2									

IV	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
Combinazione	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	71.2	263.7	1.0	71.2	263.7	111.6	126.0	111.6	306.8	1.57	> 1	1.16	> 1	6.4	66.6
SISMICO	54.3	201.1	1.0	54.3	201.1	111.6	126.0	111.6	306.8	2.05	> 1	1.53	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	61.0	225.8	1.0	61.0	225.8	111.6	126.0	111.6	306.8	1.83	> 1	1.36	> 1		

V	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato									
	T _{paratie}	passo	Tipo	f _{yk}	γ _{Mo}	f _{yd}	Tipo e numero	b	t _{triangia}	t _{web}	r	h _{web}	W _{el}	W _{pl}	A	Av
Combinazione	[kNm/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	781.7	1.35	S275	275	1.05	261.9047619	HEB180	18	1.4	0.85	1.5	15.2	426	481	65.3	20.29
SISMICO	611.8						2									
A2+M2	683.3						2									

V	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche			controllo classe sezioni		
	M _{sk}	V _{sk}	γ _A	M _{sd}	V _{sd}	M _{el rd}	M _{pl rd}	M _{rd}	V _{pl rd}	M _{rd} / M _{sd}	V _{rd} / V _{sd}	X	Y		
Combinazione	[kNm]	[kNm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]	C/t _t	(235/f _y) ^{0.5}		
STATICO	71.2	263.8	1.0	71.2	263.8	111.6	126.0	111.6	306.8	1.57	> 1	1.16	> 1	6.4	66.6
SISMICO	55.7	206.5	1.0	55.7	206.5	111.6	126.0	111.6	306.8	2.00	> 1	1.49	> 1	K: X<Y sez. di classe	
A2+M2	62.3	230.6	1.0	62.3	230.6	111.6	126.0	111.6	306.8	1.79	> 1	1.33	> 1		

Tabella 55: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro Nord – 3

In corrispondenza della berlinese permanente, le travi di ripartizione sono realizzate in CA, con calcestruzzo C28/35, di dimensioni 60 x 40 cm, armate con 4Ø30 su entrambi i lati e staffe Ø14 passo 15cm.

I ordine	$T_{paratie}$	passo	M_{sd}	V_{sd}
Combinazione	[KNm/m]	[m]	[kNm]	[kN]
STATICO	353.14	1.5	79.5	264.9
SISMICO	273.58		61.6	205.2
A2+M2	282.36		63.5	211.8

II ordine	$T_{paratie}$	passo	M_{sd}	V_{sd}
Combinazione	[KNm/m]	[m]	[kNm]	[kN]
STATICO	455.74	1.5	102.5	341.8
SISMICO	353.09		79.4	264.8
A2+M2	386.52		87.0	289.9

III ordine	$T_{paratie}$	passo	M_{sd}	V_{sd}
Combinazione	[KNm/m]	[m]	[kNm]	[kN]
STATICO	640.57	1.5	144.1	480.4
SISMICO	492.25		110.8	369.2
A2+M2	526.12		118.4	394.6

IV ordine	$T_{paratie}$	passo	M_{sd}	V_{sd}
Combinazione	[KNm/m]	[m]	[kNm]	[kN]
STATICO	640.95	1.5	144.2	480.7
SISMICO	488.75		110.0	366.6
A2+M2	531.67		119.6	398.8

V ordine	$T_{paratie}$	passo	M_{sd}	V_{sd}
Combinazione	[KNm/m]	[m]	[kNm]	[kN]
STATICO	637.31	1.5	143.4	478.0
SISMICO	498.47		112.2	373.9
A2+M2	528.97		119.0	396.7

Tabella 56: Verifica travi di ripartizione SLU – San Pietro Nord – 2

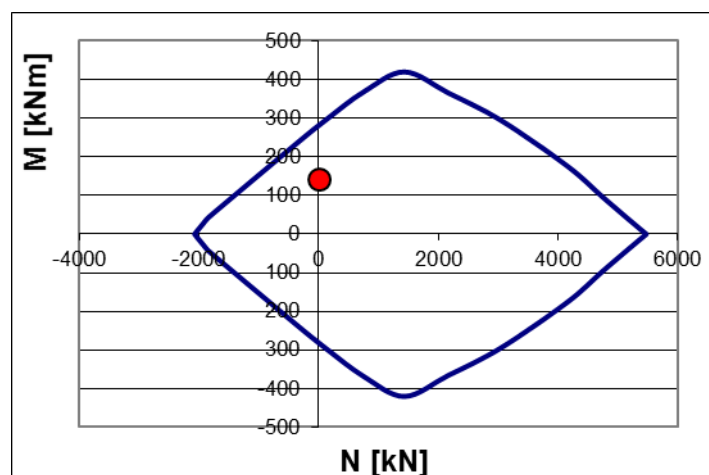


Figura 27 - Verifica a flessione – San Pietro Nord – 2

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Combinazione	N [kN]	V _{sd} [kN]	V _{Rcd} [kN]	V _{Rsd} [kN]
A1+M1	0	480.7	714.89	552.29

Tabella 57: Verifica a taglio - travi di ripartizione – San Pietro Nord – 2

Stato limite di esercizio

Nelle travi di ripartizione in acciaio, le tensioni risultano sempre inferiori al limite $\sigma_s=220$ MPa e la verifica risulta quindi soddisfatta.

Ordine	Profilato	M _{MAX}	V _{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
	[-]	[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
I	2 HEB140	30.74	85.38	142.56	65.28	181.95
II	2 HEB160	50.14	139.29	160.98	79.19	211.48
III	2 HEB180	63.77	177.13	149.69	87.30	212.76
IV	2 HEB180	60.24	167.33	141.40	82.47	200.99

Tabella 58: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro Nord – 1

Ordine	Profilato	M _{MAX}	V _{MAX}	σ_{max}	τ_{max}	σ_{id}
	[-]	[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
I	2 HEB140	37.01	102.81	171.67	78.60	219.10
II	2 HEB160	35.40	131.12	113.65	74.54	172.00
III	2 HEB180	50.39	186.64	118.29	91.99	198.44
IV	2 HEB180	54.76	202.82	128.55	99.96	215.64
V	2 HEB180	54.79	202.94	128.63	100.02	215.77

Tabella 59: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro Nord – 3

Nelle travi definitive in CA, le tensioni risultano compatibili coi limiti di normativa e l'apertura delle fessure è inferiore a 0.2mm.

Ordine	T _{paratie}	passo	M _{MAX}	σ_c	σ_s	w _k
	[kNm]	[m]	[KN*m]	[MPa]	[MPa]	[mm]
I	271.65	1.5	61.1	3.96	-85.2	0.08

II	350.57	1.5	78.9	5.12	-110	0.11
III	492.75	1.5	110.9	7.19	-154.6	0.15
IV	493.03	1.5	110.9	7.19	-154.6	0.15
V	490.23	1.5	110.3	7.16	-153.8	0.15

Tabella 60: Verifica travi di ripartizione SLE – San Pietro Nord – 2

11.4 VERIFICA DELLA TRAVE DI TESTA

La trave di testa, che collega i micropali, ha una sezione larga 70 cm e alta 80 cm ed è armata in corrispondenza degli imbocchi con 4Ø26 ad un lembo e con 4+4Ø26 dall’altro. In corrispondenza degli imbocchi, i micropali verranno tagliati e rimarranno appesi alla trave di testa. Sulla trave agisce un momento ed un taglio dovuti al peso distribuito q equivalente a quello dei micropali tagliati sulla larghezza l dell’imbocco:

$$M_{ks} = M_{\max} = \frac{ql^2}{10} \quad \text{e} \quad V_{ks} = V_{\max} = \frac{ql}{2}$$

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

AZIONI						
Spezzone medio palo[m]	Largh. scavo	Peso Spezz. KN	Carico distrib. KN/m	Momento PL ² /8 [KNm]	Taglio PL/2 [KN]	
7	15	8.59	21.48	604.00	161.07	
M	N	V	Md	Nd	Vd	
KNm	KN	KN	KNm	KN	KN	
604.00	0.00	161.07	785.21	0.00	209.39	
VERIFICA SLE - T.U. 2008						
Verifica	M	N	σ cls	σ steel	σ lim cls	σ lim steel
S.L.E.	KNm	KN	MPa	MPa	MPa	MPa
	604.00	0.00	9.62	-259.6	12.60	360
VERIFICA SLU						
Md	Nd					
KNm	KN					
785.21	0.00					
VERIFICA TAGLIO (T.U. 2008)						
V	N	Vd	V slu	Coefficiente	Coefficiente	
KN	KN	KN	KN	γ _s	γ _c	
161.07	0.00	209.39	209.39	1.15	1.5	
Staffe φ	Passo	Asw	Copriferro	f_{yk} staffe	f_{yd} staffe	f_{cd}
mm	cm	mm ²	cm	Mpa	MPa	MPa
14	20	307.88	5	450	391.30	15.8
altezza utile	bw	σ_{cp}	α_c	α	θ	
d [cm]	cm	MPa	-	°	°	
73.70	70	0	1.00	90	45	
V_{Rsd}	V_{Rcd}	V_{Rd}		Verifica OK		
KN	KN	KN				
399.55	1834.02	399.55				

Tabella 61: Verifica trave di testa

12 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

In accordo con quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 - Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni", le verifiche di stabilità globali sono state condotte secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

12.1 Modello di calcolo

L'esame della condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo SLOPE / W.

Il programma si basa sull'applicazione di diversi metodi dell'equilibrio limite in condizioni bidimensionali quali il metodo di Morgenstern-Price, Bishop semplificato (1955), quello di Janbu semplificato (1973) e quello di Spencer (1967). I fattori di sicurezza presi in considerazione nel seguito sono stati ottenuti tramite il metodo di Morgenstern-Price.

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica" (ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza F_s minimo) e verificando se tale valore risulta maggiore o minore di 1.1 (combinazione A2+M2+R2). Il valore di $F_s=1.1$ corrisponde ad una situazione di incipiente scivolamento del pendio lungo la superficie di scorrimento considerata.

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno rappresentato nella seguente figura.

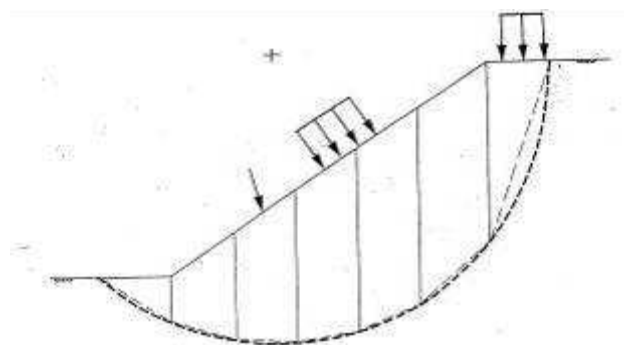


Figura 28 - Suddivisione in concetti del meccanismo di rottura

Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella di eventuali forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.); inoltre è possibile considerare la presenza della falda all'interno del pendio, trascurando il fenomeno di filtrazione.

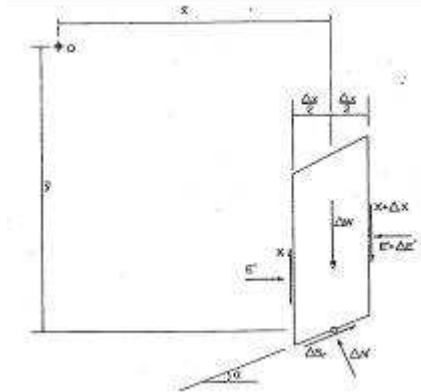


Figura 29 - Forze agenti sul singolo concio

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in conci e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificatrici sulle forze reciproche tra i conci.

Il metodo consente di valutare un valore del coefficiente di sicurezza medio della superficie di scivolamento definito come:

$$F_s = \frac{(\tau_{ult})_m}{\tau_m}$$

essendo:

- $(\tau_{ult})_m$ = resistenza al taglio media del terreno lungo la superficie di scivolamento;
- τ_m = tensione tangenziale media mobilitata lungo la superficie di scivolamento.

Il programma ricerca automaticamente la superficie di scorrimento "critica" con un procedimento iterativo basato sul tracciamento automatico delle superfici circolari e sul successivo calcolo del coefficiente di sicurezza di ciascuna di esse.

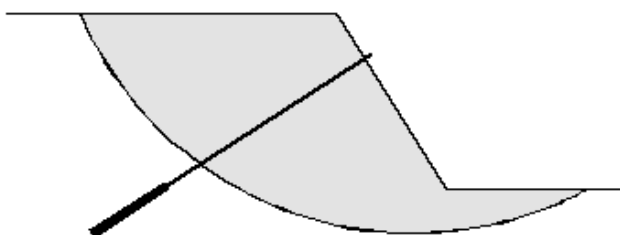
A questo proposito viene dapprima individuato un settore di passaggio (o un punto) comune a tutte le superfici di scivolamento (ad esempio: un tratto su uno dei contorni del pendio) ed una griglia di punti che vengono utilizzati come centro delle varie possibili superfici di scivolamento. Per ciascuna di esse viene eseguito il calcolo del coefficiente di sicurezza ed il valore più piccolo tra quelli ottenuti è assegnato all'intero pendio.

Eventualmente la procedura può essere ripetuta imponendo altri vincoli alle superfici di scivolamento in modo da migliorare l'affidabilità della ricerca.

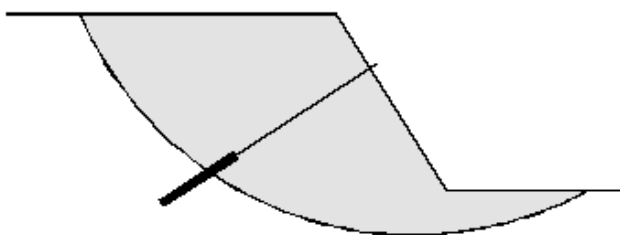
L’analisi tiene conto della presenza dei tiranti e si possono verificare 3 condizioni:

- a) il bulbo di ancoraggio ricade completamente al di fuori della superficie critica di scorrimento e quindi la resistenza allo sfilamento è moltiplicata per la lunghezza di ancoraggio;
- b) la superficie di scorrimento taglia il bulbo ed in questo caso solo la parte di bulbo all’esterno della superficie resiste allo sfilamento;
- c) il bulbo è all’interno della superficie di scorrimento e quindi non lavora a trazione.

(a) Full reinforcement load is mobilized



(b) Partial reinforcement load is mobilized (Calculated as: Effective Bond Length x Bond Resistance)



(c) No reinforcement load is mobilized

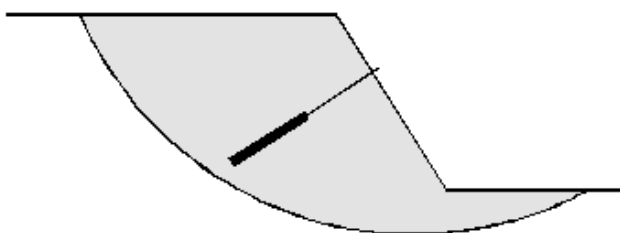


Figura 30 - Sfruttamento dei tiranti

Nel seguito, si analizza la superficie di scorrimento critica passante per il piede della paratia (imposta passante a circa 50cm al di sopra del piede), considerando l’effettivo utilizzo dei tiranti, che vengono inizializzati con una forza pari al pretiro.

12.2 Parametri di calcolo

L’analisi di stabilità è stata condotta in corrispondenza della sezione più rappresentativa degli imbocchi: per San Pietro sud, si analizza la condizione a breve termine della paratia con la massima altezza fuori scavo (sezione 1), mentre a lungo termine si procederà col ritombamento degli sbancamenti effettuati; nel caso di San Pietro Nord, si considera la stabilità della seconda sezione, quella definitiva, che deve sostenere un sisma con tempo di ritorno di 1898 anni e ha altezza di scavo paragonabile a quella massima.

Per l’analisi statica, si è fatto riferimento alla combinazione A2+M2, utilizzando nella verifica i seguenti parametri di progetto ridotti:

Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	0 - 10	22	100	29.3	0
Detrito - b	10 - 20	23	150	31.1	0
Detrito - c	> 20	23	200	31.1	0

Tabella 62: Parametri di progetto – Analisi statica (A2+M2) – San Pietro sud – 1

Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	0 - 10	22	100	29.3	0
Detrito - b	10 - 20	23	150	31.1	0
Detrito - c	> 20	23	200	31.1	0

Tabella 63: Parametri di progetto – Analisi statica (A2+M2) – San Pietro nord – 2

In condizioni sismiche, invece, la verifica è stata condotta con i seguenti parametri:

Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	0 - 10	22	100	35	0
Detrito - b	10 - 20	23	150	37	0
Detrito - c	> 20	23	200	37	0

Tabella 64: Parametri di progetto – Analisi sismica (A1+M1) - San Pietro sud – 1

Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	0 - 10	22	100	35	0
Detrito - b	10 - 20	23	150	37	0
Detrito - c	> 20	23	200	37	0

Tabella 65: Parametri di progetto – Analisi sismica (A1+M1) – San Pietro nord – 2

L’azione di un ipotetico sisma è stata tenuta in considerazione introducendo i seguenti coefficienti sismici:

$$k_h = \beta_s \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5k_h$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell’azione orizzontale massima attesa, dipendente dall’accelerazione massima e dalla categoria di sottosuolo;

$a_{\max} = a_g S_s S_T$ = accelerazione orizzontale massima attesa.

Il livelli di falda considerato è stato definito partendo da quanto mostrato nel profilo geomeccanico e imponendo il passaggio da fondo scavo.

12.3 Risultati

Le analisi eseguite mostrano fattori di sicurezza compatibili coi limiti di normativa.

Analisi	H _{scavo} [m]	F _{s statico}
San Pietro sud - 1	18.7	1.257
San Pietro nord - 2	18.5	1.352

Tabella 66: Analisi di stabilità globale - statica

Analisi	a _g [g]	Sottosuolo	S _s	S _T	β _s	K _h [g]	K _v [g]	F _{s sismico}
San Pietro sud - 1	0.109	B	1.2	1.0	0.24	0.032	0.016	1.491
San Pietro nord - 2	0.205	B	1.2	1.0	0.24	0.059	0.030	1.514

Tabella 67: Analisi di stabilità globale – sismica

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

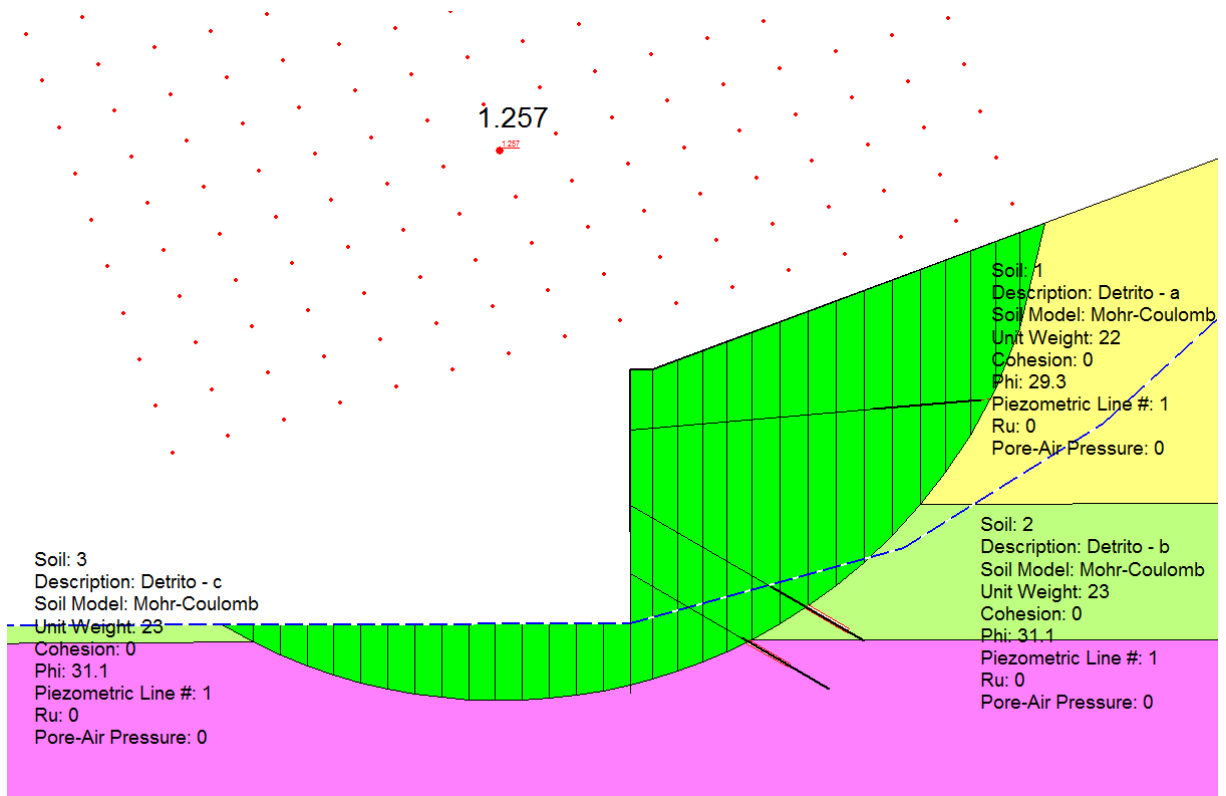


Figura 31 - Analisi stabilità statica San Pietro Sud – 1

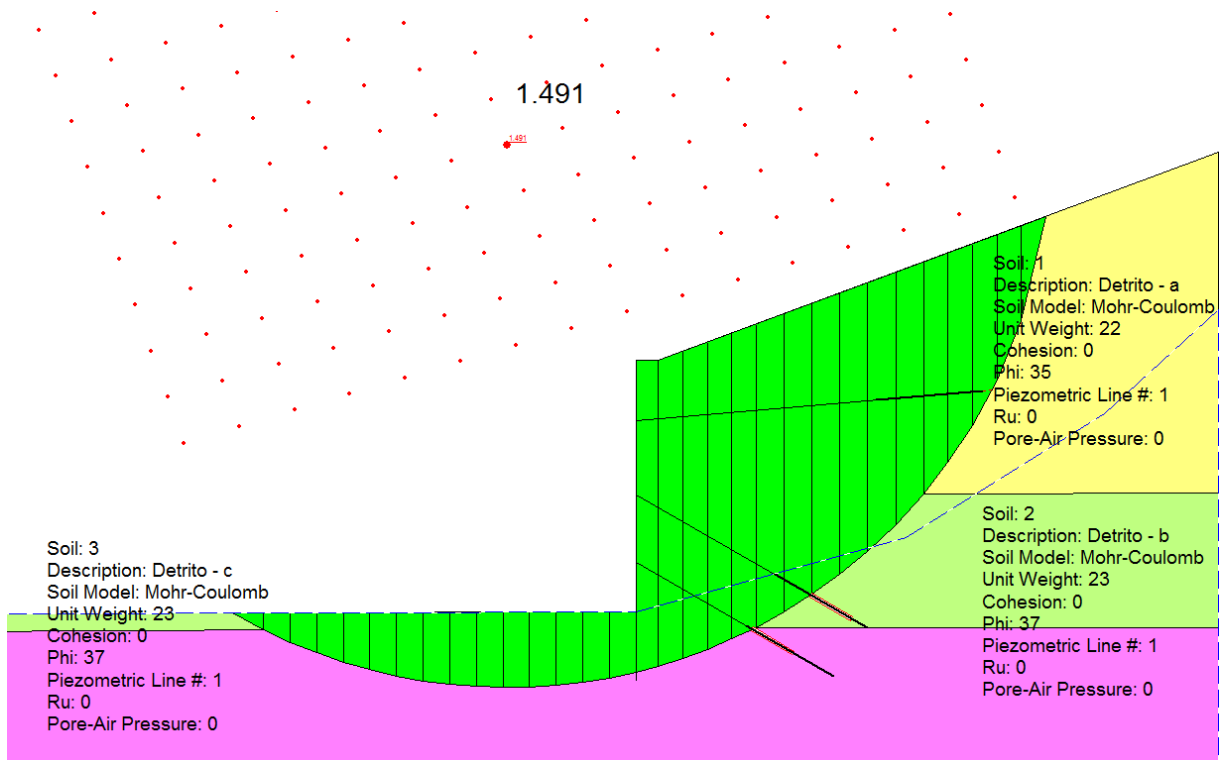


Figura 32 - Analisi stabilità sismica San Pietro Sud – 1

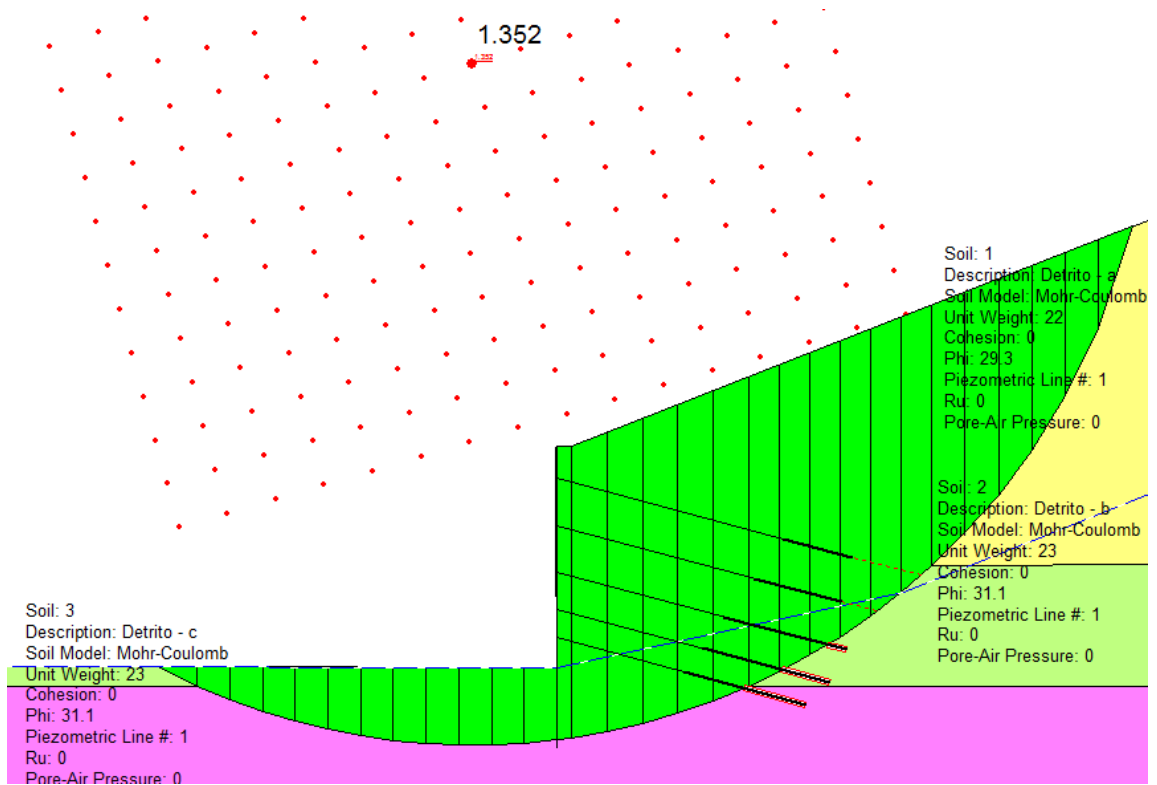


Figura 33 - Analisi stabilità statica San Pietro Nord - 2

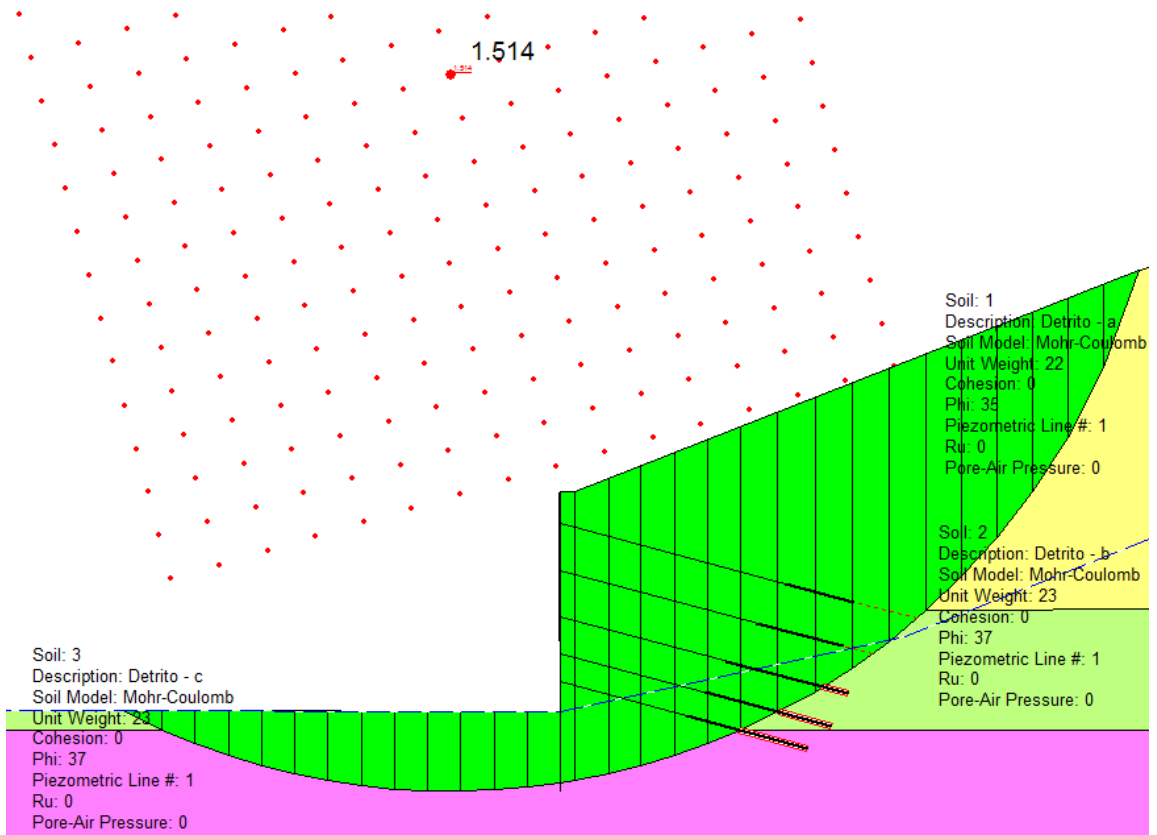
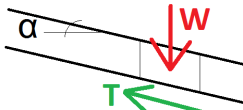


Figura 34 - Analisi stabilità sismica San Pietro Nord - 2

In aggiunta ai risultati delle analisi di stabilità globale presentate, che già indagano i possibili meccanismi franosi nella zona di influenza dello scavo della paratia di imbocco (incluso almeno 50m a monte dell’opera), nel seguito si forniscono ulteriori valutazioni circa la stabilità globale del versante su più larga scala. Bisogna però considerare il fatto che parte della zona di imbocco verrà poi ritombata a fine lavori, andando a re-stabilire, almeno in parte, il contributo favorevole del peso al piede del pendio soggetto ad eventuali meccanismi rotazionali più profondi o meccanismi traslazionali.

A San Pietro sud, la coltre detritica arriva a 25m di profondità e la pendenza massima è intorno ai 25°. Secondo quanto riportato nella tavola J16L1_03_06_04_001_0105_0PD “Carta degli elementi del PAI”, la zona di imbocco sud non è affetta da fenomeni franosi attivi.

La pendenza del versante è tale per cui non si prevedono nemmeno meccanismi traslazionali, una volta scavata la zona di imbocco. Quanto detto è supportato dalla valutazione analitica della stabilità del pendio infinitamente esteso, definito dalle seguenti equazioni di equilibrio:

$$\begin{cases} N = W \cdot \cos \alpha \\ T = W \cdot \sin \alpha \end{cases}$$


E dall’equazione derivante dalla formulazione del legame costitutivo:

$$T_{\text{lim}} = N \cdot \tan \phi + \frac{c}{\cos \alpha}$$

Con il livello di falda che rimane al di sotto del piano di scavo (al massimo di 20m) nella zona di imbocco, FS risulta:

$$FS = \frac{T_{\text{lim}}}{T} = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

Assumendo per il detrito $c=0\text{kPa}$, $\phi=35^\circ$ (al minimo), in combinazione A2M2 si ottiene FS pari a 1.2 (> di 1.1) per la massima inclinazione del pendio (pari a 25°).

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

α [°]	25
--------------	----

H_{scavo}	γ	W	N	T	\emptyset	c	T_{lim}	FS
[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[kPa]	[-]
2	22.0	44.0	39.9	18.6	35.0	0.0	22.3	1.2
4	22.0	88.0	79.8	37.2	35.0	0.0	44.7	1.2
6	22.0	132.0	119.6	55.8	35.0	0.0	67.0	1.2
8	22.0	176.0	159.5	74.4	35.0	0.0	89.4	1.2
10	22.0	220.0	199.4	93.0	35.0	0.0	111.7	1.2
12	23.0	266.0	241.1	112.4	37.0	0.0	145.3	1.3
14	23.0	312.0	282.8	131.9	37.0	0.0	170.5	1.3
16	23.0	358.0	324.5	151.3	37.0	0.0	195.6	1.3
18	23.0	404.0	366.1	170.7	37.0	0.0	220.7	1.3
20	23.0	450.0	407.8	190.2	37.0	0.0	245.9	1.3

All'imbocco nord, il tracciato sbocca nella zona della frana della Marogna (tavola J16L1_03_06_04_001_0105_OPD).

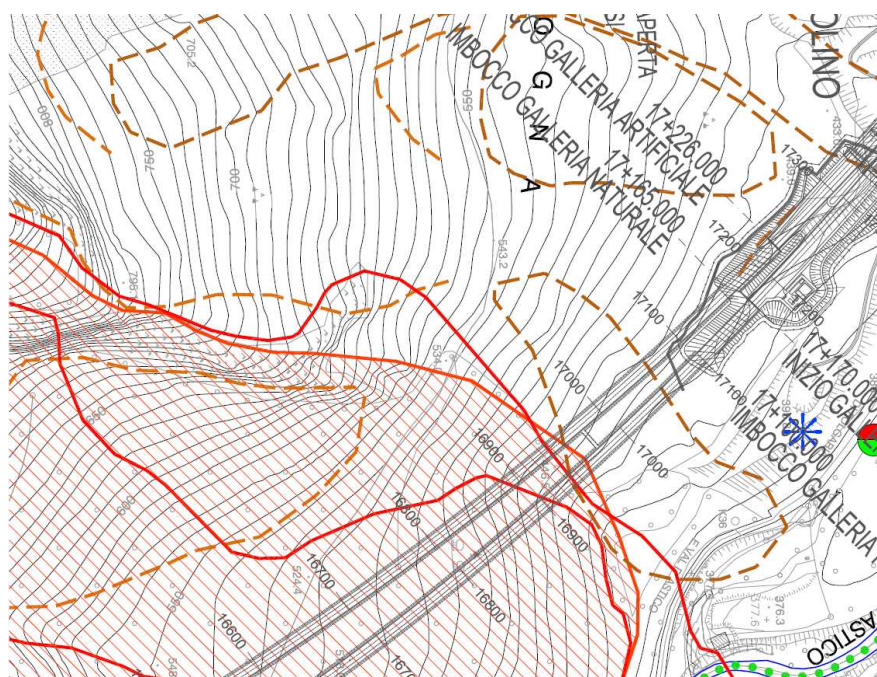


Figura 35 - Imbocco nord, con in rosso la zona della frana della Marogna

Per avere un quadro più chiaro della zona, si riportano alcune immagini elaborate su Google Earth, che aiutano a comprendere meglio la situazione nella zona di imbocco.

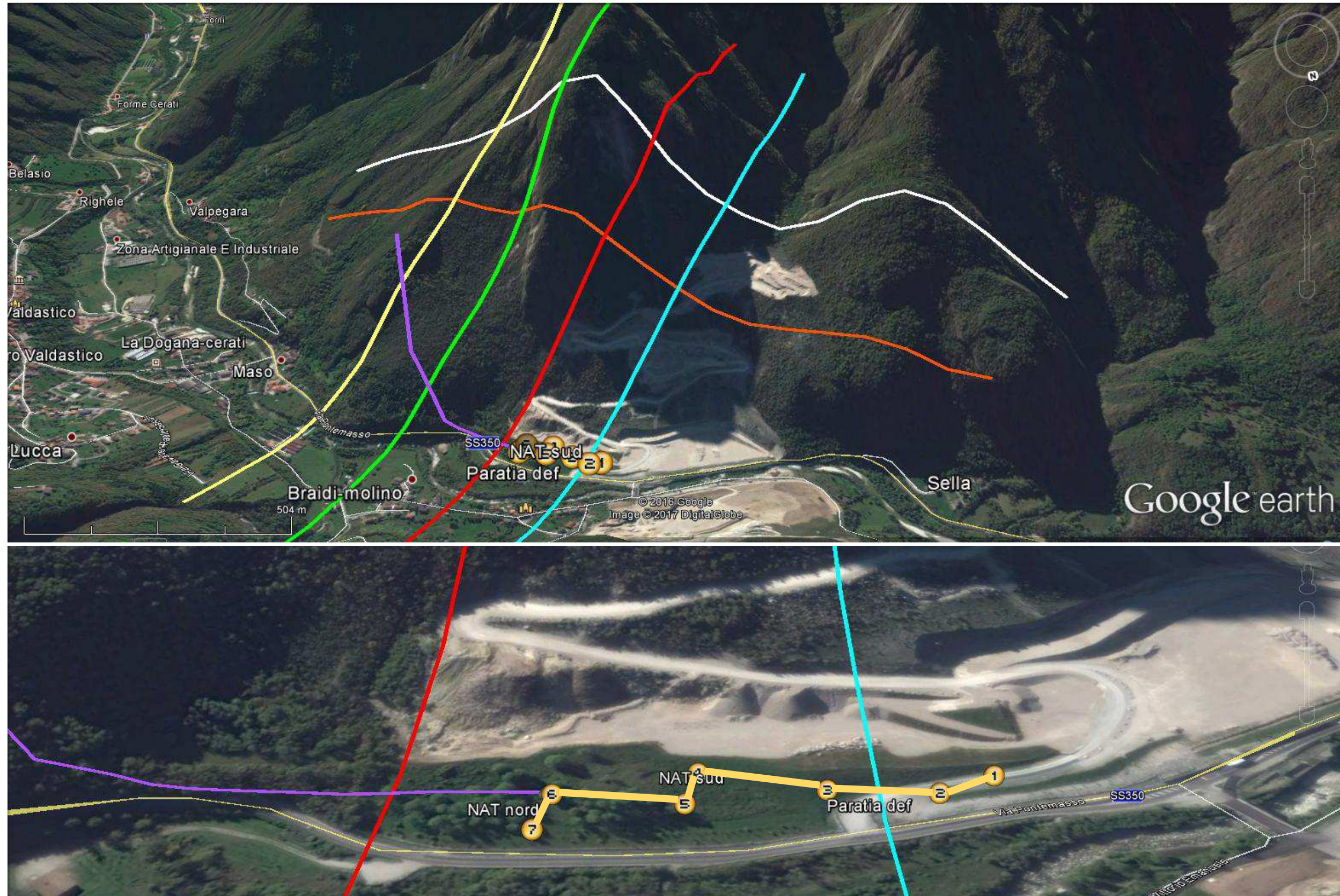


Figura 36 - Paratia dell'imbocco San Pietro Nord (linea gialla che raccorda i vertici numerati)

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
 1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

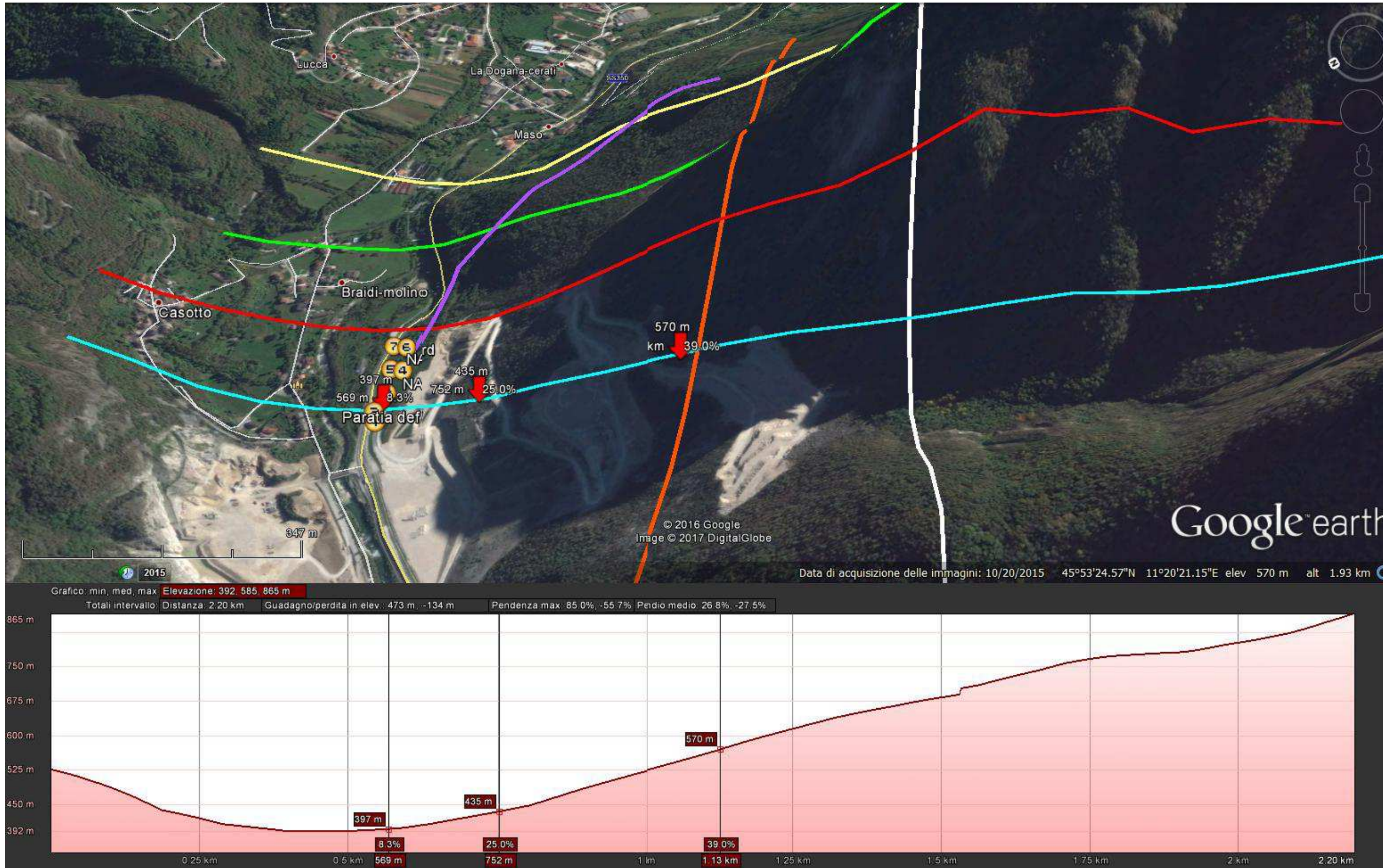


Figura 37 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea azzurra

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
 1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

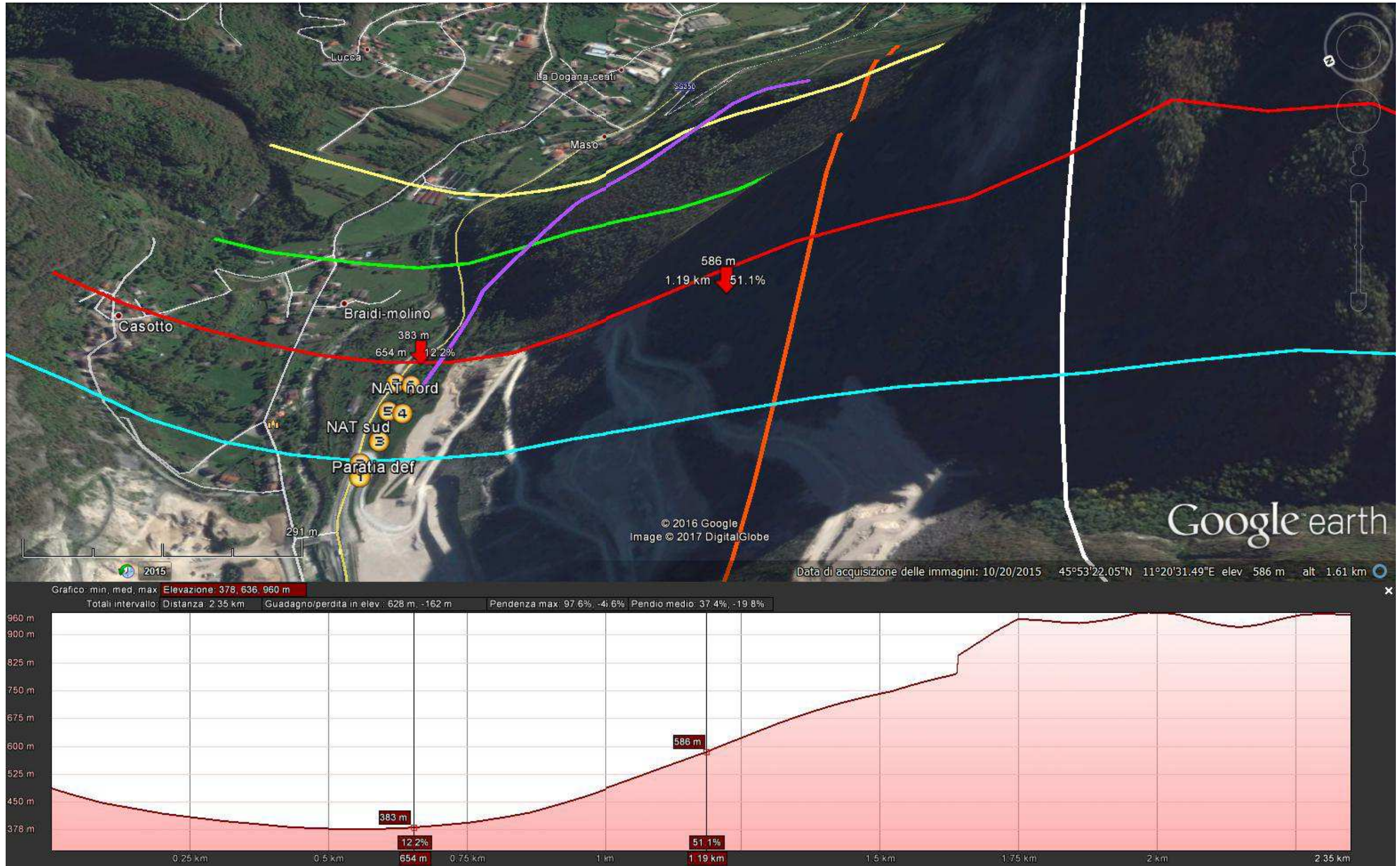


Figura 38 - Andamento piano-altimetrico lungo la linea rossa

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
 1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

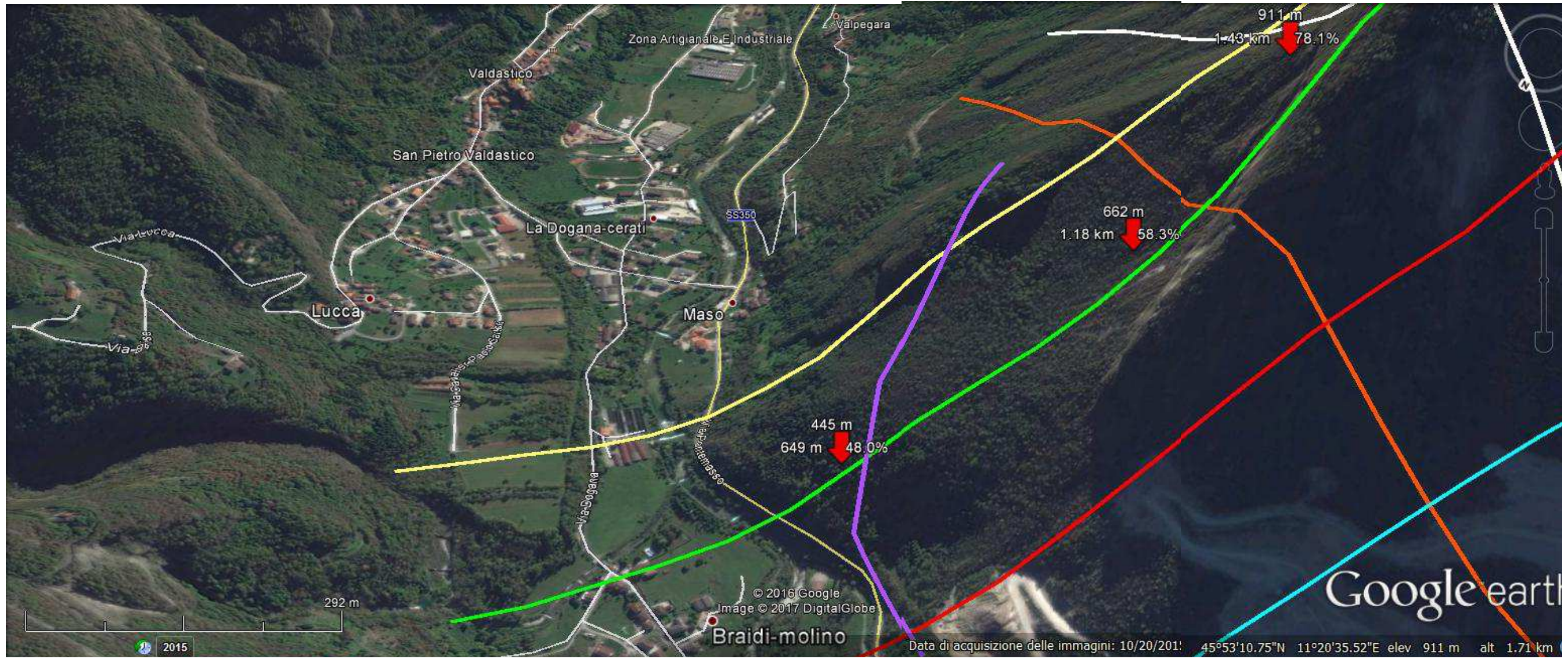


Figura 39 - Andamento piano-altimetrico lungo la linea verde

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

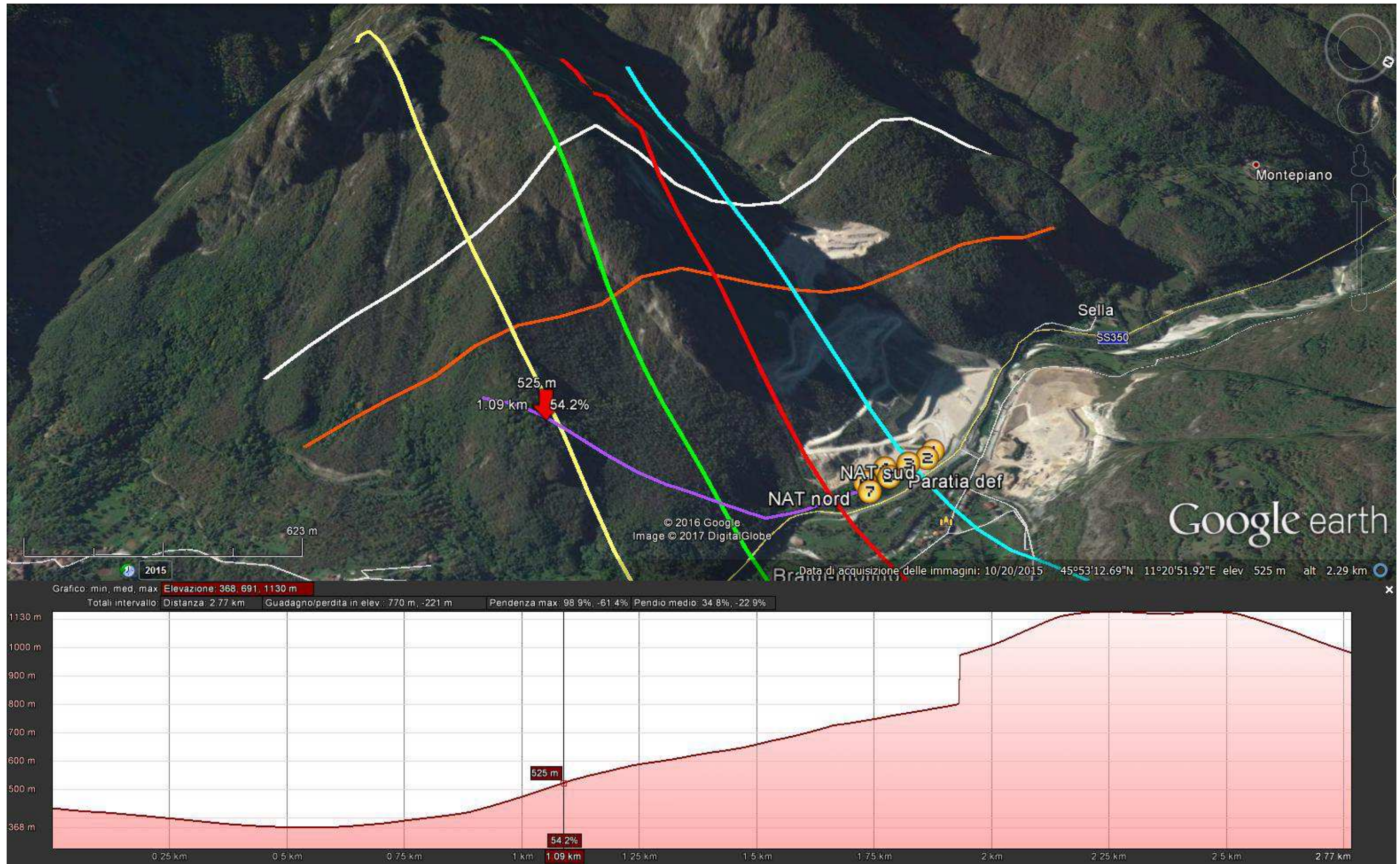


Figura 40 - Andamento piano-altimetrico lungo la linea gialla

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
 1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

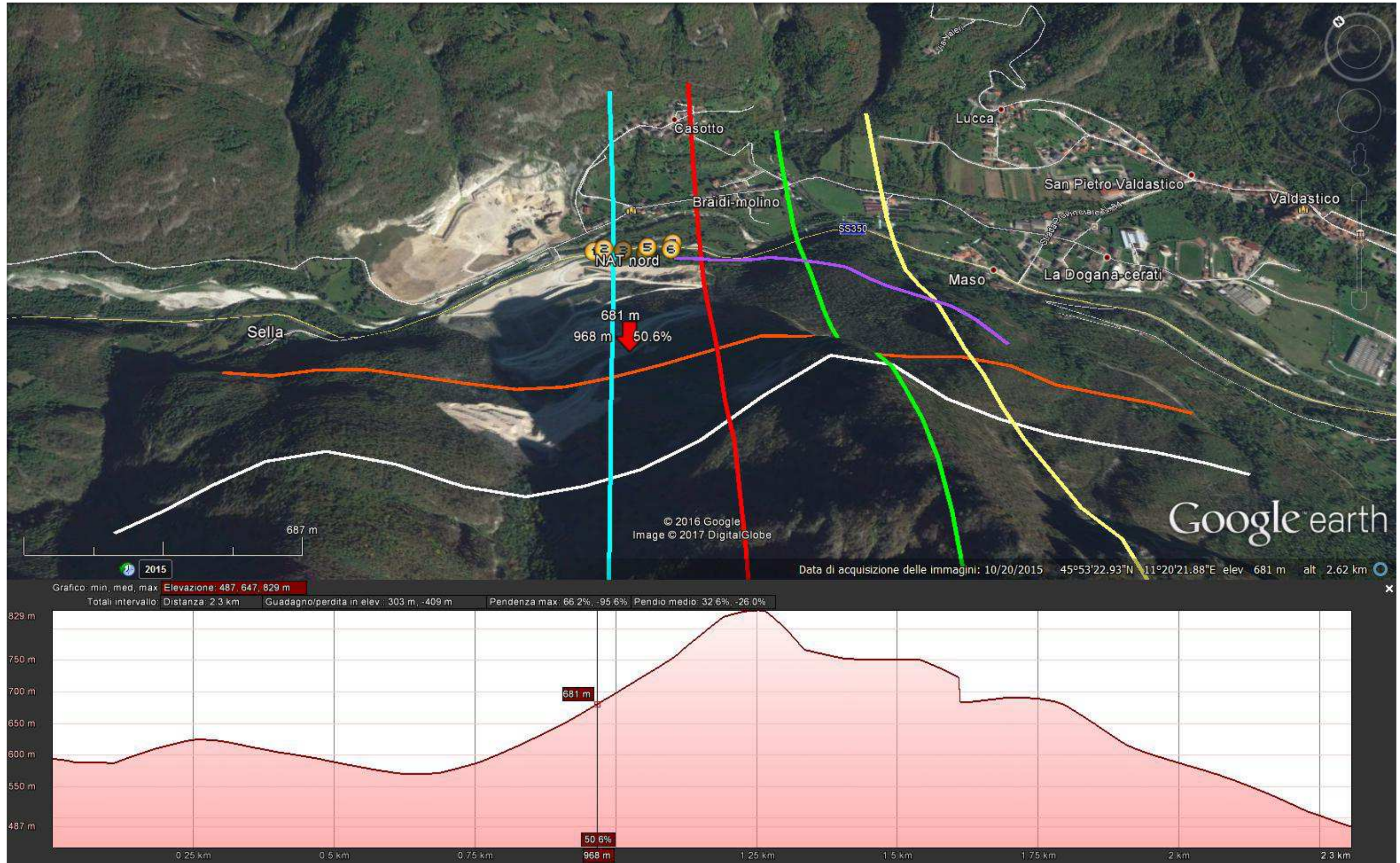


Figura 41 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea arancione

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
 1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

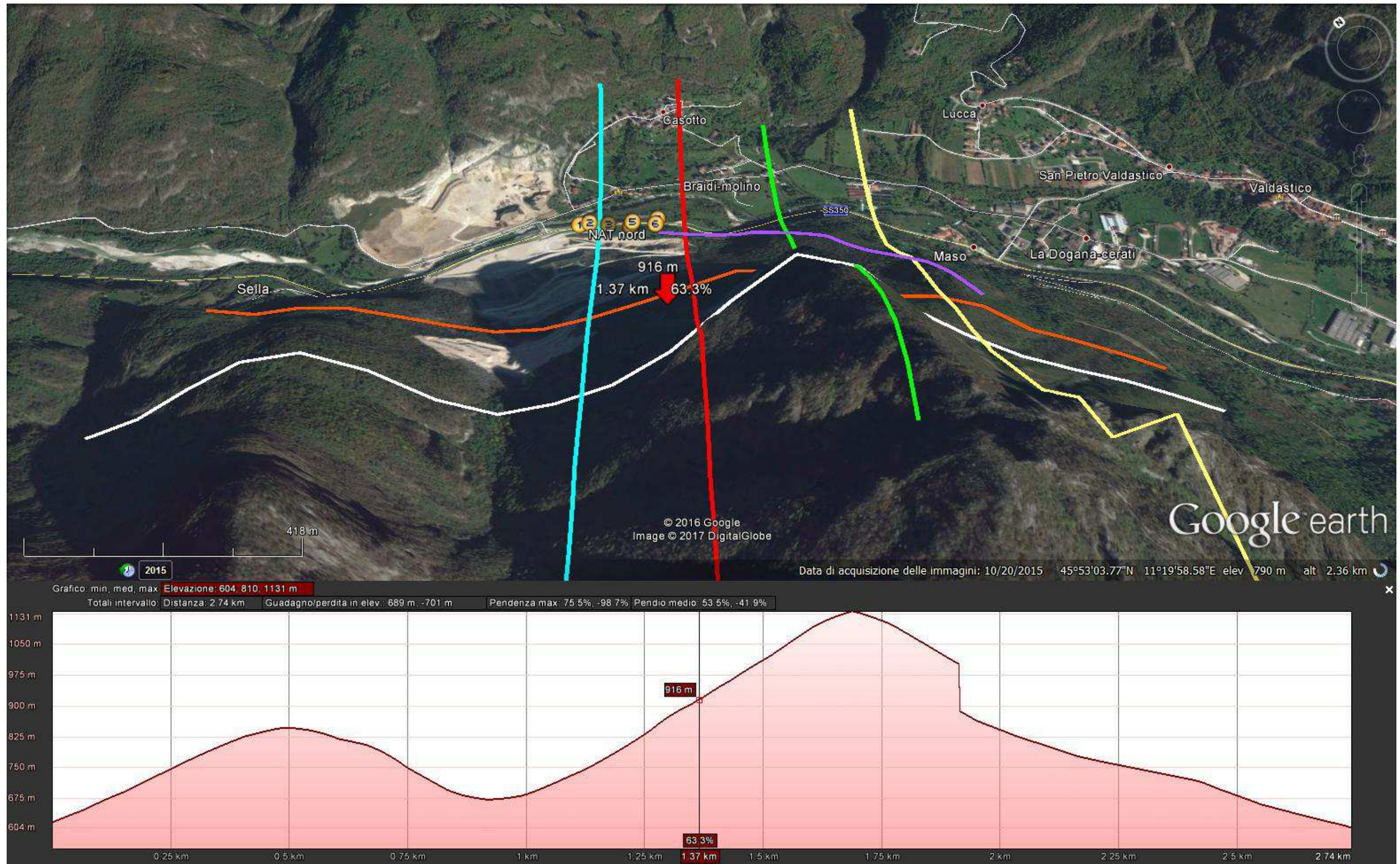


Figura 42 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea bianca

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
 1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

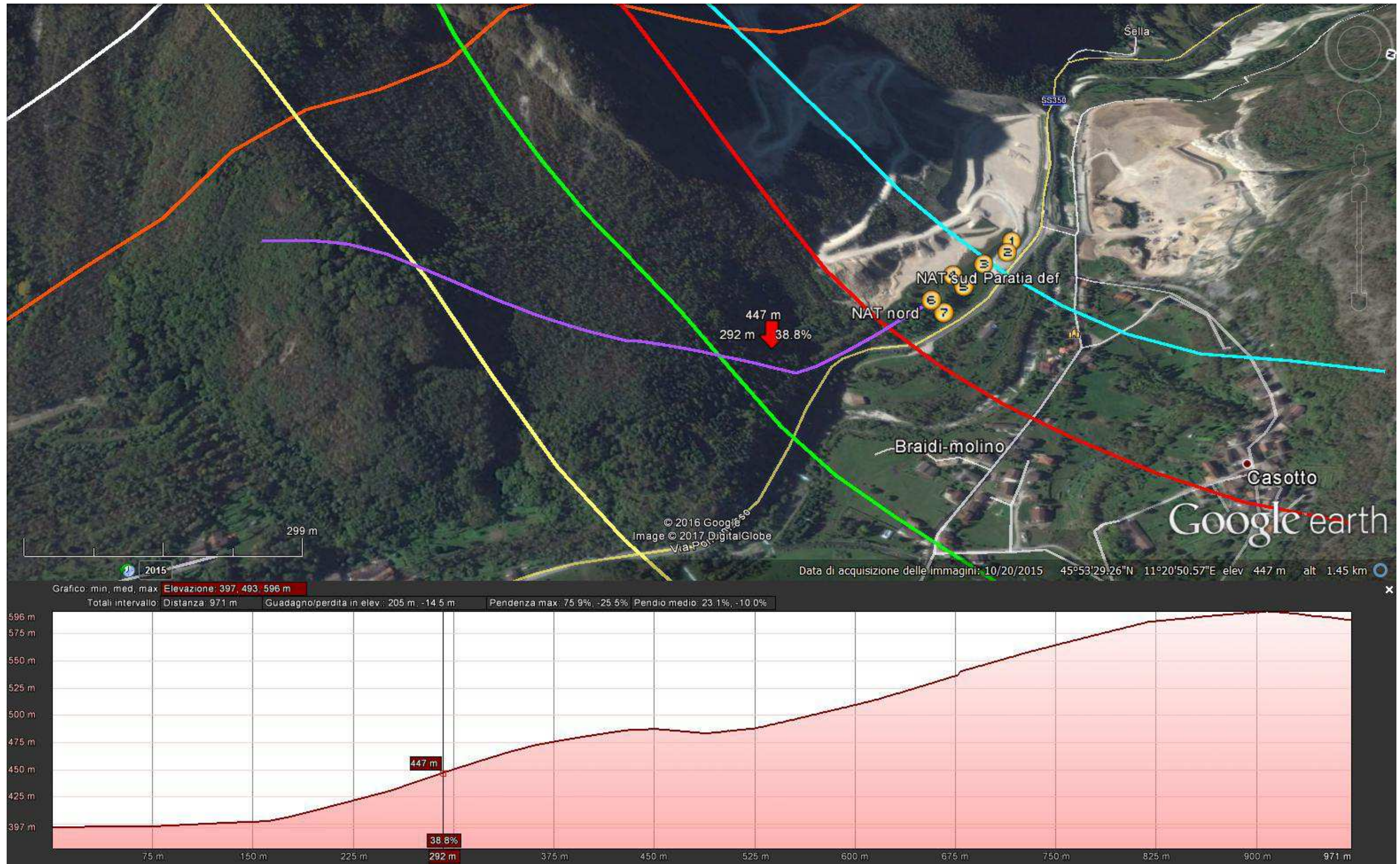


Figura 43 - Andamento plano-altimetrico lungo la linea viola

Nelle figure precedenti si sono riportate 2 sezioni trasversali allo sviluppo del tracciato nella zona di imbocco: nella sezione azzurra, in corrispondenza della paratia definitiva, i primi 200m circa a monte hanno una pendenza inferiore ai 25°, fino all'intersezione con la strada della cava oltre la quale il terreno è risagomato arrivando a un'inclinazione di 35°.

Dalla linea rossa, circa 75m prima dell'imbocco, il cambio significativo di pendenza a circa 150m dall'asse delle gallerie è in corrispondenza dello sperone roccioso.

Altre 2 sezioni sono state eseguite trasversalmente alle gallerie naturali oltre lo sperone: le sezioni verde e gialla mostrano pendenze fino a 45° nella zona franata, indicando che l'angolo d'attrito di 35°-37° e la coesione nulla, scelti per caratterizzare i detriti, sono cautelativi.

Si riportano anche 2 sezioni longitudinali al tracciato, intercettanti la zona della cava delimitata dai due speroni rocciosi ed il versante attraversato dalla galleria San Pietro, lungo la quale è stata tracciata la linea viola.

Lungo la sezione ciano, si è analizzato il fattore di sicurezza di una frana traslazionale: a tal fine, nel programma di calcolo si è imposto che il possibile CIR (centro di rotazione) fosse molto in alto, al fine di ottenere il raggio del meccanismo rotazionale così elevato da assimilare la superficie di rottura alla retta di una frana traslazionale.

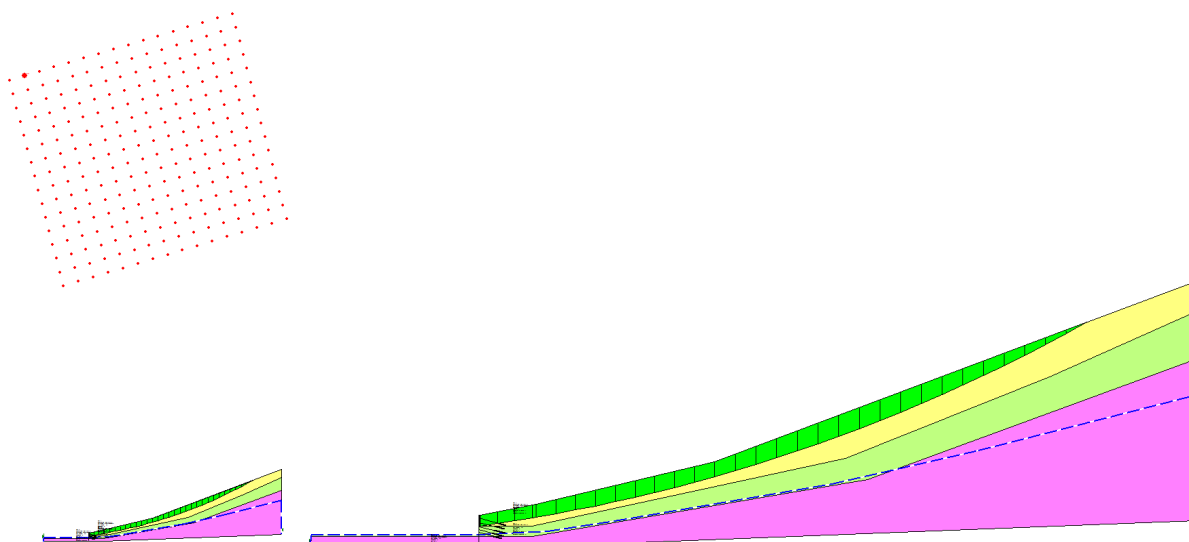


Figura 44 - Analisi stabilità statica San Pietro Nord – 2 - superficie passante per la paratia

In combinazione A2M2, l'FS minimo risulta pari a 1.757, passante per la paratia e comunque bloccato dalla stessa: si escludono quindi fenomeni traslazionali e rototraslazionali profondi (che interesserebbero materiali con parametri di resistenza migliori) dovuti allo scavo della

zona di imbocco. Inoltre, la superficie passante per il piede della paratia ha un FS minimo pari a 1.824. La paratia prevista in zona di imbocco e la sua lunghezza di infissione assicurano la stabilità del versante retrostante.

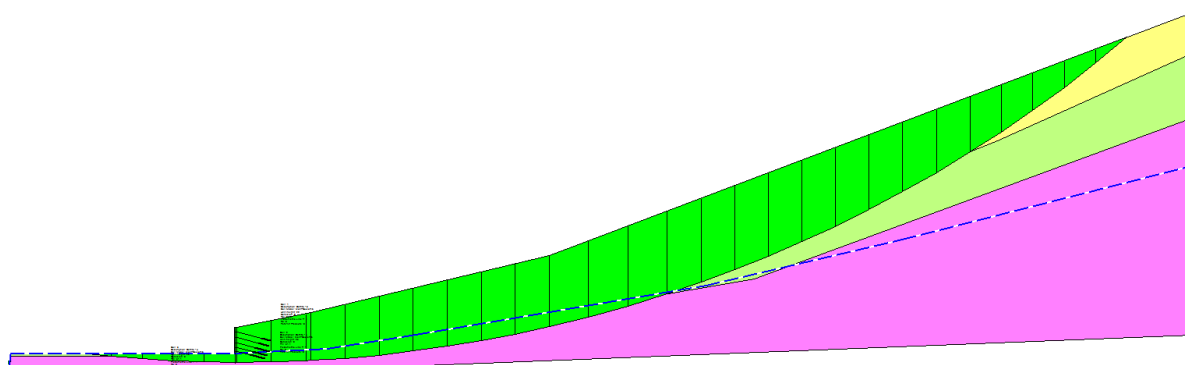


Figura 45 - Analisi stabilità statica San Pietro Nord – 2 - superficie passante per il piede

Per quanto riguarda la stabilità della zona di versante interessata dallo scavo della galleria naturale San Pietro, oltre alle considerazioni riportate per le sezioni gialla e verde, si rimanda alla relazione della GN San Pietro, J16L1-070206001-0101-OPD (sezioni 3 e 4): al fine di contenere le deformazioni al fronte e al contorno, evitando quindi di detensionare il terreno in profondità con la possibilità di attivare meccanismi franosi nella zona soprastante del versante, si prevede l’impiego della sezione tipo C1b, con colonne di jet grouting al fronte e al contorno che permettono di irrigidire il mezzo scavato. Si sottolinea che in quelle analisi tutto il versante è stato considerato in detrito, al fine di massimizzare le spinte sui rivestimenti.

Per completezza, nel seguito si riporta la verifica di stabilità della sezione riportata nella tavola J16L1-070206023-0101-OPD, con copertura di 70m sulla canna di monte e canna nord completamente in detrito, e si analizzano le superfici di scorrimento passanti per le due canna (non considerando il supporto dato dal rivestimento delle gallerie).

Terreno	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c' [kPa]
Detrito - a	22	29.3	0
Detrito – b	23	31.1	0
Detrito - c	23	31.1	0
Cappellaccio	26	33.9	56
Dolomia	26.5	33.9	304

Tabella 68: Parametri di progetto – Analisi statica (A2+M2)

Dall’analisi svolta risulta che il versante è stabile, in quanto il meccanismo franoso superficiale ha un FS minimo pari a 1.143 in combinazione A2M2.

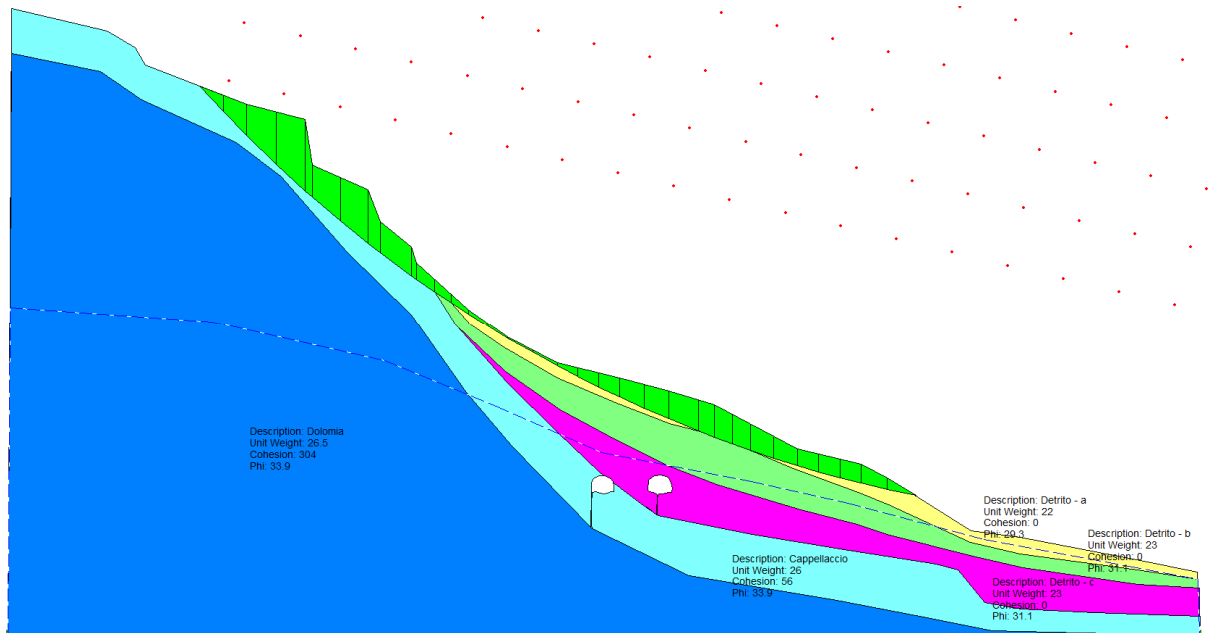


Figura 46 - Analisi stabilità del versante – meccanismo superficiale – FS = 1.143

Procedendo con l’analisi, le superfici intercettate dalle 2 canne hanno FS superiori: l’FS minimo pari a 1.220 per la superficie passante per la canna di valle e l’FS pari a 1.303 per quella passante per la canna di monte assicurano la stabilità dello scavo, in linea col risultato dell’analisi della sezione di scavo in J16L1-070206001-0101-OPD, in cui il campo di spostamenti risultante non indica incipiente collasso.

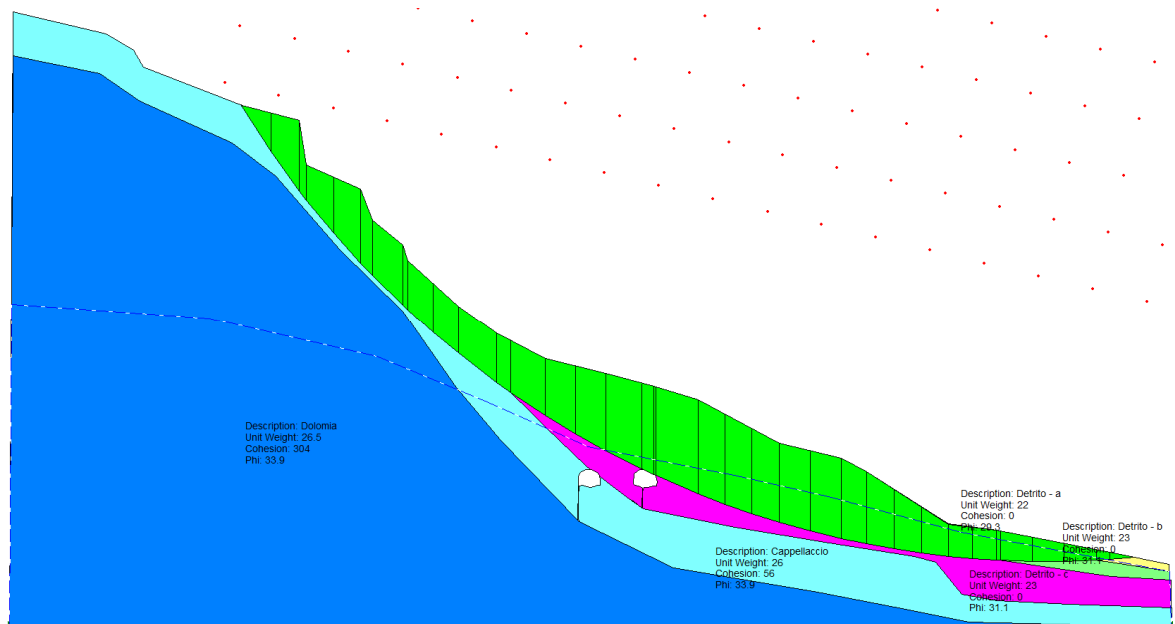


Figura 47 - Analisi stabilità del versante – superficie passante per canna Nord – FS = 1.220

13 IMBOCCO SAN PIETRO SUD – MURO DEFINITIVO

Per la fase di risistemazione finale della zona di imbocco, è previsto un muro a carattere definitivo a fianco della canna sud.

Il muro analizzato è, nella sezione più gravosa, alto 11m, inclusa la fondazione con altezza variabile da 0.75m a 1m, e presenta uno sperone di 2m, necessario per soddisfare la verifica a scorrimento in combinazione A2+M2. Il piede è lungo complessivamente 7.75m, di cui 2.5m occupati dalla mensola di valle e 4m dalla mensola di monte, su cui grava il ritombamento ($\gamma=18\text{kN/m}^3$, $c'=0\text{kPa}$, $\phi=30^\circ$).

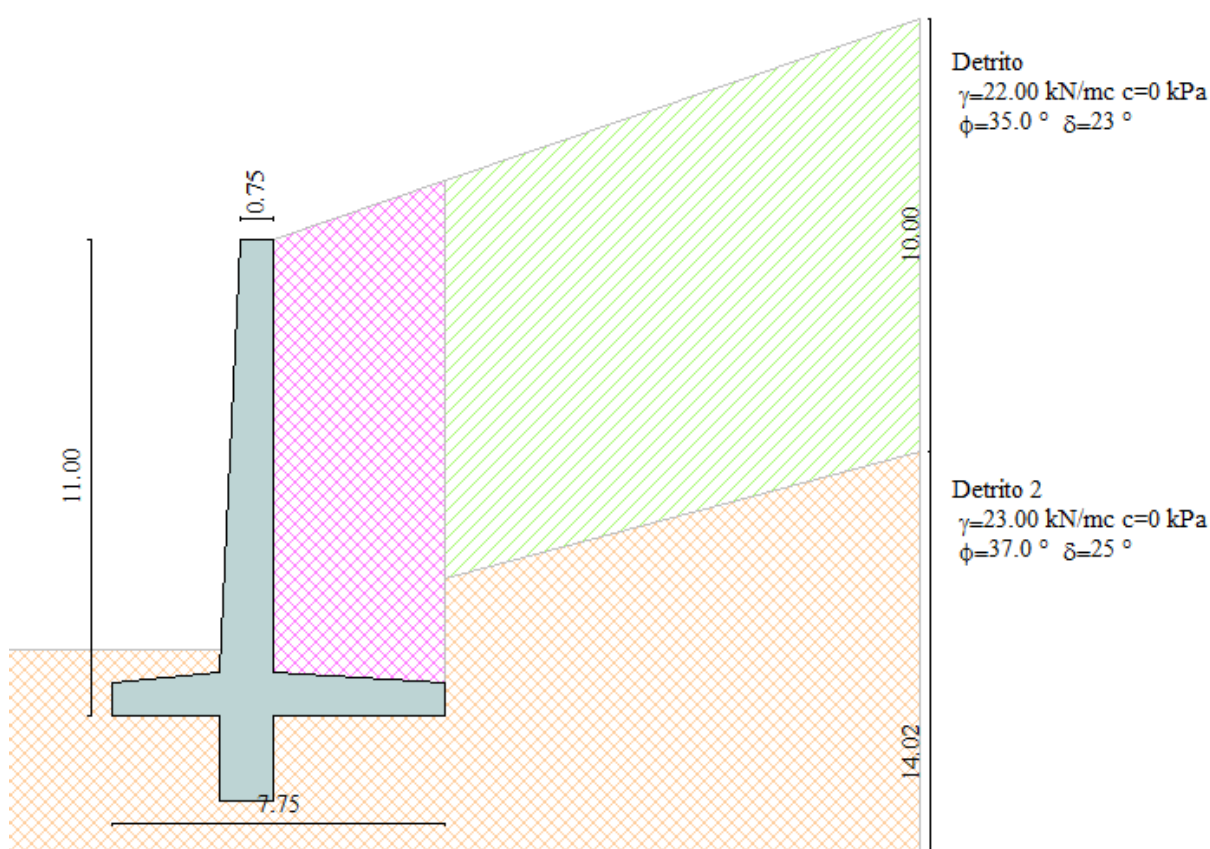


Figura 49 - Modello di calcolo

13.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

Nel seguito si riportano le combinazioni di carico analizzate, in accordo con le NTC2008, ed i coefficienti utilizzati nelle analisi:

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Elenco Combinazioni APPROCCIO 1

Combinazioni generate

Comb n°	Caso	Sisma orizzontale	Sisma verticale	Peso muro / terrapieno
1	A1-M1	Assente	--	FAV - FAV
2	A2-M2	Assente	--	SFAV - SFAV
3	EQU	Assente	--	FAV - FAV
4	STAB	Assente	--	SFAV - SFAV
5	A1-M1	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV
6	A1-M1	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
7	A2-M2	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
8	A2-M2	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV
9	EQU	Presente	Verticale negativo	FAV - FAV
10	EQU	Presente	Verticale positivo	FAV - FAV
11	STAB	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
12	STAB	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV
13	SLEQ	Assente	--	SFAV - SFAV
14	SLEQ	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
15	SLEQ	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV

Tabella 69: Combinazioni di carico

Carichi	Effetto	Simbolo	HYD	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
				EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.10	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00

Tabella 70: Coefficienti di sicurezza sulle azioni

Parametro	Simbolo	Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan \psi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniaassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 71: Coefficienti di sicurezza sulla resistenza dei terreni

N.T.C. 2008

Analisi SLU

Accelerazione al suolo a_g [m/s²] $a_g/g = 0.21$ 2.050

Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0 2.463

Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_{c^*} 0.307

Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S_s Tipo B **1.194**

Coefficiente di riduzione (β_m)

Analisi SLE

Accelerazione al suolo a_g [m/s²] $a_g/g = 0.09$ 0.890

Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0 2.491

Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_{c^*} 0.283

Coefficiente stratigrafico S_s **1.200**

Coefficiente di riduzione (β_m)

Coefficiente amplificazione topografica S_T T1 **1.00**

$K_h = a_g/g * S_s * S_T * \beta_m$

Tabella 72: Dati per l'analisi sismica

Le verifiche danno tutte esito positivo e si evidenzia come le verifiche più gravose risultino quelle in combinazione A2+M2, in presenza di sisma.

Risultati Analisi - Comb. 1				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.54	■	1.92 [9]	IB: 1 - EQU
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.32	■	1.01 [8]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza a carico limite	15.99	■	11.34 [7]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1.56	■	1.35 [12]	IB: 1 - STAB

Risultati Analisi - Comb. 2				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	1.92	■	1.92 [9]	IB: 1 - EQU
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.01	■	1.01 [8]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza a carico limite	11.34	■	11.34 [7]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1.35	■	1.35 [12]	IB: 1 - STAB

Tabella 73: Risultati

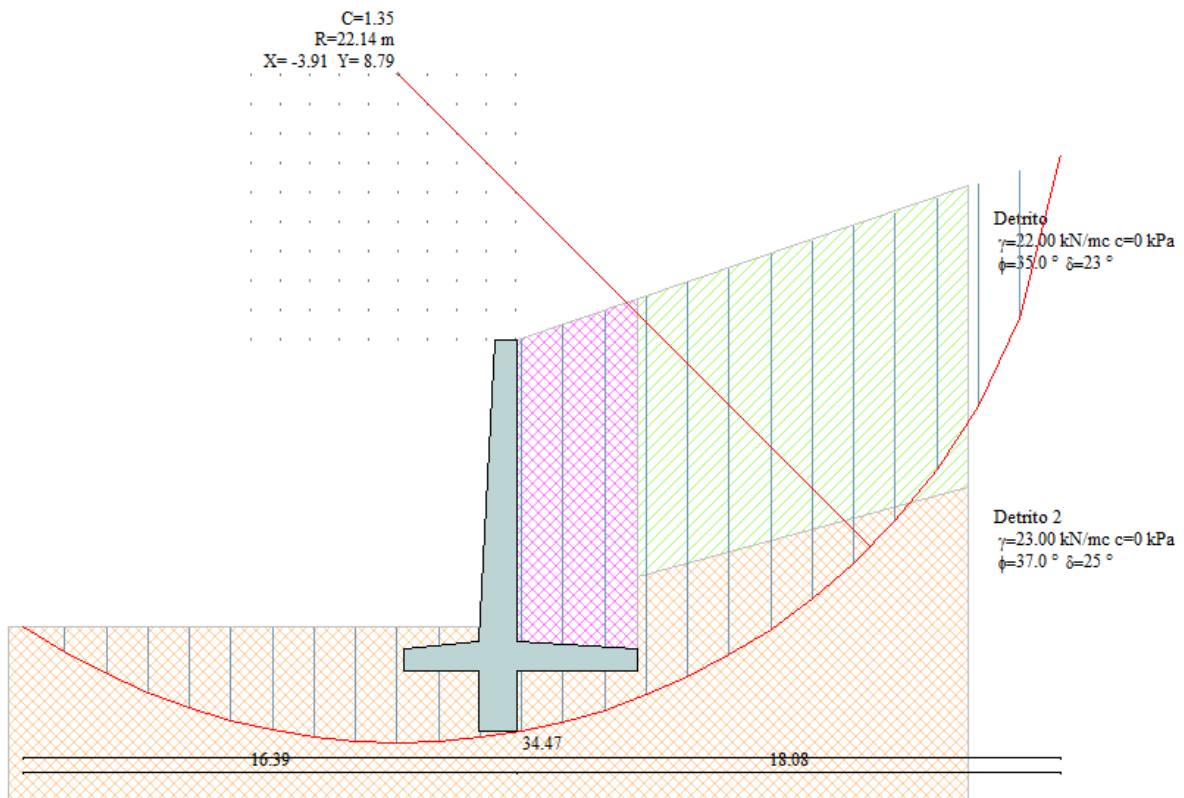


Figura 50 - Superficie critica

13.2 Verifica strutturale muro

Nel seguito si verificano il paramento e la fondazione del muro.

Le sezioni più sollecitate risultano quelle di innesto del paramento sul muro; il paramento, con sezione alta 1.25m, è armato con 5 \varnothing 26 a valle e 10 \varnothing 26 a monte; la fondazione, di sezione massima pari a 1,0m, è armata con 10 \varnothing 22 sul lembo superiore e con 10 \varnothing 22 sul lembo inferiore.

Nel paramento e nella fondazione sono previsti spilli \varnothing 14 maglia 20x40.

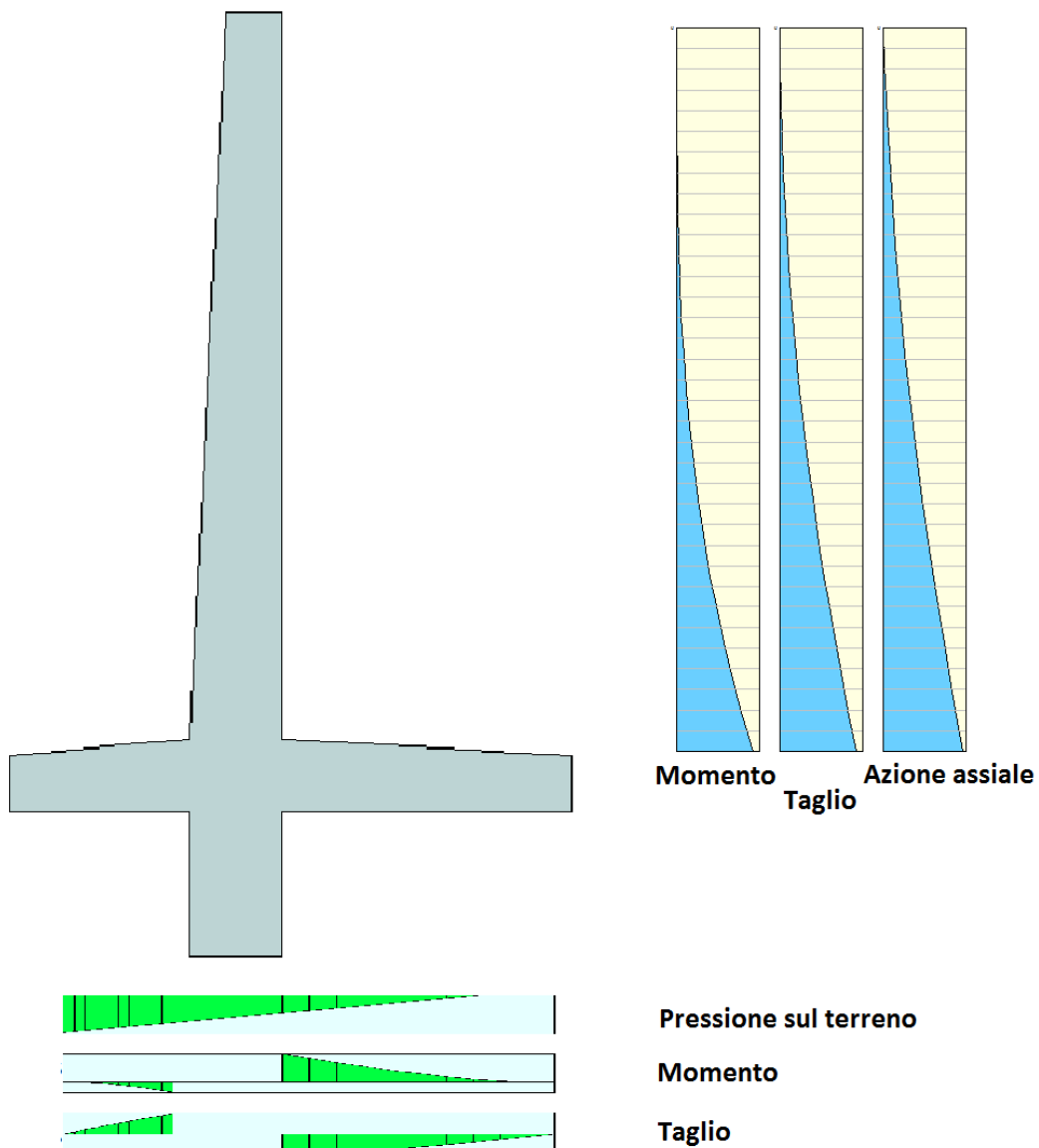


Figura 51 - Andamento tipo delle sollecitazioni sul muro

13.2.1 Verifica allo SLU

Si riportano le verifiche a pressoflessione e a taglio.

Comb.	Caso	M_{ed} [kNm]	V_{ed} [kN]	N_{ed} [kN]	M_{rd} [kNm]	FS
1	A1+M1	1326.73	432.98	407.27	2529	1.91
2	A2+M2	1387.65	446.81	379.76	2515	1.81
5-6	A1+M1+sisma	1561.32	448.5	405.99	2528	1.62

Tabella 74: Sollecitazioni allo SLU - Paramento

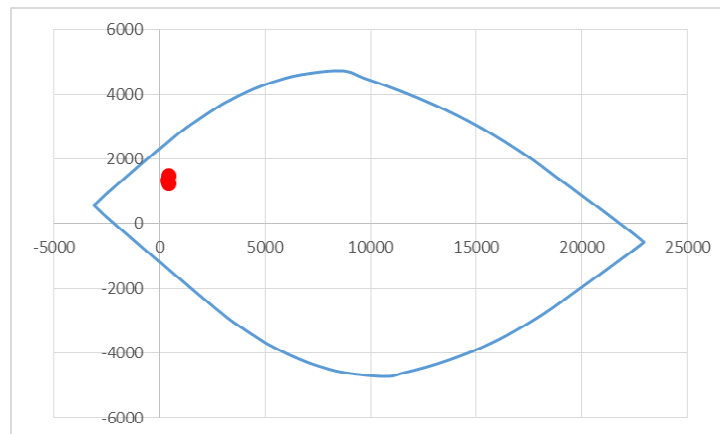


Figura 52 - Verifica MN – Paramento

Comb.	Caso	M_{ed} [kNm]	V_{ed} [kN]	M_{rd} [kNm]	FS
1	A1+M1	799.85	462.17	1303	1.63
2	A2+M2	657.44	508.62	1303	1.98
5-6	A1+M1+sisma	795.82	608.16	1303	1.64

Tabella 75: Sollecitazioni allo SLU - Fondazione

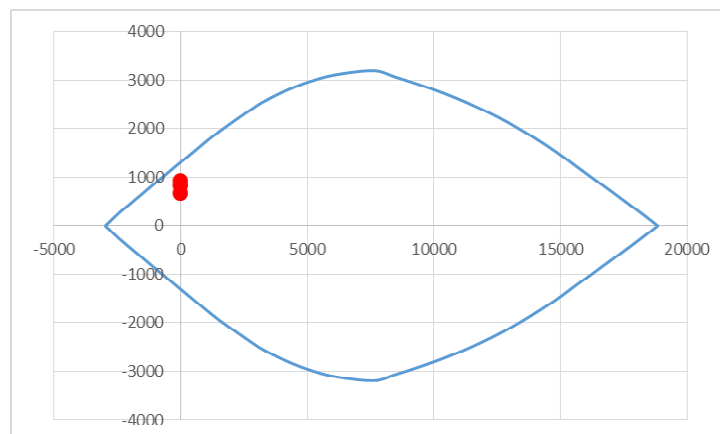


Figura 53 - Verifica MN – Fondazione

VERIFICA TAGLIO (T.U. 2008)																			
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>N</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>405.99</td></tr> </table>		N	KN	405.99	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V slu</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>448.50</td></tr> </table>			V slu	KN	448.50	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>Coefficiente</th></tr> <tr><td>γ_s</td></tr> <tr><td>1.15</td></tr> </table>		Coefficiente	γ_s	1.15	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>Coefficiente</th></tr> <tr><td>γ_c</td></tr> <tr><td>1.5</td></tr> </table>	Coefficiente	γ_c	1.5
N																			
KN																			
405.99																			
V slu																			
KN																			
448.50																			
Coefficiente																			
γ_s																			
1.15																			
Coefficiente																			
γ_c																			
1.5																			
Staffe ϕ	Passo	Asw	Copriferro	f _{yk} staffe	f _{yd} staffe	f _{cd}													
mm	cm	mm ²	cm	Mpa	MPa	MPa													
14	20	307.88	5	450	391.30	15.8													
altezza utile	bw	σ_{cp}	α_c	α	θ														
d [cm]	cm	MPa	-	°	°														
93.70	100	0.40599	1.03	90	30														
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V Rsd</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>879.84</td></tr> </table>		V Rsd	KN	879.84	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V Rcd</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>2958.89</td></tr> </table>		V Rcd	KN	2958.89	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V Rd</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>879.84</td></tr> </table>			V Rd	KN	879.84	Verifica OK			
V Rsd																			
KN																			
879.84																			
V Rcd																			
KN																			
2958.89																			
V Rd																			
KN																			
879.84																			

Figura 54 - Verifica a taglio – Paramento

VERIFICA TAGLIO (T.U. 2008)																			
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>N</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>0.00</td></tr> </table>		N	KN	0.00	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V slu</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>608.16</td></tr> </table>			V slu	KN	608.16	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>Coefficiente</th></tr> <tr><td>γ_s</td></tr> <tr><td>1.15</td></tr> </table>		Coefficiente	γ_s	1.15	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>Coefficiente</th></tr> <tr><td>γ_c</td></tr> <tr><td>1.5</td></tr> </table>	Coefficiente	γ_c	1.5
N																			
KN																			
0.00																			
V slu																			
KN																			
608.16																			
Coefficiente																			
γ_s																			
1.15																			
Coefficiente																			
γ_c																			
1.5																			
Staffe ϕ	Passo	Asw	Copriferro	f _{yk} staffe	f _{yd} staffe	f _{cd}													
mm	cm	mm ²	cm	Mpa	MPa	MPa													
14	20	307.88	5	450	391.30	15.8													
altezza utile	bw	σ_{cp}	α_c	α	θ														
d [cm]	cm	MPa	-	°	°														
93.90	100	0	1.00	90	30														
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V Rsd</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>881.72</td></tr> </table>		V Rsd	KN	881.72	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V Rcd</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>2890.92</td></tr> </table>		V Rcd	KN	2890.92	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><th>V Rd</th></tr> <tr><td>KN</td></tr> <tr><td>881.72</td></tr> </table>			V Rd	KN	881.72	Verifica OK			
V Rsd																			
KN																			
881.72																			
V Rcd																			
KN																			
2890.92																			
V Rd																			
KN																			
881.72																			

Figura 55 - Verifica a taglio – Fondazione

13.2.2 Verifica allo SLE

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte:

Comb.	Caso	M [kNm]	N [kN]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]	w _k [mm]
13	SLEQ	1013.98	370.9	-5.05	148.8	0
14-15	SLE+sisma	1141.43	378.91	-5.66	-170.5	-

Tabella 76: Verifiche tensionali - Paramento

Comb.	Caso	M [kNm]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]	w _k [mm]
13	SLEQ	491.73	3.62	-153	0
14-15	SLE+sisma	564.77	-4.16	175.7	-

Tabella 77: Verifiche tensionali – Fondazione

14 IMBOCCO SAN PIETRO NORD – MURO DEFINITIVO

Per la fase di risistemazione finale della zona di imbocco, è previsto un muro a carattere definitivo al di sopra della canna sud; il muro ha uno sviluppo longitudinale inferiore ai 13m, lungo i quali passa dalla condizione di paramento di valle quasi interamente ritombato alla condizione di paramento di valle scoperto, in corrispondenza dell'imbocco.

Il muro analizzato ha altezza costante e pari a 7m, inclusa la fondazione rastremata con altezza minima pari a 0.5m, e presenta uno sperone di 1m, necessario per soddisfare la verifica a scorrimento in combinazione A2+M2; il piede è lungo complessivamente 3.75m

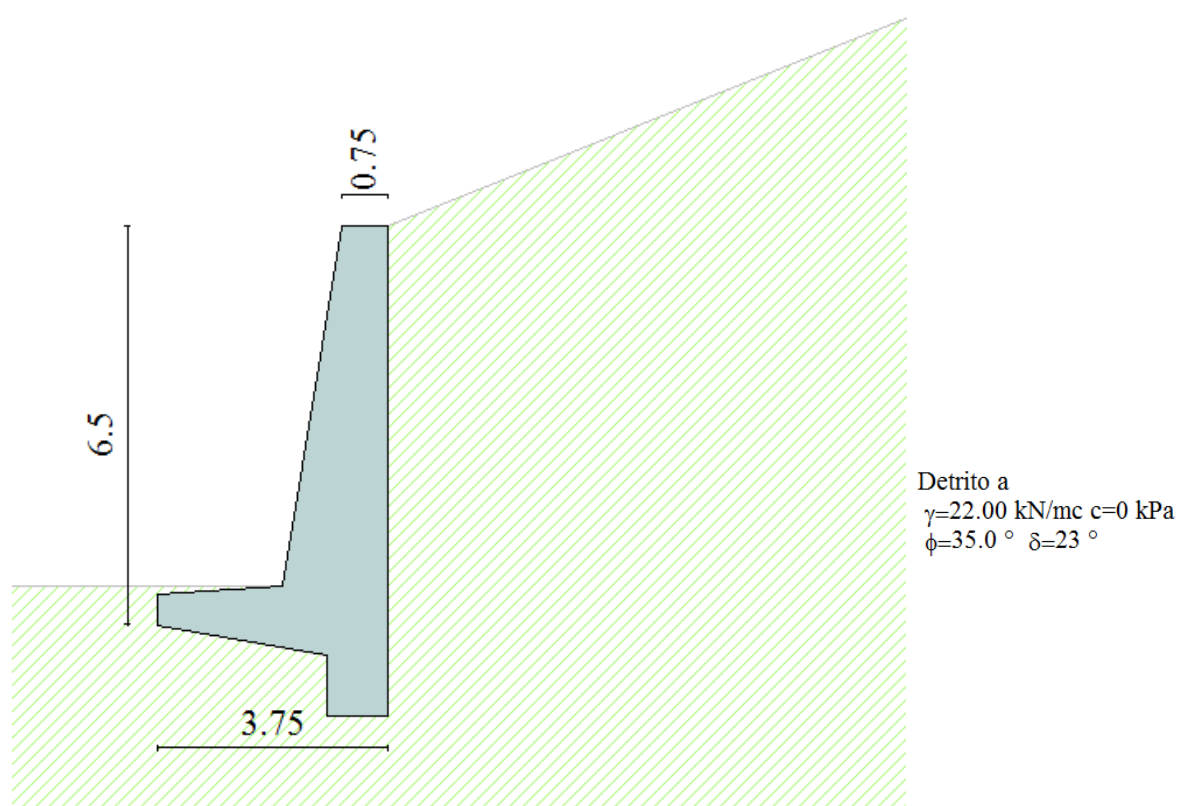


Figura 56 - Modello di calcolo

14.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

Nel seguito si riportano le combinazioni di carico analizzate, in accordo con le NTC2008, ed i coefficienti utilizzati nelle analisi:

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Elenco Combinazioni APPROCCIO 1

Combinazioni generate

Comb n°	Caso	Sisma orizzontale	Sisma verticale	Peso muro / terrapieno
1	A1-M1	Assente	--	FAV - FAV
2	A2-M2	Assente	--	SFAV - SFAV
3	EQU	Assente	--	FAV - FAV
4	STAB	Assente	--	SFAV - SFAV
5	A1-M1	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV
6	A1-M1	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
7	A2-M2	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
8	A2-M2	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV
9	EQU	Presente	Verticale negativo	FAV - FAV
10	EQU	Presente	Verticale positivo	FAV - FAV
11	STAB	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
12	STAB	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV
13	SLEQ	Assente	--	SFAV - SFAV
14	SLEQ	Presente	Verticale positivo	SFAV - SFAV
15	SLEQ	Presente	Verticale negativo	SFAV - SFAV

Tabella 78: Combinazioni di carico

Carichi	Effetto	Simbolo	HYD	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
				EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.10	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00

Tabella 79: Coefficienti di sicurezza sulle azioni

Parametro	Simbolo	Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan \psi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 80: Coefficienti di sicurezza sulla resistenza dei terreni

N.T.C. 2008

Analisi SLU

Accelerazione al suolo a_g [m/s ²]	$a_g/g = 0.21$	2.050
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0		2.463
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*		0.307
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S_s	Tipo B	1.194
Coefficiente di riduzione (β_m)	C	0.31

Analisi SLE

Accelerazione al suolo a_g [m/s ²]	$a_g/g = 0.09$	0.890
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0		2.491
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*		0.283
Coefficiente stratigrafico S_s		1.200
Coefficiente di riduzione (β_m)	C	0.18
Coefficiente amplificazione topografica S_T	T2	1.20

Tabella 81: Dati per l'analisi sismica

Le verifiche danno tutte esito positivo e si evidenzia come le verifiche più gravose risultino quelle in combinazione A2+M2, in presenza di sisma.

Risultati Analisi - Comb. 1				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.01	■	1.81 [9]	IB: 1 - EQU
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.41	■	1.01 [8]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza a carico limite	8.42	■	4.64 [7]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1.47	■	1.24 [12]	IB: 1 - STAB
Risultati Analisi - Comb. 2				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	1.81	■	1.81 [9]	IB: 1 - EQU
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.01	■	1.01 [8]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza a carico limite	4.64	■	4.64 [7]	IB: 1 - A2-M2
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1.24	■	1.24 [12]	IB: 1 - STAB

Tabella 82: Risultati

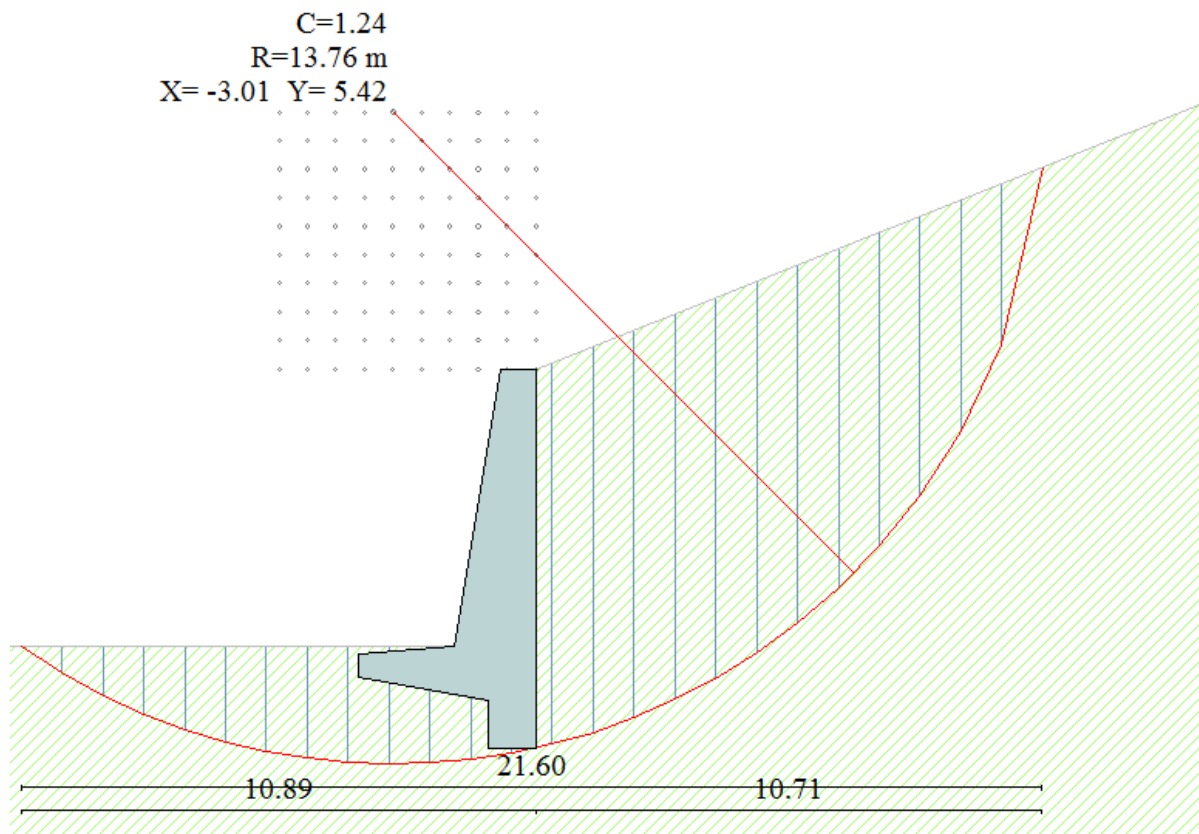


Figura 57 - Superficie critica

14.2 Verifica strutturale muro

Nel seguito si verificano il paramento e la fondazione del muro.

Le sezioni più sollecitate risultano quelle di innesto del paramento sul muro; il paramento, con sezione alta 1.75m, è armato con 5 \varnothing 22 a valle e 5 \varnothing 22 a monte; la fondazione, di sezione massima pari a 1.0m, è armata con 5 \varnothing 22 sul lembo superiore e con 5 \varnothing 22 sul lembo inferiore.

Nel paramento e nella fondazione sono previsti spilli \varnothing 12 maglia 40x50.

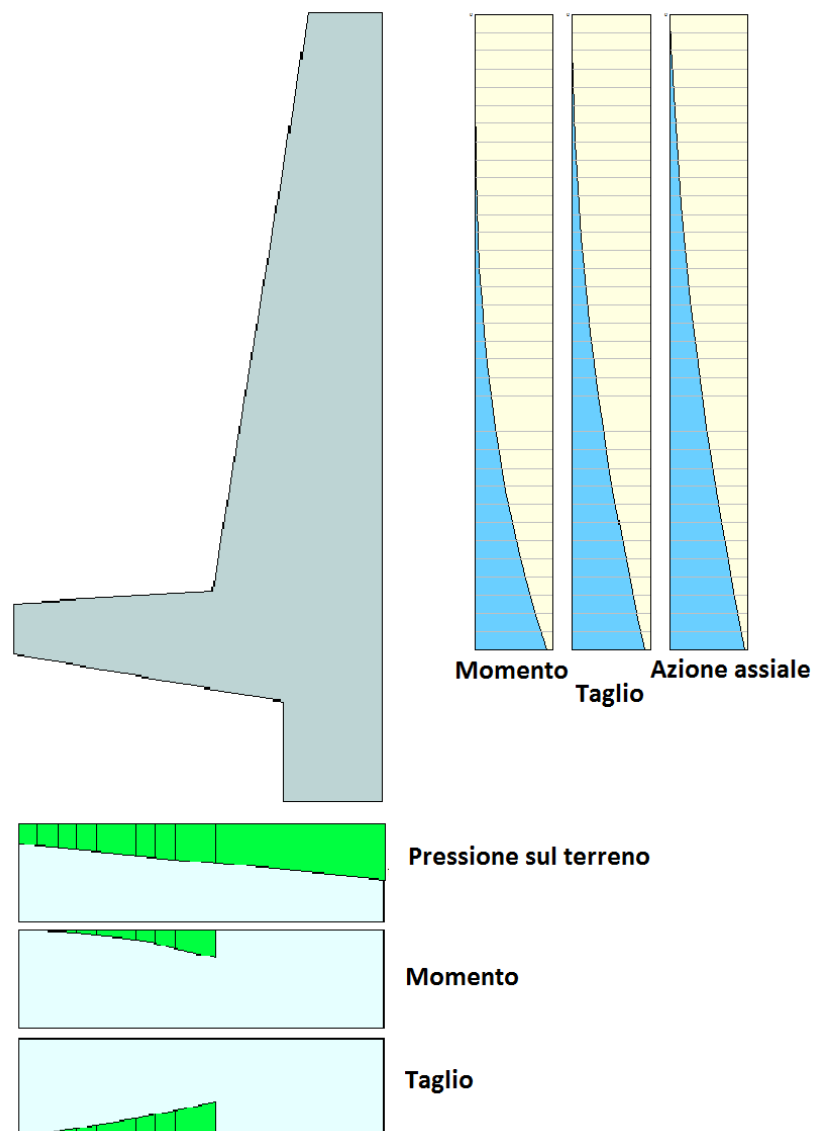


Figura 58 - Andamento tipo delle sollecitazioni sul muro

14.2.1 Verifica allo SLU

Si riportano le verifiche a pressoflessione e a taglio.

Comb.	Caso	M _{ed} [kNm]	V _{ed} [kN]	N _{ed} [kN]	M _{rd} [kNm]	FS
1	A1+M1	237.37	167.85	267.51	1442	6.07
2	A2+M2	271.84	180.13	257.27	1434	5.27
5-6	A1+M1+sisma	360.21	198.74	273.02	1447	4.02

Tabella 83: Sollecitazioni allo SLU - Paramento

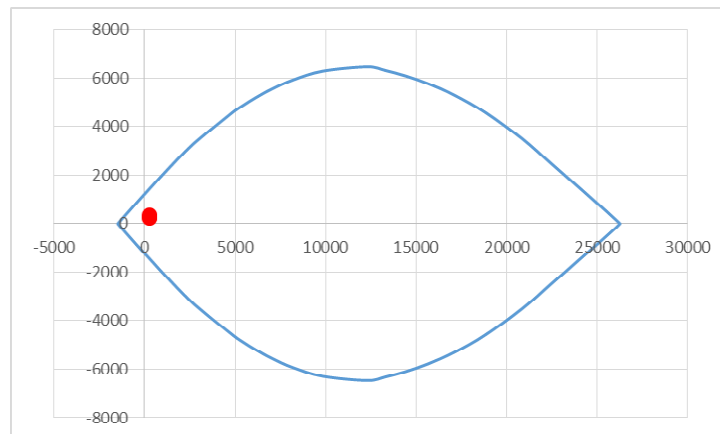


Figura 59 - Verifica MN – Paramento

Comb.	Caso	M _{ed} [kNm]	V _{ed} [kN]	M _{rd} [kNm]	FS
1	A1+M1	164.31	171.78	1303	7.93
2	A2+M2	190.95	188.38	1303	6.82
5-6	A1+M1+sisma	276.58	255.88	1303	4.71

Tabella 84: Sollecitazioni allo SLU - Fondazione

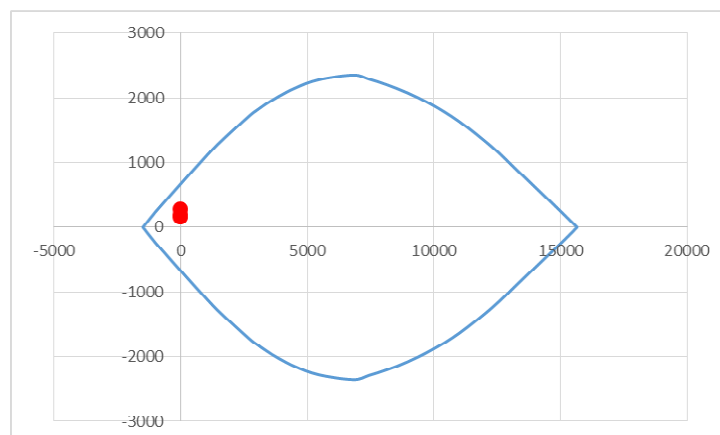


Figura 60 - Verifica MN – Fondazione

VERIFICA TAGLIO (T.U. 2008)						
N		V slu			Coefficiente	Coefficiente
KN		KN			γ_s	γ_c
273.02		198.74			1.15	1.5
Staffe ϕ	Passo	Asw	Copriferro	f_{yk} staffe	f_{yd} staffe	f_{cd}
mm	cm	mm ²	cm	Mpa	MPa	MPa
12	40	226.19	5	450	391.30	15.8
altezza utile	bw	σ_{cp}	α_c	α	θ	
d [cm]	cm	MPa	-	°	°	
168.90	100	0.15601143	1.01	90	30	
V_{Rsd}	V_{Rcd}			V_{Rd}	Verifica OK	
KN	KN			KN		
582.60	5251.30			582.60		

Figura 61 - Verifica a taglio – Paramento

VERIFICA TAGLIO (T.U. 2008)						
N		V slu			Coefficiente	Coefficiente
KN		KN			γ_s	γ_c
0.00		255.88			1.15	1.5
Staffe ϕ	Passo	Asw	Copriferro	f_{yk} staffe	f_{yd} staffe	f_{cd}
mm	cm	mm ²	cm	Mpa	MPa	MPa
12	40	226.19	5	450	391.30	15.8
altezza utile	bw	σ_{cp}	α_c	α	θ	
d [cm]	cm	MPa	-	°	°	
93.90	100	0	1.00	90	30	
V_{Rsd}	V_{Rcd}			V_{Rd}	Verifica OK	
KN	KN			KN		
323.90	2890.92			323.90		

Figura 62 - Verifica a taglio – Fondazione

14.2.2 Verifica allo SLE

Le verifiche tensionali risultano soddisfatte:

Comb.	Caso	M [kNm]	N [kN]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]	w_k [mm]
13	SLEQ	172.4	250.8	-0.58	8.25	0
14-15	SLE+sisma	215.3	255.68	-0.78	17.03	-

Tabella 85: Verifiche tensionali - Paramento

Comb.	Caso	M [kNm]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]	w_k [mm]
13	SLEQ	121.25	-1.26	74.14	0
14-15	SLE+sisma	155.97	-1.63	95.37	-

Tabella 86: Verifiche tensionali - Fondazione

15 CONCLUSIONI

Nella presente Relazione di Calcolo si sono analizzate le opere a sostegno degli scavi previste per la realizzazione degli imbocchi della galleria “San Pietro”, nell’ambito del Progetto Definitivo dell’Autostrada A 31 Nord Trento Rovigo – Tronco Trento - Valdastico – Piovene Rocchette.

All’imbocco sud, è prevista la realizzazione di pali di grande diametro, mentre all’imbocco nord si è optato per una berlinese in micropali, per una porzione permanenti, infissi nello strato di roccia sottostante allo strato di detrito superficiale.

Le verifiche strutturali delle opere di presidio sono risultate soddisfatte, così come le verifiche di stabilità globale del versante considerando lo scavo.

In allegato si riportano le immagini più significative di ogni calcolo.

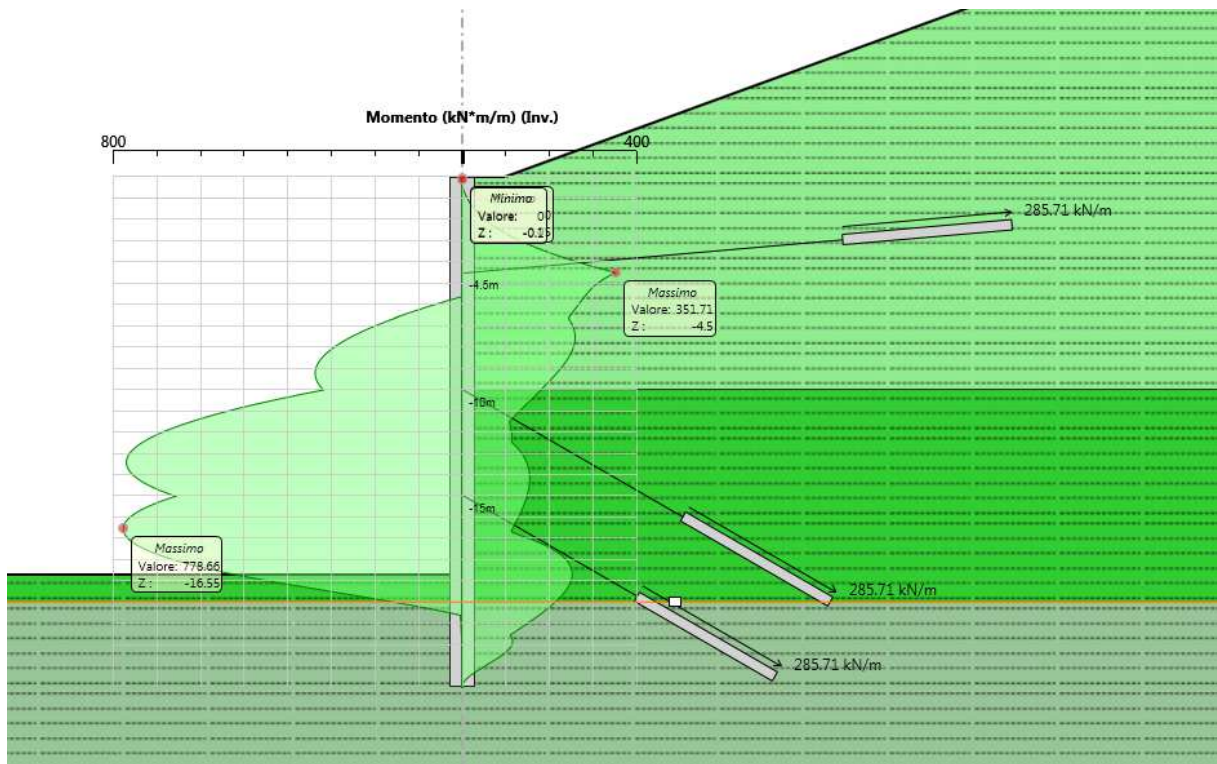


Figura 64 - Involuppo momento flettente SLE

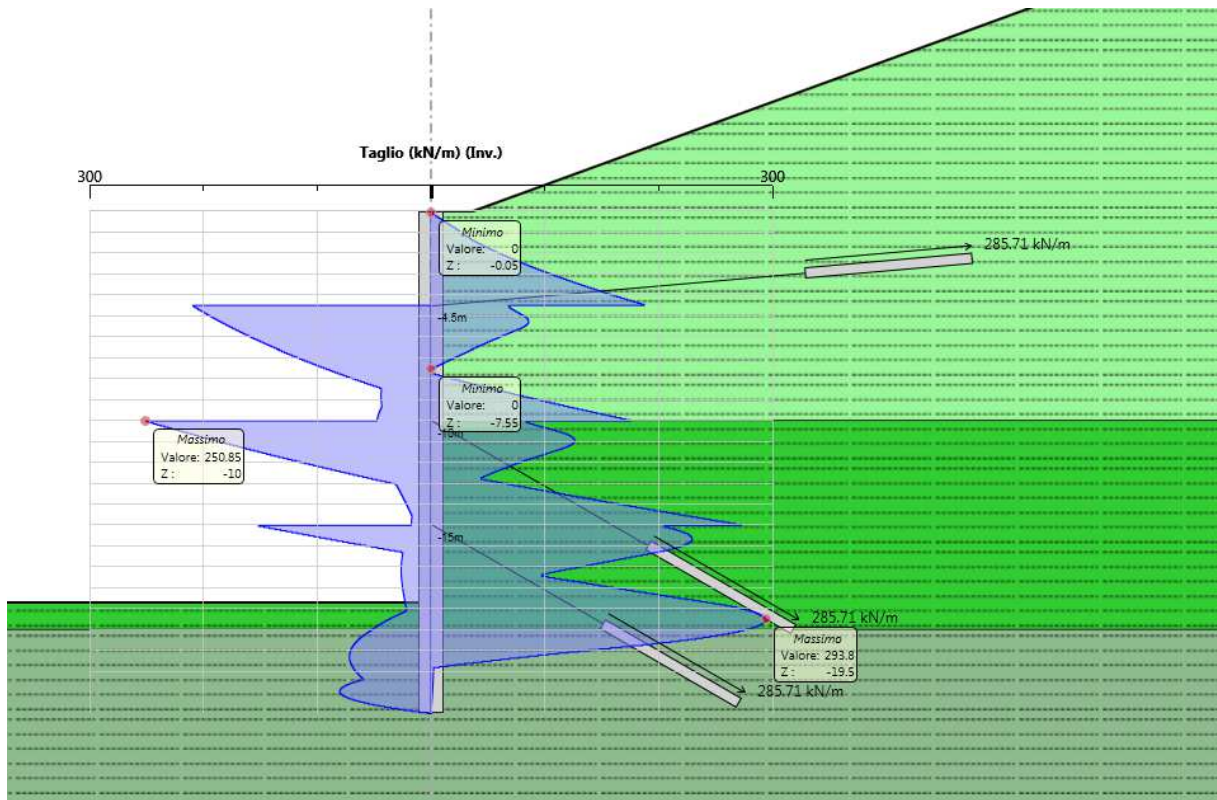


Figura 65 - Involuppo taglio SLE

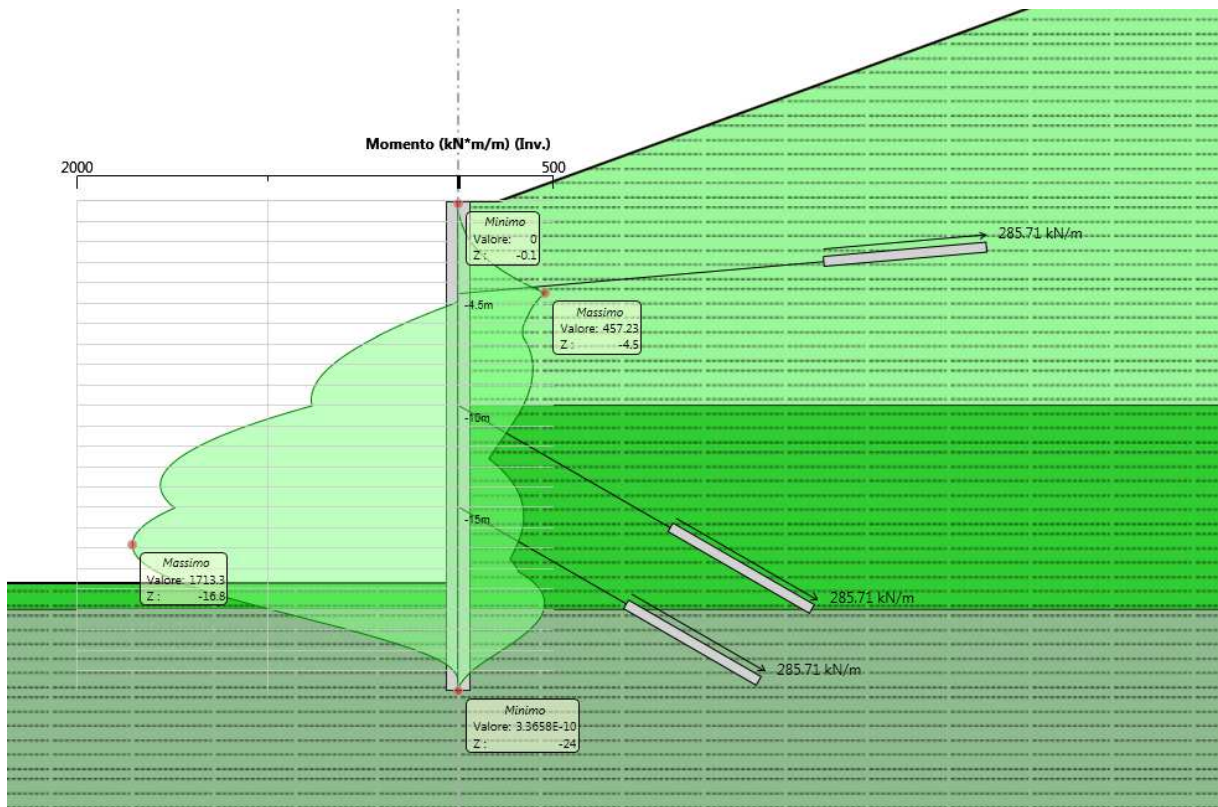


Figura 66 - Inviluppo momento flettente SLU

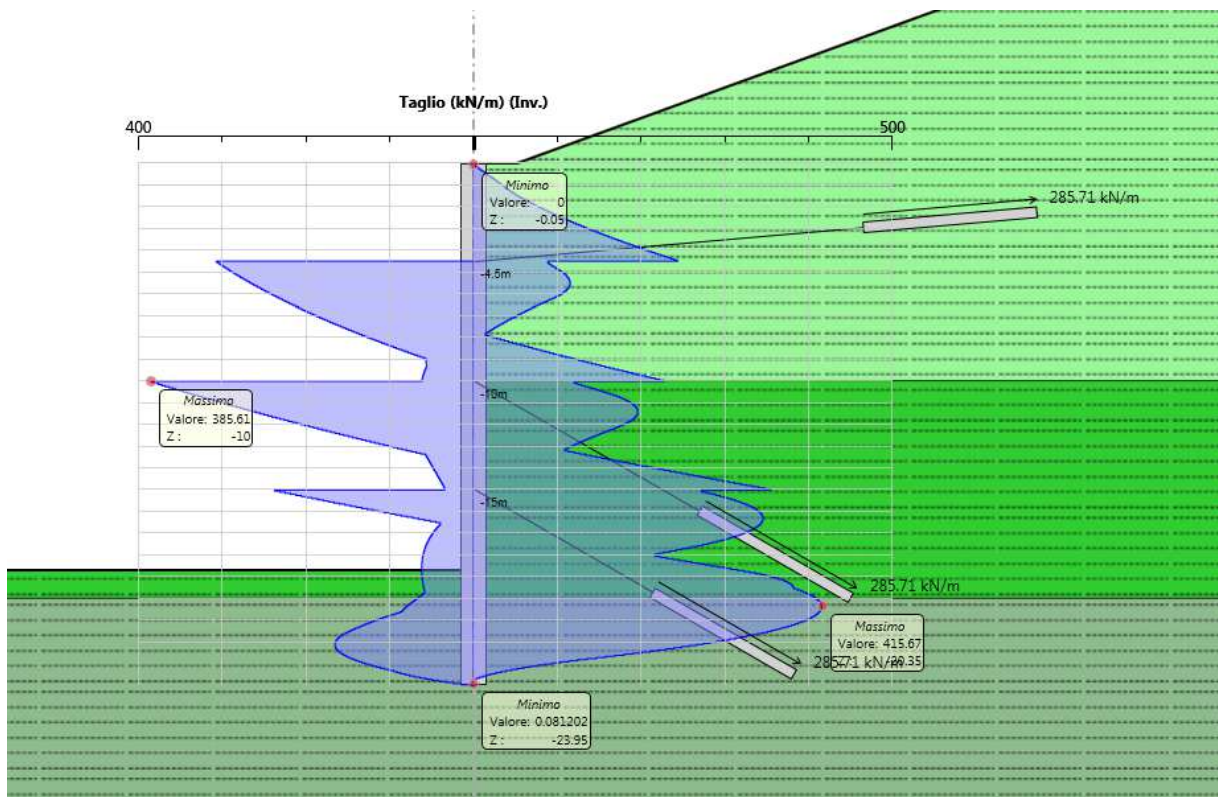


Figura 67 - Inviluppo taglio SLU

15.2 SAN PIETRO SUD – 2

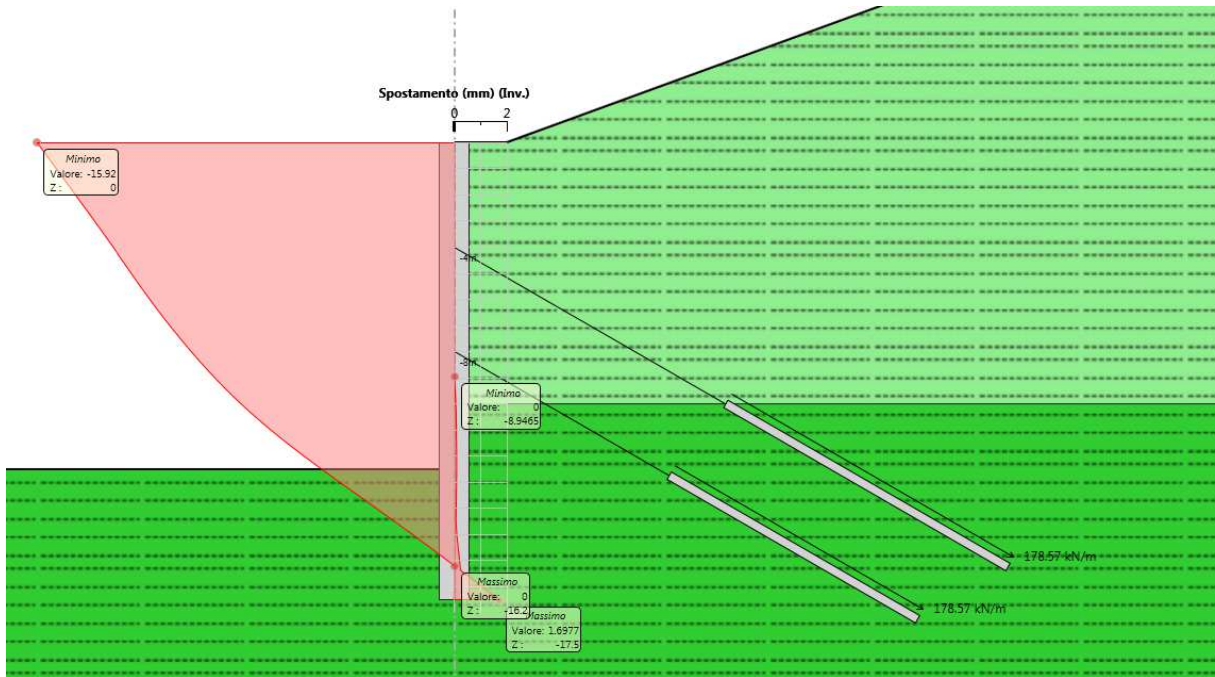


Figura 68 - Involuppo spostamenti SLE

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

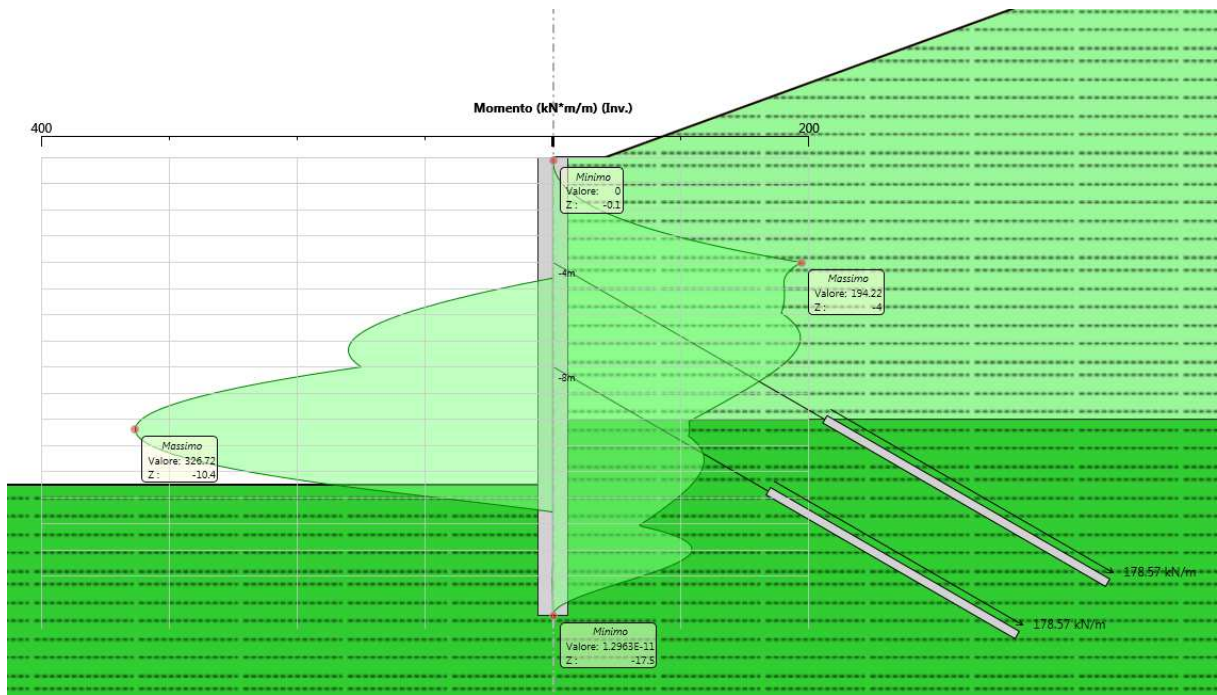


Figura 69 - Involuppo momento flettente SLE

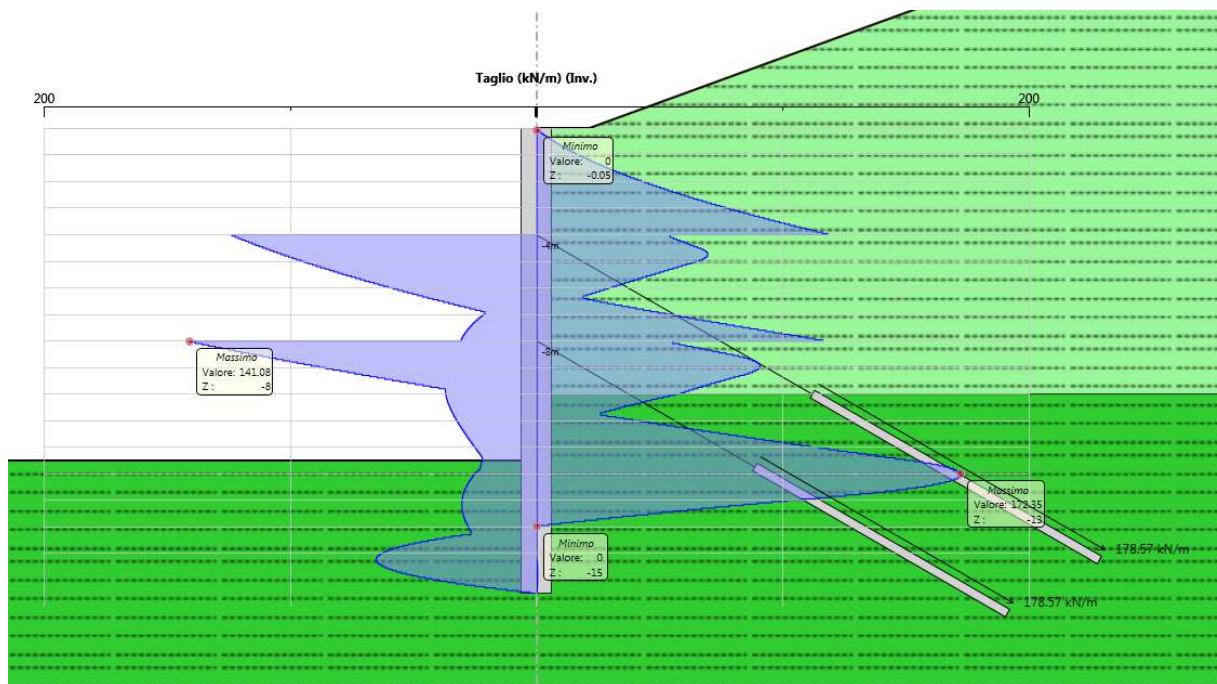


Figura 70 - Involuppo taglio SLE

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

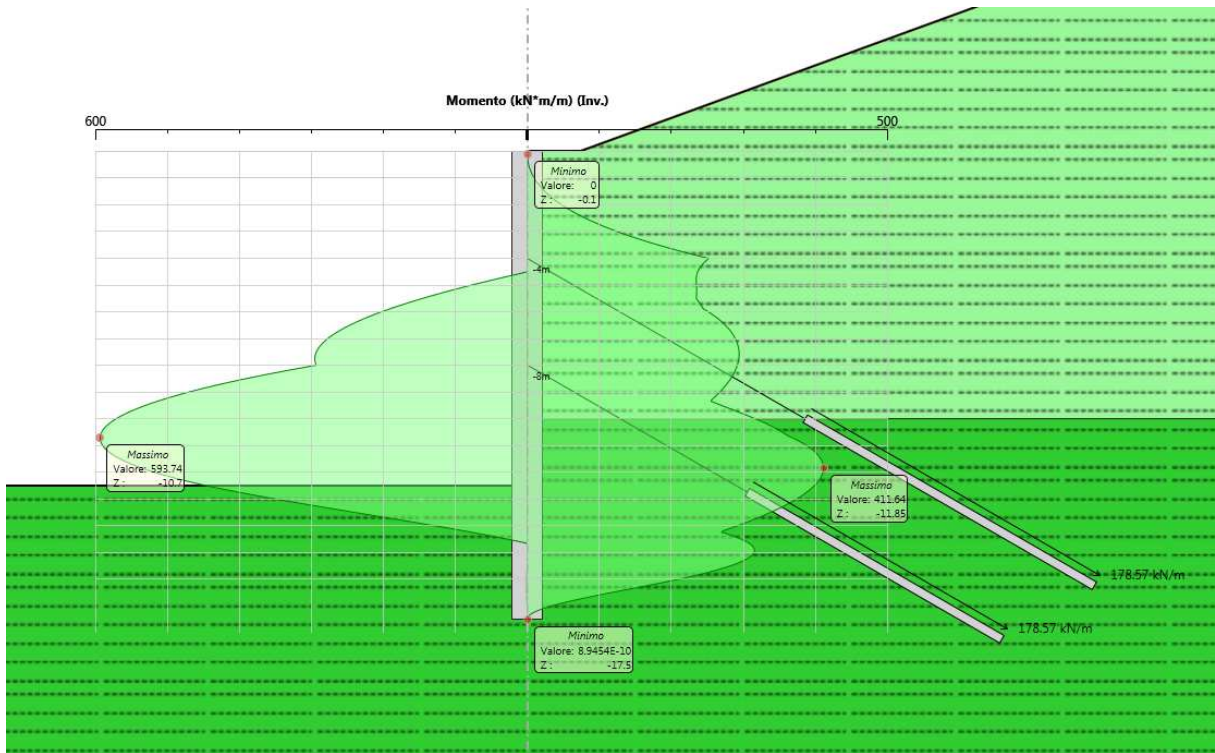


Figura 71 - Inviluppo momento flettente SLU

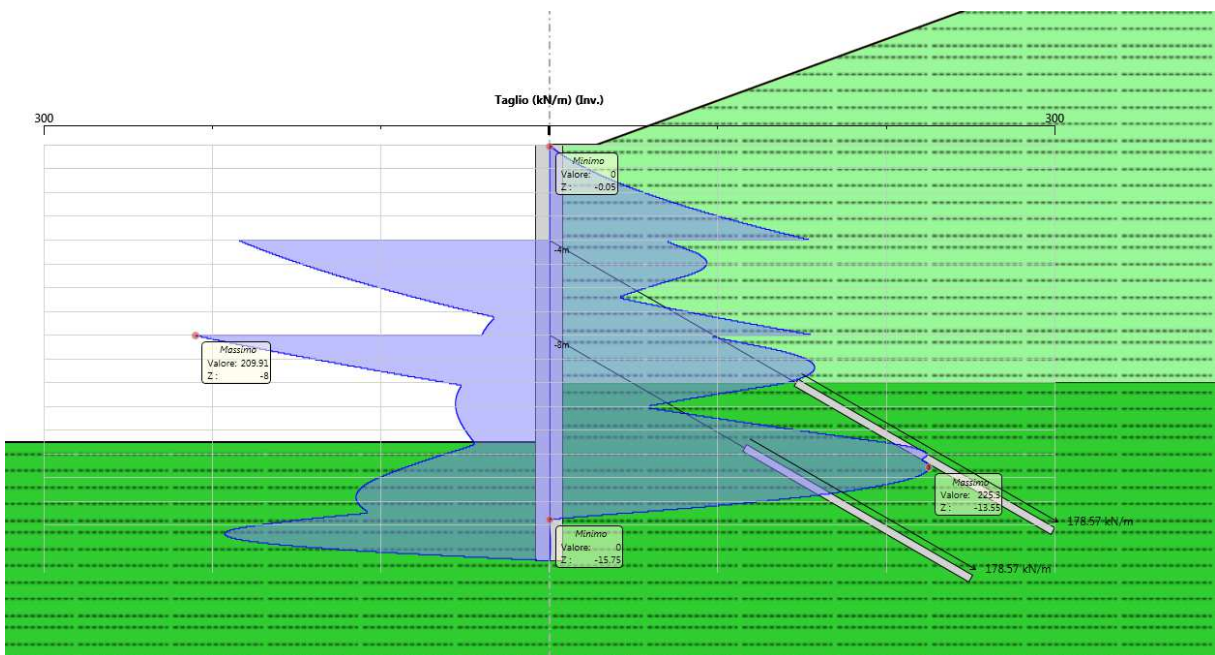


Figura 72 - Inviluppo taglio SLU

15.3 SAN PIETRO SUD – 3

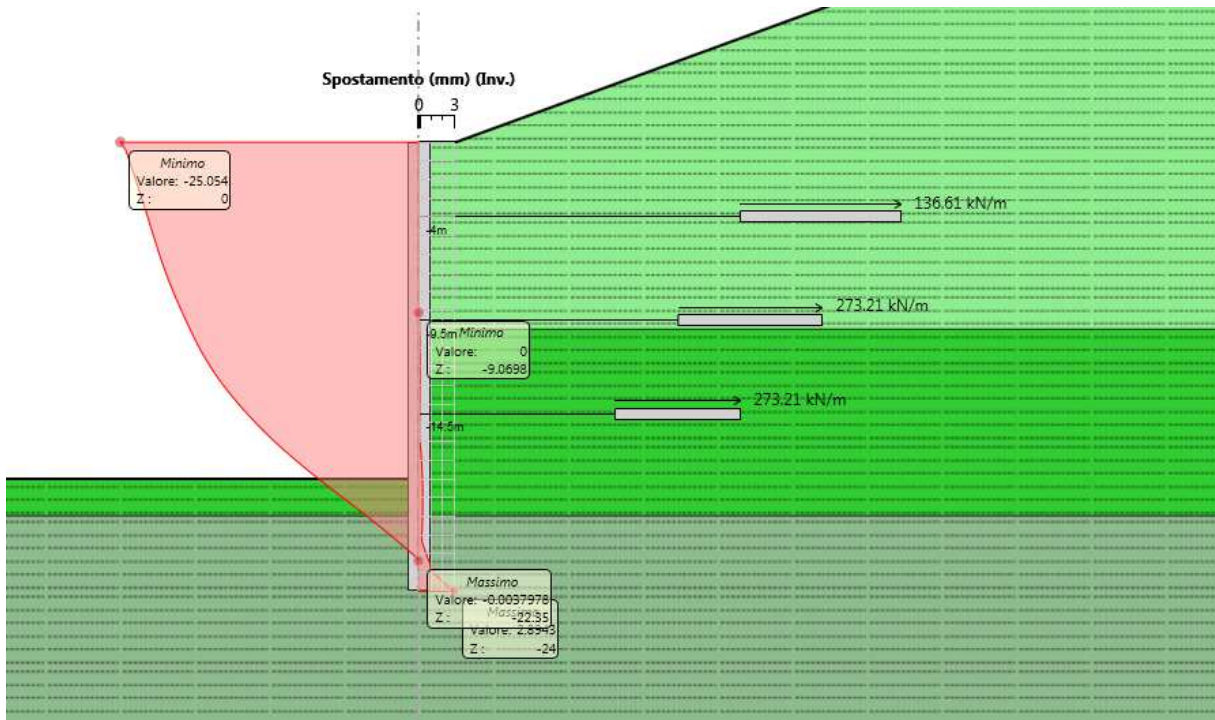


Figura 73 - Involuppo spostamenti SLE

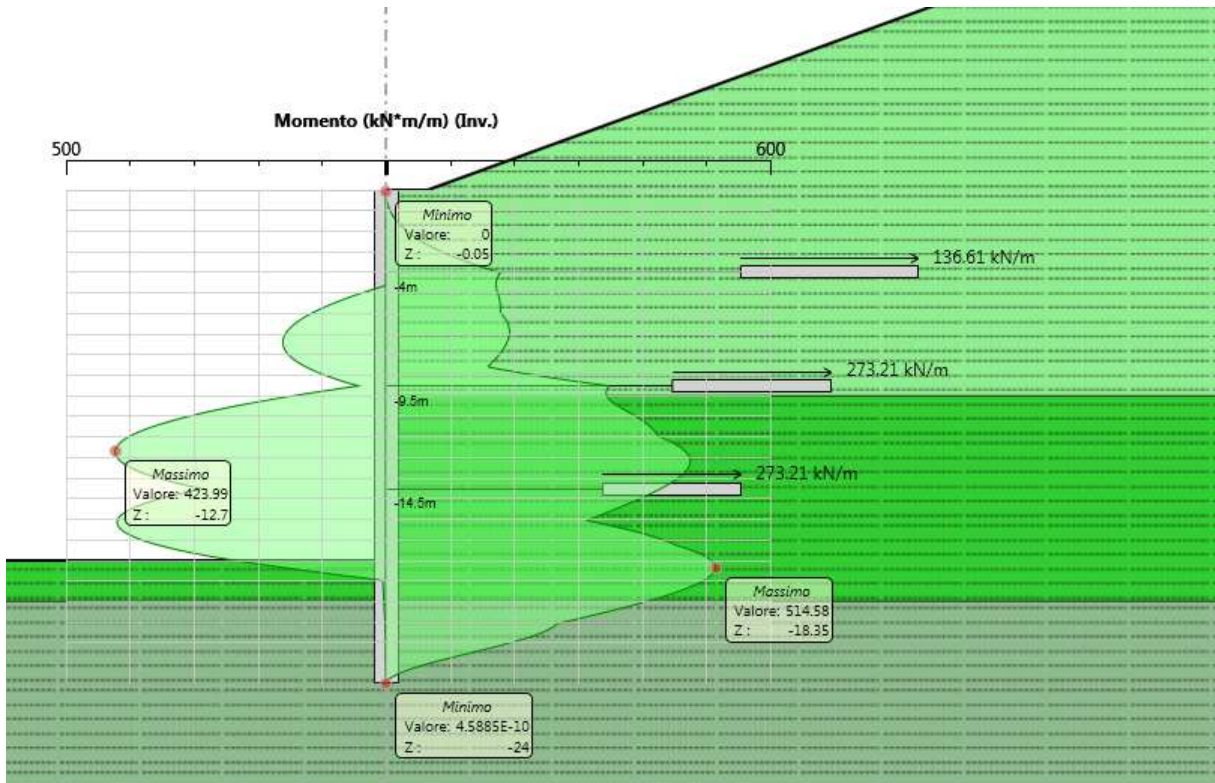


Figura 74 - Involuppo momento flettente SLE

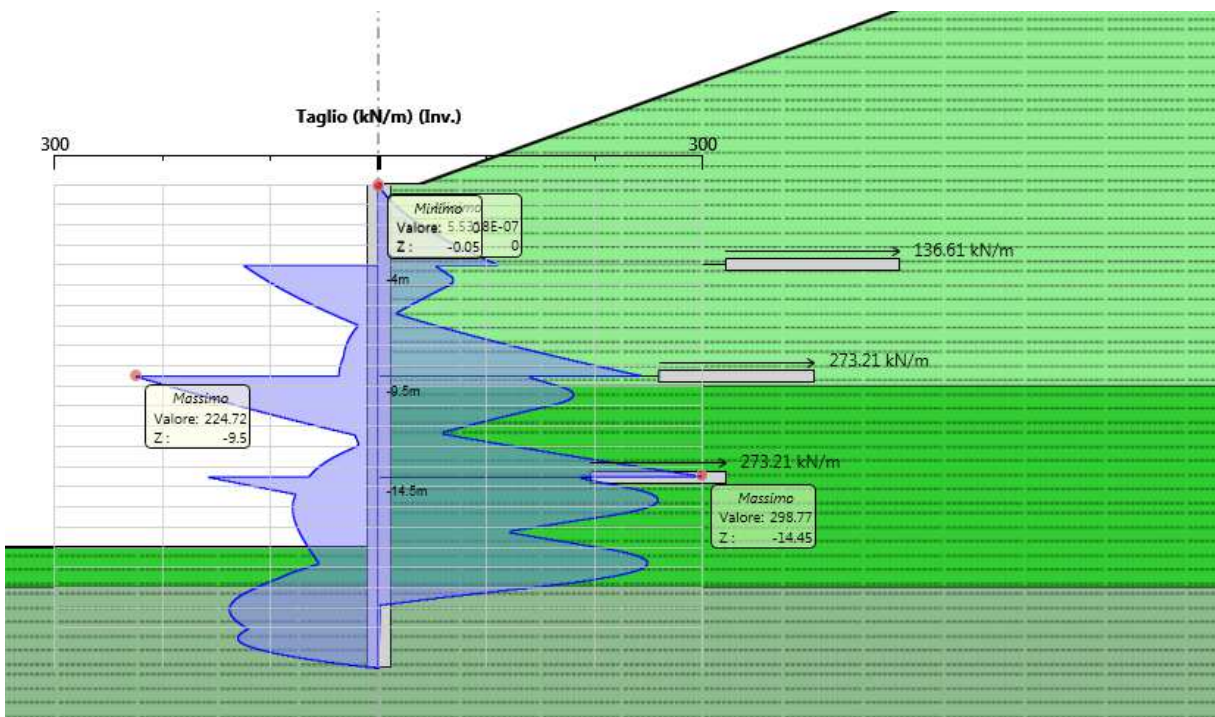


Figura 75 - Involuppo taglio SLE

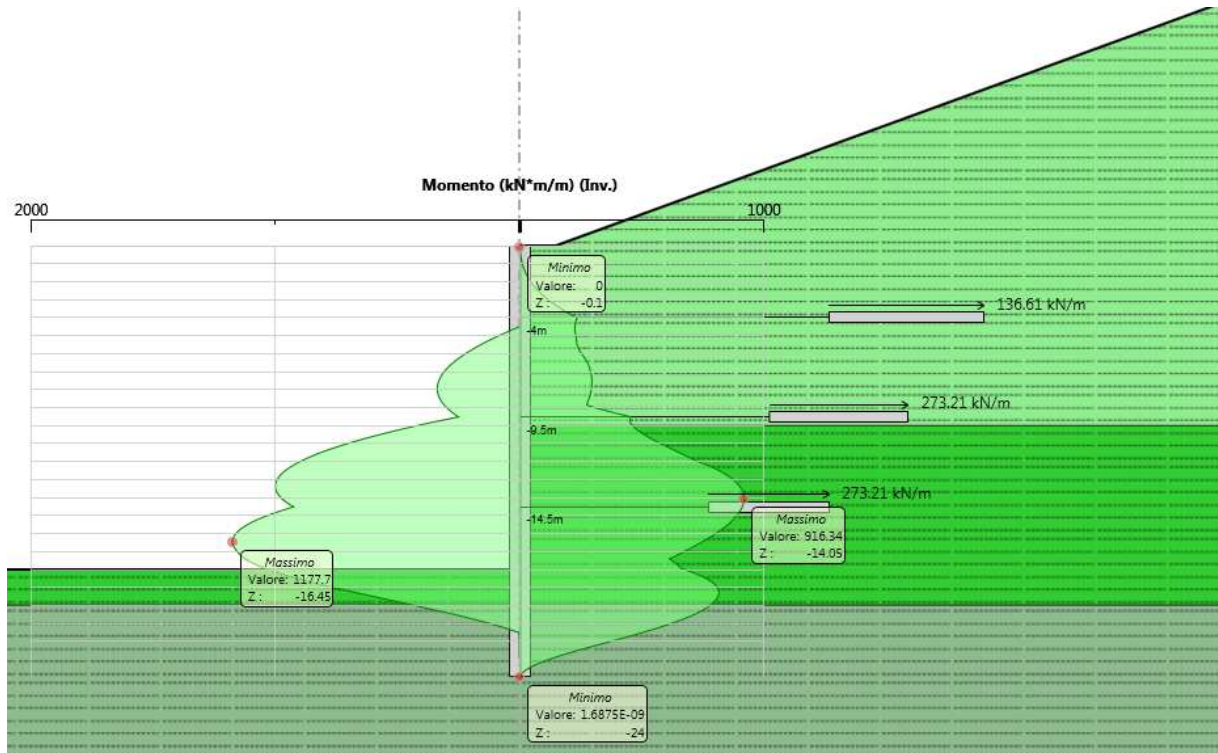


Figura 76 - Involuppo momento flettente SLU

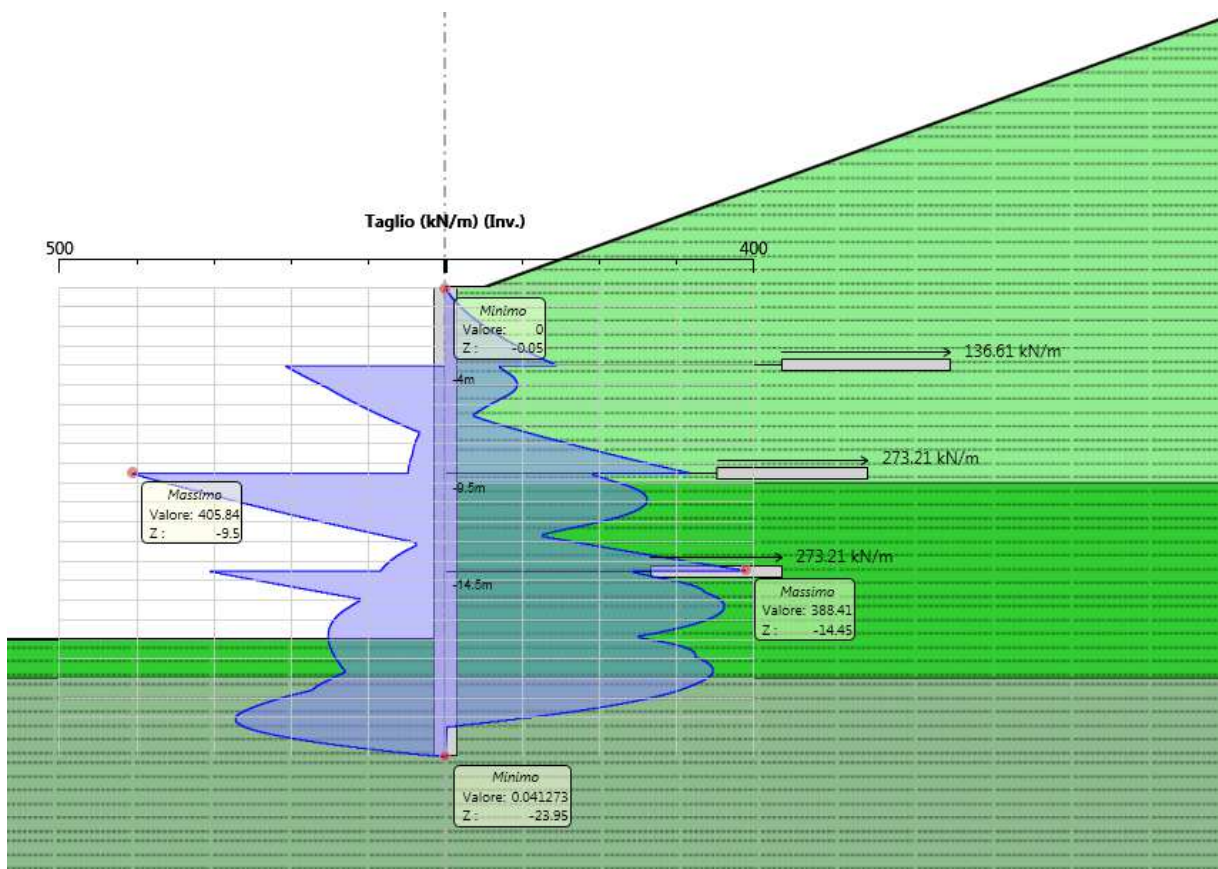


Figura 77 - Involuppo taglio SLU

15.1 SAN PIETRO NORD – 1

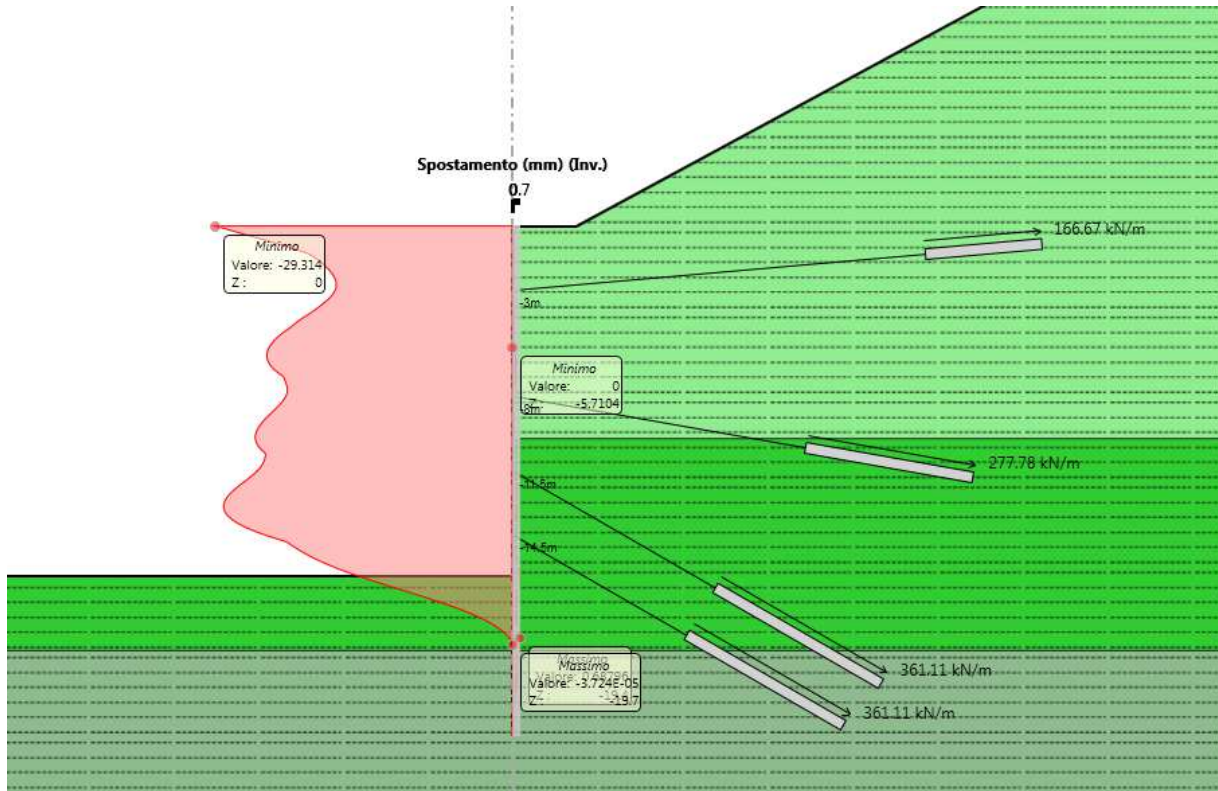


Figura 78 - Involuppo spostamenti SLE

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

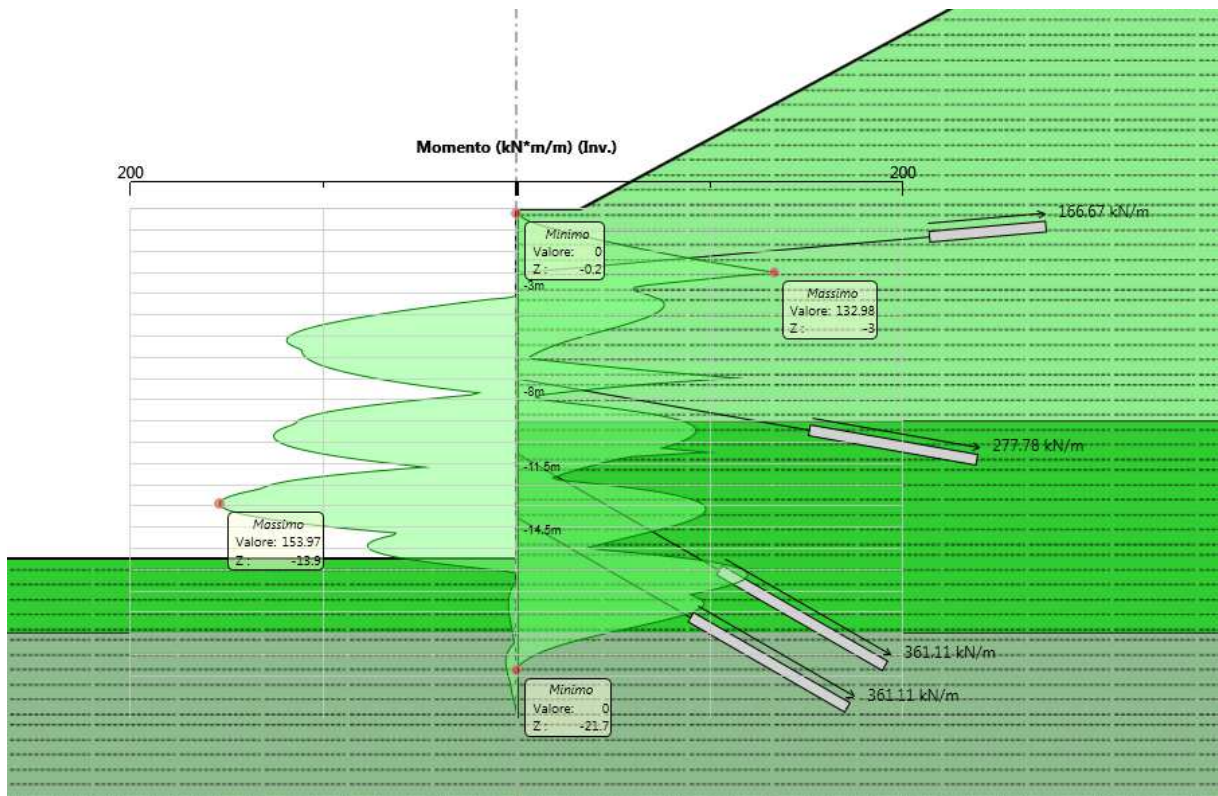


Figura 79 - Involuppo momento flettente SLE

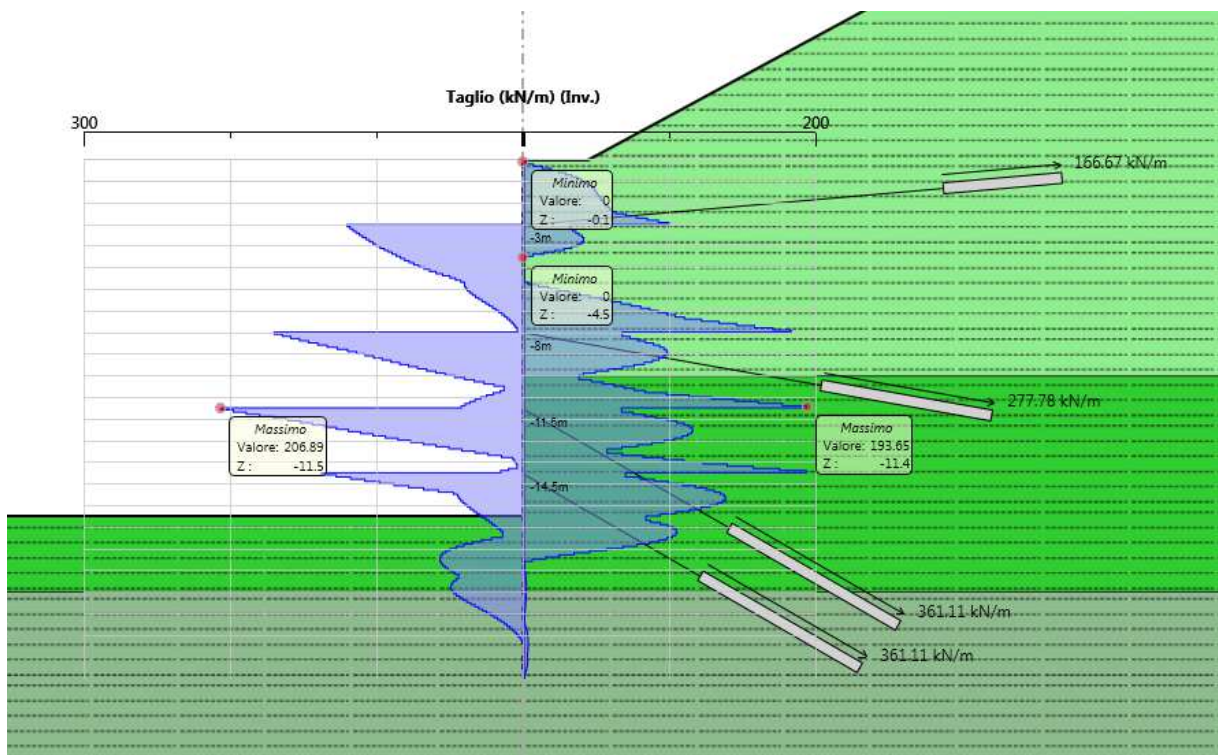


Figura 80 - Involuppo taglio SLE

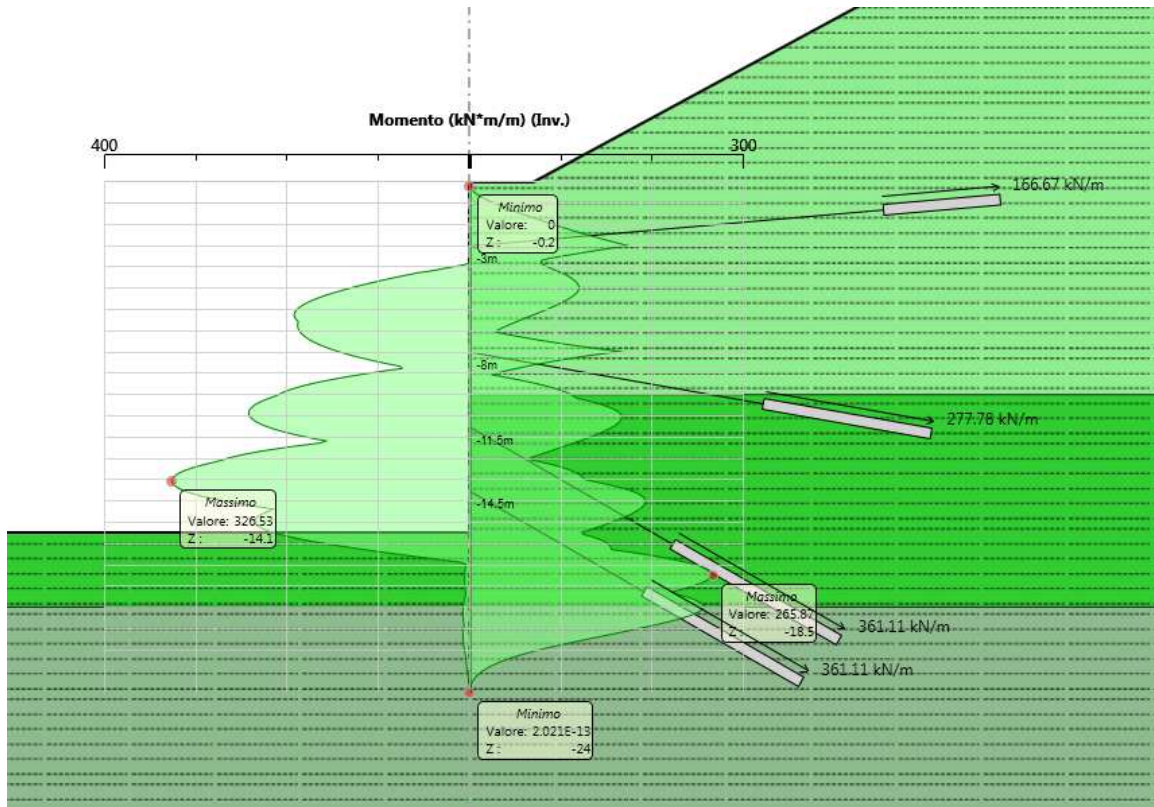


Figura 81 - Inviluppo momento flettente SLU

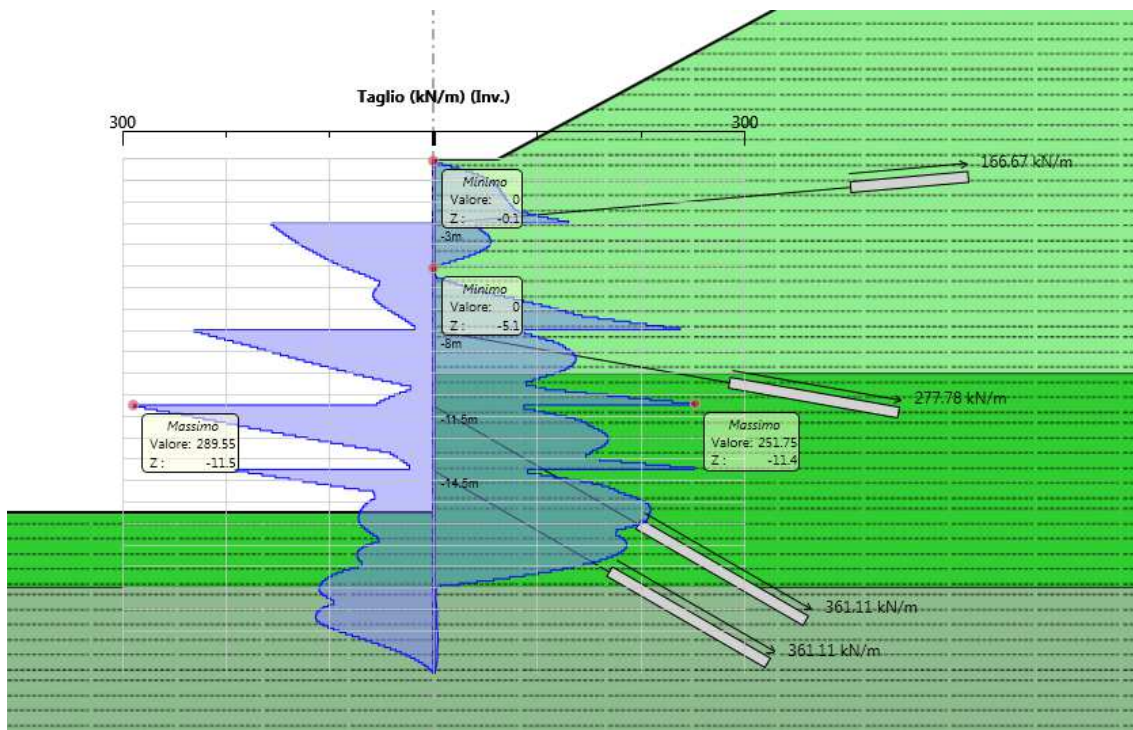


Figura 82 - Inviluppo taglio SLU

15.1 SAN PIETRO NORD – 2

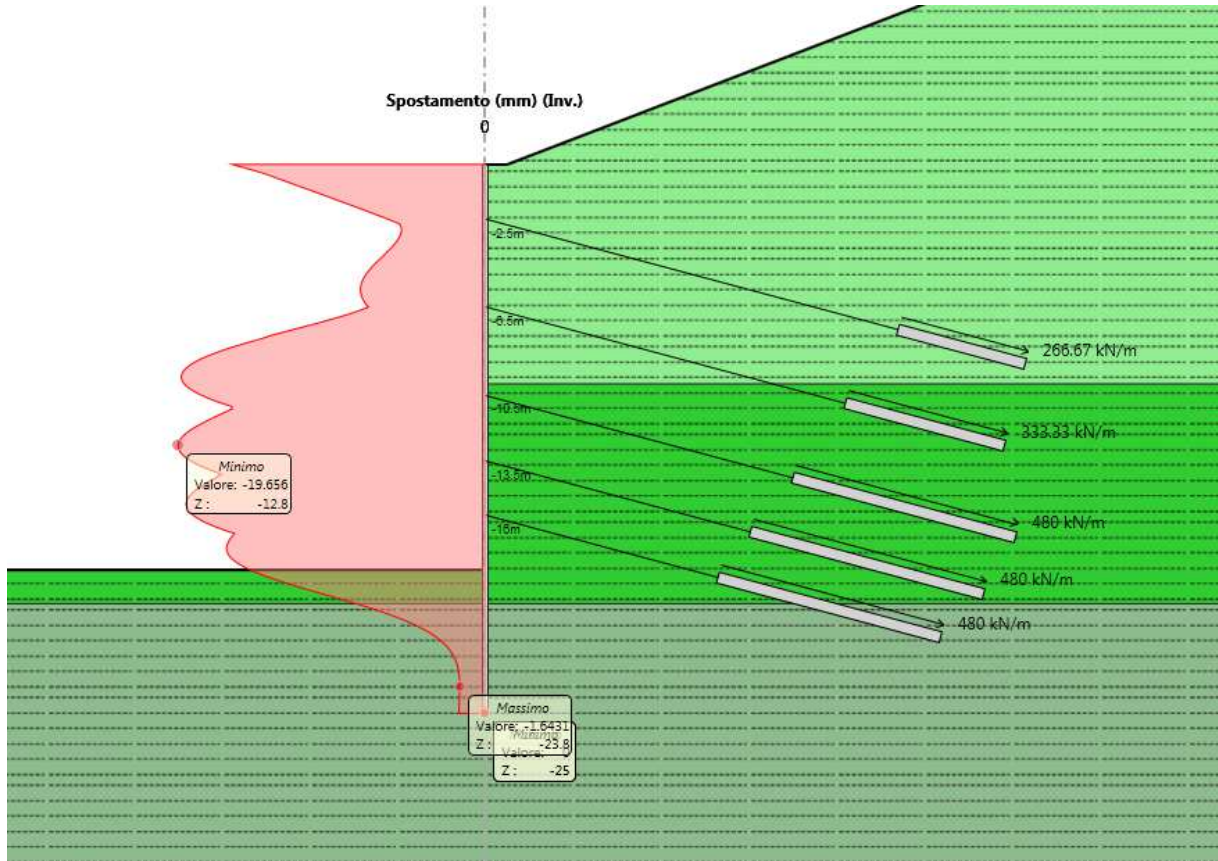


Figura 83 - Involuppo spostamenti SLE

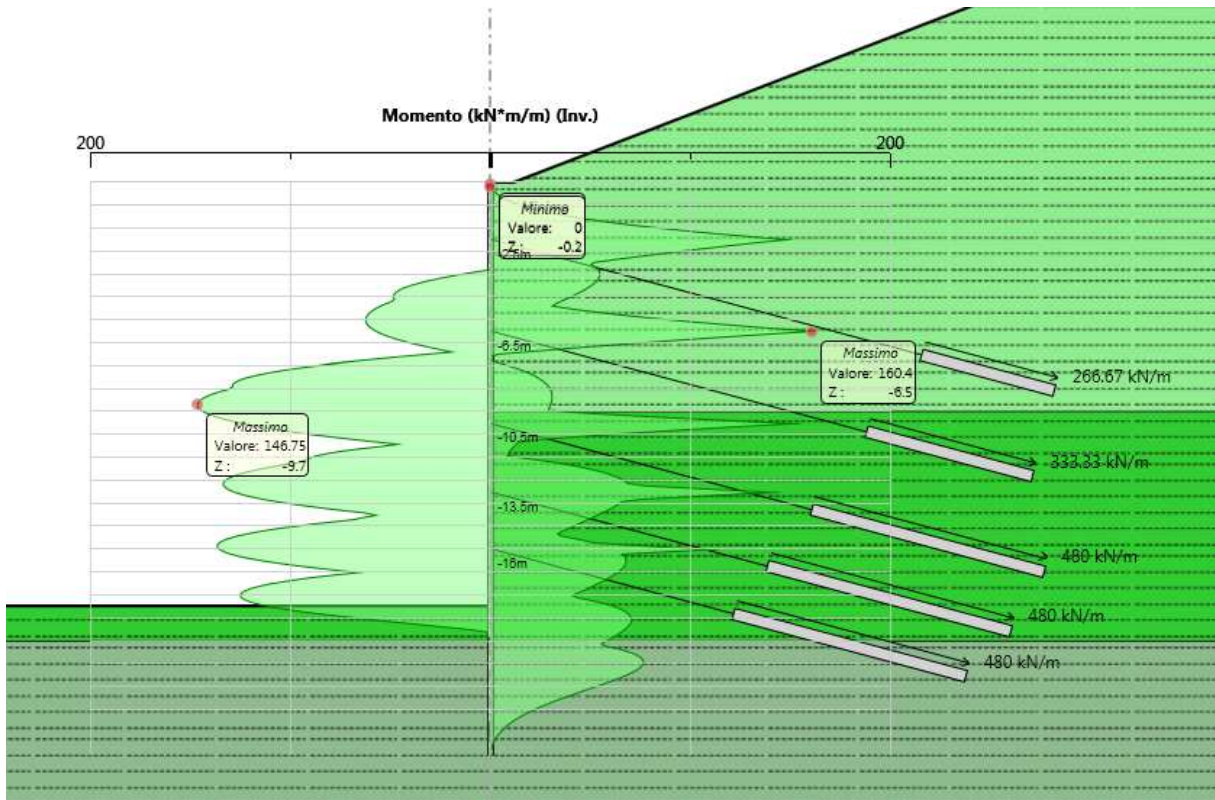


Figura 84 - Inviluppo momento flettente SLE

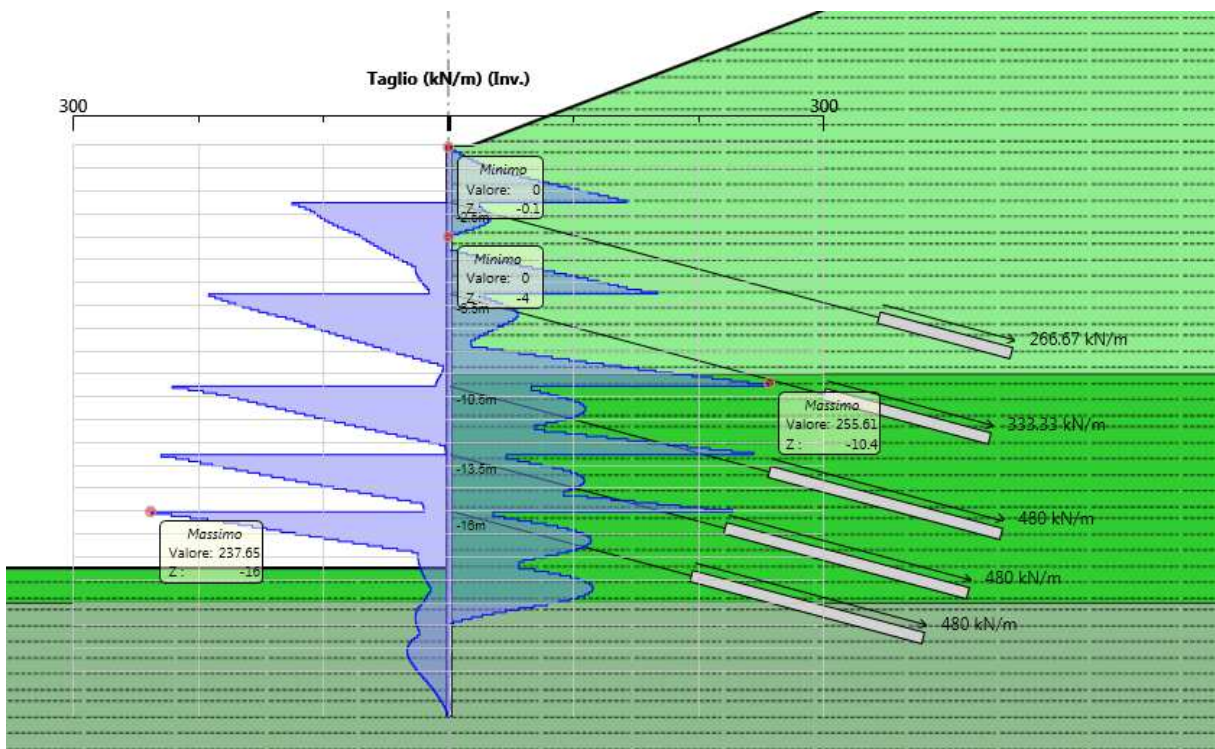


Figura 85 - Inviluppo taglio SLE

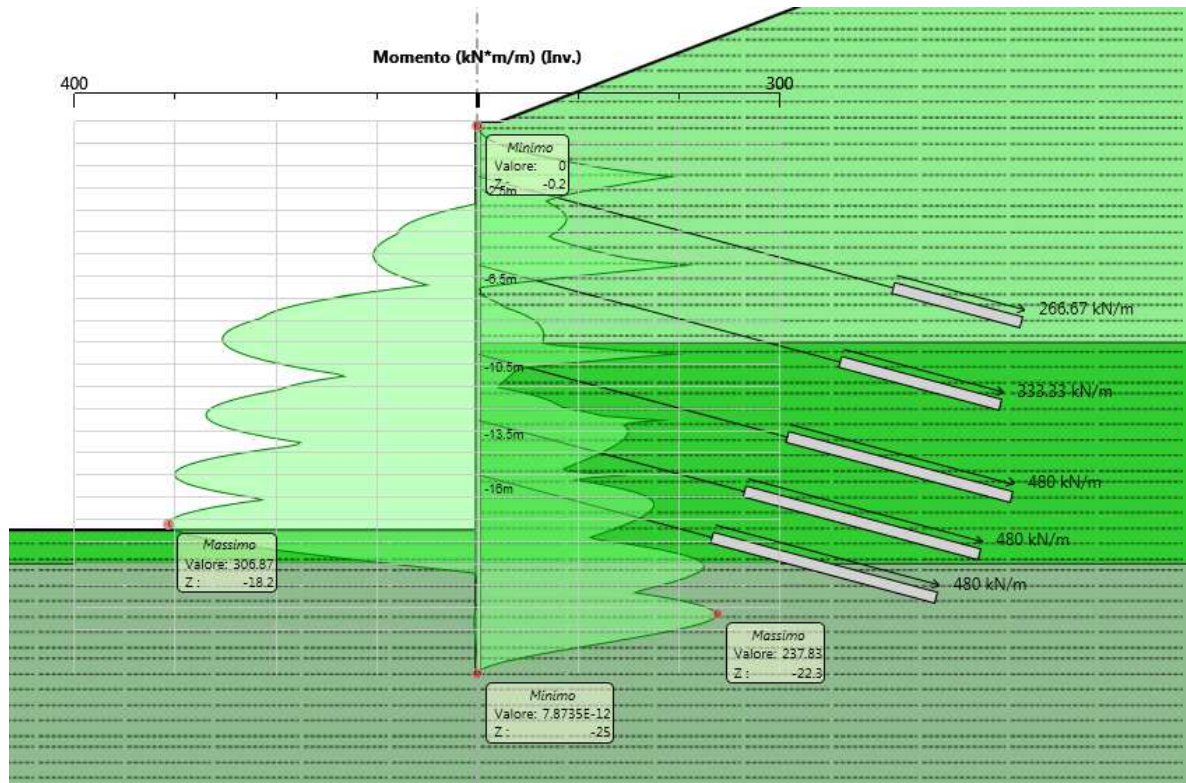


Figura 86 - Involuppo momento flettente SLU

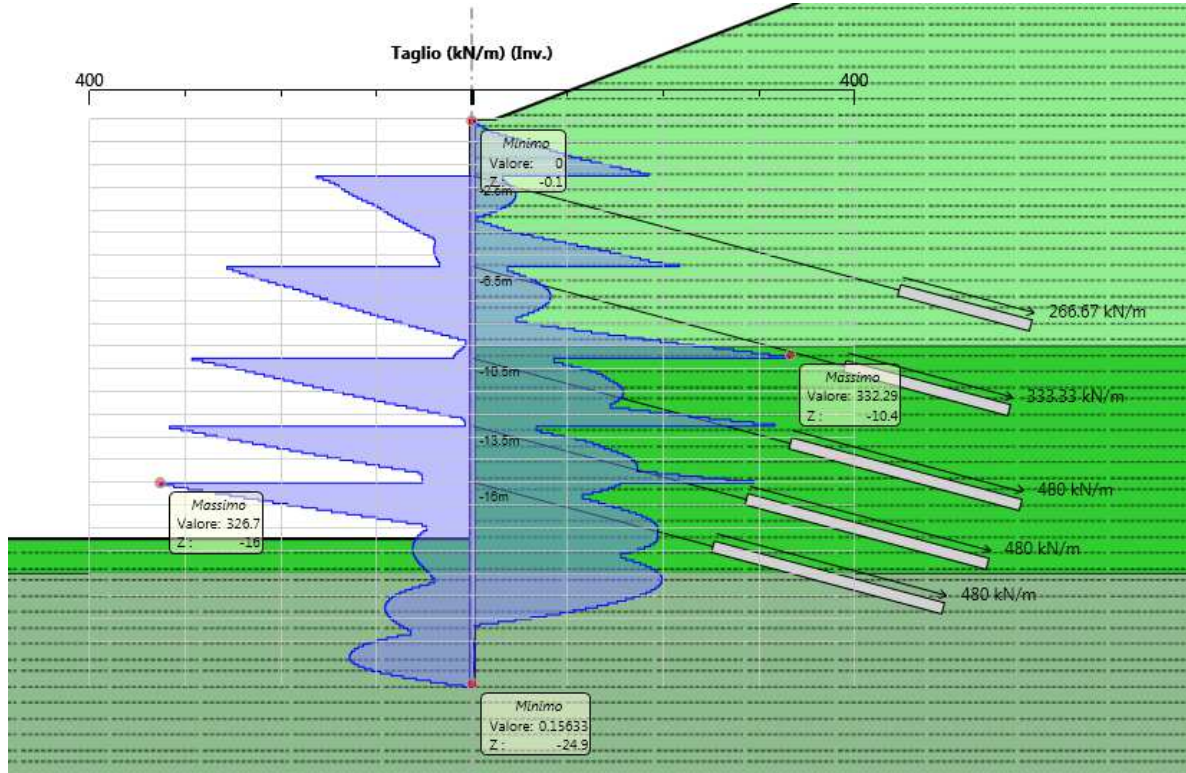


Figura 87 - Involuppo taglio SLU

15.1 SAN PIETRO NORD – 3

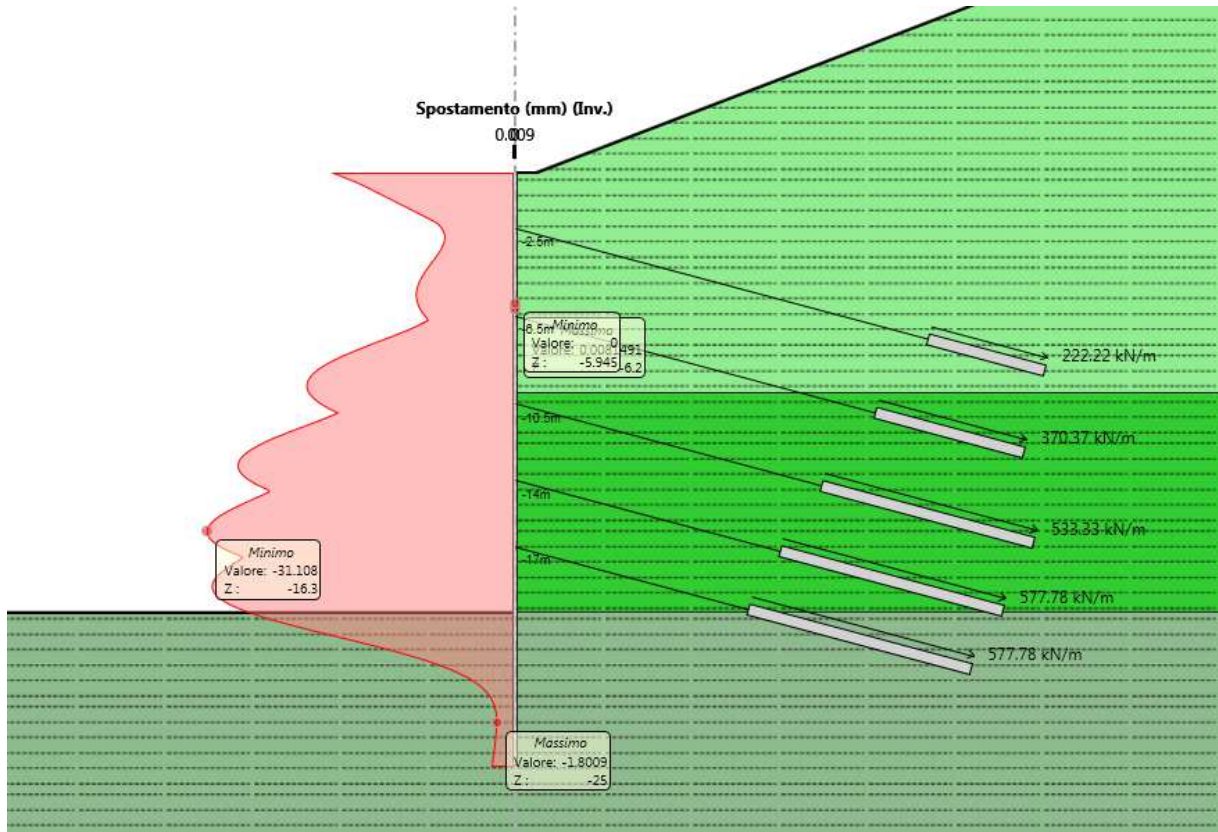


Figura 88 - Involuppo spostamenti SLE

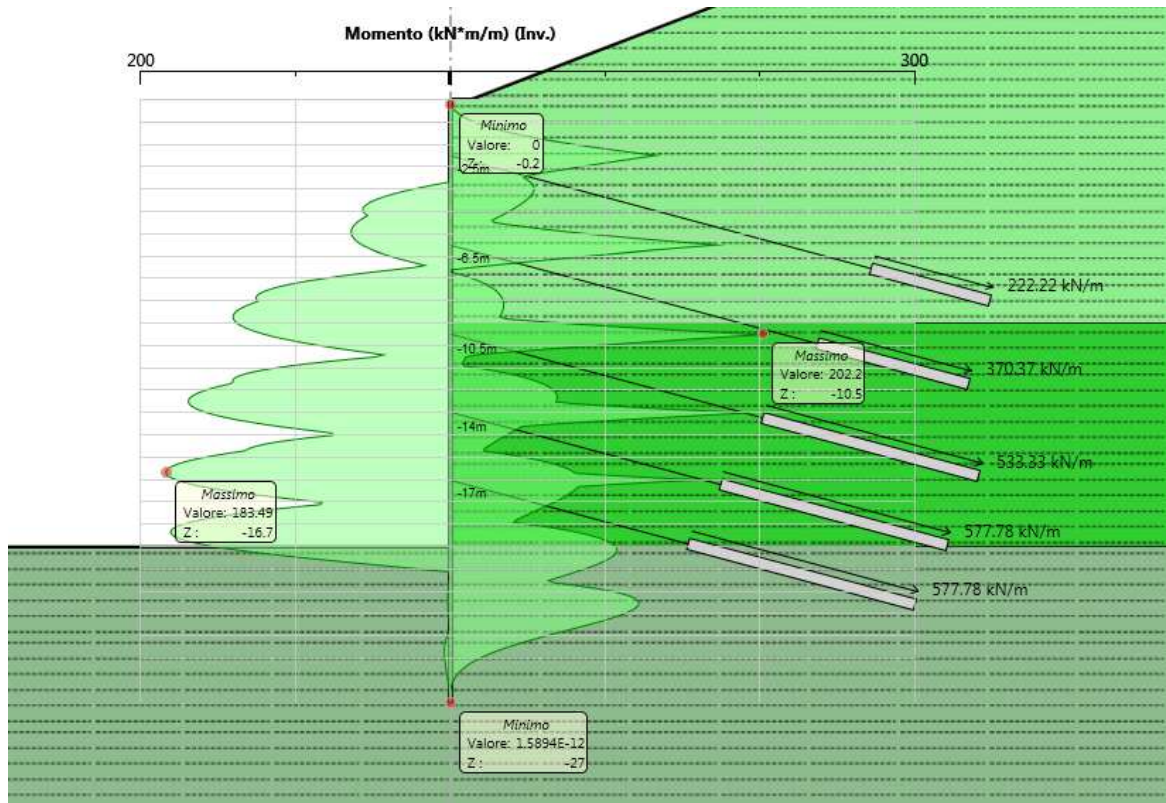


Figura 89 - Involuppo momento flettente SLE

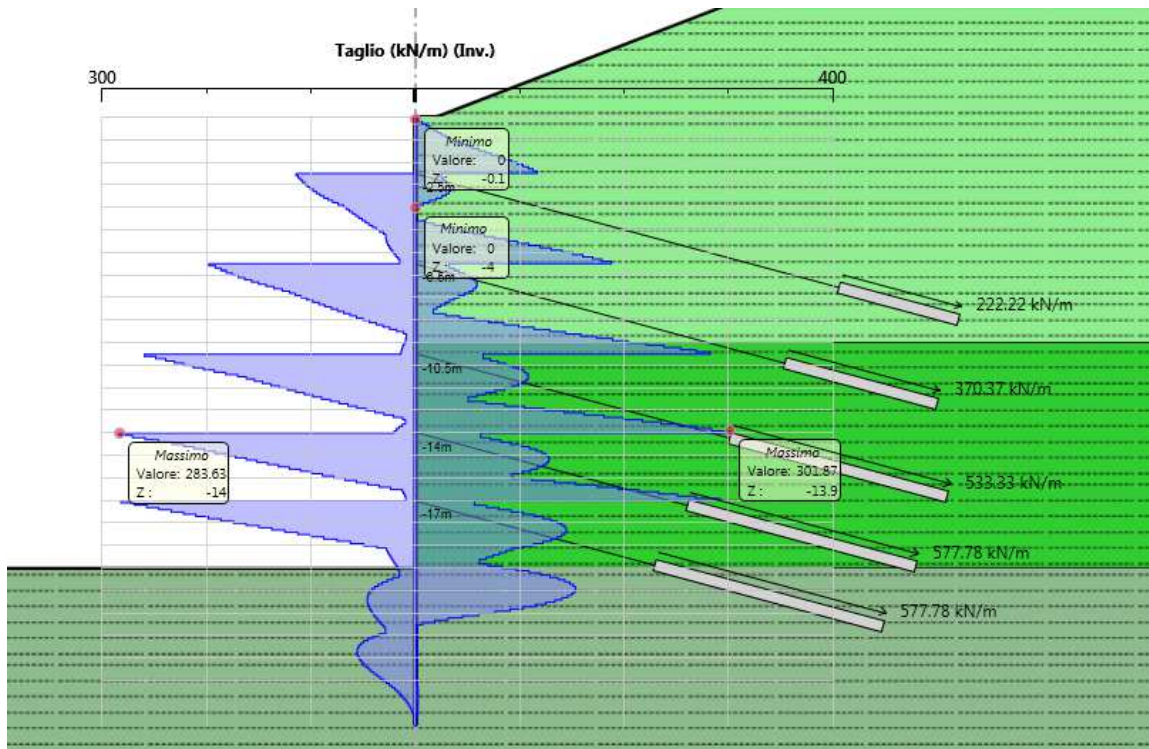


Figura 90 - Involuppo taglio SLE

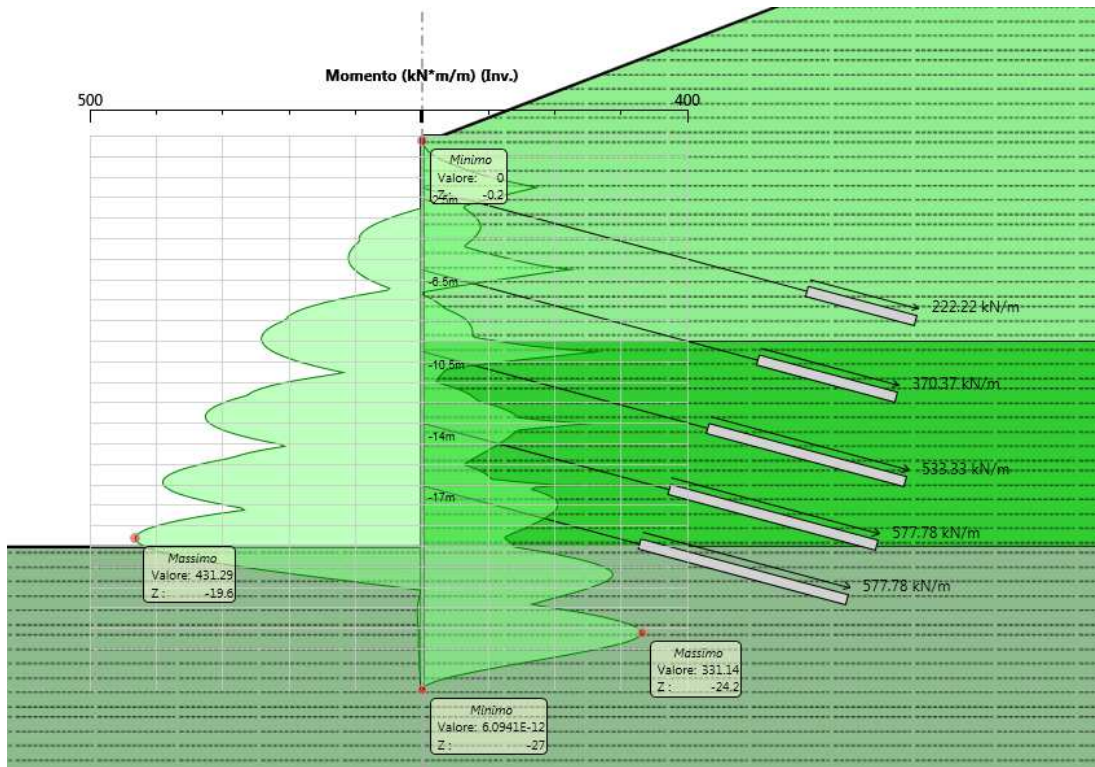


Figura 91 - Inviluppo momento flettente SLU

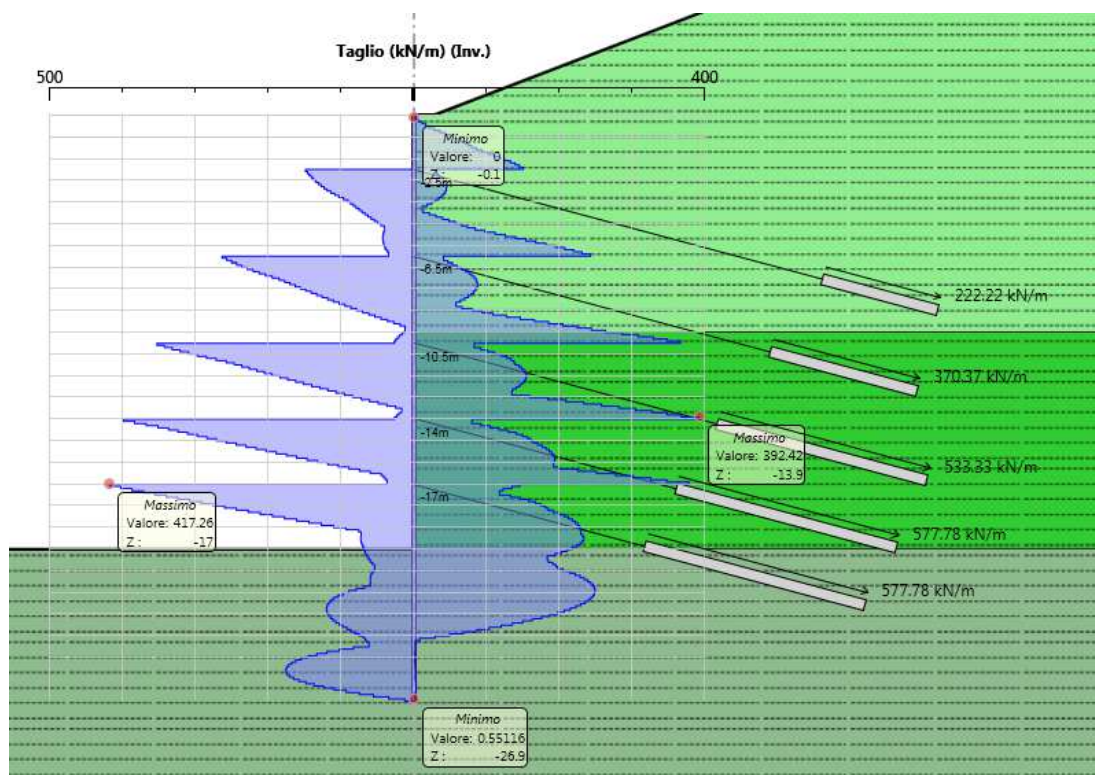


Figura 92 - Inviluppo taglio SLU