

## S.S. 38 "DELLO STELVIO"

LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI  
"SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200  
NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO

### PROGETTO DEFINITIVO

CODICE SIL.  
NOMSMI01069

**PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE**

Ing. M. RASIMELLI  
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

Ing. D. BONADIES                      Ing. M. PROCACCI  
Ing. N. ARCELLI                      Ing. R. CERQUIGLINI  
Ing. S. PELLEGRINI                    Ing. M. CARAFFINI  
Ing. A. POLLI                            Ing. R. ALUIGI  
Ing. M. MARELLI                      Geom. M. BINAGLIA  
Ing. A. LUCIA

**L'ARCHEOLOGO**

DOTT. M. MENICHINI  
Elenco Ministero per i Beni Culturali al n° 2160 dal 18 05 2020

**IL GEOLOGO**

Dott. S. PIAZZOLI

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Ing. L. IOVINE

**RUP**

Ing. P. GUALANDI

**DEC**

Ing. E. FIORENZA

**PROTOCOLLO**

**DATA:**

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**



MANDATARIA



**PINI GROUP SA**

Via Belfiore 7 - 40138 Lugo (R.C.) - Italia

**PINI GROUP Srl**

Via Cavallotti 2 - 20174 Livorno (CO) - Italia

MANDANTE

### OPERE D'ARTE MINORI OPERE DI SOSTEGNO RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE PROGETTO

PROGETTO                      LIV. PROG.                      N. PROG.  
M S M I 0 9                      P                      2 1 0 2

NOME FILE  
T00\_VI00\_STR\_RE01\_D

CODICE ELAB.    P 0 0    V I 0 0    S T R    R E 0 1

REVISIONE

PAG.

D

1 di 135

D	QUARTA EMISSIONE	MAGGIO 2023	PROCACCI	ARCELLI	RASIMELLI
C	TERZA EMISSIONE	GENNAIO 2023	PROCACCI	ARCELLI	RASIMELLI
B	SECONDA EMISSIONE	AGOSTO 2022	PROCACCI	ARCELLI	RASIMELLI
A	PRIMA EMISSIONE	APRILE 2022	PROCACCI	ARCELLI	RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 2 di 135</p>
--	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI INTERVENTI</b>	<b>5</b>
2.1	MURI DI SOSTEGNO PREFABBRICATI	5
2.2	OPERE PROVVISORIALI	7
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>RELAZIONE SUI MATERIALI</b>	<b>13</b>
4.1	CALCESTRUZZI	13
4.1.1	<i>Leganti</i>	13
4.1.2	<i>Aggregati</i>	13
4.1.3	<i>Acque di impasto</i>	14
4.1.4	<i>Prescrizione per il disarmo</i>	14
4.1.5	<i>Condizioni ambientali e requisiti di limitazione della fessurazione</i>	14
4.1.6	<i>Calcolo del copriferro ed interfero</i>	15
4.1.7	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo</i>	16
4.2	ACCIAI PER CEMENTO ARMATO	21
4.2.1	<i>Saldabilità</i>	21
4.2.2	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo</i>	21
4.3	ACCIAI DA CARPENTERIA	22
4.3.1	<i>Saldabilità</i>	22
4.3.2	<i>Classe di esecuzione</i>	22
4.3.3	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo</i>	26
4.3.4	<i>Classe di resistenza</i>	27
4.4	ACCIAI PER COLLEGAMENTI	28
4.4.1	<i>Caratteristiche bulloni per unioni</i>	28
4.5	DURABILITÀ DEI NUOVI MATERIALI IMPIEGATI	29
4.5.1	<i>Normativa di riferimento</i>	29
4.5.2	<i>Classificazione ambientale</i>	29
<b>5</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA</b>	<b>31</b>
6.1.1	<i>Vita nominale di progetto</i>	33
6.1.2	<i>Classi d'uso</i>	33
6.1.3	<i>Periodo di riferimento per l'azione sismica</i>	34
6.1.4	<i>Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche</i>	34
6.1.5	<i>Criteri di progetto generali</i>	36
6.1.6	<i>Parametri caratteristici per la determinazione dello spettro sismico elastico</i>	36
6.1.7	<i>Stati limite e relative probabilità di superamento</i>	37
6.1.8	<i>Valutazione dell'azione sismica</i>	38
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>42</b>
7.1	PESI PROPRI	42
7.2	CARICO PERMANENTE	42
7.3	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO: Q <sub>1</sub>	43
7.4	AZIONE DA FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE: Q <sub>3</sub>	44
7.5	AZIONE DI NEVE E VENTO	45
7.5.1	<i>Carico da neve</i>	45
7.6	AZIONI URTO DI VEICOLI IN SVIO: Q <sub>8</sub>	47
7.7	FORZE D'INERZIA SISMICHE: E	48
7.8	SPINTA DELLE TERRE	51
<b>8</b>	<b>CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO</b>	<b>53</b>
8.1	CONDIZIONI DI CARICO	53

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b> <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 3 di 135</p>
---	--

8.2	COMBINAZIONI DI CARICO	53
<b>9</b>	<b>RELAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE</b>	<b>56</b>
9.1	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE	56
<b>10</b>	<b>MURI DI SOSTEGNO</b>	<b>58</b>
10.1	DATI GENERALI DEL PROGETTO	58
10.2	VERIFICHE AGLI SLU (GEO E STR)	60
	10.2.1 <i>Calcolo delle azioni sulla struttura</i>	60
	10.2.2 <i>Spinta della terra</i>	60
	10.2.3 <i>Forza d'urto stradale</i>	62
	10.2.4 <i>Spinta della falda freatica</i>	62
	10.2.5 <i>Verifica allo scorrimento</i>	62
	10.2.6 <i>Stato limite di ribaltamento</i>	63
	10.2.7 <i>Collasso per stato limite di ribaltamento</i>	63
	10.2.8 <i>Verifica delle sezioni in c.a. allo SLU</i>	63
10.3	VERIFICHE AGLI SLE	66
10.4	VERIFICHE AGLI SLV	67
	10.4.1 <i>Calcolo dell'azione sismica</i>	67
	10.4.2 <i>Calcolo delle forze d'inerzia</i>	67
	10.4.3 <i>Spinte di calcolo del terreno e dell'acqua</i>	67
	10.4.4 <i>Spinta sulla parete prefabbricata</i>	70
	10.4.5 <i>Spinta passiva della terra davanti alla fondazione in caso sismico</i>	71
<b>11</b>	<b>PARATIA PROVVISORIALE</b>	<b>72</b>
11.1	DATI GENERALI DEL PROGETTO	72
11.2	SEZIONI DI VERIFICA	75
11.3	CARICHI	78
11.4	VERIFICHE STR E GEO	79
11.5	ANALISI DEI RISULTATI	81
	11.5.1 <i>Verifica SLU della lunghezza di infissione delle paratie</i>	82
	11.5.2 <i>Verifica SLU a flessione</i>	82
	11.5.3 <i>Verifica SLU a taglio</i>	82
	11.5.4 <i>Verifica SLE delle tensioni di esercizio della paratia</i>	82
<b>12</b>	<b>TERRE RINFORZATE</b>	<b>85</b>
12.1	PREMESSA	85
12.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	85
12.3	SISTEMA TERRE RINFORZATE VERDI E TERRE RINFORZATE CON GABBIONI	86
12.4	ISTRUZIONI OPERATIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE	88
	12.4.1 <i>Idrosemina a spessore, compattazione e prove di controllo</i>	89
12.5	CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE	91
12.6	COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI	92
12.7	IPOTESI DI CALCOLO	94
12.8	METODI DI CALCOLO	95
12.9	ESITO DELLE VERIFICHE	103
<b>13</b>	<b>ALLEGATI DI CALCOLO</b>	<b>104</b>
13.1	MURO TIPO M4	104
	PARATIA TIPO 1	113
13.2	PARATIA TIPO 2	116
13.3	TERRE ARMATE	119

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b> <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 4 di 135</p>
--	--

## 1 PREMESSA

La progettazione riguarda l'intervento di adeguamento della S.S. n.38 "dello Stelvio" inerente la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati denominato "Sassella".



*Fig. 1.1 - Vista aerea attuale dell'area di progetto*

Le opere in oggetto sono inserite nel progetto di adeguamento della strada statale a sostegno dei rilevati di nuova realizzazione.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D  Data: Maggio 2023  Pag. 5 di 135</p>
--	--

## 2 RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI INTERVENTI

Lungo il tracciato sono previste opere di sostegno sia provvisoriale che definitiva atte a contenere l'impronta del corpo stradale in occasione di rilevati importanti o evitare cedimenti e dissesti in occasione di demolizioni o particolari fasi costruttive.

### 2.1 Muri di sostegno prefabbricati

Di seguito si riporta la planimetria con l'ubicazione dei muri prefabbricati.

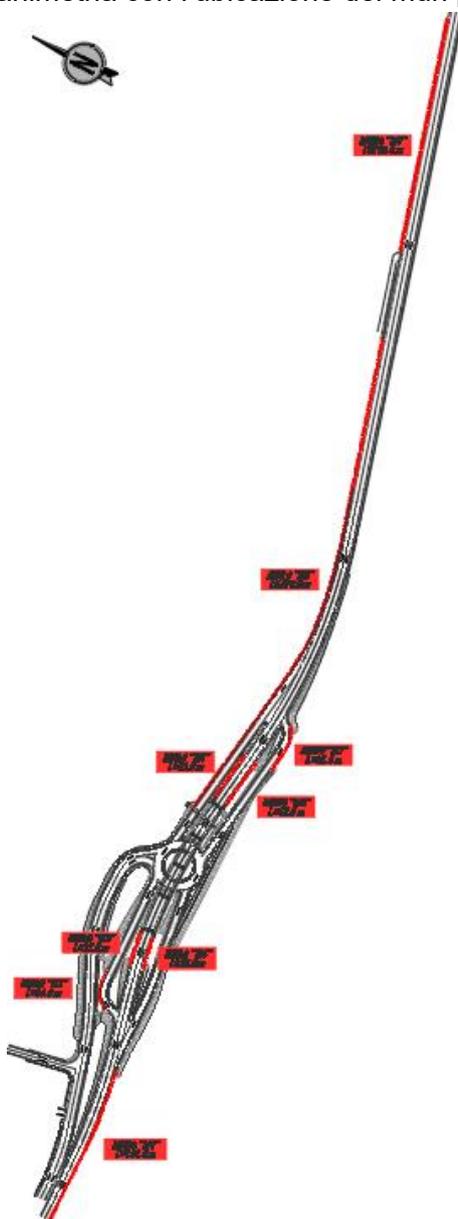


Figura 2.1 – Planimetria con indicazione posizione dei muri di sostegno

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 6 di 135</p>
--	--

In tabella si analizzano le opere di sostegno previste con la relativa posizione e sviluppo; in particolare i manufatti sono stati raggruppati in tipologici con caratteristiche simili.

OPERA	Posizione	Progressiva iniziale	Progressiva finale	Lunghezza (m)
Muro M1	Rampa A (dx)	0+000.0	0+040.00	40.00
Muro M2	Rampa D (dx)	0+081.10+8	0+121.1	40.00
Muro M3	S.S.n.38 (sx)	0+216.70	0+274.20	27.50
Muro M4	S.S.n.38 (dx)	0+218.31	0+243.31	25.00
Muro M5	S.S.n.38 (sx)	0+369.43	0+411.93	42.50
Muro M6	S.S.n.38 (dx)	0+369.47	0+411.97	42.50
Muro M7	Rampa B (dx)	0+100.00	0+137.50	37.50
Muro M8	S.S.n.38 (sx)	0+583.00	0+764.00	181.00
	Rampa C (dx)	0+000.00	0+227.875	227.75

La sezione tipologica del muro sarà caratterizzata da una fondazione realizzata con calcestruzzo magro con intradosso posto in corrispondenza dell'interfaccia con il terreno sabbioso-ghiaioso (denominato di seguito "B") sulla quale si collocherà la platea necessaria alla disposizione del paramento prefabbricato e della costola e tirante tipo "T".

Realizzato il rinterro sarà gettato il cordolo sommitale necessario al posizionamento delle barriere. A seguire lo schema tipologico.

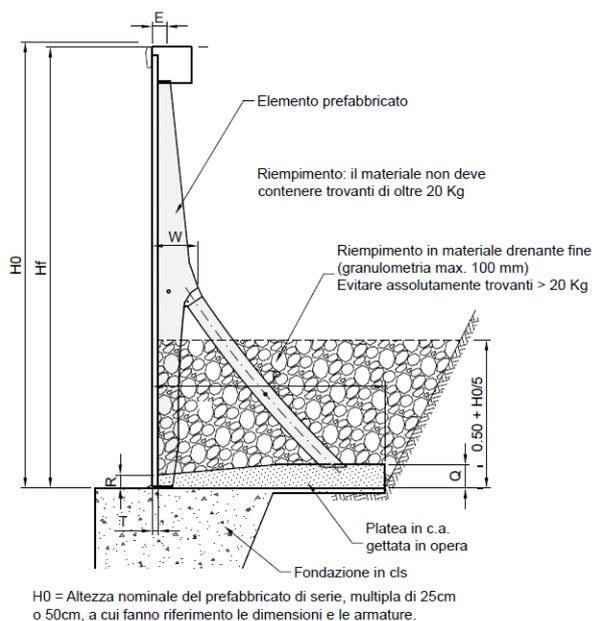


Figura 2.2 – Sezione tipo dei muri di sostegno

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D  Data: Maggio 2023  Pag. 7 di 135</p>
--	--

## 2.2 Opere provvisionali

Di seguito vengono illustrati e analizzati gli schemi tipologici delle opere di sostegno previste in progetto e la planimetria del tracciato stradale da proteggere.

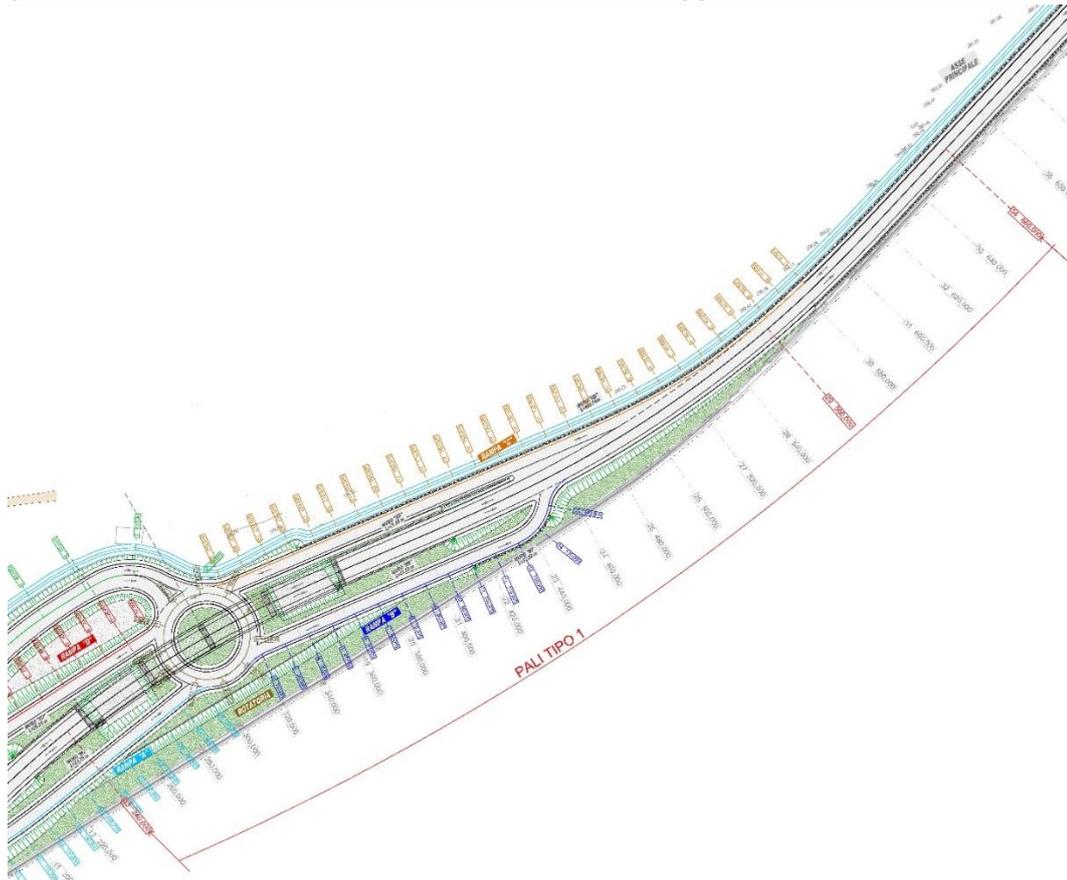


Figura 2.3 – Planimetria di progetto: Tipo1.

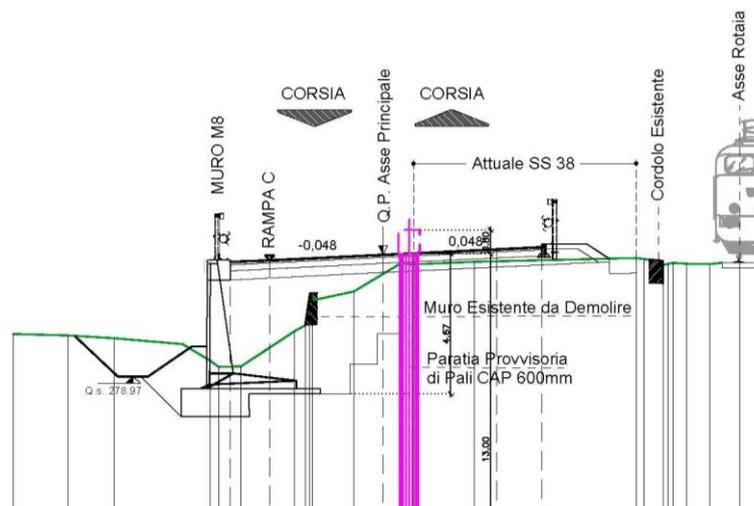


Figura 2.4 – Sezione dimensionante Tipo1.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D  Data: Maggio 2023  Pag. 8 di 135</p>
---	--

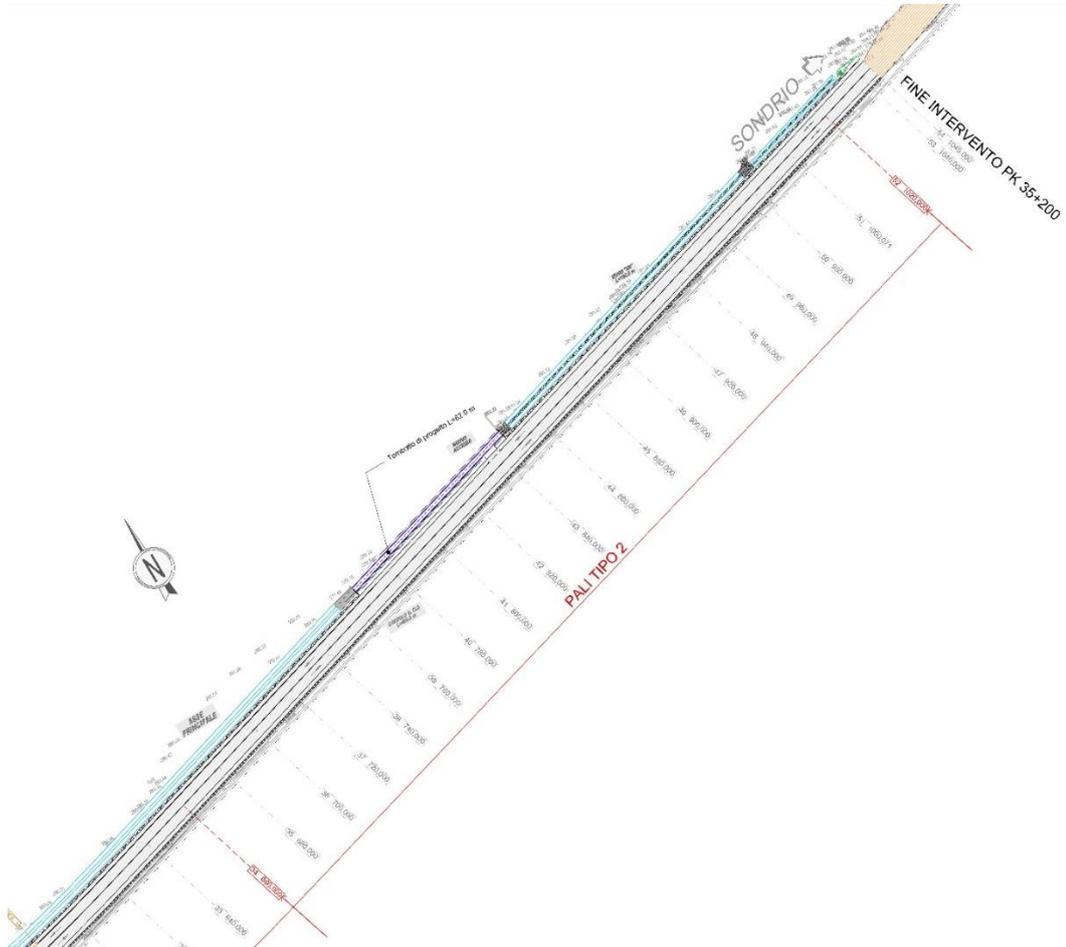


Figura 2.5 – Planimetria di progetto: Tipo2.

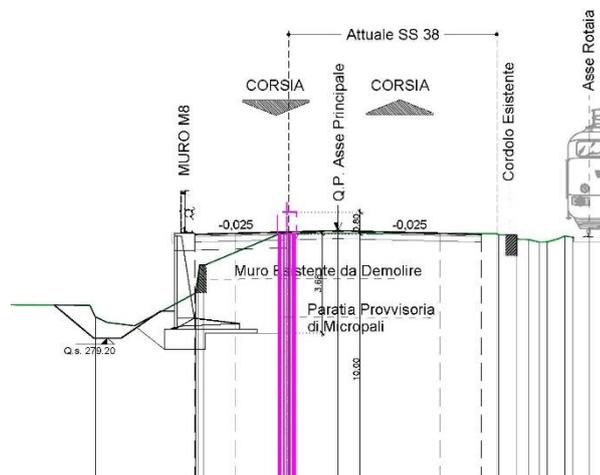


Figura 2.6 – Sezione dimensionante Tipo2.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 9 di 135</p>
--	--

La scelta definitiva dell'intervento di contenimento dei terreni durante le fasi di approfondimento degli scavi è ricaduta sull'adozione di paratie di pali ad elica continua tubati in tecnologia tipo "CAP".

La sequenza realizzativa di ciascun palo avviene secondo le seguenti fasi di lavoro:

1. Piazzamento;
2. Perforazione tubata;
3. Getto di calcestruzzo ed estrazione dell'elica;
4. Inserimento della gabbia di armatura.

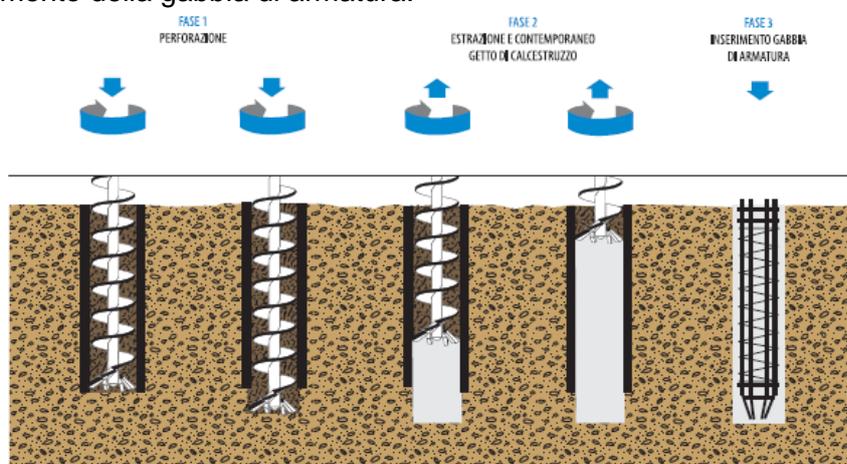


Figura 2.7 – Fasi esecutive dei pali ad elica continua tubati tipo "CAP".

Il procedimento operativo prevede i seguenti accorgimenti esecutivi:

- Raggiunta la profondità di progetto, il calcestruzzo viene pompato ad una pressione fino a 10 bar all'interno dell'asta cava attorno alla quale è assemblata l'elica e la trivella viene sollevata di alcuni centimetri; la pressione raggiunta comporta l'espulsione della puntazza ed il riempimento dello spazio sottostante.
- Mentre il calcestruzzo occupa progressivamente la cavità realizzata dall'elica, questa viene estratta lentamente, evitando di farla ruotare e contemporaneamente si estrae il rivestimento esterno.
- Segue installazione dell'armatura nei pali già gettati tramite gru o a mezzo dell'organo di servizio della perforatrice.
- Per garantire il corretto posizionamento della gabbia vanno applicati idonei centratori.

La scelta di utilizzare la tecnica dei pali tubati è legata principalmente all'ottimizzazione dei tempi esecutivi, della logistica del cantiere, del basso impatto ambientale, dei quantitativi ridotti di materiale da gestire e trasportare ad impianti idonei a riceverlo.

Caratteristiche salienti dei pali "CAP" sono, in particolare, la metodologia di perforazione, che favorisce l'attraversamento della soletta di fondazione degli edifici esistenti da demolire, nonché l'assenza di fango bentonitico di perforazione, che, oltre a comportare ingombri ridotti dell'impianto di cantiere, minimizza anche i problemi connessi allo smaltimento del terreno di risulta, in quanto non inquinato dalla bentonite, e alla possibile contaminazione delle acque di falda.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 10 di 135</p>
--	---

### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le strutture degli edifici in oggetto saranno dimensionate secondo le seguenti norme e leggi:

**DM 17.01.2018** – Nuove *Norme tecniche per le costruzioni*

**CIRCOLARE n.7 del 21.01.2018** – *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM.17.01.2018*

**OPCM n°3274 del 20-03-2003** – *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche e integrazioni (Parte relativa alla zona sismica).*

**Legge 5.11.1971 n. 1086** - *Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso ed a struttura metallica.*

**Legge 2.2.1974 n. 64** - *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*

**D.M. 16.02.2007** – *Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi*

Leggi e decreti successivi. Se applicabili.

Per le caratteristiche dei materiali si fa inoltre riferimento alle seguenti Norme:

**UNI ENV 206:2016** - *Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità*

**UNI-ENV 197-1:2011** - *Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni*

**UNI 8520-1:2015** - *Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 1: Designazione e criteri di conformità*

**UNI EN 12620:2008** - *Aggregati per calcestruzzo*

**UNI 11406:2011** - *Rivestimenti metallici protettivi dei materiali ferrosi - Prova di uniformità dello strato di zincatura su materiali zincati a caldo - Metodo secondo Preece*

**UNI EN 10025-1:2005** - *Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura*

**UNI EN 10020:2001** - *Definizione e classificazione dei tipi di acciaio.*

**UNI EN 771-1:2015** - *Specifica per elementi per muratura - Parte 1: Elementi di laterizio per muratura*

**UNI EN 15048-1:2016** - *Assiemi di bulloneria strutturale non da precarico - Requisiti generali*

**UNI EN 14399-1:2015** - *Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Requisiti generali*

**UNI EN 1090-2:2018** - *Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Requisiti tecnici per strutture di acciaio*

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento agli **Eurocodici** strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali:

**Eurocodice 0** – *Criteri generali di progettazione strutturale*

**UNI EN 1990:2006**

**Eurocodice 1** – *Azioni sulle strutture*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 11 di 135</p>
--	---

**UNI EN 1991-1-1:2004** - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici

**UNI EN 1991-1-2:2004** - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco

**UNI EN 1991-1-3:2015** - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve

**UNI EN 1991-1-4:2010** - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento

**UNI EN 1991-1-5:2004** - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche

**UNI EN 1991-1-6:2005** - Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione

**UNI EN 1991-1-7:2014** - Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali

**UNI EN 1991-2:2005** - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti

**UNI EN 1991-3:2006** - Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari

**UNI EN 1991-4:2006** - Parte 4: Azioni su silos e serbatoi

**Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo**

**UNI EN 1992-1-1:2015** - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

**UNI EN 1992-1-2:2005** - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

**UNI EN 1992-2:2006** - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi

**UNI EN 1992-3:2006** - Parte 3: Strutture di contenimento liquidi

**UNI EN 1992-4:2018** – Parte 4: Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo

**Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio**

**UNI EN 1993-1-1:2014** - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

**UNI EN 1993-1-2:2005** - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

**UNI EN 1993-1-3:2007** - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo

**UNI EN 1993-1-4:2015** - Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili

**UNI EN 1993-1-5:2017** - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra

**UNI EN 1993-1-6:2017** - Parte 1-6: Resistenza e stabilità delle strutture a guscio

**UNI EN 1993-1-7:2007** - Parte 1-7: Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano

**UNI EN 1993-1-8:2005** - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti

**UNI EN 1993-1-9:2005** - Parte 1-9: Fatica

**UNI EN 1993-1-10:2005** - Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore

**UNI EN 1993-1-11:2007** - Parte 1-11: Progettazione di strutture con elementi tesi

**UNI EN 1993-1-12:2007** - Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700

**UNI EN 1993-2:2007** - Parte 2: Ponti di acciaio

**UNI EN 1993-3-1:2007** - Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere - Torri e pali

**UNI EN 1993-3-2:2007** - Parte 3-2: Torri, pali e ciminiere - Ciminiere

**UNI EN 1993-4-1:2017** - Parte 4-1: Silos

**UNI EN 1993-4-2:2007** - Parte 4-2: Serbatoi

**UNI EN 1993-4-3:2007** - Parte 4-3: Condotte

**UNI EN 1993-5:2007** - Parte 5: Pali e palancole

**UNI EN 1993-6:2007** - Parte 6: Strutture per apparecchi di sollevamento

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 12 di 135</p>
--	---

**Eurocodice 4** – *Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo*

**UNI EN 1994-1-1:2005** - *Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*

**UNI EN 1994-1-2:2014** - *Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio*

**UNI EN 1994-2:2006** - *Parte 2: Regole generali e regole per i ponti*

**Eurocodice 5** – *Progettazione delle strutture in legno*

**UNI EN 1995-1-1:2014** - *Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici*

**UNI EN 1995-1-2:2005** - *Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio*

**UNI EN 1995-2:2005** - *Parte 2: Ponti*

**Eurocodice 6** – *Progettazione delle strutture in muratura*

**UNI EN 1996-1-1:2013** - *Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata*

**UNI EN 1996-1-2:2005** - *Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio*

**UNI EN 1996-2:2006** - *Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature*

**UNI EN 1996-3:2006** - *Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata*

**Eurocodice 7** – *Progettazione geotecnica*

**UNI EN 1997-1:2013** - *Parte 1: Regole generali*

**UNI EN 1997-2:2007** - *Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo*

**Eurocodice 8** – *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica*

**UNI EN 1998-1:2013** - *Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*

**UNI EN 1998-2:2011** - *Parte 2: Ponti*

**UNI EN 1998-3:2005** - *Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici*

**UNI EN 1998-4:2006** - *Parte 4: Silos, serbatoi e condotte*

**UNI EN 1998-5:2005** - *Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*

**UNI EN 1998-6:2005** - *Parte 6: Torri, pali e camini*

**Eurocodice 9** – *Progettazione delle strutture in alluminio*

**UNI EN 1999-1-1:2014** - *Parte 1-1: Regole strutturali generali*

**UNI EN 1999-1-2:2007** - *Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio*

**UNI EN 1999-1-3:2011** - *Parte 1-3: Strutture sottoposte a fatica*

**UNI EN 1999-1-4:2011** - *Parte 1-4: Lamiere sottili piegate a freddo*

**UNI EN 1999-1-5:2007** - *Parte 1-5: Strutture a guscio*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 13 di 135</p>
--	---

## 4 RELAZIONE SUI MATERIALI

I materiali ed i prodotti per uso strutturale devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito

- *Identificati* univocamente a cura del produttore, secondo le procedure applicabili;
- *Qualificati* sotto la responsabilità del produttore, secondo le procedure applicabili;
- *Accettati* dal direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione;

Nell'esecuzione delle opere in oggetto è previsto l'impiego dei seguenti materiali.

### 4.1 Calcestruzzi

I componenti del calcestruzzo devono avere le seguenti caratteristiche:

#### 4.1.1 Leganti

Devono impiegarsi esclusivamente i leganti idraulici previsti dalle disposizioni vigenti in materia, dotati di conformità ad una norma armonizzata della serie UNI EN 197

#### 4.1.2 Aggregati

Gli aggregati dovranno rispettare i requisiti minimi imposti dalla norma UNI 8520 parte 2 relativamente al contenuto di sostanze nocive. In particolare:

- il contenuto di solfati solubili in acido (espressi come SO<sub>3</sub> da determinarsi con la procedura prevista dalla **UNI-EN 1744-1:2013** punto 12) dovrà risultare inferiore allo 0.2% sulla massa dell'aggregato indipendentemente se l'aggregato è grosso oppure fine (aggregati con classe di contenuto di solfati AS0,2);
- il contenuto totale di zolfo (da determinarsi con **UNI-EN 1744-1:2013** punto 11) dovrà risultare inferiore allo 0.1%;
- non dovranno contenere forme di silice amorfa alcali-reattiva o in alternativa dovranno evidenziare espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla **UNI 8520-22:2017**, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della **UNI 8520-2:2016**.

La sabbia deve essere viva, con grani assortiti in grossezza da 0 a 3 mm, non proveniente da rocce in decomposizione, scricchiolante alla mano, pulita, priva di materie organiche, melmose, terrose e di salsedine.

La ghiaia deve contenere elementi assortiti, di dimensioni fino a 20-25 mm, resistenti e non gelivi, non friabili, scevri di sostanze estranee, terra e salsedine. Le ghiaie sporche vanno accuratamente lavate. Anche il pietrisco proveniente da rocce compatte, non gessose né gelive, dovrà essere privo di impurità od elementi in decomposizione.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 14 di 135</p>
---	---

In definitiva gli inerti dovranno essere lavati ed esenti da corpi terrosi ed organici. Non sarà consentito assolutamente il misto di fiume. L'acqua da utilizzare per gli impasti dovrà essere potabile, priva di sali (cloruri e solfuri).

Potranno essere impiegati additivi fluidificanti o superfluidificanti per contenere il rapporto acqua/cemento mantenendo la lavorabilità necessaria.

Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:

- passante al vaglio di mm 16 = 100%
- passante al vaglio di mm 8 = 88-60%
- passante al vaglio di mm 4 = 78-36%
- passante al vaglio di mm 2 = 62-21%
- passante al vaglio di mm 1 = 49-12%
- passante al vaglio di mm 0.25 = 18-3%

#### 4.1.3 Acque di impasto

L'acqua di impasto, ivi compresa l'acqua di riciclo, dovrà essere conforme alle norme **UNI EN 1008:2003**.

L'acqua per l'impasto deve essere limpida, priva di sali (particolarmente solfati e cloruri) in percentuale dannose e non essere aggressiva.

Le caratteristiche di composizione della miscela, di resistenza meccanica e di lavorabilità, nonché le classi di esposizione dei calcestruzzi utilizzati nell'esecuzione delle opere dovranno essere corrispondenti a quelli sotto riportati utilizzati per la verifica di progetto.

#### 4.1.4 Prescrizione per il disarmo

Indicativamente: pilastri 3-4 giorni; solette modeste 10-12 giorni; travi, archi 24-25 giorni, mensole 28 giorni.

Per ogni porzione di struttura, il disarmo non può essere eseguito se non previa autorizzazione della Direzione Lavori.

#### 4.1.5 Condizioni ambientali e requisiti di limitazione della fessurazione

Con riferimento al §4.1.2.2.4.3 le armature si distinguono in:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Trattandosi di armature ordinarie si ricade nel gruppo di **armature poco sensibili**.

Ai fini della protezione contro la corrosione e contro il degrado del calcestruzzo per le condizioni ambientali si può fare riferimento alla Tab. 4.1.III del §4.1.2.2.4.1 riportata di seguito.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 15 di 135</p>
--	---

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Per i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione si fa riferimento alla Tab. 4.1.IV del §4.1.2.2.4.4.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Le verifiche di fessurazione sono condotte assumendo le limitazioni seguenti:  
 $w_1 = 0,2$  mm;  $w_2 = 0,3$  mm;  $w_3 = 0,4$  mm.

#### 4.1.6 Calcolo del copriferro ed interferro

Con riferimento al § 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato in Tabella C4.1.IV, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.IV delle NTC. I valori sono espressi in mm e sono distinti in funzione dell'armatura, barre da c.a. o cavi aderenti da c.a.p. (fili, trecce e trefoli), e del tipo di elemento, a piastra (solette, pareti...) o monodimensionale (travi, pilastri,...). A tali valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità. I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm. Per classi di resistenza inferiori a  $C_{min}$  i valori della tabella sono da aumentare di 5 mm. Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5 mm. Per acciai inossidabili o in caso di adozione di altre misure protettive contro la corrosione e verso i vani interni chiusi di solai alleggeriti (alveolari, predalles, ecc.), i copriferri potranno essere ridotti in base a documentazioni di comprovata validità.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

$C_{min}$	$C_0$	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

La classe di resistenza minima  $C_{min}$  indicata in tabella deve comunque intendersi riferita alla pertinente classe di esposizione di cui alla UNI EN 206:2016 richiamata nella Tabella 4.1.III delle NTC.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 16 di 135</p>
--	---

#### 4.1.7 Caratteristiche meccaniche e di calcolo

##### **Calcestruzzo per Muri prefabbricati C35/45 (DM. 17.01.2018 - EC2)**

###### **Dati**

Classe di resistenza	<b>C35/45</b>	<i>Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione</i>
Classe di esposizione	XC4 – XF3	<i>Classe di esposizione secondo UNI EN 206-1</i>
$\rho$	2500 daN/m <sup>3</sup>	<i>Peso specifico</i>
Classe di consistenza	S3	<i>Slump</i>
Dimensione max dell'aggregato	22 mm	
a/c	<0,45	<i>Rapporto acqua cemento nella miscela</i>
Dosaggio minimo di cemento	340 daN/m <sup>3</sup>	
Tipo e classe di cemento	CEM I 52,5 R	
$\gamma_c$	1,5	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
$\alpha_{cc}$	0,85	<i>Coeff. Per resistenza a lunga durata</i>
$\nu$	0,2	<i>Coefficiente di Poisson</i>
$\epsilon_{c2}$	0,2%	<i>Allungamento al limite elastico</i>
$\epsilon_{cu}$	0,35%	<i>Allungamento a rottura</i>
$\alpha$	0,00001 C <sup>-1</sup>	<i>Coefficiente di dilatazione termica</i>

###### **Risultati**

f <sub>ck</sub>	32,00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza cilindrica a compressione (N/mm<sup>2</sup>)</i>
R <sub>ck</sub>	40,00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza cubica a compressione (N/mm<sup>2</sup>)</i>
f <sub>cd</sub>	18,13 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a compressione</i>
f <sub>ctm</sub>	3,10 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza media a trazione semplice</i>
f <sub>ctk,0,05</sub>	2,12 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)</i>
f <sub>ctk,0,95</sub>	3,19 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)</i>
f <sub>ctd</sub>	1,41 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a trazione semplice</i>
f <sub>bd</sub>	3,18 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza tangenziale di aderenza</i>
E <sub>cm</sub>	33346 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo elastico (EC2)</i>

###### **Copriferro**

Per quanto concerne i muri prefabbricati, il valore della tolleranza relativo alla misura del copriferro non è uniforme su tutte le pareti del prefabbricato.

Sulla facciata esterna e interna della parete è  $\pm 5$  mm; sulla costola (fianchi ed estradosso) è  $+5/-0$ , in quanto il procedimento costruttivo assicura queste misure.

Per i getti in opera valgono i valori di legge cioè  $\pm 10$  mm.

I copriferri, definiti come distanza dalla parete dell'estradosso dalla staffa (da non confondere con i ricoprimenti = distanza dalla parete dell'estradosso delle armature principali) nelle varie parti della struttura corrispondenti alle classi di esposizione sono riportate nella tabella successiva.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 17 di 135</p>
--	---

Vita dell'opera: 100 anni		PREFABBRICATO			PLATEA	FONDAZIONE
Condizioni ordinarie: opera che non sorge sulla costa, né in prossimità del mare; non è previsto l'uso di sali disgelanti a valle del muro		Intradosso della parete	Costola e tirante tipo "T"	Facciata esterna	Tutte le facciate	Tutte le facciate
Resistenza del calcestruzzo Rck	N/mm <sup>2</sup>	45	45	45	30	30
Classificazione dell'ambiente		XC2	XC2	XF1	XC2	XC2
<b>Spessore del copriferro:</b>						
Minimo da norma (tabella C4.1.IV)		15	20	15	20	20
Tolleranza di lavorazione		5	+5/-0	5	10	10
Maggior spessore per durata		10	10	10	10	10
TOTALE da norma mm		30	30	30	40	40
<b>Spessore indicato nei disegni mm</b>		<b>30±5</b>	<b>30+5/-0</b>	<b>35±5</b>	<b>40±10</b>	<b>40±10</b>

### Fessurazione

<b>Ampiezza massima delle fessure :</b>						
Combinaz. <b>frequente</b>	mm	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>
Combinaz. <b>quasi permanente</b>	mm	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 18 di 135</p>
---	---

### Calcestruzzo per Cordoli e Platea C32/40 (DM. 17.01.2018 - EC2)

#### Dati

Classe di resistenza	<b>C32/40</b>	<i>Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione</i>
Classe di esposizione	XC4 - XF1	<i>Classe di esposizione secondo UNI EN 206-1</i>
$\rho$	2500 daN/m <sup>3</sup>	<i>Peso specifico</i>
Classe di consistenza	S3	<i>Slump</i>
Dimensione max dell'aggregato	30 mm	
a/c	<0,50	<i>Rapporto acqua cemento nella miscela</i>
Dosaggio minimo di cemento	320 daN/m <sup>3</sup>	
Tipo e classe di cemento	CEM II 42,5	
$\gamma_c$	1,5	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
$\alpha_{cc}$	0,85	<i>Coeff. Per resistenza a lunga durata</i>
$\nu$	0,2	<i>Coefficiente di Poisson</i>
$\epsilon_{c2}$	0,2%	<i>Allungamento al limite elastico</i>
$\epsilon_{cu}$	0,35%	<i>Allungamento a rottura</i>
$\alpha$	0,00001 C <sup>-1</sup>	<i>Coefficiente di dilatazione termica</i>

#### Risultati

f <sub>ck</sub>	32,00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza cilindrica a compressione (N/mm<sup>2</sup>)</i>
R <sub>ck</sub>	40,00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza cubica a compressione (N/mm<sup>2</sup>)</i>
f <sub>cd</sub>	18,13 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a compressione</i>
f <sub>ctm</sub>	3,10 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza media a trazione semplice</i>
f <sub>ctk,0,05</sub>	2,12 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)</i>
f <sub>ctk,0,95</sub>	3,19 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)</i>
f <sub>ctd</sub>	1,41 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a trazione semplice</i>
f <sub>bd</sub>	3,18 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza tangenziale di aderenza</i>
E <sub>cm</sub>	33346 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo elastico (EC2)</i>

#### Copriferro

Ambiente = aggressivo; C = 32/40 < C<sub>0</sub>; Categoria = Barre da c.a. altri elementi;  
Copriferro = 30+10+5 = **45 mm**  
(è assunta una tolleranza di posa pari a 5 mm)

Ambiente = aggressivo; C = 32/40 < C<sub>0</sub>; Categoria = Barre da c.a. elementi a piastra;  
Copriferro = 25+10+5 = **40 mm**  
(è assunta una tolleranza di posa pari a 5 mm)

#### Fessurazione

Ambiente = aggressivo; C = 32/40; Categoria = poco sensibili;  
Comb. quasi permanente ≤ w<sub>1</sub> = 0.2 mm  
Comb. frequente ≤ w<sub>2</sub> = 0.3 mm

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 19 di 135</p>
--	---

### Calcestruzzo pali ad elica continua tubati tipo "C.A.P." C25/30 - (DM. 17.01.2018 - EC2)

#### Dati

Classe di resistenza	<b>C25/30</b>	Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione
Classe di esposizione	XC2	Classe di esposizione secondo UNI EN 206-1
$\rho$	2500 daN/m <sup>3</sup>	Peso specifico
Classe di consistenza	SCC	Slump - Calcestruzzo autocompattante
Dimensione max dell'aggregato	16 mm	
a/c	<0,60	Rapporto acqua cemento nella miscela
Dosaggio minimo di cemento	280 daN/m <sup>3</sup>	
Tipo e classe di cemento	CEM II 32,5	
$\gamma_c$	1.5	Coefficiente di sicurezza
$\alpha_{cc}$	0.85	Coeff. Per resistenza a lunga durata
$\nu$	0.2	Coefficiente di Poisson
$\epsilon_{c2}$	0.2%	Allungamento al limite elastico
$\epsilon_{cu}$	0.35%	Allungamento a rottura
$\alpha$	0.00001 C <sup>-1</sup>	Coefficiente di dilatazione termica

#### Risultati

$f_{ck}$	25.00 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza cilindrica a compressione (N/mmq)
$R_{ck}$	30.00 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza cubica a compressione (N/mmq)
$f_{cd}$	14.17 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctm}$	2.56 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk,0,05}$	1.80 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)
$f_{ctk,0,95}$	3.33 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)
$f_{ctd}$	1.20 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di calcolo a trazione semplice
$f_{bd}$	2.69 N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale di aderenza
$E_{cm}$	31476 N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico (EC2)

#### Copriferro

Ambiente = ordinario; C = 25/30 <C<sub>o</sub>; Categoria = Barre da c.a. altri elementi;  
Copriferro = 25+10+35 = **70 mm**  
(è stata assunta una tolleranza di posa pari a 35mm)

#### Fessurazione

Ambiente = ordinario; C = 25/3; Categoria = poco sensibili;  
Comb. quasi permanente  $\leq w_2 = 0.3$  mm  
Comb. frequente  $\leq w_3 = 0.4$  mm

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 20 di 135</p>
---	---

### Calcestruzzo micropali C25/30 - (DM. 17.01.2018 - EC2)

#### Dati

Classe di resistenza	<b>C25/30</b>	<i>Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione</i>
Classe di esposizione	XC2	<i>Classe di esposizione secondo UNI EN 206-1</i>
$\rho$	2500 daN/m <sup>3</sup>	<i>Peso specifico</i>
Classe di consistenza	S5	<i>Slump - Calcestruzzo autocompattante</i>
Dimensione max dell'aggregato	8 mm	
a/c	<0,50	<i>Rapporto acqua cemento nella miscela</i>
Dosaggio minimo di cemento	280 daN/m <sup>3</sup>	
Tipo e classe di cemento	CEM II 32,5	
$\gamma_c$	1.5	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
$\alpha_{cc}$	0.85	<i>Coeff. Per resistenza a lunga durata</i>
$\nu$	0.2	<i>Coefficiente di Poisson</i>
$\epsilon_{c2}$	0.2%	<i>Allungamento al limite elastico</i>
$\epsilon_{cu}$	0.35%	<i>Allungamento a rottura</i>
$\alpha$	0.00001 C <sup>-1</sup>	<i>Coefficiente di dilatazione termica</i>

#### Risultati

$f_{ck}$	25.00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza cilindrica a compressione (N/mmq)</i>
$R_{ck}$	30.00 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza cubica a compressione (N/mmq)</i>
$f_{cd}$	14.17 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a compressione</i>
$f_{ctm}$	2.56 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza media a trazione semplice</i>
$f_{ctk,0,05}$	1.80 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)</i>
$f_{ctk,0,95}$	3.33 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)</i>
$f_{ctd}$	1.20 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a trazione semplice</i>
$f_{bd}$	2.69 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza tangenziale di aderenza</i>
$E_{cm}$	31476 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo elastico (EC2)</i>

#### Fessurazione

Ambiente = ordinario; C = 25/30; Categoria = poco sensibili;

Comb. quasi permanente  $\leq w_2 = 0.3$  mm

Comb. frequente  $\leq w_3 = 0.4$  mm

#### Calcestruzzo per magrone di sottofondazione:

Classe di resistenza:

C16/20

Spessore minimo:

sp.= 15 cm

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 21 di 135</p>
--	---

## 4.2 Acciai per Cemento Armato

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile, per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo d'acciaio ed alla sua eventuale saldabilità. Le caratteristiche, meccanica, di resistenza e di lavorabilità degli acciai utilizzati nell'esecuzione delle opere dovranno essere corrispondenti a quelli sotto riportati utilizzati per le verifiche di progetto.

### 4.2.1 Saldabilità

Negli acciai per cemento armato devono l'analisi chimica effettuata su colata e l'eventuale analisi chimica di controllo effettuata sul prodotto finito deve soddisfare le limitazioni riportate nella Tab.11.3II del §11 delle NTC2008 dove il calcolo del carbonio equivalente  $C_{eq}$  è effettuato con la seguente formula:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

in cui i simboli chimici denotano il contenuto degli elementi stessi espresso in percentuale.

Tabella 11.3.II – Massimo contenuto di elementi chimici in %

		Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0,24	0,22
Fosforo	P	0,055	0,050
Zolfo	S	0,055	0,050
Rame	Cu	0,85	0,80
Azoto	N	0,014	0,012
Carbonio equivalente	$C_{eq}$	0,52	0,50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0,03% in massa, a patto che il valore del  $C_{eq}$  venga ridotto dello 0,02% in massa. Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

### 4.2.2 Caratteristiche meccaniche e di calcolo

#### Acciaio per c.a. B450C

##### Dati

Classe di resistenza	<b>B450C</b>	<i>Tipo di acciaio per c.a.</i>
$\rho$	7850 daN/m <sup>3</sup>	<i>Peso specifico</i>
Modulo elastico	210000 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo di Young</i>
$\gamma_s$	1,15	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
$\epsilon_{su}$	6,750%	<i>Allungamento per snervamento</i>

##### Risultati

$f_y$	450	<i>Resistenza di snervamento a trazione (N/mm<sup>2</sup>)</i>
$f_t$	540	<i>Resistenza a rottura a trazione (N/mm<sup>2</sup>)</i>
$(f_t/f_y)_k$	1,20	<i>&gt;1,05 e &lt;1,35</i>
$f_{yk}$	391,3 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza di calcolo a compressione di calcolo s&lt;50 mm</i>

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 22 di 135</p>
--	---

### 4.3 Acciai da Carpenteria

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile, per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo d'acciaio ed alla sua eventuale saldabilità. Le caratteristiche, meccanica, di resistenza e di lavorabilità degli acciai utilizzati nell'esecuzione delle opere dovranno essere corrispondenti a quelli sotto riportati utilizzati per le verifiche di progetto.

#### 4.3.1 Saldabilità

Negli acciai per cemento armato devono l'analisi chimica effettuata su colata e l'eventuale analisi chimica di controllo effettuata sul prodotto finito deve soddisfare le limitazioni riportate nella Tab.11.3II del §11 delle NTC2088 dove il calcolo del carbonio equivalente  $C_{eq}$  è effettuato con la seguente formula:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

In cui i simboli chimici denotano il contenuto degli elementi stessi espresso in percentuale.

Tabella 11.3.II – Massimo contenuto di elementi chimici in %

		Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0,24	0,22
Fosforo	P	0,055	0,050
Zolfo	S	0,055	0,050
Rame	Cu	0,85	0,80
Azoto	N	0,014	0,012
Carbonio equivalente	$C_{eq}$	0,52	0,50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0,03% in massa, a patto che il valore del  $C_{eq}$  venga ridotto dello 0,02% in massa. Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

#### 4.3.2 Classe di esecuzione

Per l'acciaio da carpenterie è necessario identificare la classe di esecuzione come prescritto dalla UNI-EN 1090-2 del 2011 in base ai seguenti parametri:

- 1) **Classe di conseguenza (CC)**
- 2) **Classe di servizio (SC)**
- 3) **Classe di produzione (PC)**

L'allegato B della EN 1990:2002 fornisce una guida semplificata per la determinazione della **classe di conseguenza**. Le classi sono divise in 3 livelli:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 23 di 135</p>
--	---

Classe	Danno	Esempio di edifici ed opere di ingegneria civile
<b>CC3</b>	Danni elevati per perdita di vite umane, o conseguenze economiche, sociali e ambientali molto gravi	Tribune, edifici pubblici ove le conseguenze di un crollo sono molto gravi (ad es. sala da concerto)
<b>CC2</b>	Danni medi per perdita di vite umane, o conseguenze economiche, sociali e ambientali considerevoli	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici dove i danni per crollo sono medi (es. edificio per uffici)
<b>CC1</b>	Danni bassi per perdita di vite umane o conseguenze economiche, sociali e ambientali trascurabili	Edifici agricoli dove le persone normalmente non entrano (es. magazzini, serre...)

Per le **categorie di servizio** si fa riferimento al prospetto B1 dell'Allegato B delle UNI EN 1090.

#### Criteri suggeriti per le categorie di servizi

Categorie	Criteri
SC1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strutture e componenti progettate solo per azioni quasi statiche (Esempio: Edifici)</li> <li>- Strutture e componenti con connessioni progettate per azioni sismiche nelle regioni con bassa attività sismica e in DCL *</li> <li>- Strutture e componenti progettate per le azioni a fatica degli apparecchi di sollevamento (classe <math>S_0</math>)**</li> </ul>
SC2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strutture e componenti progettate per le azioni fatica secondo la EN 1993. [Esempi: Ponti stradali e ferroviari, gru (classe da <math>S_1</math> a <math>S_9</math>)**, strutture suscettibili alle vibrazioni indotte dal vento, dalla folla o dalla rotazione di macchine].</li> <li>- Strutture e componenti con connessioni progettate per azioni sismiche nelle regioni con media o alta attività sismica ed in DCM* e DCH*</li> </ul>

\* DCL, DCM, DCH: classi di duttilità secondo la EN 1998-1.  
\*\* Per la classificazione delle azioni a fatica degli apparecchi di sollevamento, vedere EN 1991-3 e EN 13001-1.

Per la determinazione della **classe di produzione** si fa riferimento al prospetto B2 della UNI EN 1090-2:2011

#### Criteri suggeriti per le categorie di produzione

Categorie	Criteri
PC1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Componenti non saldati realizzati da prodotti di qualsiasi classe di acciaio</li> <li>- Componenti saldati realizzati da prodotti di acciaio di classe minore a S355</li> </ul>
PC2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Componenti saldati realizzati da prodotti di acciaio di classe S355 e maggiore</li> <li>- Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati mediante saldatura in cantiere</li> <li>- Componenti prodotti mediante formatura a caldo o che ricevono un trattamento termico durante la fabbricazione</li> <li>- Componenti di tralicci CHS che richiedono taglio finale del profilo</li> </ul>

Utilizzando la tabella B.3 della norma EN 1090-2:2011 si determina in fine la **classe di esecuzione**

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b> <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 24 di 135</p>
--	---

Matrice raccomandata per la determinazione delle classi di esecuzione

Classi di importanza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a)</sup>	EXC3 <sup>a)</sup>
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a)</sup>	EXC4
a) EXC4 dovrebbe essere applicato a strutture speciali o strutture con conseguenze estreme di cedimento strutturale, come richiesti dalle disposizioni nazionali.							

La classe di esecuzione determina i requisiti per le varie attività di esecuzione riportate nella EN 1090-2. I requisiti sono riassunti nell'appendice A.3

prospetto A.3 **Requisiti di ogni classe di esecuzione**

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4 - Specifiche e documentazione				
4.2 Documentazione del costruttore				
4.2.1 - Documentazione della qualità	Nr (nessuna prescrizione)	Si	Si	Si
5 - Prodotti costituenti				
5.2 Identificazione, documenti di controllo e tracciabilità				
Documenti di controllo	Vedere prospetto 1	Vedere prospetto 1	Vedere prospetto 1	Vedere prospetto 1
Tracciabilità	Nr (nessuna prescrizione)	Si (parziale)	Si (completa)	Si (completa)
Marcatore	Nr	Si	Si	Si
5.3 Prodotti Strutturali di acciaio				
5.3.2 Tolleranze di spessore	Classe A	Classe A	Classe A	Classe B
5.3.3 Finiture superficiali	Larghi - Classe A2 Lunghi - Classe C1	Larghi - Classe A2 Lunghi - Classe C1	Condizioni più stringenti se specificate	Condizioni più stringenti se specificate
5.3.4 Proprietà particolari	Nr	Nr	Discontinuità interne di classe di qualità S1 per giunti a croce saldati	Discontinuità interne di classe di qualità S1 per giunti a croce saldati
6 - Preparazione ed assemblaggio				
6.2 Identificazione	Nr	Nr	Elementi finiti/ Certificati di controllo	Elementi finiti/ Certificati di controllo
6.4 Taglio				
6.4.3 Taglio termico	Privo di irregolarità significative durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10	EN ISO 9013 u = range 4 Rz5 = range 4  Durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10	EN ISO 9013 u = range 4 Rz5 = range 4  Durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10	EN ISO 9013 u = range 3 Rz5 = range 3  Durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10
6.5 Formatura				
6.5.3 Raddrizzatura a fiamma	Nr	Nr	Deve essere sviluppata idonea procedura	Deve essere sviluppata idonea procedura
6.6 Foratura				
6.6.3 Esecuzione dei fori	Punzonamento	Punzonamento	Punzonamento + alesatura	Punzonamento + alesatura
6.7 Fresature	Nr	Raggio minimo 5 mm	Raggio minimo 5 mm	Raggio minimo 10 mm Punzonamento non permesso
6.9 Assemblaggio	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 1	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 1	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 2	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 2
7 - Saldature				
7.1 Generalità	EN ISO 3834-4	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-2

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b>  <b>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D          Data: Maggio 2023          Pag. 25 di 135</p>
--	---

prospetto A.3 **Requisiti di ogni classe di esecuzione (Continua)**

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
<b>7.4 Qualifica delle procedure di saldatura e del personale che esegue la saldatura</b>				
7.4.1 Qualifica delle procedure di saldatura	Nr	Vedere prospetti 12 e 13	Vedere prospetti 12 e 13	Vedere prospetti 12 e 13
7.4.2 Qualifica dei saldatori e degli operatori	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418
7.4.3 Coordinamento di saldatura	Nr	Conoscenze tecniche, secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche, secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche, secondo i prospetti 14 o 15
7.5.1 Preparazione del giunto	Nr	Nr	Non è ammessa la prefabbricazione dei primers	Non è ammessa la prefabbricazione dei primers
7.5.6 Attacchi temporanei	Nr	Nr	L'utilizzo deve essere specificato.  Fresatura e bulinatura non sono ammesse	L'utilizzo deve essere specificato.  Fresatura e bulinatura non sono ammesse
7.5.7 Punti di saldatura	Nr	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata
7.5.9 Saldatura di testa	Nr	Pezzi di flusso e riflusso se specificato	Pezzi di flusso e riflusso	Pezzi di flusso e riflusso
7.5.9.1 Generalità				
7.5.9.2 Saldature su un solo lato			Sostegno permanente continuo	Sostegno permanente continuo
7.5.17 Esecuzione di saldatura			Rimozione degli spruzzi	Rimozione degli spruzzi
7.6 Criteri di accettazione	EN ISO 5817 Qualità livello D 	EN ISO 5817 Generalmente qualità livello C	EN ISO 5817 Qualità livello B	EN ISO 5817 Qualità livello B +
<b>9 - Montaggio</b>				
<b>9.6 Montaggio e lavoro in cantiere</b>				
9.6.3 Movimentazione e stoccaggio in cantiere	Nr	Procedura normalizzata documentata	Procedura normalizzata documentata	Procedura normalizzata documentata
9.6.5.3 Incastro ed allineamento	Nr	Nr	Spessori fissati mediante saldatura soggetta ai requisiti del punto 7	Spessori fissati mediante saldatura soggetta ai requisiti del punto 7
<b>12 - Ispezione, prova e correzione</b>				
<b>12.4.2 Controllo dopo la saldatura</b>				
12.4.2.2 Scopo dei controlli	Controllo visivo	CND: Vedere prospetto 24	CND: Vedere prospetto 24	CND: Vedere prospetto 24
12.4.2.5 Correzione delle saldature	Non sono richiesti WPQ	Secondo WPQ	Secondo WPQ	Secondo WPQ
12.4.4 Prove di produzione	Nr	Nr	Se specificate	Se specificate
12.5.2 Controllo di collegamenti bullonati precaricati	Nr	Come segue	Come segue	Come segue

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSIATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 26 di 135</p>
---	---

prospetto A.3 **Requisiti di ogni classe di esecuzione (Continua)**

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
12.5.2.2 Prima del serraggio		Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio
12.5.2.3 Durante e dopo il serraggio		2° step di serraggio Sequenziale di tipo A	1° step di serraggio 2° step di serraggio Sequenziale di tipo A	1° step di <del>A</del> serraggio <del>A</del> 2° step di serraggio Sequenziale di tipo B
12.5.2.4 Metodo di coppia		Localizzazione del lotto di assemblaggio  2° step di serraggio	Localizzazione del lotto di assemblaggio Controllo della procedura di serraggio (ogni lotto di bulloni) 2° step di serraggio	Localizzazione del lotto di assemblaggio Controllo della procedura di serraggio (ogni lotto di bulloni) 2° step di serraggio
12.5.2.5 Metodo combinato		Controllo della marcatura  2° step di serraggio	1° step di serraggio Controllo della marcatura  2° step di serraggio	1° step di serraggio Controllo della marcatura  2° step di serraggio
12.5.3.1 Ispezione, collaudo e riparazioni di rivetti a caldo	Nr	Prova ring sequenziale di tipo A	Prova ring sequenziale di tipo A	Prova ring sequenziale di tipo B
12.7.3.1 Indagine della posizione geometrica dei nodi di connessione	Nr	Nr	Registrazioni delle indagini	Registrazioni delle indagini

#### 4.3.3 Caratteristiche meccaniche e di calcolo

##### **Acciaio per carpenterie metalliche - DM 17.01.2018**

###### **Dati**

Classe di resistenza	<b>S275</b>	<i>Tipo di acciaio per carpenteria</i>
$t_{max}$	30 mm	<i>Spessore massimo dei piatti &lt;&gt; 40 mm</i>
$\rho$	7850 daN/m <sup>3</sup>	<i>Peso specifico</i>
E	210000 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo di elasticità normale</i>
G	80000 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo di elasticità tangenziale</i>
$\gamma_{M0}$	1.05	<i>Resistenza delle sezioni 1,2,3,4</i>
$\gamma_{M1}$	1.05	<i>Resistenza all'instabilità delle membrane</i>
$\gamma_{M2}$	1.25	<i>Resistenza per frattura delle sezioni tese</i>
$\epsilon_{su}$	1.000%	<i>Allungamento per snervamento</i>
$\nu$	0.3	<i>Coefficiente di Poisson</i>
$\alpha$	00000012 °C <sup>-1</sup>	<i>Coeff. Di espansione</i>

###### **Risultati**

$f_{yk}$	275.0 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica di snervamento a trazione</i>
$f_{tk}$	430.0 N/mm <sup>2</sup>	<i>Resistenza caratteristica di rottura a trazione</i>

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 27 di 135</p>
--	---

#### 4.3.4 Classe di resistenza

La classe di resistenza adottata è K2 o J2 a temperature di servizio, largamente cautelative,  $T_{Ed} = -20^{\circ}\text{C}$  (si veda nel seguito la valutazione della temperatura minima secondo [2]), lo spessore massimo e la tensione massima corrispondente in combinazione frequente sono date dal prospetto 2.1 di UNI EN 1993-1-10:2005.

prospetto 2.1 Massimi valori ammissibili dello spessore dell'elemento  $t$  in millimetri

Classe di acciaio	Sotto-classe	Energia della prova di Charpy KV alla temperatura $T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] $J_{min}$	Temperatura di riferimento $T_{Ed}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]																					
			$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$						$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$						$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$									
			10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
S355	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
	JR	20	27	40	35	25	20	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45	
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
S420	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
S690	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75
S690	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100

Tabella 1: spessore in funzione dei requisiti di resilienza

In base ai requisiti richiesti di resilienza si contiene lo spessore delle lamiere ai valori indicati in rosso per i materiali di progetto, potendo così non limitare le tensioni massime in termini di resistenza; la limitazione sulla tensione nominale di esercizio è compensata, infatti, dal fattore di combinazione per i carichi ultimi che è mediamente 1.35 ( $1/1.35=0.74 < 0.75$ ).  
Mantenendo gli spessori massimi impiegati entro i valori indicati non occorre penalizzare la resistenza.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 28 di 135</p>
---	---

#### 4.4 Acciai per collegamenti

##### 4.4.1 Caratteristiche bulloni per unioni

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'non precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 15048-1. In alternativa anche gli assiemi ad alta resistenza conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 sono idonei per l'uso in giunzioni non precaricate.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIII.a.

Tab. 11.3.XIII.b

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

Le tensioni di snervamento  $f_{yb}$  e di rottura  $f_{tb}$  delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente Tab. 11.3.XIII.a sono riportate nella seguente Tab. 11.3.XIII.b:

Tab. 11.3.XIV

Sistema	Viti		Dadi		Rondelle	
	Classe di resistenza	Riferimento	Classe di resistenza	Riferimento	Durezza	Riferimento
HR	8.8	UNI EN 14399-1	8	UNI EN 14399-3	300-370 HV	UNI EN 14399 parti 5 e 6
	10.9	UNI EN 14399-3	10	UNI EN 14399-3		
HV	10.9	UNI EN 14399-4	10	UNI EN 14399-4		

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'Precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1. Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIV.

È prescritto solo l'uso di bulloni a serraggio controllato.

Le superfici di unione ad attrito devono essere preparate mediante sabbiatura a metallo bianco e opportunamente protette nei riguardi dell'ossidazione.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Opere di sostegno - Relazione di calcolo</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 29 di 135</p>
---	---

## 4.5 Durabilità dei Nuovi materiali Impiegati

### 4.5.1 Normativa di riferimento

Le caratteristiche di durabilità dei calcestruzzi da impiegare nelle opere di progetto sono valutate secondo la Norma Nazionale UNI 9858 e la Normativa Europea ENV 206 secondo quanto stabilito dal D.M. 17.01.2018

### 4.5.2 Classificazione ambientale

Le opere in oggetto verranno realizzate in zona urbanizzata; esse in parte sono interrato. Secondo le indicazioni contenute nella UNI EN 206, sono classificabili in ambiente XC2 (fondazioni).

prospetto FI Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																		
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione indotta da carbonatazione				Corrosione indotta da cloruri						Attacco da gelo/dsgelo				Ambienti chimici aggressivi			
						Acqua di mare			Cloruri diversi dall'acqua di mare										
XD	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1				XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	
Massimo w/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento <sup>a)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 <sup>b)</sup>	4,0 <sup>b)</sup>	4,0 <sup>b)</sup>	-	-	-	
Altri requisiti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Aggregati in conformità alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/dsgelo				-	Cemento resistente ai solfati <sup>c)</sup>		

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, si dovrebbe sottoporre a prova la prestazione del calcestruzzo secondo un metodo di prova appropriato rispetto a un calcestruzzo di cui è stata dimostrata la resistenza al gelo/dsgelo per la classe di esposizione pertinente.  
b) Quando i solfati nell'ambiente comportano classi di esposizione XA2 o XA3, è essenziale utilizzare cemento resistente ai solfati conforme alla EN 197-1 o alle norme nazionali complementari.  
c) Quando si applica il concetto del valore  $w/c$  e il rapporto massimo  $w/c$  e il contenuto minimo di cemento si modificano in conformità al punto 5.2.5.2.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 30 di 135</p>
--	---

## 5 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Per gli aspetti geotecnici generali delle aree entro cui ricadono le opere si rimanda alla Relazione Geotecnica (rif.: T00\_GE00\_GET\_RE01).

Complessivamente le indagini hanno mostrato in copertura terreno vegetale di spessore variabile e, solo localmente, terreno di riporto. Al di sotto delle coperture, a circa -2.0 m da piano campagna (testa sondaggio S1CDH) sono presenti delle sabbie con limo debolmente argillose a cui fa seguito, fino ad una profondità media di circa 24.0 m, una ghiaia con sabbia debolmente limosa fino a fondo foro del sondaggio in cui è stata riscontrata sabbia limosa. Una parte significativa al di fuori del piano di posa delle fondazioni del viadotto di progetto, presenta, ad una quota di circa -5.0 m da boccaforo del sondaggio S3CPz fino a fondo foro, un substrato litoide metamorfico costituito da Scisti di Edolo.

Le indagini di riferimento sono: S1CDH, S2DPZ, S2 2021, SCPT1, SCPT2, DPSH, PP e MASW.

Sulla base dei risultati delle indagini sono stati definiti gli intervalli dei valori dei parametri fisici e meccanici utilizzati per le analisi numeriche illustrate nell'apposita relazione.

Tale modello è costituito dalle unità geotecniche le cui proprietà vengono riassunte nella successiva tabella.

Unità	Z (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$E'$ (MPa)
TERRENO A	-2.0	19÷20	0÷10	25÷30	8÷15
TERRENO B	-17.0	19÷20	0	28÷35	15÷25
TERRENO C	-	19÷20	0÷15	25÷32	20÷25
TERRENO D	-	29	-	-	-

Tabella 2: Modello geotecnico

La profondità di falda dal piano campagna viene considerata, a favore di sicurezza, alla quota di  $z_w = -2.20$  m.

Per i dettagli relativi alla descrizione dei terreni ed ai dettagli delle sezioni geologiche si rimanda agli elaborati grafici ed alle relazioni tecniche specifiche.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 31 di 135</p>
---	---

## 6 RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Le verifiche statiche e sismiche sono state condotte conformemente al Nuovo Testo Unico sulle Costruzioni **D.M. 17.01.2018** e successive circolari ed integrazioni secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite.

Il Comune di Castione Andevenno (SO) è stato posto in zona di **3° categoria** dalla nuova mappa sismica riportata all'Allegato A del OPCM3274/2003.

Le verifiche sismiche sono state condotte con analisi dinamica. I parametri necessari alla definizione degli spettri di progetto, così come prescritto dalle NTC 2018, sono stabiliti dal progettista di concerto con la committenza. Nello specifico, data la natura strategica della costruzione, si considera una vita nominale  **$V_N = 100$**  anni ed una classe d'uso **IV**.

Ne deriva un tempo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica pari a  **$V_R = 200$**  anni.

Le azioni orizzontali e verticali dovute al sisma vengono calcolate con spettro di risposta come definito al cap.3 del D.M. 17.01.2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  **$a_g$**  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 del DM2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  **$S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  **$P_{VR}$**  come definite nel § 3.2.1 (DM2018), nel periodo di riferimento  **$V_R$** , come definito nel § 2.4 (DM2018). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  **$P_{VR}$**  nel periodo di riferimento  **$V_R$** , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$**  accelerazione orizzontale massima al sito
- $F_0$**  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*_c$**  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Per i valori di  **$a_g$** ,  **$F_0$**  e  **$T^*_c$** , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

ANAS S.p.A.  
S.S. 38 "DELLO STELVIO"  
LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI  
SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA  
PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO

P00\_OS00\_STR\_RE01\_D  
Data: Maggio 2023  
Pag. 32 di 135

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**  
**Opere di sostegno - Relazione di calcolo**



Fig. 6.1 - Vista aerea attuale località Sassella – Castione Andevenno (SO)

**Coordinate geografiche (sistema WG84) di localizzazione**

**Latitudine Nord = 46.162361°**

**Longitudine Est = 9.833459°**

**Stati limite analizzati**

<b>SLC</b>	<b>Stato limite ultimo di prevenzione del collasso (SLC)</b>
<b>SLV</b>	<b>Stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)</b>
<b>SLD</b>	<b>Stato limite di esercizio di danno (SLD)</b>
<b>SLO</b>	<b>Stato limite di esercizio di operatività (SLO)</b>

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 33 di 135</p>
--	---

### 6.1.1 Vita nominale di progetto

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab.2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a  $P_N$ , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a  $P_N$  e comunque non inferiore a 5 anni.

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

### 6.1.2 Classi d'uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 34 di 135</p>
---	---

comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II - Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

### 6.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

### 6.1.4 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

#### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 (DM2018). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 (DM2018).

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove ovvero, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N$  numero di strati;

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIQ"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 35 di 135</p>
--	---

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

#### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab.3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 36 di 135</p>
--	---

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

#### 6.1.5 Criteri di progetto generali

I muri di sostegno prefabbricati hanno presentano un ottimo comportamento nei confronti del sisma per i seguenti motivi:

- a. La fondazione è massiccia, sempre gettata contro terra e quindi senza che si formino vuoti laterali; nelle fondazioni dei muri usuali con pareti casserate, i rinfianchi vuoti dopo il disarmo sono riempiti di materiale sciolto che, nell'alternarsi di sforzi di compressione e decompressione generati dal sisma, tende a compattarsi permettendo il movimento del muro;
- b. La fondazione non può ribaltare, perché la sua facciata superiore è vincolata a una larga platea il cui punto più interno, restando fisso, le impedisce di ruotare. Pertanto cresce la capacità portante del terreno sotto la fondazione perché, per raggiungere il collasso, occorre superare la pressione unitaria limite non solo sul bordo esterno ma anche sul bordo interno. Il calcolo della capacità portante non tiene conto di questo meccanismo favorevole;
- c. La spinta della terra sulla fondazione usufruisce di una forte riduzione, in quanto il cuneo di terra spingente su essa non è sovraccaricato; appena il cuneo spingente inizia a scendere sotto l'azione del proprio peso e del sisma, il sovraccarico su di esso si azzerà perché è portato dalla platea.

#### 6.1.6 Parametri caratteristici per la determinazione dello spettro sismico elastico

<u>Parametri caratteristici per la determinazione dello spettro sismico elastico</u>	
<b>V<sub>N</sub> = 100</b>	Vita nominale dell'opera come definito in tab. 2.4.I
<b>Classe = IV</b>	Classe d'uso
<b>C<sub>U</sub> = 2.0</b>	Coeff. d'uso come definito nella tab. 2.4.II
<b>Cat. = C</b>	Categoria del sottosuolo
<b>Cat. = T1</b>	Categoria topografica
<b>V<sub>R</sub> = V<sub>N</sub>C<sub>U</sub> = 100 x 2.0 = 200</b>	Periodo di riferimento

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

L'analisi sismica viene svolta in campo elastico lineare adottando un fattore di struttura unitario (analisi non dissipativa – q=1.0). I parametri sismici per i periodi T<sub>R</sub> associati a ciascuno Stato Limite risultano pari a:

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b>  LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D  Data: Maggio 2023  Pag. 37 di 135</p>
---	---

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup> [s]
Operatività (SLO)	120	0.046	2.548	0.230
Danno (SLD)	201	0.057	2.547	0.249
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.127	2.580	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.138	2.592	0.284
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			
 Cat. Sottosuolo	C			
 Cat. Topografica	T1			
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
CC Coeff. funz categoria	1,70	1,66	1,59	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

### 6.1.7 Stati limite e relative probabilità di superamento

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 38 di 135</p>
---	---

gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Stati limite analizzati	
<b>SLC</b>	<b>Stato limite ultimo di prevenzione del collasso (SLC)</b>
<b>SLV</b>	<b>Stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)</b>
<b>SLD</b>	<b>Stato limite di esercizio di danno (SLD)</b>
<b>SLO</b>	<b>Stato limite di esercizio di operatività (SLO)</b>

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere. Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  si ricava il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{VR})$$

### 6.1.8 Valutazione dell'azione sismica

#### 6.1.8.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  (vedi § 2.4 e § 3.2.1 del DM2018).

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante storie temporali del moto del terreno.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle espressioni seguenti:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 39 di 135</p>
---	---

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Nelle quali:

T è il periodo proprio di vibrazione;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T \quad [3.2.3]$$

essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.IV) e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.V);

$\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55, \quad [3.2.4]$$

dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base dei materiali, della tipologia strutturale e del terreno di fondazione;

$F_o$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato dalla relazione

$$T_C = C_C \cdot T_C^*, \quad [3.2.5]$$

dove:

$T_C^*$  è definito al § 3.2 del DM2018 e  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.IV);

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, dato dalla relazione

$$T_B = T_C / 3 \quad [3.2.6]$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad [3.2.7]$$

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 40 di 135</p>
---	---

conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove. In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nel § 3.2.2 del DM2018, la forma spettrale su sottosuolo di categoria **A** è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico  $S_s$ , il coefficiente topografico

$S_T$  e il coefficiente  $C_c$  che modifica il valore del periodo  $T_c$ .

### Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $T_c^*$  è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV - Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

### Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 del DM2018 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove  $S_T$  assume il valore massimo riportato nella Tab.3.2.V, fino alla base, dove  $S_T$  assume valore unitario. Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico,  $S_{ve}$ , è definito dalle espressioni:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 41 di 135</p>
---	---

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Nelle quali:

T è il periodo proprio di vibrazione (in direzione verticale);

F<sub>v</sub> è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a<sub>g</sub> su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad [3.2.9]$$

I valori di a<sub>g</sub>, F<sub>0</sub>, S, η sono definiti nel § 3.2.3.2.1 del DM2018 per le componenti orizzontali del moto sismico; i valori di S<sub>s</sub>, T<sub>B</sub>, T<sub>C</sub> e T<sub>D</sub>, salvo più accurate determinazioni, sono riportati nella Tab.3.2.VI.

**Tab. 3.2.VI - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale**

Categoria di sottosuolo	S <sub>s</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S<sub>T</sub> riportati in Tab.3.2.V.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 42 di 135</p>
--	---

## 7 ANALISI DEI CARICHI

Il ponte e le relative opere di sostegno sono realizzati nella zona urbana della Provincia di Sondrio. Le azioni sismiche di ogni singola opera d'arte vengo ricavate per mezzo del posizionamento (latitudine, longitudine) e del periodo di riferimento  $V_R$  interpolando i valori di  $F_0$ ,  $a_g$ ,  $T^*_c$  riportati nella tab.1 allegata alle NTC.

Le azioni statiche del vento e neve, nonché le azioni sui ponti e le spinte delle terre vengono ricavate conformemente a quanto riportato nel D.M. 17.01.2018 e per quanto non in contrasto secondo le EN 1990, EN 1991, EN 1993 e EN 1994.

### 7.1 Pesì propri

Le strutture verranno dimensionate adottando per i pesi propri i seguenti pesi specifici:

$\gamma_{c.a.}$	= 25.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico calcestruzzo armato e precompresso
$\gamma_{cls}$	= 24.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico calcestruzzo ordinario
$\gamma_{acciaio}$	= 78.50 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico acciaio
$\gamma_{bitume}$	= 22.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico conglomerato bituminoso
$\gamma_{mat,arido}$	= 18.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico materiale arido da riempimento (A1)

Il peso proprio della struttura analizzata è funzione della sua geometria e del peso di volume del materiale. Esso viene applicato in automatico dal programma di calcolo agli elementi del modello in funzione della loro sezione.

### 7.2 Carico permanente

Per le finiture stradali si considera:

- Finiture (pacchetti stradali, massetti);
- Cordolo laterale in c.a.;
- Barriera laterale di sicurezza.

Il pacchetto di copertura, comprensivo della pavimentazione stradale, è variabile da un minimo di 10 cm ad un massimo di 15 cm. Sarà considerato a favore di sicurezza uno spessore di 15 cm con un peso di volume di 22.0 kN/m<sup>3</sup>:

$$G_{2,pavimentazione} = 22 \text{ kN/m}^3 \times 0.15 \text{ m} = 3.30 \text{ kN/m}^2$$

Il cordolo ha altezza variabile da un minimo di 45 cm ad un massimo di 50 cm.

Sarà considerato pertanto a favore di sicurezza uno spessore di 20 cm (50 cm – 30cm) con un peso di volume di 25.0 kN/m<sup>3</sup> sulle parti laterali dell'impacato:

$$G_{2, cordolo} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.20 \text{ m} = 5.0 \text{ kN/m}^2$$

Sul cordolo sarà installata la barriera di sicurezza metallica H3BP con peso al metro:

$$q_{2,barr} = 1.50 \text{ kN/m}$$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 43 di 135</p>
---	---

### 7.3 Azioni variabili da traffico: $q_1$

Per l'applicazione dei carichi stradali verticali è necessario definire le corsie convenzionali di carico secondo le indicazioni della normativa vigente, sulle quali andranno poi applicati gli schemi di carico. Le larghezze  $w_i$  delle corsie convenzionali su una carreggiata ed il massimo numero (intero) possibile di tali corsie su di essa sono indicati nella figura 5.1.1 e nella tabella 5.1.1 delle Norme tecniche. Se non diversamente specificato, qualora la carreggiata di un impalcato da ponte sia divisa in due parti separate da una zona spartitraffico centrale, si distinguono i casi seguenti:

- se le parti sono separate da una barriera di sicurezza fissa, ciascuna parte, incluse tutte le corsie di emergenza e le banchine, è autonomamente divisa in corsie convenzionali.
- se le parti sono separate da barriere di sicurezza mobili o da altro dispositivo di ritenuta, l'intera carreggiata, inclusa la zona spartitraffico centrale, è divisa in corsie convenzionali.

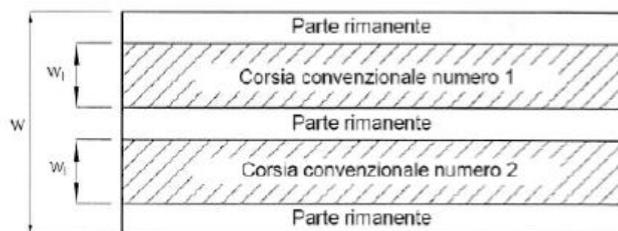


Fig. 7.1 - Esempio di numerazione delle corsie

Larghezza di carreggiata "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_1 = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_1 = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_1 = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_1)$

Fig. 7.2 - Numero e larghezza delle corsie

Nel caso specifico si adottano i seguenti parametri di verifica.

<b>Caratteristiche</b>	
Larghezza carreggiata (w)	10.50 m
Numero corsie convenzionali (n)	$\text{Int}(w/3) = \text{Int}(10.50 \text{ m} / 3) = 3$
Larghezza zona rimanente	$w - (3 \times n) = 10.50 \text{ m} - (3 \times 3) = 1.50 \text{ m}$
Carico permanente pacchetto stradale	$0.15 \text{ (sp.medio)} \times 22.0 \text{ kN/m}^3 = 3.30 \text{ kN/m}^2$

Il modello di carico è definito per mezzo dello *Schema di Carico 1*: carichi concentrati  $Q_{1k}$  e carichi uniformemente ripartiti  $q_{1k}$  come mostrato nella figura seguente.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 44 di 135</p>
---	---

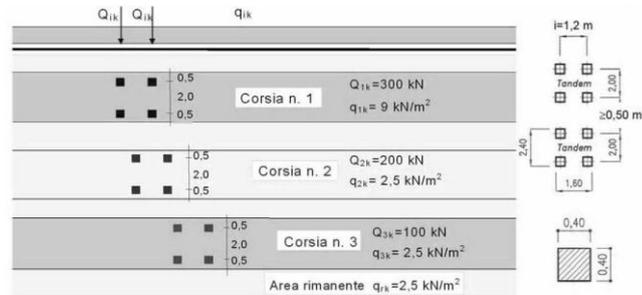


Fig. 7.3 – Schema carico 1

I carico mobile  $Q_{ik}$  individuato viene disposto sull'impalcato secondo le linee di influenza che massimizzano il parametro di sollecitazione di volta in volta considerato: si considerano applicati una volta in mezzeria per massimizzare il momento flettente in campata, e una volta all'appoggio per massimizzare il taglio e il momento all'incastro.

Per le verifiche locali si utilizzerà lo Schema di carico 2 in cui si considerano le impronte di carico diffuse a 45° fino all'asse della soletta ripartendosi trasversalmente su un tratto di larghezza maggiore.

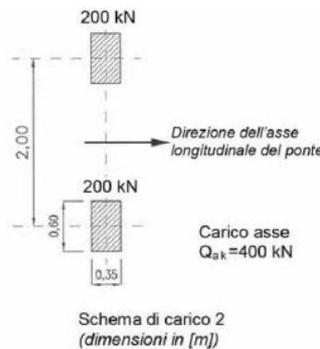


Fig. 7.4 – Schema carico 2

In entrambi gli schemi, i valori delle azioni includono gli effetti dinamici.

Si riporta di seguito la disposizione dei carichi stradali applicati sulla copertura secondo lo schema di carico 1 indicato al paragrafo 5.1.3.5 delle NTC2018 assumendo tre corsie convenzionali a cui si aggiunge una parte rimanente.

#### 7.4 Azione da frenamento o di accelerazione: $Q_3$

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata.

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b>  <b>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D  Data: Maggio 2023  Pag. 45 di 135</p>
--	---

La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione; è inclusa automaticamente nel carico mobile generato dal software di calcolo.

## 7.5 Azione di neve e vento

### 7.5.1 Carico da neve

Per le coperture non praticabili, si considera il carico relativo alla neve come da Normativa (DM 17.01.2018). Il carico provocato dalla presenza della neve agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

●	<p><b>Zona I - Alpina</b>  Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.</p>	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<p><b>Zona I - Mediterranea</b>  Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.</p>	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<p><b>Zona II</b>  Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.</p>	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<p><b>Zona III</b>  Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.</p>	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$

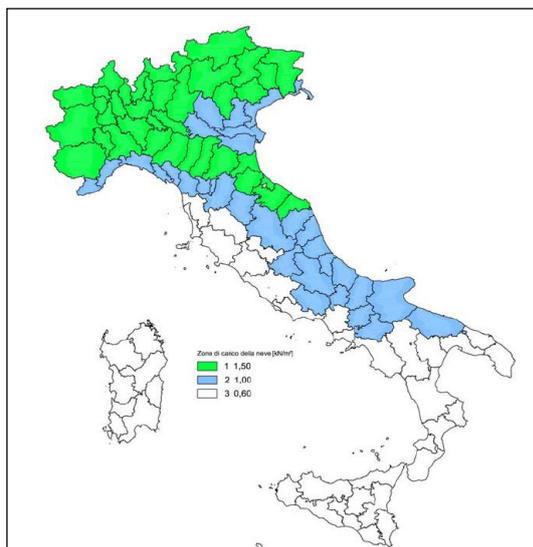
$q_s$ (carico neve sulla copertura [N/mq]) = $\mu_i q_{sk} C_E C_t$ $\mu_i$ (coefficiente di forma) $q_{sk}$ (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq]) $C_E$ (coefficiente di esposizione) $C_t$ (coefficiente termico)
---

#### Valore caratteristico della neve al suolo

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	280
$q_{sk}$ (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1,60

#### Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **Ct = 1**.



#### Coefficiente di esposizione

Topografia	Descrizione	$C_E$
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 46 di 135</p>
--	---

**Valore del carico della neve al suolo**

$q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T$ (carico al suolo [kN/mq])	1,60
--	------

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 47 di 135</p>
--	---

## 7.6 Azioni urto di veicoli in svio: $q_8$

Secondo quanto riportato nel §3.6.3.3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018:

"In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN. Essa deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo. Questa forza deve essere applicata su una linea lunga 0,5 m." Tale forza orizzontale, come indicato al §5.1.3.10, deve essere associata al carico verticale del secondo schema di carico:

"L'altezza dei parapetti non può essere inferiore a 1.10 m. [...] Nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera stessa e disposto nella posizione più gravosa.

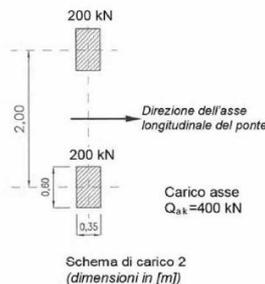


Fig. 7.5 – Schema di carico 2

La barriera sarà ancorata su un cordolo in c.a. di larghezza cm collegato a sua volta alla soletta in c.a. dell'impalcato e sarà verificata per un'un'azione orizzontale ripartita su un modulo con sistema di forze orizzontali valutato sulla base delle risultanze sperimentali ottenute nel corso di prove d'urto al vero, su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, mediante l'utilizzo di strumentazione idonea a registrare l'evoluzione degli effetti dinamici." Le linee guida ANAS per la progettazione di ponti e viadotti stradali a travata, evidenziano come la forza definita debba essere ripartita su 4 montanti considerando un interasse fra gli stessi di 1,25 m.

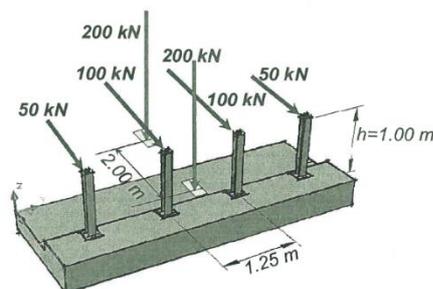


Fig. 7.6 – Sistema di forze equivalenti per condizioni di progetto ordinarie

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b></p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D  Data: Maggio 2023  Pag. 48 di 135</p>
---	---

Lo schema risulta idoneo a rappresentare le azioni equivalenti alla forza di collisione, riferite a condizioni ordinarie delle strade e delle barriere, con particolare riferimento alle connessioni fra queste e la struttura.

### 7.7 Forze d'inerzia sismiche: E

Per la definizione di coordinate, parametri sismici e periodi di riferimento per le azioni sismiche si rimanda al §6. Sulla base di quanto prescritto al §7.3.1 del DM 17/01/2018 circa il fattore di comportamento utilizzabile per la tipologia in oggetto, si assume per tutte le componenti del viadotto **q=1.0**.

Ponti (§ 7.9.2.1)		
<b>Pile in calcestruzzo armato</b>		
Pile verticali inflesse	3,5 λ	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,1 λ	1,2
<b>Pile in acciaio:</b>		
Pile verticali inflesse	3,5	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,0	1,2
Pile con controventi concentrici	2,5	1,5
Pile con controventi eccentrici	3,5	-
<b>Spalle</b>		
In genere	1,5	1,5
Se si muovono col terreno	1,0	1,0

Nelle figure che seguono si riportano gli spettri elastici sia SLV ed SLC (quest'ultimo utilizzato nel dimensionamento degli appoggi e dispositivi sismici).

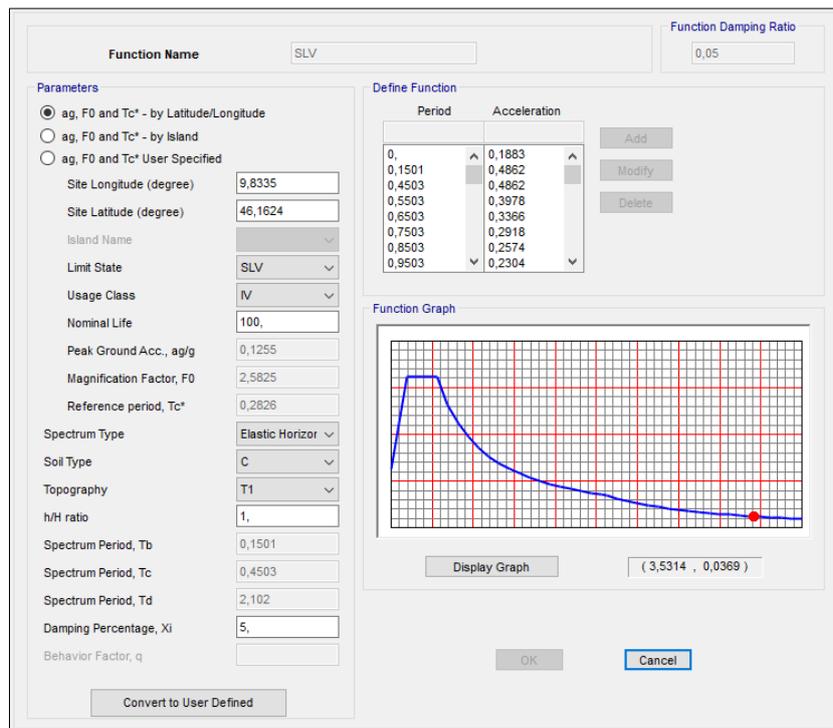


Fig. 7.7 – Spettro elastico orizzontale SLV

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**  
**Opere di sostegno - Relazione di calcolo**

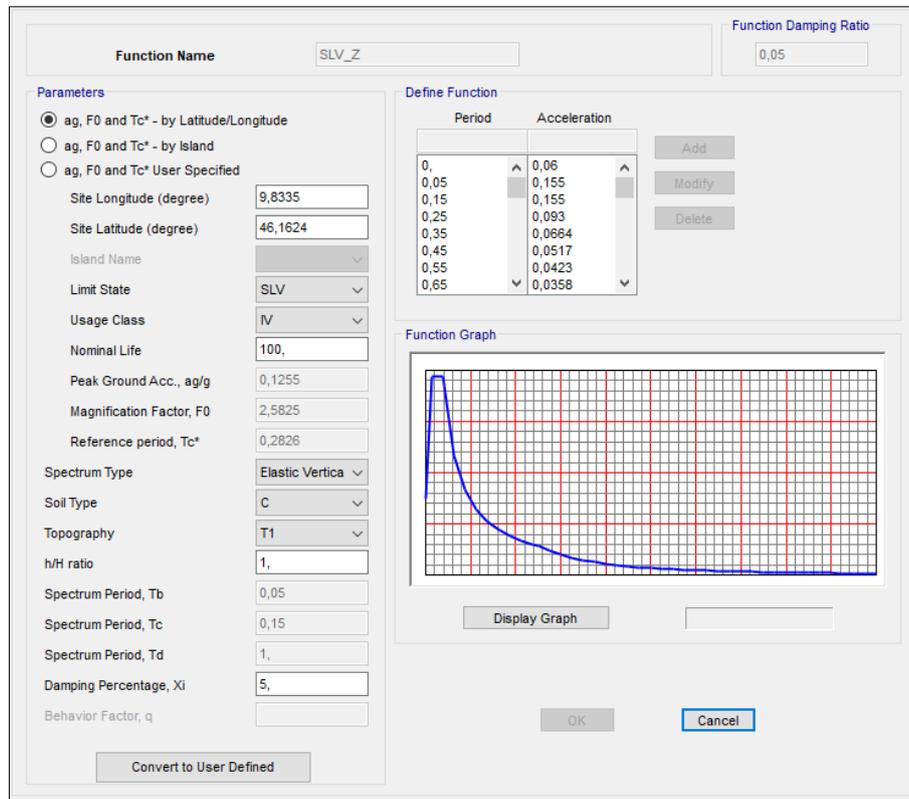


Fig. 7.8 – Spettro elastico verticale SLV

A meno di specifiche analisi dinamiche, l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i metodi pseudo-statici e i metodi degli spostamenti. Se la struttura può spostarsi, l'analisi pseudo-statica si esegue mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto.

Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 50 di 135</p>
---	---

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.7]$$

dove

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.8]$$

dove

$S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD)

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

I valori del coefficiente  $\beta_m$  possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma seguente.

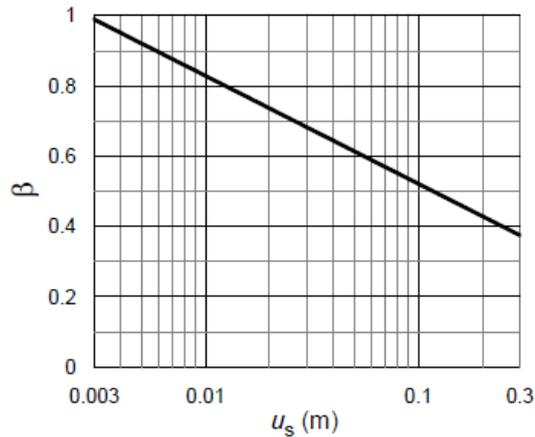


Fig. 7.9 Diagramma per la valutazione dello spostamento  $\beta$

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 51 di 135</p>
--	---

## 7.8 Spinta delle terre

Per il calcolo delle spinte delle terre si considerano sia la condizione statica che quella sismica valutata mediante un coefficiente riduttivo di spinta che può assumere valori differenti a seconda che la struttura sia in grado o no di mobilitare a tergo il cuneo di spinta (coefficiente di spinta attivo o a riposo). Per opere molto rigide, non in grado di ruotare in modo da innescare il cuneo di spinta, si utilizza la teoria di Coulomb con spinta a riposo in condizioni statiche e la teoria di Wood in condizioni sismiche.

Per opere in grado di mobilitare il cuneo di spinta si utilizza la teoria di Coulomb con spinta attiva in condizioni statiche e la teoria di Mononobe-Okabe in condizioni sismiche.

Le verifiche di sicurezza il terreno a tergo dei pali è stato considerato in condizioni di spinta a riposo per la valutazione del massimo momento all'incastro e in condizioni di spinta attiva per la valutazione del massimo momento in campata.

### Condizione statica coefficiente di spinta attiva (Coulomb)

La spinta del terreno si applicata ad una quota pari ad h/3 mentre quella dei sovraccarichi ad una quota h/2:

$$S = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2 + K_a q_{acc} h$$

Spinta sul paramento

$$M = \frac{1}{6} K_a \gamma h^3 + \frac{1}{2} K_a q_{acc} h^2$$

Momento alla base del paramento

dove:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi)}{\text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\psi - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

coefficiente di Muller-Breslau

$\gamma$  Peso specifico della terra

$h$  Altezza del paramento murario

$q_{acc}$  Sovraccarico accidentale a metro quadro

### Condizione statica coefficiente di spinta a riposo (Coulomb)

La spinta del terreno si applicata ad una quota pari ad h/3 mentre quella dei sovraccarichi ad una quota h/2:

$$S = \frac{1}{2} K_0 \gamma h^2 + K_0 q_{acc} h$$

Spinta sul paramento

$$M = \frac{1}{6} K_0 \gamma h^3 + \frac{1}{2} K_0 q_{acc} h^2$$

Momento alla base del paramento

dove

$$K_0 = (1 - \text{sen} \phi)$$

Coefficiente di spinta a riposo

$\gamma$

Peso specifico della terra

$h$

Altezza del paramento murario

$q_{acc}$

Sovraccarico accidentale

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Opere di sostegno - Relazione di calcolo</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 52 di 135</p>
---	---

### Condizione sismica coefficiente di spinta attiva (Mononobe-Okabe)

La spinta del terreno si applica ad una quota pari ad h/3 mentre quella dei sovraccarichi ad una quota h/2:

$$S = \frac{1}{2} K_{MO} \gamma (1 \pm k_v) h^2 + K_{MO} \Psi q_{acc} h \quad \text{Spinta sul paramento}$$

$$M = \frac{1}{6} K_{MO} \gamma (1 \pm k_v) h^3 + \frac{1}{2} K_{MO} \Psi q_{acc} h^2 \quad \text{Momento alla base del paramento}$$

dove:

$K_{MO}$  coeff. di Mononobe-Okabe

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

### Condizione sismica coefficiente di spinta a riposo (Wood)

$$S = \frac{1}{2} k_h \gamma h^2 \quad \text{Spinta sul paramento}$$

dove:

$\gamma$	Peso specifico della terra
$h$	Altezza del paramento murario
$q_{acc}$	Sovraccarico accidentale
$\psi$	Coefficiente di contemporaneità
$k_v = 0.5 k_h$	Coeff. sismico verticale
$k_h = S_s S_T a_g/g$	Coeff. sismico orizzontale
$a_{max} = S_s S_T a_g$	Accelerazione orizzontale

Nella spinta viene incluso anche il contributo relativo al peso della pavimentazione, pari a 3.30 kN/m<sup>2</sup>. Nello specifico la spinta del terreno viene calcolata in funzione dei seguenti parametri geotecnici:

Unità	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$K_0 = 1 - \sin \phi'$ (-)	$K_a(\delta')$ (-)
RINTERRO	18	0	33°	0,455	0,265
TERRENO A	19	0	28°	0,531	0,322
TERRENO B	19	0	32°	0,470	0,276
TERRENO C	19	0	28°	0,531	0,322

La spinta orizzontale della falda idraulica posizionata a circa 2.20 m dal fondo scavo (schematizzato con l'incastro dei pali):

- Peso specifico dell'acqua  $\gamma_w = 10 \text{ KN/m}^3$
- Coefficiente di spinta dell'acqua  $K_w = 1$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 53 di 135</p>
--	---

## 8 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

### 8.1 Condizioni di carico

Si riportano di seguito le condizioni di carico considerate nell'analisi della copertura del sottovia:

- Cond. 1: Peso proprio
- Cond. 2: Pavimentazione
- Cond. 3: Cordolo
- Cond. 4: Barriera
- Cond. 5: Spinta del terreno (attiva)
- Cond. 6: Spinta del terreno (a riposo)
- Cond. 7: Spinta della falda idraulica
- Cond. 8: Sovraccarico distribuito
- Cond. 9: Carico Tandem (mezzeria)
- Cond. 10: Carico Tandem (appoggio)
- Cond. 11: Spinta del sovraccarico stradale (attiva)
- Cond. 12: Spinta del sovraccarico stradale (a riposo)
- Cond. 13: Spinta sismica (Wood)
- Cond. 14: Urti/svio
- Cond. 15: Frenamento

### 8.2 Combinazioni di carico

Conformemente alla Norma, si considerano le seguenti combinazioni di carico, dove:

$G_1$  = peso proprio degli elementi strutturali

$G_2$  = peso proprio degli elementi non strutturali

$P$  = pretensione e precompressione (per memoria)

$Q$  = carichi di esercizio

#### Combinazioni statiche (SLU)

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

#### Combinazioni statiche SLE (F)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

#### Combinazioni statiche SLE (QP)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

#### Combinazioni sismiche SLV e SLD

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \qquad G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} .$$

in cui:  $E$  = azioni sismiche

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 54 di 135</p>
---	---

Per valutare la risposta massima complessiva di E, conseguente alla sovrapposizione dei modi, si utilizza una tecnica di combinazione probabilistica definita CQC (Complete Quadratic Combination - Combinazione Quadratica Completa):

$$E = \sqrt{\sum_{i,j=1,n} \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j}$$

con:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{\frac{3}{2}}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij}^2)} \quad \beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

dove:

n è il numero di modi di vibrazione considerati;

$\xi$  è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale;

$\beta_{ij}$  è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia i-j di modi di vibrazione.

Gli effetti sulla struttura delle azioni sismiche (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc...) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$1.00E_x + 0.30E_y + 0.30E_z$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi. La componente verticale è stata tenuta in conto nel modello di calcolo.

I coefficienti  $\psi$  e  $\gamma$  sono dedotti rispettivamente dalle seguenti tabelle (DM 17.01.2018):

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 55 di 135</p>
---	---

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento $q_s$	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_s$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Le verifiche geotecniche al carico limite verticale saranno condotte congruentemente all'Approccio 2; di seguito, relativamente al caso delle fondazioni superficiali, si riassumono i valori numerici dei coefficienti parziali in accordo con NTC 2018.

CASO	AZIONI - $\gamma_F$				PROPRIETÀ TERRENO - $\gamma_M$		RESISTENZE GLOBALI - $\gamma_R$
	Permanenti		Variabili		Tan $\Phi$	C'	
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli			
SLU A1+M1+R3	1.3	1.0	1.5	0	1.0	1.0	2.3
SLV M1+R3	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	2.3

Per la valutazione dei cedimenti, sia assoluti che differenziali, le analisi si condurranno secondo la combinazione di carico rara che prevede i coefficienti di combinazione più gravosi.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 56 di 135</p>
--	---

## 9 RELAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

Le strutture sono dimensionate con schemi di calcolo adeguati alle effettive condizioni di esercizio delle opere.

I calcoli sono stati eseguiti secondo i criteri della Scienza delle Costruzioni, la teoria del De Saint Venant, la teoria della Meccanica delle Terre ed il metodo degli stati limiti (D.M. 17-01-2018). Per le sezioni in c.a. sono state effettuate verifiche allo stato limite plastico con il controllo delle curvature.

Si ipotizza sempre la conservazione delle sezioni piane e la parzializzazione della sezione. La metodologia utilizzata è quella descritta nel NTC (D.M. 17.01.2018) per le verifiche sia statiche che sismiche.

Per quanto non ivi riportato si è fatto riferimento ai testi coordinati degli Eurocodici.

In particolare, per la verifica sismica si è utilizzata un'analisi dinamica lineare.

Le verifiche delle strutture sono state condotte con l'ausilio di un programma di calcolo agli elementi finiti e di fogli elettronici conformemente alle disposizioni della UNI 10024.

### 9.1 Descrizione del software

Per il dimensionamento dei muri prefabbricati è stato utilizzato il programma di calcolo "Muri 2018 vers 1.2.4".

Il programma di calcolo "Muri 2018" è il risultato della completa revisione, aggiornamento e completamento del precedente programma "Muri 2008", già sviluppato in codice Visual-basic.

Il dimensionamento delle paratie è avvenuto mediante il codice di calcolo agli elementi finiti **PARATIE – PLUS 2022**.

Secondo quanto riportato al §10.2 del DM 2018 si dichiara:

- che i software utilizzati sono prodotti professionali di cui è stata verificata l'affidabilità e la robustezza;
- di aver esaminato preliminarmente la documentazione a corredo dei software per valutarne l'affidabilità e l'idoneità al caso specifico;
- che i risultati ottenuti in questa calcolazione sono stati verificati anche in modo tradizionale utilizzando schemi esemplificati o altri codici di calcolo di comprovata affidabilità;
- che la verifica delle sezioni sono state condotte secondo la teoria dell'elasticità o della perfetta plasticità.

Particolare attenzione è stata posta nella presentazione dei risultati ottenuti dall'elaborazione automatica del modello strutturale.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 57 di 135</p>
---	---

In particolare, si è cercato di riassumere nella presente in modo sintetico ed efficace le configurazioni delle deformate, le rappresentazioni grafiche delle caratteristiche delle sollecitazioni e delle componenti degli sforzi, i diagrammi di involuppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni del terreno o dei vincoli dei principali elementi e di quelli più sollecitati.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 58 di 135</p>
--	---

## 10 MURI DI SOSTEGNO

Le verifiche sono state condotte per le sezioni più gravose che presentano un paramento di altezza massima pari a 8.50 m (MURI M3-M4).

### 10.1 Dati generali del progetto

Durata della vita nominale in servizio (tabella 2.4.I):	Vn = anni	100		
Classe d'uso IV	Corrispondente coefficiente d'uso C <sub>U</sub> (Tab 2.4.II)		C <sub>U</sub> = 2	
Ambiente nel quale l'opera è costruita:				
Condizioni ordinarie: opera che non sorge sulla costa, né in prossimità del mare; non è previsto l'uso di sali disgelanti a valle del muro				
<b>Tabella 1 - Materiali e loro resistenze</b>				
<b>Calcestruzzo (§ 11.2.10 e 4.1.2.1.1)</b>		Prefabbricati	Platea	Fondazione
Resistenza caratteristica cubica R <sub>ck</sub>	N/mm <sup>2</sup>	45	30	20
Resistenza caratteristica cilindrica f <sub>ck</sub> = 0,83 R <sub>ck</sub>	N/mm <sup>2</sup>	37.35	24.9	16.6
Resistenza di calcolo a compressione f <sub>cd</sub> = 0,85*f <sub>ck</sub> /1,5	N/mm <sup>2</sup>	21.17	14.11	9.41
Resistenza media a trazione assiale f <sub>ctm</sub> = 0,30*f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	3.35	2.56	1.95
Resistenza di calcolo a trazione f <sub>ctd</sub> = f <sub>ctk</sub> *0,7/1,5	N/mm <sup>2</sup>	1.56	1.19	0.91
<b>Acciaio (§ 4.1.2.1.1)</b>	tipo	B450C	B450C	-
Tensione caratteristica di snervamento f <sub>yk</sub>	N/mm <sup>2</sup>	450	450	-
Resistenza di calcolo f <sub>yd</sub> = f <sub>yk</sub> /1,15	N/mm <sup>2</sup>	391.3	391.3	-
<b>Tabella 2 - Coefficienti impiegati nei calcoli:</b>				
COEFFICIENTI	Verifiche SLU: A1+M1+R3		Verifiche SLE	Verifica sismica
		Coefficienti		
<b>Coefficienti parziali per le azioni (tabella 6.2.I):</b>				
Peso della struttura e della terra portata		1.3	1.0	1.0
Spinta della terra		1.3	1.0	1.0
Peso del sovraccarico (carichi variabili)		1.5	1.0	0.2
Spinta del sovraccarico (carichi variabili)		1.5	1.0 x Ψ	0.2
<b>Coefficienti parziali per le verifiche dei muri di sostegno (tabella 6.5.I e 7.11.III):</b>				
Scorrimento	γ <sub>R</sub>	1.1	1.1	1.3
Ribaltamento	γ <sub>R</sub>	1.15	1.15	1.5
Le verifiche sono svolte con l'ausilio del codice di calcolo Tensiter "Muri 2018" versione				1.2.4

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 59 di 135</p>
--	---

Per ciascuna sezione trasversale sono state eseguite le verifiche, esposte nelle schede elencate nel seguito:

**Scheda 1:**

Verifica SLU: GEO e STR, con A1+M1+R3;

**Scheda 1-Urto** (Urto sul guard-rail):

Verifica SLU: GEO e STR, con A1+M1+R3, coefficienti SLU unitari;

**Scheda 2:**

Verifica SLE combinazione RARA ( $\Psi = 1.0$ ), calcolo delle tensioni nelle sezioni in c.a.;

**Scheda 3:**

Verifica SLE combinaz. FREQUENTE ( $\Psi = 0.75$ ), con il calcolo dell'apertura delle fessure;

**Scheda 4:**

Verifica SLE combinaz. QUASI PERM ( $\Psi = 0$ ), con il calcolo dell'apertura delle fessure;

**Scheda 5:**

Verifica sismica, con sovraccarico ridotto perché dovuto a carichi mobili ridotti e coeff  $\beta=0.38$ , per le verifiche SLU e GEO (esclusa la verifica al ribaltamento);

**Scheda 6:**

Verifica sismica, con sovraccarico ridotto perché dovuto a carichi mobili ridotti e coeff  $\beta=0.57$ , per le verifiche GEO al ribaltamento;

**Scheda 7:**

Verifica della capacità portante del terreno di fondazione nelle verifiche SLU e sismica.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 60 di 135</p>
--	---

## 10.2 Verifiche agli SLU (GEO e STR)

Il calcolo di verifica agli stati limite delle varie opere di sostegno prefabbricate è svolto secondo il punto 6.5.3 del citato D.M. 17/01/18 come dalla norma.

Nella **prima scheda** sono svolte le verifiche SLU di tipo strutturale (STR) e geotecnico (GEO) secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3), impiegando i coefficienti sopraindicati, considerando sia le spinte che i pesi come azioni "sfavorevoli".

Nella scheda è effettuato:

- il calcolo delle spinte, dei pesi e dei loro momenti (GEO) rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione;
- la verifica allo scorrimento (GEO) sul piano di posa;
- la verifica al ribaltamento (GEO) rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione (punto O) e rispetto allo spigolo inferiore esterno della struttura prefabbricata (punto M);
- la verifica strutturale (STR) con il confronto tra le sollecitazioni esterne e le resistenze nelle sezioni delle membrature.

### 10.2.1 Calcolo delle azioni sulla struttura

In questa scheda sono calcolati tutti i vari termini della combinazione fondamentale delle azioni che formano l'azione complessiva della struttura sul terreno di fondazione.

La struttura è costituita dalla parete prefabbricata, dalla sua fondazione diretta, dalla platea sotto al terrapieno, dalla terra che sovrasta la platea, dai sovraccarichi sul rilevato ed è soggetta all'azione della spinta del terrapieno e delle altre varie azioni eventualmente presenti.

Tutte le azioni agenti sulla struttura sono state calcolate in base alle dimensioni geometriche riportate nella scheda e moltiplicate per i coefficienti riportati nella tabella 2 del capitolo 3 e ripetuti nella tabella "Spinte, pesi e momenti" della scheda stessa.

### 10.2.2 Spinta della terra

Con riferimento alla figura sottostante, la spinta del terrapieno agisce direttamente sulla fondazione del muro e indirettamente su una sezione verticale ideale R-S innalzata sullo spigolo interno della platea.

Se la struttura non è soggetta a vincoli particolari, la sua deformazione elastica e il cedimento della fondazione sono, in genere, sufficienti a mobilitare la spinta attiva del terrapieno.

Il coefficiente di spinta attiva è calcolato in base al valore  $f$  dell'angolo d'attrito del terreno di riempimento e dal suo profilo a monte del muro.

L'esame dei meccanismi di collasso della struttura dimostra che nelle verifiche GEO dobbiamo sempre considerare la spinta della terra agente sulla sezione verticale R-S innalzata dal bordo interno della platea.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 61 di 135</p>
---	---

Il coefficiente di spinta K1 attraverso la sezione R-S viene calcolato:

a) se il profilo del rilevato è rettilineo, con la formula di Rankine,

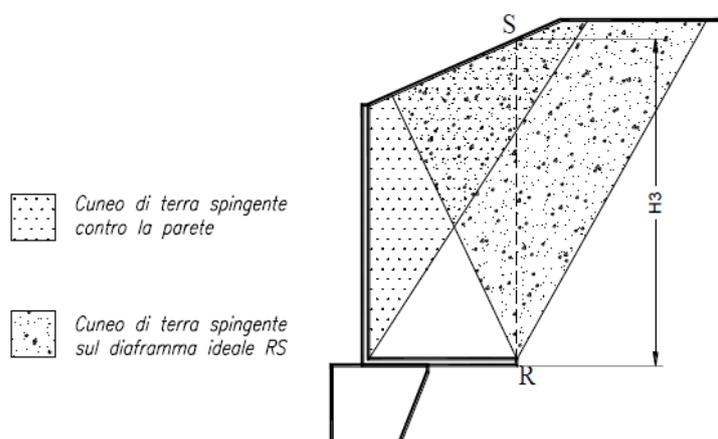
- per terrapieno orizzontale:

$$k_1 = \tan^2(45 - \varphi/2)$$

- per terrapieno inclinato dell'angolo  $\beta$ :

$$K_1 = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

Esse corrispondono a ipotizzare la formazione di un cuneo di terra spingente limitato da due piani di scorrimento, le cui giaciture sono quelle che generano la spinta massima, e quindi la più sfavorevole alla stabilità del muro. La teoria del masso illimitato di Rankine dimostra che la spinta risulta sempre parallela alla superficie del rilevato. In particolare, se il rilevato è orizzontale, essa dimostra che non si formano componenti verticali sulla sezione R-S, componenti che risulterebbero molto favorevoli nel calcolo delle resistenze al ribaltamento e allo scorrimento.



b) Se il profilo del rilevato non è rettilineo, il codice di calcolo, con un procedimento iterativo che corrisponde a estendere la formula di Rankine ai profili spezzati, individua per approssimazioni successive le giaciture dei due piani di scorrimento che generano simultaneamente la spinta massima e fornisce automaticamente il coefficiente di spinta attiva. Se le pendenze sono uguali i risultati coincidono con quelli della formula di Rankine. Dall'equilibrio dei due semicunei separati dal piano R-S risulta anche individuata l'inclinazione della spinta, che risulta intermedia fra le due pendenze. Chiameremo questo procedimento **"Cuneo a cavallo di R-S"**. La spinta sulla fondazione è calcolata con un coefficiente di spinta K3 su parete verticale. Il calcolo tiene conto che nei muri tipo N, T e F la platea impedisce al peso del terrapieno che la sovrasta di agire come sovraccarico per l'intera altezza del muro, come risulta dimostrato dall'analisi di tutti i possibili meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, svolta a sensi del punto 6.5.3.1 del D.M. 17/1/2018.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 62 di 135</p>
--	---

### 10.2.3 Forza d'urto stradale

I muri di sostegno sono stati progettati per resistere a forza orizzontale causata da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza installati sul cordolo di sommità del muro. Questa forza è associata ad un sovraccarico accidentale pari a  $S_0 = 20 \text{ kN/m}^2$ .

La forza d'urto, simulata con una forza orizzontale equivalente applicata ad 1.00 m dal piano stradale, è pari a 100kN (Vedi punto 3.6.3.3.2 del D.M. 17/1/2018).

Tale azione è stata ripartita su n. 7 muri prefabbricati.

Nella **scheda 1-Urto** sono svolte le verifiche SLU di tipo strutturale (STR) e geotecnico (GEO) secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3), impiegando i coefficienti delle azioni unitari propri delle azioni eccezionali.

### 10.2.4 Spinta della falda freatica

Tutti i muri prefabbricati sono dotati di un drenaggio particolarmente efficace. Lo speciale profilato drenante inserito nel giunto tra i pannelli insieme alla nostra prescrizione di riempire l'ampio volume a tergo del muro con materiale drenante fino ad almeno 1/3 dell'altezza impediscono che si generino delle spinte significative dovute alla falda freatica.

Nel caso di sorgive a tergo del muro l'acqua fuoriesce facilmente convogliata dal materiale drenante sopra la platea o in appropriate tubazioni drenanti da disporre sopra la platea, paralleli alla facciata.

Nel caso di muri spondali in alveo la spinta sulla parete dovuta alla differenza fra il livello interno dell'acqua e quello esterno è molto contenuta anche in fase di stanca della piena, per l'efficienza del sistema di drenaggio. La platea, con la sua notevole larghezza, riduce il sifonamento e la formazione di sottopressioni idrauliche che potrebbero ridurre l'efficienza della fondazione. In pratica solo se la velocità di discesa della piena supera  $1 \div 2 \text{ m/ora}$  occorre tenere conto della spinta dell'acqua. Negli altri casi la spinta della falda freatica può essere trascurata.

### 10.2.5 Verifica allo scorrimento

La verifica allo scorrimento sul piano di posa risulta dal confronto tra la componente orizzontale di tutte le azioni  $E_d$  (spinte e eventuali altre forze agenti sulla struttura) e la resistenza del terreno  $R_d$  allo scivolamento. Ovviamente tutte le azioni sono moltiplicate per i rispettivi coefficienti. La resistenza allo scorrimento è espressa dal prodotto di tutti i pesi e le varie componenti verticali di ogni azione per il coefficiente d'attrito della struttura sul terreno di fondazione e ridotta dal coefficiente parziale esposto nella tabella 2 ( $\gamma_R = 1.1$  nel caso SLU).

La spinta passiva sulla parete esterna della fondazione non è presa in conto a favore della stabilità. Si noti che il punto 6.5.3.1.1. del D.M. 14/1/08 ci autorizzerebbe a tenerne conto di una parte significativa, dal momento che il cordolo di fondazione è gettato sempre direttamente contro terra (perché privo di armature) e pertanto, prima di fare presa, il calcestruzzo spinge contro la parete la propria spinta idrostatica. Questa parte della spinta passiva (circa il  $40 \div 50\%$ ), essendo generata per la modalità costruttiva senza richiedere alcuno spostamento per attivarsi, potrebbe essere presa in conto.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 63 di 135</p>
--	---

### 10.2.6 Stato limite di ribaltamento

Lo stato limite al ribaltamento tratta l'equilibrio dell'insieme sopraelencato come se fosse un corpo rigido; calcola i momenti delle varie azioni rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione (punto "O" delle figure riportate nelle schede) oppure lo spigolo inferiore esterno del prefabbricato (punto "M"). Ovviamente tutte le azioni sono moltiplicate per i rispettivi coefficienti.

La resistenza al ribaltamento è espressa dalla somma di tutti i momenti resistenti ed è ridotta dal coefficiente parziale  $\gamma_R$  esposto nella tabella 2 ( $\gamma_R = 1.15$  nel caso SLU).

Ogni scheda espone il confronto tra i momenti ribaltanti  $E_d$  e quelli stabilizzanti  $R_d$ .

### 10.2.7 Collasso per stato limite di ribaltamento

Il collasso per carico limite dell'insieme fondazione terreno risulta dalla verifica che la capacità portante del terreno di fondazione sia maggiore della risultante calcolata in base alla somma di tutte le azioni e alla sua posizione, dalla quale dipende l'ampiezza del nastro di appoggio sul terreno. Questo confronto è svolto nella scheda 7. La capacità portante è calcolata con la formula di Brinch-Hansen del 1970. La verifica è svolta a sensi del punto 6.5.3.1.1 del DM 17/1/18 con l'approccio 2 combinazione A1+M1+R3 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I. La verifica è favorevole se la capacità portante risulta maggiore del carico effettivo dovuto alle forze esterne. Il confronto è svolto sia a SLU (risultati della scheda 1) sia nel caso sismico. In questo caso la capacità portante tiene conto della riduzione dovuta al coefficiente di Paolucci e Pecker 1997.

### 10.2.8 Verifica delle sezioni in c.a. allo SLU

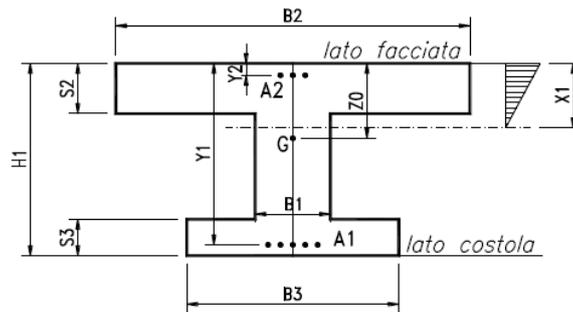
Tutti i pesi e le forze d'inerzia delle varie parti della struttura e del rilevato sulla platea sono state calcolate in base alle loro dimensioni geometriche riportate in ciascuna scheda moltiplicate per i rispettivi pesi specifici e moltiplicate per i rispettivi coefficienti delle azioni esposti nella tabella 2, riportati per chiarezza nel calcolo di ogni componente. I coefficienti sismici, orizzontale e verticale, impiegati nel calcolo delle forze d'inerzia sono esposti nel paragrafo 6.3 e nelle schede 5 e 6.

Nelle strutture dotate di un tirante in cemento armato prefabbricato (muri tipo "T") il calcolo tiene conto del peso di terra che può gravare su di esso. Ricordiamo, in merito, che il tirante è costruito curvo, dotato cioè di una curvatura il cui raggio è stato scelto in modo da compensare la parte del peso della terra che graverà su di esso.

Le esperienze e le opere costruite negli ultimi 35 anni hanno confermato che il carico gravante sul tirante è circa il 50% del peso del prisma di terra che sovrasta il tirante, assumendo come larghezza l'intero passo tra un tirante e l'altro. Con questa ipotesi il momento flettente sul tirante risulterebbe nullo. Eventuali differenze rispetto a questo valore generano un momento flettente residuo, e possono essere causate da diverse modalità di realizzazione del rilevato. Nel calcolo SLU abbiamo fatto l'ipotesi che ben il 30% del peso dell'intero prisma sopra definito agisca, in più o in meno, sul tirante, il quale, ai fini del calcolo, risulta una trave incastrata a entrambe le estremità. Pertanto, tenuto conto della sua curvatura, il tirante è verificato per portare qualunque valore del carico compreso tra il 20% e l'80% del peso della terra e del sovraccarico che lo sovrastano.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 64 di 135</p>
--	---

Per le verifiche delle sezioni in c.a. allo SLU la descrizione geometrica della sezione avviene secondo lo schema della figura nel seguito allegata:



Per ogni sezione verificata, oltre alle principali dimensioni geometriche, sono esposti:

$M_{Ed}$  = momento flettente baricentrico dovuto alle azioni esterne moltiplicate per i rispettivi coefficienti  $g_i$  e  $q_j$ ;

$M_{Edu}$  = momento flettente baricentrico dovuto alle azioni esterne moltiplicate per i rispettivi coefficienti  $g_i$  e  $q_j$  calcolato sulla sezione spostata della misura  $a_1$  data dalla formula [4.1.22] (= décalage);

$N_{Ed}$  = sforzo normale di calcolo, dovuto alle azioni esterne moltiplicate per i rispettivi coefficienti  $g_i$  e  $q_j$ .

$V_{Ed}$  = sforzo di taglio di calcolo, dovuto alle azioni esterne moltiplicate per i rispettivi coefficienti  $g_i$  e  $q_j$ , modificato dalla componente  $V_{md}$  della trazione dell'acciaio perpendicolare al lembo compresso nelle sezioni di altezza variabile;

$\alpha$  = Inclinazione media delle armature trasversali rispetto all'asse baricentrico della trave;

$ctg\vartheta$  = Cotangente dell'inclinazione  $\vartheta$  dei puntoni d'anima rispetto all'asse della trave, scelta dal progettista in modo che sia rispettata la prescrizione della formula [4.1.25]. La colonna non è compilata se il taglio resistente senza staffe  $V_{cd}$  è già maggiore di quello delle forze esterne  $V_{ed}$ ;

$M_{Rd}$  = momento flettente baricentrico a cui resiste la sezione allo stato limite ultimo in presenza dello sforzo normale  $N_{Ed}$ .

$V_{Rd}$  = sforzo di taglio resistente della sezione. Esso è il valore minimo tra  $V_{Rcd}$  e  $V_{Rsd}$ , ove:

$V_{Rcd}$  = resistenza di calcolo a "taglio compressione" (formula 4.1.28);

$V_{Rsd}$  = resistenza di calcolo a "taglio trazione" (formula 4.1.27);

Tutte le sezioni sono provviste di armatura resistente al taglio.

Il calcolo del taglio resistente non tiene conto del contributo dei ferri piegati.

L'area delle staffe presa in conto nel calcolo della resistenza a taglio è stata ridotta della sezione destinata a reggere la spinta o il peso della terra sulle ali della sezione, azioni che sono carichi appesi o indiretti. La resistenza delle armature resistenti al taglio presa in conto nel calcolo di  $V_{Rsd}$  è la minore fra quella di aderenza, calcolata a sensi del punto [4.1.2.1.1.4], e quella che compete alla sezione resistente metallica.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 65 di 135</p>
--	---

La verifica del collegamento tra platea e fondazione si effettua considerando la componente orizzontale corrisponde alla spinta della terra su R-S diminuita dell'eventuale attrito sulla faccia inferiore della platea. Il collegamento non richiede alcuna armatura perché dai calcoli di verifica risulta sempre che la risultante cade nelle vicinanze della mezzeria del contatto, o almeno non vicino ai punti M e Q della figura.

Tenuto conto che la platea, per le sollecitazioni cui è soggetta, si incurverà sollevandosi tra M e Q mentre la fondazione, massiccia, si deformerà poco, la componente verticale dello sforzo si ripartirà in due forze localizzate nelle vicinanze dei punti M e N.

Dunque, se la risultante cade fra M e Q, in entrambe i punti lo sforzo sarà di compressione e tenderà a mantenere le parti a contatto, garantendo l'indeforabilità del collegamento.

Il codice di calcolo determina le due componenti verticali nei punti M e Q. Se la componente più piccola non raggiunge almeno il 15% della somma delle due componenti, il codice segnala il pericolo. Per poter proseguire occorre o ridimensionare la fondazione, o assegnare appropriate dimensioni alle armature previste in questo caso.

La componente orizzontale è agevolmente trasmessa per attrito, dal momento che risulta tra il 25% e il 40% di quella verticale, mentre il coefficiente d'attrito assume valori prossimi a 1,0, tenuto conto la platea è gettata sulla fondazione che ne costituisce lo stampo e quindi ne acquisisce tutte le irregolarità dovute alla scabrezza della sua superficie.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 66 di 135</p>
---	---

### 10.3 Verifiche agli SLE

Nella **seconda scheda** è svolta la verifica di esercizio SLE con calcolo elastico-lineare in base alle spinte, pesi e sovraccarichi massimi effettivamente agenti (**combinazione rara**), al fine di calcolare le tensioni massime di esercizio nell'acciaio e nel calcestruzzo e verificarne la compatibilità con i valori esposti al punto 4.1.2.2.5 del D.M. 17/1/18.

Nella **terza e quarta scheda** sono svolte le verifiche di esercizio SLE nelle combinazioni **frequente e quasi permanente**.

La spinta e i pesi della terra assunti nel calcolo sono quelli effettivi; il sovraccarico sul rilevato è stato ridotto in base ai coefficienti  $\Psi$  stabiliti dalle tabelle 5.1.VI (strade) e 5.2.VI (ferrovie) del D.M. 17/1/2018. Queste due schede sviluppano il calcolo dell'ampiezza delle fessure tenendo conto del ricoprimento di calcestruzzo previsto nei disegni e riportato nelle schede, per verificarne la compatibilità con l'ampiezza massima prevista dalla tabella 4.1.IV del DM 17/1/18.

Sono inoltre esposte le tensioni di trazione nell'acciaio e di compressione nel calcestruzzo per confrontarne i valori con i massimi stabiliti per lo stato limite di tensione di esercizio.

Per la combinazione caratteristica **rara**, in base alle resistenze caratteristiche dei materiali impiegati, risultano le seguenti limitazioni:

Calcestruzzo dei prefabbricati (Rck 45 = MPa):  $\sigma_c < 0.83 * 45 * 0.60 = 22.41$  Mpa

Calcestruzzo delle platee (Rck 30 = MPa):  $\sigma_c < 0.83 * 30 * 0.60 = 14.94$  Mpa

Per la combinazione di carico **quasi permanente** risultano le seguenti limitazioni:

Calcestruzzo dei prefabbricati (Rck 45 = MPa):  $\sigma_c < 0.83 * 45 * 0.45 = 16.81$  Mpa

Calcestruzzo delle platee (Rck 30 = MPa):  $\sigma_c < 0.83 * 30 * 0.45 = 11.21$  Mpa

**Acciaio:** nella combinazione caratteristica rara:  $\sigma_s < 80 * 450$  Mpa = 360 Mpa

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 67 di 135</p>
--	---

## 10.4 Verifiche agli SLV

Tali verifiche sono riportate nelle **schede 5 e 6**.

Il calcolo di verifica della stabilità globale dell'opera e di verifica delle sollecitazioni è effettuato con il metodo dell'analisi pseudo-statica (punto 7.11.6.2.1) in base al valore dell'accelerazione massima  $a_g$  attesa in superficie e del fattore di amplificazione orizzontale  $F_0$  tratti dal sito Internet del Ministero dei Lavori Pubblici.

### 10.4.1 Calcolo dell'azione sismica

Il calcolo è svolto secondo l'approccio 2 con la combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei pesi, delle spinte sismiche e delle forze d'inerzia.

I coefficienti sismici d'inerzia  $K_h$  e  $K_v$  sono direttamente proporzionali al coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa  $\beta_m$ , il cui valore è stabilito dalla norma al paragrafo 7.11.6.2.1. La legge stabilisce un valore  $\beta_m = 0.38$  per le strutture libere di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il valore unitario per le strutture non libere e valori intermedi per strutture parzialmente vincolate prendendo a riferimento il diagramma di figura 7.11.3.

Ad esempio con uno spostamento di circa 3.5 cm il citato diagramma fornisce un valore pari a 0.66, valore consigliato anche dall'Eurocodice 8.

Questo valore vale per tutte le verifiche ad eccezione di quella al ribaltamento, per la quale il coefficiente  $\beta_m$  deve essere aumentato del 50% fino al valore unitario.

Stante i due valori di  $\beta_m$  previsti dalla legge, nasce la necessità di prevedere due schede, la scheda 5 valida per la verifica al ribaltamento e la scheda 6 valida per tutte le altre verifiche. In entrambe le schede sono esposte le verifiche STR e il coefficiente  $\beta_m$  scelto con riferimento alle condizioni di vincolo effettivamente previste.

### 10.4.2 Calcolo delle forze d'inerzia

Nelle verifiche della stabilità della struttura durante il sisma il calcolo tiene conto che tutte le masse della struttura e della terra che sovrasta la platea fino alla sezione R-S siano soggette a forze inerziali. Pertanto tutte le forze d'inerzia sono prese in conto, quelle a monte della sezione R-S come maggior spinta della terra per effetto della formula di Mononobe-Okabe e quelle a valle di R-S computandole in base alla massa di ogni parte di struttura. Le masse sono calcolate in base alle dimensioni geometriche di ogni parte. Le forze d'inerzia sono ottenute dal prodotto delle masse per il rispettivo coefficiente sismico ed esposte nella tabella *Spinte, pesi e momenti*.

### 10.4.3 Spinte di calcolo del terreno e dell'acqua

La spinta totale di progetto " $E_d$ " esercitata dal terreno e dall'acqua sulla struttura di sostegno deve essere calcolata nell'istante più gravoso dell'oscillazione sismica, corrispondente alla presenza simultanea della massima accelerazione orizzontale e del massimo alleggerimento verticale dovuto alle forze d'inerzia.

In tale istante la direzione della risultante del peso e delle forze d'inerzia applicata a ogni singola massa (terreno spingente, parete prefabbricata, platea, fondazione, ecc.) risulta ruotata, rispetto alla verticale, dell'angolo  $\theta$  risultante dalla formula  $\theta = \arctan(k_h / (1 - K_v))$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 68 di 135</p>
--	---

La formula di Mononobe e Okabe determina il coefficiente di spinta della terra contro una parete piana con la teoria di Coulomb, secondo la quale in aderenza alla parete piana del muro si forma un cuneo di terra spingente limitato verso il terrapieno da una superficie di scorrimento piana. Infatti la loro formula corrisponde alla formula di Coulomb assumendo come direzione verticale quella della risultante del peso e delle forze d'inerzia: ruotando la sezione dell'angolo  $\theta$ , e quindi incrementando l'inclinazione del rilevato di  $\theta$  e diminuendo l'angolo fra orizzontale e parete di  $\theta$ , la formula di Coulomb diventa la formula di Mononobe e Okabe prescritta dall'Eurocodice e dalle norme.

Il calcolo delle sollecitazioni sulla parete è svolto in analogia ai casi non sismici precedentemente svolti, ma il coefficiente di spinta sulla parete è calcolato in generale, con la prima formula di Mononobe-Okabe:

$$k_0 = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[ 1 - \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta - \theta)}}{\sqrt{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

o con la **seconda formula di Mononobe-Okabe** se l'angolo d'attrito  $\varphi$  è inferiore a  $\beta + \theta$ :

$$k_0 = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Dove:

$\varphi$  = Angolo di resistenza al taglio del terreno sostenuto dal muro;

$\beta$  = Angolo di inclinazione del terreno sostenuto dal muro,  $\beta > 0^\circ$  se il terreno sale allontanandosi dal muro;

$\psi$  = Angolo del paramento interno del muro con l'orizzontale.  $\psi > 90^\circ$  se la parete interna strapiomba;

$\delta$  = Angolo di resistenza al taglio fra terreno sostenuto e muro.

Nei calcoli è stato assunto  $\delta = 2/3 \varphi$ ;

$\theta$  = Angolo di rotazione sismica.

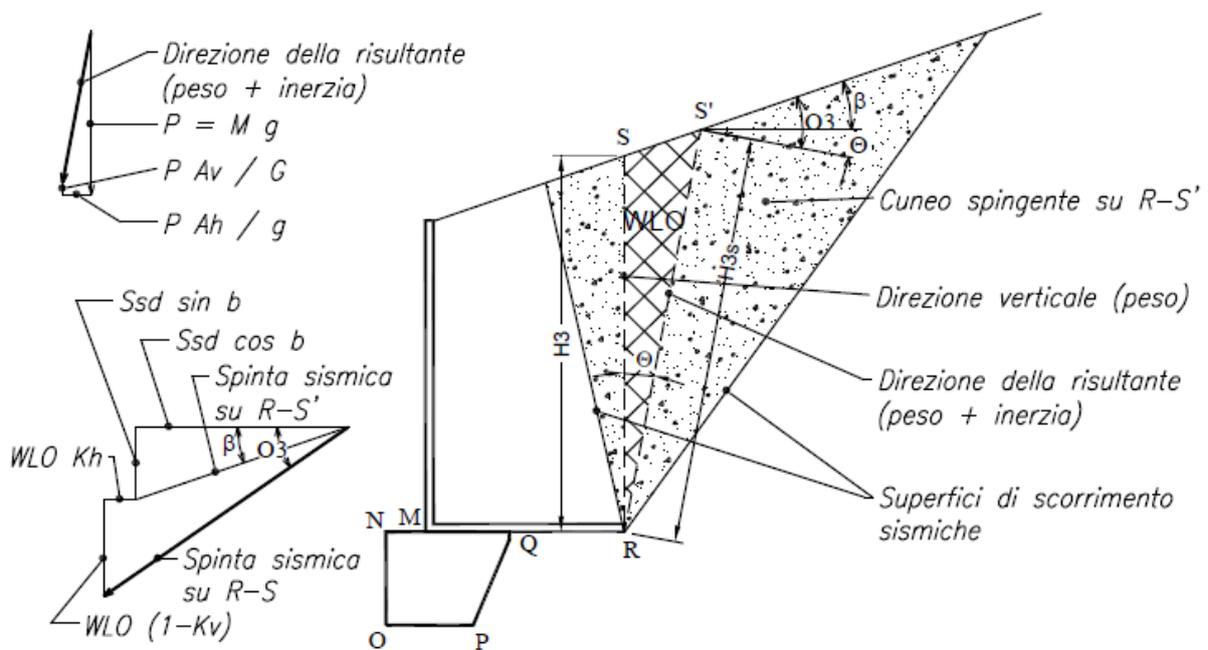
Per il calcolo della stabilità globale e della risultante sulle fondazioni dobbiamo però calcolare la spinta della terra sul diaframma ideale R-S innalzato verticalmente dallo spigolo interno della platea.

La formula di Mononobe e Okabe non è applicabile in quanto la sezione ideale R-S non separa il rilevato da una parete rigida, ma c'è della terra dalle due parti di R-S.

Dunque il cuneo spingente si sviluppa anche nel terreno a valle di R-S.

Il modello non corrisponde neanche approssimativamente, perché nei muri di sostegno prefabbricati Tensiter, come nei muri di sostegno tipo cantilever con gli usuali dimensionamenti, la platea sotto al terrapieno è ampia e il cuneo spingente ha lo spazio per svilupparsi completamente anche a valle.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 69 di 135</p>
--	---



Nel pieno rispetto del 2° capoverso del § 7.11.6.2.1 del DM 17/1/18 e in perfetta analogia al modello che determina la formula di Mononobe e Okabe, abbiamo calcolato la spinta  $E_d$  sulla sezione R-S assumendo un modello in cui si forma un cuneo spingente limitato da due piani di scorrimento le cui giaciture sono state entrambe simultaneamente individuate come quelle che generano la massima spinta in stato di equilibrio limite attivo e tutte le forze di massa sono ruotate dell'angolo  $\theta$ .

- se la superficie del rilevato è piana, vale la formula di Rankine per terreni in pendenza, incrementando l'inclinazione del rilevato  $\beta$  dell'angolo  $\theta$ . L'angolo di inclinazione della spinta rispetto all'orizzontale è  $\beta + \theta$ , perché, per la teoria di Rankine, la spinta su ogni sezione parallela alla direzione delle forze di massa è sempre parallela alla superficie del rilevato
- se la superficie del rilevato è una spezzata, vale la routine che determina per approssimazioni successive il coefficiente di spinta per i profili spezzati, incrementando le due inclinazioni del rilevato dell'angolo  $\theta$ . La routine ci fornisce anche l'angolo di inclinazione  $O_3$  della spinta rispetto alla normale al piano R-S; angolo di inclinazione del rilevato rispetto alla normale è  $O_3 + \beta$ .

La spinta su R-S' si ottiene ovviamente moltiplicando il quadrato dell'altezza R-S' per il peso specifico del terreno e per il coefficiente di spinta. Tenendo conto dell'inclinazione della spinta precedentemente calcolata avremo le due componenti, orizzontale e verticale, della spinta su R-S'. La spinta della terra su R-S si ottiene aggiungendo alla spinta su R-S' il peso e la forza d'inerzia di quanto è compreso fra le sezioni R-S e R-S'. Dividendo la spinta così ottenuta per il quadrato dell'altezza di R-S e per il peso specifico del terreno, avremo il coefficiente di spinta su R-S.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 70 di 135</p>
--	---

Chiameremo questi procedimenti di calcolo della spinta sismica sul diaframma ideale R-S con il nome di:

- **"Rankine sismico"** se il coefficiente di spinta su R-S è calcolato con la formula di Rankine;
- **"cuneo a cavallo di R-S"** se la spinta su R-S è calcolata con la seconda procedura descritta.

#### 10.4.4 Spinta sulla parete prefabbricata

Se il profilo del rilevato è rettilineo e l'eventuale sovraccarico agisce sull'intera superficie e inoltre se l'inclinazione del rilevato  $\beta$  è minore dell'angolo d'attrito  $\varphi$ , per determinare il coefficiente di spinta sulla parete in assenza di sisma impiegheremo la formula di **Coulomb**.

Nelle stesse condizioni, se l'inclinazione del rilevato  $\beta$  incrementata dell'angolo  $\Theta$  risulta minore dell'angolo d'attrito  $\varphi$  calcoleremo il coefficiente di spinta in presenza di sisma con la **1a formula di Mononobe-Okabe**.

Se infine l'inclinazione del rilevato  $\beta$  incrementata dell'angolo  $\Theta$  risulta maggiore dell'angolo d'attrito  $\varphi$  il profilo del rilevato è instabile. Ciò premesso, in questo caso calcoleremo il coefficiente di spinta in presenza di sisma con la **2a formula di Mononobe-Okabe**, la quale genera un valore finito, convenzionale, stabilito dall'Eurocodice.

In tutti gli altri casi, cioè se il profilo è costituito da una spezzata, o se il sovraccarico agisce solo su una parte del rilevato, anche se l'inclinazione dei vari tronchi è alta ma purchè l'inclinazione del tronco più lontano dalla parete  $\beta + \Theta$  sia minore dell'angolo d'attrito  $\varphi$  usiamo la procedura **"Cuneo contro la parete"**.

Secondo questa procedura l'intera altezza della parete prefabbricata è suddivisa in striscie di altezza piccola (in genere m 0.5). Per ogni striscia si determina il cuneo di terra spingente limitato dalla parete e da un piano di scorrimento la cui giacitura è quella che genera la spinta massima. Trovato il cuneo che spinge di più, la scomposizione del peso del cuneo nelle direzioni delle due reazioni sulle superfici di scorrimento determina l'entità e la direzione della spinta sulla parete. La spinta fino a ogni striscia determina la distribuzione dello sforzo di taglio sulla parete: il momento flettente e lo sforzo normale sono ricavati da essa. I risultati mettono in evidenza che la spinta della terra nei muri di sottoscampa non è a 1/3 dell'altezza ma assai più in alto, eliminando così un errore a sfavore della sicurezza estremamente diffuso.

Negli altri casi, cioè se l'inclinazione  $\beta$  del tronco più lontano dal muro aumentata dell'angolo  $\Theta$  risulta maggiore dell'angolo d'attrito  $\varphi$ , usiamo la **2a formula di Mononobe-Okabe** nella quale l'inclinazione del rilevato è assunta pari alla massima fra tutte le inclinazioni dei tronchi. Tuttavia, a giudizio del progettista, il valore fornito dalla 2a Formula di Mononobe-Okabe può sostituire quello generato dalla procedura "Cuneo contro la parete" se il valore fornito da questa procedura è più gravoso di quello dato dalla 2a formula di Mononobe-Okabe. Il procedimento è conforme alla norma perchè sostituisce il calcolo della spinta di un profilo di altezza finita con quello di un profilo di uguale inclinazione ma altezza infinita. Dal momento che la norma stabilisce la procedura di calcolo di questo caso più gravoso, potremmo applicarla anche al nostro profilo.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 71 di 135</p>
---	---

Questa scelta può, ad esempio verificarsi nel calcolo dei muri di sottoscampa, se l'altezza della scarpata è importante e l'angolo d'inclinazione del terreno  $\beta + \theta$  è maggiore dell'angolo d'attrito  $\varphi$ . Tuttavia questa sostituzione non è consigliabile a giudizio dell'inventore delle strutture. Le schede di calcolo delle varie verifiche espongono la procedura utilizzata per il calcolo dei coefficienti di spinta.

#### 10.4.5 Spinta passiva della terra davanti alla fondazione in caso sismico

Prendiamo in conto il 50% della spinta passiva, dal momento che essa risulta sostanzialmente già attivata durante la costruzione della struttura, come esposto in precedenza. Il coefficiente di spinta è calcolato con la formula di Mononobe-Okabe, assumendo  $\beta = 90^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ .

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \Phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin \Phi \cdot \sin(\Phi + \varepsilon - \theta)}{\sin(\psi + \varepsilon) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

$\Phi$  = Angolo di resistenza al taglio del terreno di fondazione;

$\varepsilon$  = Angolo di inclinazione del terreno a valle.  $\varepsilon > 0^\circ$  se il terreno scende allontanandosi dal muro;

$\psi$  = Angolo del paramento esterno della fondazione con l'orizzontale.  $\psi < 90^\circ$  se la parete strapiomba;

$\delta$  = Angolo di resistenza al taglio fra il terreno di fondazione e la parete della fondazione gettata contro terra. E' stato assunto  $\delta = 0$  a favore della stabilità;

$\theta$  = Angolo di rotazione sismica.

Tutti i valori risultanti dal calcolo sono riportati nelle relative schede.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 72 di 135</p>
---	---

## 11 PARATIA PROVVISORIALE

### 11.1 Dati generali del progetto

La paratia dei pali "Tipo 1" è caratterizzata da:

- Diametro  $\Phi=600$  mm;
- Interasse  $i=0.80$  m
- Lunghezza del palo  $L=13.0$  m;
- Cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni  $0.70$  m x  $0.80$  m gettato in opera;
- Armatura longitudinale  $16\Phi 20$ , armatura a taglio a spirale  $\Phi 10/20$  acciaio B450C.

La paratia dei pali "Tipo 2" è caratterizzata da:

- Diametro  $\Phi=600$  mm;
- Interasse  $i=0.80$  m;
- Lunghezza del palo  $L=10.0$  m;
- Cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni  $0.70$  m x  $0.80$  m gettato in opera;
- Armatura longitudinale  $16\Phi 20$ , armatura a taglio a spirale  $\Phi 10/20$  acciaio B450C.

Conformemente alla stratigrafia di progetto, sono stati distinti i seguenti tipi di terreno in relazione alle loro litologie, caratteristiche granulometriche, di resistenza al taglio e di deformabilità.

- Terreno vegetale/Riporti;
- Sabbie con limo debolmente argillose (TERRENO A);
- Ghiaia con sabbia debolmente limosa (TERRENO B);
- Sabbia limosa (TERRENO C);
- Substrato litoide Scisti di Edolo (TERRENO D).

Nelle figure seguenti si riportano i modelli di calcolo realizzati per la verifica che si differenziano per la lunghezza del palo che varia al variare dell'altezza di scavo.

In entrambi i modelli è presente lo strato di rilevato stradale a cui sono stati attribuiti dei parametri geotecnici standard da bibliografia.

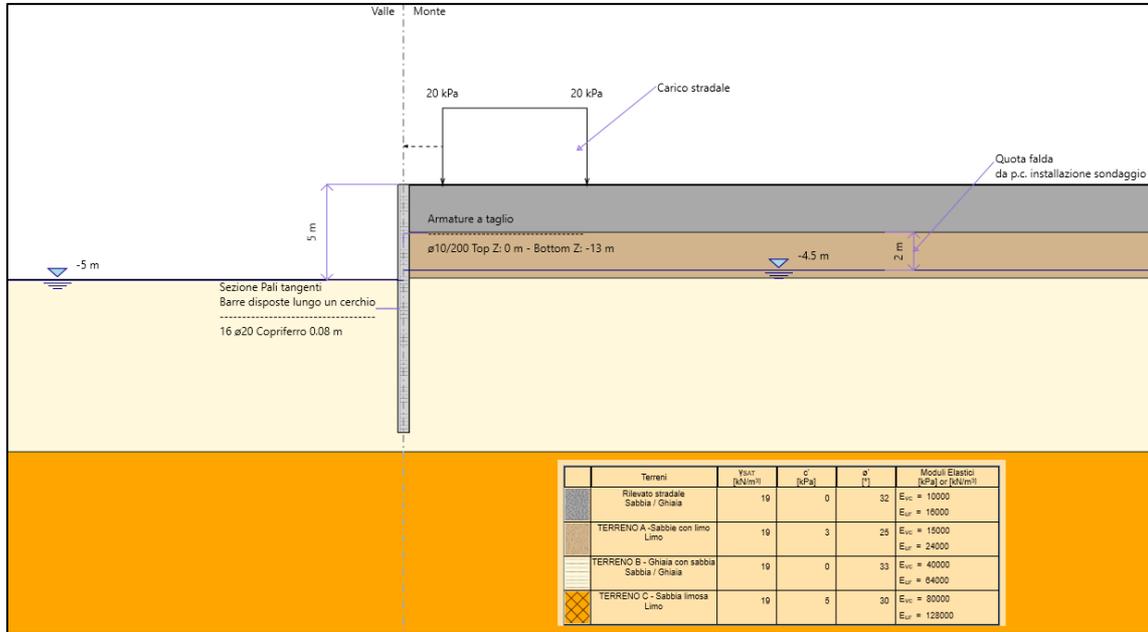


Figura 11.1 – Modello stratigrafico: Tipo 1.

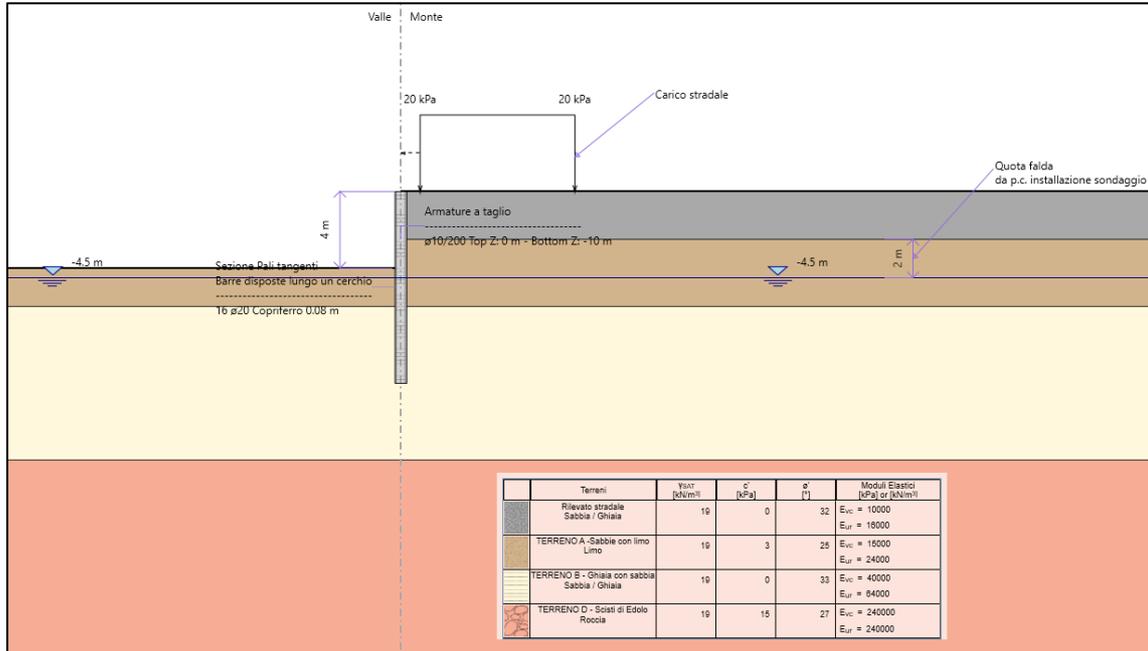


Figura 11.2 – Modello stratigrafico: Tipo 2.

Sulla tabella seguente viene riepilogato il quadro di sintesi dei parametri geotecnici di diretta utilizzazione nei calcoli progettuali; per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione geotecnica (rif.: T00\_GE00\_GET\_RE01)

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 74 di 135</p>
--	---

Unità	z da p.c. (S1CDH)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$E'$ (MPa)	$E_{vc}$ (MPa)	$E_{vc}$ (MPa)
Rilevato Stradale	+2.0m ÷ +2.5m	19	0	32	10	10	16
TERRENO A	-0.5m ÷ -2.0m	19	3	25	10	15	24
TERRENO B	-2.0m ÷ -23.0m	19	0	33	20	40	64
TERRENO C	-23.0m ÷ -30.0m	19	5	30	30	80	128
TERRENO D	-	29.5	15	27	240	240	240

Tabella 11.1 – Parametri geotecnici: valori caratteristici  $X_k$ .

**Legenda:**

$\gamma$ : peso di volume;

$c'$ : coesione efficace;

$\phi'$ , angolo di resistenza al taglio;

$E'$ : modulo elastico;

$E_{VC}$ : modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine (per paratie);

$E_{UR}$ : modulo elastico valutato nel tratto di scarico-ricarico (per paratie);

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 75 di 135</p>
---	---

## 11.2 Sezioni di verifica

Le analisi di dimensionamento della paratia di pali sono avvenute facendo riferimento ai n.2 tipologici definiti.

Ai fini della definizione delle sezioni di verifica, è stato condotto un esame di dettaglio delle condizioni geometriche (altezza degli scavi da sostenere, inclinazione della scarpata sottesa dalla paratia), delle caratteristiche stratigrafiche (spessore e tipologia delle formazioni), delle condizioni idrauliche (profondità della falda), dei carichi sollecitanti l'opera di sostegno.

Le verifiche della paratia, dunque, sono state effettuate riferendosi alle sezioni caratterizzate dalle massime altezze di scavo.

Le condizioni prese a riferimento nei calcoli sono quelle complessivamente più critiche ai fini della sicurezza e della funzionalità dell'opera; dunque, dimensionanti anche nei confronti delle sezioni non direttamente soggette a verifica, caratterizzate, in particolare, da altezze inferiori.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le principali caratteristiche delle sezioni analizzate. Le altezze di scavo considerate si intendono sempre da estradosso trave di coronamento.

TIPOLOGICO [#]	ALTEZZA TOTALE PARATIA [m]	LUNGHEZZA PALO [m]	ALTEZZA CORDOLO [m]	ALTEZZA FUORITERRA PROVVISIONALE [m]	ALTEZZA FUORITERRA PROVVISIONALE DA NTC2018 § 6.5.2.2 [m]
1	13.8	13	0.8	4.50	5.00
2	10.8	10	0.8	3.50	4.00

Tabella 11.2 – Paratie: tipologici di calcolo.

TABELLA PALI TIPO						
PARATIA TIPO (-)	LUNGHEZZA PALO (m)	Ø PALO (m)	INTERASSE PALI SECONDARI (m)	AREA FERRI (cm <sup>2</sup> )	SPIRALE (#)	COPRIFERRO (cm)
1	13.8	0.6	0.8	72.38 = 16 Ø24	Ø10/20cm	6.0
2	10.8	0.6	0.8	50.27 = 16 Ø20	Ø10/20cm	6.0

Tabella 11.3 – Paratie: caratteristiche dei pali.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 76 di 135</p>
--	---

La struttura viene schematizzata mediante elementi finiti di tipo trave, definiti nel piano da un nodo iniziale ed uno finale, e dalle caratteristiche inerziali della sezione trasversale. Ogni nodo dell'elemento possiede due gradi di libertà: la traslazione in direzione orizzontale e la rotazione intorno ad un asse ortogonale al piano di riferimento.

I **pali** della paratia vengono rappresentati come elementi monodimensionali tipo trave di larghezza unitaria e spessore assegnato.

Agli elementi trave è assegnato un comportamento elastico lineare. La loro risposta è caratterizzata dalla rigidezza flessionale EJ.

Per i **terreni** è stato assunto un comportamento elasto-plastico ideale con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Nel modello di calcolo, il terreno viene rappresentato mediante elementi monodimensionali tipo molla, connessi alla paratia in ogni suo nodo. Il comportamento meccanico della molla è di tipo elasto-plastico: essa reagisce elasticamente fino ai valori limiti della resistenza, raggiunta la quale, a seconda del verso dello spostamento, assume un valore pari alla spinta attiva o alla spinta passiva del terreno. Il criterio di resistenza adottato è quello di Mohr-Coulomb.

La deformabilità della molla è funzione dello stato tensionale a cui risulta sottoposta: in campo elastico essa è definita dall'espressione della rigidezza della molla:

$$K = E \cdot D / L$$

dove E è il modulo di elasticità del terreno, L la lunghezza della molla e D l'interasse tra le singole molle.

La lunghezza della molla L è variabile in funzione delle dimensioni della zona di terreno coinvolta nel movimento, sia in condizioni di spinta attiva sia di spinta passiva.

Lo stato tensionale iniziale della molla, nelle condizioni che precedono le operazioni di scavo e/o all'applicazione di qualsiasi azione esterna sulla paratia, è funzione della tensione verticale litostatica secondo la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

in cui  $K_0$  è il coefficiente di spinta a riposo.

A seguito delle operazioni di scavo, o dell'applicazione di azioni esterne sulla struttura, la reazione offerta dalla molla aumenta o diminuisce (a seconda del verso della deformazione) raggiungendo al limite le tensioni corrispondenti alle condizioni di spinta attiva o passiva, rispettivamente per decrementi o incrementi di tensione.

Per la valutazione del  $K_0$  si utilizza l'espressione:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi'$$

Per i coefficienti di spinta attiva e passiva  $K_A$  e  $K_P$  in condizioni statiche sono state utilizzate rispettivamente le espressioni fornite da Coulomb (1776) e Lancellotta (2007), ipotizzando un angolo di attrito tra terreno e struttura  $\delta = \varphi' / 2$  per lo stato limite attivo e per lo stato limite passivo. Per i coefficienti di spinta attiva e passiva  $K_{AE}$  e  $K_{PE}$  in condizioni sismiche sono state utilizzate le espressioni fornite, rispettivamente, da Mononobe-Okabe (1926÷1929) e Lancellotta (2007), ipotizzando un angolo di attrito tra terreno e struttura  $\delta = \varphi' / 2$  per lo stato limite attivo e passivo.

Le analisi sono state effettuate con riferimento a diverse fasi di calcolo che simulano le reali fasi di costruzione, di seguito schematizzate. A titolo di esempio si riportano le fasi del modello Tipo1.

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**  
**Opere di sostegno - Relazione di calcolo**

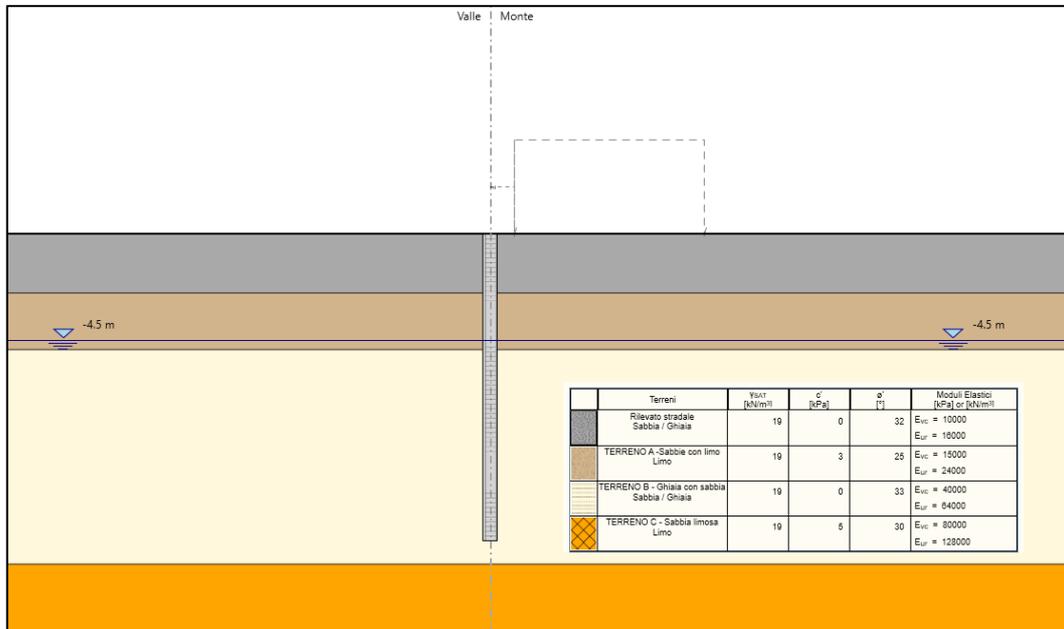


Figura 11.3 – Paratia TIPO 1, Fase 0: condizione geostatica.

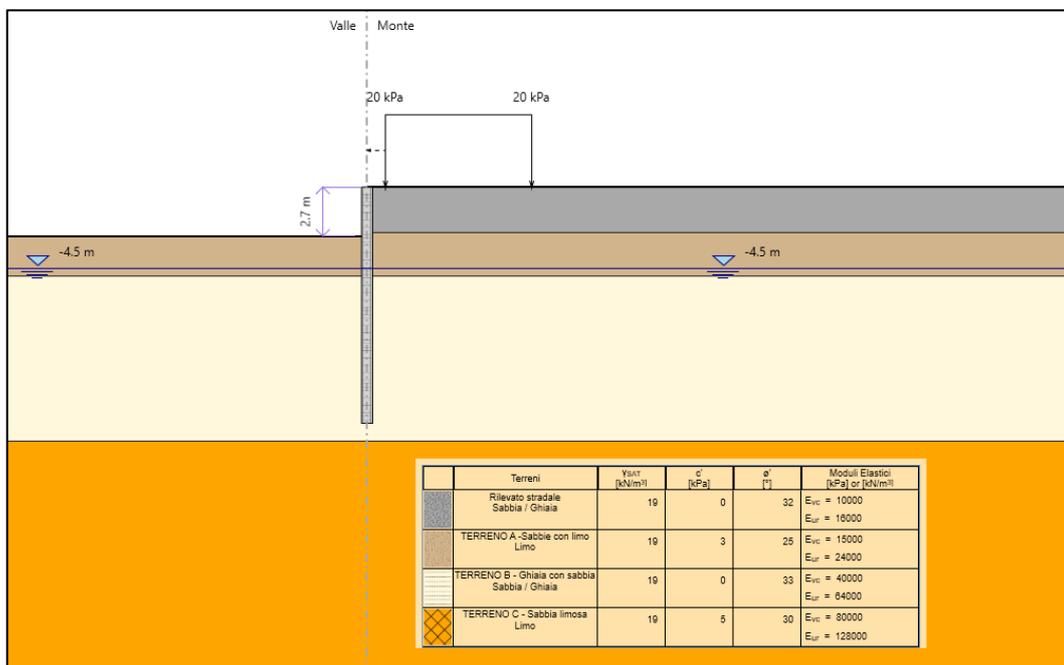


Figura 11.4 – Paratia TIPO 1, Fase 1: scavo a -2.7m.

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b>  <b>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D          Data: Maggio 2023          Pag. 78 di 135</p>
--	---

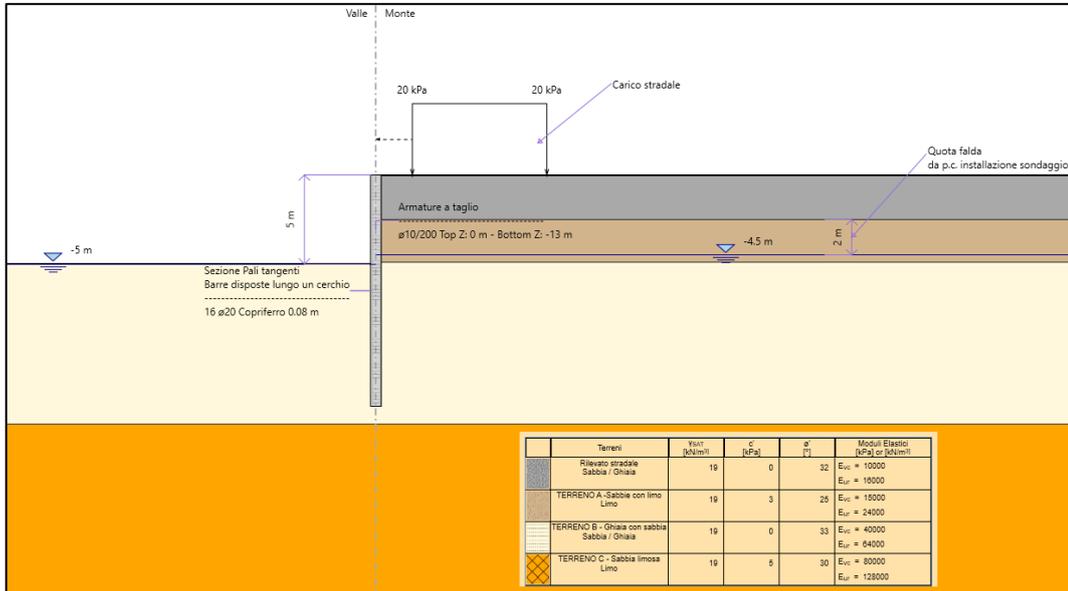


Figura 11.5 – Paratia TIPO 1, Fase 1: scavo a -4.9 m.- Approccio normativo

### 11.3 Carichi

Per tener conto della possibile presenza di azioni accidentali in fase di realizzazione delle opere di sostegno, si è considerato un valore del carico stradale in fase di costruzione dell'opera di sostegno a seguito dei lavori di scavo pari a  $\Delta q_k = 20 \text{ kPa}$ . Nella tabella seguente vengono riassunti il valore caratteristico  $\Delta q_k$  e di progetto  $\Delta q_d$  dei sovraccarichi considerati nelle analisi.

Carico	$\Delta q_k$ (kPa)	Tipo	$\Delta q_d$ (kPa)	
			1-SLE	2A-SLU A1+M1+R1
Accidentale (Stradale)	20	Variabile	20	30

Tabella 11.4 – Sovraccarichi: valori caratteristici

I carichi sono stati amplificati secondo i coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{F,1}$  opportuni.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 79 di 135</p>
---	---

#### 11.4 Verifiche STR e GEO

Le analisi di dimensionamento sono state eseguite conformemente al D.M. 17 Gennaio 2018 (NTC 2018), con il metodo degli stati limite ultimi SLU (sicurezza nei confronti della rottura) e degli stati limite di esercizio SLE (deformazioni compatibili con la destinazione d'uso).

In particolare, per le analisi condotte in condizioni statiche si fa riferimento a quanto riportato al §6.5.3.1.2 di NTC2018 e a quanto precisato nell'ambito della Circolare n.7 C.S.LL.PP. del 21.01.2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Le verifiche allo SLU risultano soddisfatte quando avviene il rispetto della condizione  $E_d \leq R_d$ , con  $E_d$  valore di progetto dell'azione o del suo effetto e  $R_d$  valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica di tale condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali definiti rispettivamente per la azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1 e R2).

Di seguito, limitatamente al caso delle opere flessibili, si riassumono i valori numerici dei coefficienti parziali in accordo con NTC 2018.

ANALISI			AZIONI - $\gamma_F$				PROPRIETÀ TERRENO - $\gamma_M$		
			Permanenti		Variabili		Tan $\phi'$	$c'$	$\gamma$
			Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli			
1	SLE	Base model	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0
2A	SLU A1+M1+R1	0: DM18_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	1.3	1.0	1.5	0	1.0	1.0	1.0
2B	SLU A2+M2+R1	0: DM18_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	1.0	1.0	1.3	0	1.25	1.25	1.0

Tabella 11.5 – Approcci di calcolo e coefficienti parziali di sicurezza per opere di sostegno flessibili.

I coefficienti di sicurezza parziale  $\gamma_R$  sulla resistenza di progetto, coerentemente con il set R1 e R2, vanno assunti rispettivamente 1.00 e 1.10.

Pertanto, una volta amplificate le azioni e parzializzate le caratteristiche geotecniche dei terreni nei modi sopra precisati, **nelle Analisi 2A, 2B, 3A e 3B si adotta un coefficiente di sicurezza minimo pari a  $FS_{adm}=\gamma_R=1.0$ , nell'Analisi 4  $FS_{adm}=\gamma_R=1.1$ .**

Si noti che le Analisi 3A e 3B vengono condotte in fase statica secondo le stesse modalità delle Analisi 2A, 2B, impiegando i medesimi coefficienti parziali di sicurezza. I valori di questi indicati in Tabella 11.5 sono riferiti, dunque, esclusivamente allo step finale in cui vengono implementate le azioni sismiche.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 80 di 135</p>
---	---

L'**Analisi 1** consente di verificare i seguenti aspetti:

- LATO STRUTTURA:
  - verifica della deformabilità della paratia;
  - verifica delle tensioni di esercizio nella paratia;
  - verifica della fessurazione nella paratia.

Le **Analisi 2A** e **2B** consentono di verificare i seguenti aspetti:

- LATO GEOTECNICO (ANALISI 2B):
  - verifica lunghezza di infissione della paratia garantendo che il rapporto tra la lunghezza di progetto e la lunghezza limite di incipiente collasso ottenuta con i parametri abbattuti sia superiore  $\geq 1$  ( $FS \geq 1$ ).
- LATO STRUTTURA (ANALISI 2A):
  - verifica della deformazioni post-sismiche della paratia;
  - verifica di resistenza delle sezioni della paratia (Flessione e Taglio).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 81 di 135</p>
--	---

## 11.5 Analisi dei risultati

Si descrive il quadro di sintesi dei risultati ottenuti dal calcolo rimandando agli allegati per maggiori dettagli.

L'approccio di calcolo esaminato mostra i risultati dello spostamento massimo della paratia, i valori massimi delle sollecitazioni nelle paratie (momento flettente e taglio), i tassi di sfruttamento massimi (rapporto azioni di progetto-resistenze di progetto, **la verifica risulta soddisfatta per un valore minore di uno**), le massime reazioni nei vincoli (laddove presenti), i tassi di sfruttamento massimi TSF dei vincoli (rapporto azioni di progetto-resistenze di progetto, **la verifica risulta soddisfatta per un valore minore di uno**), il fattore di sicurezza nei confronti dell'infissione critica.

Di seguito si riporta il dettaglio del significato delle figure riportate negli allegati:

- Spostamento paratia: valore dello spostamento massimo in seno alla paratia;
- Diagramma involuppo dei massimi valori del momento flettente sulla paratia in kNm/ml; per la combinazione SLU A1+M1+R1/ SLV M1+R1 (a seconda di quale risulta la più gravosa) in cui è massimo il valore del momento flettente sollecitante  $M_{Ed}$ ; viene graficato anche il tasso di sfruttamento TSF M lungo la paratia ed il momento resistente di progetto  $M_{Rd}$  (linee verticali blu);
- Diagramma involuppo dei massimi valori della forza di taglio sulla paratia in kN/ml; per la combinazione SLU A1+M1+R1/ SLV M1+R1 (a seconda di quale risulta la più gravosa) in cui è massimo il valore del taglio sollecitante ( $V_{Ed}$ ); viene graficato anche il tasso di sfruttamento TSF V lungo la paratia ed il taglio resistente di progetto  $V_{Rd}$  (linee verticali blu);
- FS infissione (eq.limite): rappresenta il rapporto tra la lunghezza effettiva di infissione e la lunghezza limite in condizioni di incipiente collasso, valutato con analisi all'equilibrio limite.

**Quanto dedotto numericamente risulta compatibile con le condizioni di lavoro delle opere in oggetto.**

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 82 di 135</p>
---	---

### 11.5.1 Verifica SLU della lunghezza di infissione delle paratie

Dai diagrammi riportati in calce negli allegati, analizzando la risultante delle spinte di valle con la resistenza passiva di progetto, i valori di massima spinta ammissibile risultano maggiori di quelli di spinta reale totale.

Si può osservare il sistematico rispetto del vincolo  $FS \geq 1$ .

### 11.5.2 Verifica SLU a flessione

Per la verifica di resistenza a flessione non si considera, a favore di sicurezza, la sollecitazione assiale permanente dovuta al peso del palo e della trave di coronamento che solidarizza i pali alla quota in cui è massimo il momento flettente agente.

Dai diagrammi riportati in calce negli allegati, in cui è graficato per la combinazione SLU A1+M1+R1/SLV M1+R1 il tasso di sfruttamento del momento TSF M lungo la paratia ed anche il confronto visivo fra massimo valore del momento flettente sollecitante ed il momento resistente di progetto (linee verticali rosse), si evince nella totalità dei casi il rispetto della condizione  $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ . Tutte le verifiche a flessione risultano soddisfatte.

### 11.5.3 Verifica SLU a taglio

Dai diagrammi riportati in calce negli allegati, in cui è graficato per la combinazione SLU A1+M1+R1/SLV M1+R1 il tasso di sfruttamento del momento TSF V lungo la paratia ed anche il confronto visivo fra massimo valore del taglio sollecitante  $V_{Ed}$  ed il taglio resistente di progetto  $V_{Rd}$  (linee verticali rosse), si evince nella totalità dei casi il rispetto della condizione  $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ .

La verifica a taglio risulta, dunque, soddisfatta.

### 11.5.4 Verifica SLE delle tensioni di esercizio della paratia

Secondo quanto previsto da NTC2018 la §4.1.2.2.5 e dalla Circolare esplicativa n.617 al §C4.1.2.2.5, per la verifica allo SLE delle tensioni massime di compressione nel calcestruzzo, andrà verificato che il valore della tensione massima nel calcestruzzo  $\sigma_{c,max}$  soddisfi le relazioni:

$$\sigma_{c,max} \leq 0.45 \cdot f_{ck} \quad \text{nella combinazione quasi permanente}$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0.60 \cdot f_{ck} \quad \text{nella combinazione rara}$$

in cui  $f_{ck}$  è la resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 giorni.

Si noti come, per le paratie in progetto, la verifica venga eseguita con riferimento al solo SLE quasi permanente. Adottando cautelativamente valori unitari per i coefficienti di combinazione  $\Psi_0$ ,  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$ , le tre combinazioni (quasi permanente, frequente e rara) coincidono.

La verifica viene allora effettuata con riferimento alla combinazione quasi permanente, che comporta la verifica più restrittiva.

Occorre verificare anche che la tensione massima nelle armature  $\sigma_{s,max}$  soddisfi la relazione:

$$\sigma_{s,max} \leq 0.8 \cdot f_{yk}$$

con  $f_{yk}$  tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 83 di 135</p>
--	---

In particolare dovrà risultare:

$$\sigma_{c,max} \leq 0.45 \cdot f_{ck} = 12.6MPa;$$

$$\sigma_{s,max} \leq 0.8 \cdot f_{yk} = 360MPa.$$

Il calcolo delle tensioni a SLE sono riportati nelle seguenti figure.

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window title is 'Verifica C.A. S.L.U. - File: TIPO1'. The menu bar includes 'File', 'Materiali', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Progetto Sez. Rett.', 'Sismica', and 'Normativa: NTC 2018'. The interface is divided into several panels:

- Titolo:** Tipo 1\_TENSIONI IN ESERCIZIO
- Sezione circolare cava:**
  - Raggio esterno: 30 [cm]
  - Raggio interno: 0 [cm]
  - N° barre uguali: 16
  - Diametro barre: 2,4 [cm]
  - Copriferro (baric.): 8 [cm]
- N° barre:** 0 (with a 'Zoom' button)
- Tipo Sezione:**
  - Rettan.re
  - Trapezi
  - a T
  - Circolare
  - Rettangoli
  - Coord.
  - DXF
- Sollecitazioni:**
  - S.L.U. (selected) / Metodo n
  - $N_{Ed}$ : 0 kN
  - $M_{xEd}$ : 0 kNm
  - $M_{yEd}$ : 0 kNm
- P.to applicazione N:**
  - Centro
  - Baricentro cls
  - Coord.[cm] (xN: 0, yN: 0)
- Metodo di calcolo:**
  - S.L.U.+
  - S.L.U.-
  - Metodo n
- Materiali:**
  - B450C / C25/30
  - $\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰
  - $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>
  - $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>
  - $E_s/E_c$ : 15
  - $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰
  - $\sigma_{s,adm}$ : 360 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰
  - $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰
  - $f_{cd}$ : 14,17
  - $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8
  - $\sigma_{c,adm}$ : 12,6
  - $\tau_{co}$ : 0,6
  - $\tau_{c1}$ : 1,829
- Results:**
  - $\sigma_c$ : -12,38 N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma_s$ : 252 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_s$ : 1,26 ‰
  - d: 52 cm
  - x: 22,06
  - x/d: 0,4243
  - $\delta$ : 0,9704
- Other parameters:**
  - Vertici: 52
  - N° iterazioni: 4
  - Precompresso

Figura 11.6 – TIPO 1, tensioni in esercizio.

Verifica C.A. S.L.U. - File: TIPO2

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo :** Tipo 2\_TENSIONI IN ESERCIZIO

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 30 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 16  
 Diametro barre: 2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14,17  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,6  
 $\sigma_{s,adm}$ : 360 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6  
 $\tau_{c1}$ : 1,829

$\sigma_c$ : -7,881 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 182,2 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : 0,9108 ‰  
 d: 52 cm  
 x: 20,47 x/d: 0,3936  
 $\delta$ : 0,932

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

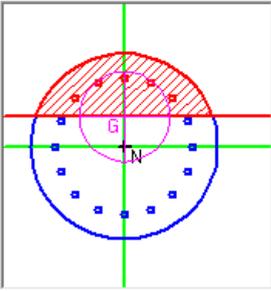


Figura 11.7 – TIPO 2, tensioni in esercizio.

Tutte le verifiche risultano soddisfatte

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 85 di 135</p>
--	---

## 12 TERRE RINFORZATE

### 12.1 Premessa

Sono definiti muri di sostegno o altre strutture miste ad essi assimilabili:

- muri, per i quali la funzione di sostegno è affidata al peso proprio del muro e a quello del terreno direttamente agente su di esso (ad esempio muri a gravità, muri a mensola, muri a contrafforti);
- strutture miste, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento (ad esempio, ture, terra rinforzata, muri cellulari).

Nel campo della geotecnica è definita come opera in terra rinforzata o pendio rinforzato, una struttura atta al contenimento o alla stabilizzazione di una scarpata costituita, essa stessa, da terreno e da elementi di rinforzo di forma e materiale opportuno, capaci di assorbire sforzi di trazione. Tali elementi vengono di solito disposti lungo piani di posa orizzontali durante il riempimento e la compattazione del rilevato di terreno strutturale, che avviene per strati successivi.

Così facendo, il regime di sollecitazioni che s'instaura nel rilevato strutturale con l'aumentare dei carichi, è tale da mobilitare la resistenza a trazione dei rinforzi in virtù della propria aderenza per attrito con il terreno.

Il terreno che costituisce il rilevato strutturale, invece, offrirà il suo contributo di resistenza alla compressione per effetto dei carichi verticali.

Nella progettazione di queste strutture è pertanto necessario individuare i meccanismi di rottura potenziali nel terreno al fine di valutare il contributo di stabilità offerto dalla presenza dei rinforzi. Il dimensionamento di una struttura in terra rinforzata implica pertanto la scelta corretta della lunghezza e della spaziatura verticale dei rinforzi necessarie a garantire la stabilità, noti che siano i parametri geotecnici del rilevato strutturale (angolo d'attrito, peso specifico) e le caratteristiche meccaniche dei rinforzi (carico rottura, coeff. aderenza terreno).

I meccanismi di scivolamento schematizzati nel calcolo saranno in generale diversi secondo le caratteristiche dei rinforzi e soprattutto della geometria e della stratigrafia della scarpata.

### 12.2 Normativa di riferimento

- Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 17/01/2018
- Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 14/01/2008
- Circolare al D.M. del 14/01/2008
- Eurocodice 7 "Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali", aprile 1997.
- Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 1: Regole generali - azioni sismiche e requisiti generali per le strutture", ottobre 1997.
- Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici", febbraio 1998.
- UNI EN 14475 - Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 86 di 135</p>
--	---

- UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecniche di impiego delle terre
- ASTM D 3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI EN 13285 - Miscele non legate - Specifiche
- UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione

### 12.3 Sistema terre rinforzate verdi e terre rinforzate con gabbioni

La struttura di sostegno in terra rinforzata con paramento in pietrame è realizzata in elementi marcati CE in accordo con la ETA 16/0767 per gli specifici impieghi come "sistemi in rete metallica per il rinforzo del terreno per opere di sostegno". La struttura è costituita da elementi di armatura planari orizzontali, larghi 3.0 m, in rete metallica a doppia torsione, realizzati in accordo con le "Linee Guida per la certificazione di idoneità tecnica all'impiego e l'utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione" approvate dal Consiglio Superiore LL.PP. (n.69/2013), ed in accordo con la UNI EN 10223-3:2013.

La rete metallica a doppia torsione deve essere realizzata con maglia esagonale tipo 8x10 (UNI-EN 10223-3), tessuta con filo in acciaio trafilato, avente un diametro pari 2.70 mm, galvanizzato con lega eutettica di Zinco - Alluminio (5%), conforme all'EN 10244-2 (Classe A) con un quantitativo non inferiore a 245 g/mq. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico che dovrà avere uno spessore nominale di 0.50 mm, portando il diametro esterno al valore nominale di 3.70 mm. La resistenza del polimero ai raggi UV sarà tale che a seguito di un'esposizione di 2500 ore a radiazioni UV (secondo ISO 4892-2 o ISO 4892-3) il carico di rottura e l'allungamento a rottura non variano in misura maggiore al 25%.

La resistenza a trazione della rete dovrà essere non inferiore a 50 kN/m (test eseguiti in accordo alla UNI EN 10223-3:2013).

La rete una volta sottoposta al 50% del carico massimo a rottura per trazione pari a 25 kN/m, non dovrà presentare rotture del rivestimento plastico del filo all'interno delle torsioni.

Capacità di carico a punzonamento della rete dovrà essere non inferiore a 65 kN (test eseguiti in accordo alla UNI 11437 e alla ISO 17746).

La rete deve presentare una resistenza a corrosione in SO<sub>2</sub> (0,2 dm<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> per 2 dm<sup>3</sup> acqua) tale per cui dopo 28 cicli la percentuale di ruggine rossa non deve essere superiore al 5% (test eseguito in accordo alla EN ISO 6988).

La rete deve presentare una resistenza a corrosione in test in nebbia salina tale per cui dopo 6000h la percentuale di ruggine rossa non deve essere superiore al 5% (test eseguito in accordo alla EN ISO 9227).

Il paramento, costituito da un elemento scatolare di sezione 1.00 m x 1.00 m, sarà realizzato risvoltando frontalmente la rete metallica a doppia torsione e collegandola posteriormente con un pannello posteriore di chiusura, solidale con l'elemento di rinforzo orizzontale; in tal modo l'elemento sarà realizzato conferendo continuità, senza legature, tra paramento esterno ed armature di rinforzo. Gli elementi di rinforzo contigui saranno posti in opera e legati tra loro con

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 87 di 135</p>
---	---

punti metallici meccanizzati galvanizzati con Galmac lega eutettica di Zinco - Alluminio (5%) classe A secondo la UNI EN 10244-2, con diametro 3.00 mm e carico di rottura minimo pari a 1700 MPa.

Il Sistema Qualità della ditta produttrice dovrà essere inoltre certificato in accordo alla ISO 9001:2008 da un organismo terzo indipendente. Il Sistema di Gestione Ambientale della ditta produttrice dovrà essere inoltre certificato in accordo alla ISO 14001:2004 da un organismo terzo indipendente.

Le lunghezze dei rinforzi sono riportate negli elaborati grafici di dettaglio e nei tabulati di dimensionamento allegati.

Il pietrame da usarsi per il riempimento della facciata del Terre rinforzate con gabbioni potrà essere indifferentemente pietrame di cava o ciottoli purché abbia una struttura compatta, non friabile, resistente all'acqua, non gelivo e di alto peso specifico. Il materiale di riempimento dovrà avere forma omogenea d'opportuna pezzatura che in virtù della dimensione della maglia prevista (tipo 8x10) è di 100/200 mm. Potrà essere utilizzato materiale per un massimo del 5% in peso di pezzatura superiore od inferiore e dovrà essere utilizzato nella parte centrale dei gabbioni (evitando la facciata anteriore e posteriore). La pezzatura dovrà comunque avere diametro compreso fra 50mm e 250mm.

Il terreno di riempimento che costituisce il rilevato strutturale dell'opera, potrà provenire sia da scavi precedentemente eseguiti sia da cave di prestito e facendo riferimento alle classificazioni ASTM D 3282 o UNI 10006 dovrà appartenere ai A1-a, A1-b, A3, A2-4, A2-5 con esclusione di pezzature superiori a 150mm.

Il materiale con dimensioni superiori a 100 mm è ammesso con percentuale inferiore al 15% del totale. In ogni caso dovranno essere esclusi i materiali che, da prove opportune, presentino parametri geomeccanici (angoli d'attrito e coesione) minori di quelli previsti in progetto.

Il peso di volume del terreno di riempimento, in opera compattato, dovrà essere superiore a 18-19 kN/m<sup>3</sup>.

Le caratteristiche e l'idoneità dei materiali saranno accertate mediante le seguenti prove di laboratorio.

- analisi granulometrica;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- determinazione del limite liquido e dell'indice di plasticità sull'eventuale porzione di passante al setaccio 0,4 UNI 2332;
- prova di compattazione AASHTO.

Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati conseguiti in sede di preparazione dei piani di posa degli elementi di rinforzo, in relazione alle caratteristiche dei terreni utilizzati.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 88 di 135</p>
--	---

#### 12.4 Istruzioni operative per la realizzazione del rilevato strutturale

Il piano di posa dovrà essere predisposto fino a raggiungere la quota d'imposta del primo elemento di Terre rinforzate da eseguire, secondo le indicazioni riportate negli elaborati di progetto.

Si dovrà provvedere innanzitutto al taglio delle piante e alla estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc, il terreno dovrà quindi essere adeguatamente rullato e compattato fino ad ottenere le caratteristiche previste nel capitolato.

Il piano di fondazione dovrà essere regolare ed idoneo per la posa e compattazione del primo strato di riporto con ottenimento dei requisiti richiesti.

Non si dovrà operare in presenza di ristagni d'acqua o con terreni rammolliti, né in presenza di elevato contenuto organico (nell'eventualità questi dovranno essere bonificati, per completa sostituzione).

Nel caso in cui il piano di posa si trovi localmente depresso, in condizioni favorevoli ai ristagni d'acqua, si dovranno eseguire delle canalette di scolo laterale in pendenza con adeguato recapito.

Prima di eseguire il primo riporto occorre eseguire almeno 2-3 passate con un rullo liscio.

Il materiale proveniente dallo scavo di preparazione del piano di posa dei rilevati e dallo scavo di sbancamento per bonifica potrà essere reimpiegato, se ritenuto idoneo, nella sistemazione a verdi delle scarpate.

Ogni qualvolta i rilevati dovranno poggiare su declivi con pendenza superiore al 20%, ultimata l'asportazione del terreno vegetale e fatta eccezione per diverse e più restrittive prescrizioni derivanti dalle specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si dovrà provvedere all'esecuzione di una gradonatura con banche in leggera contropendenza (tra 1% e 2%) e alzate verticali contenute in altezza.

- **TMV (terre rinforzate verdi)**

Gli elementi di Terre rinforzate dovranno essere posti in opera per strati costanti, secondo le modalità di seguito riportate:

- Apertura e predisposizione dell'elemento Terre rinforzate avendo cura di stendere il telo di rinforzo eliminando le linee di piegatura preformate in fase di produzione e mettere in posizione gli elementi;
- Posizionamento degli elementi a squadra per dare l'inclinazione al paramento. Per l'assemblaggio e la legatura degli elementi, è necessario essere provvisti di pinze e tenaglie e di una graffatrice tipo pneumatico, con alimentazione ad aria compressa (6-8 bar). In generale, per le operazioni di legatura per una continuità strutturale, si consiglia un intervallo tra punto e punto massimo di 20 cm;
- Riempimento della parte a tergo del paramento manualmente con terreno vegetale che subirà una compattazione "leggera" per permettere l'attecchimento della vegetazione;
- Riempimento degli elementi di rinforzo in rete con materiale idoneo, fino a formare uno strato di spessore di 300 mm;

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 89 di 135</p>
--	---

- Compattazione del materiale posto in opera mediante rullatura, secondo le indicazioni successivamente riportate;
- Risagomatura del piano di posa per l'esecuzione dell'elemento Terre rinforzate successivo;
- Ripetizione delle azioni da 1 a 6 fino a completamento della struttura.

▪ **TMS (terre rinforzate con gabbioni)**

Gli elementi di Terre rinforzate dovranno essere posti in opera per strati costante, secondo le modalità di seguito riportate.

- Apertura e predisposizione dell'elemento Terre rinforzate avendo cura di stendere il telo di rinforzo eliminando le linee di piegatura preformate in fase di produzione e mettere in posizione gli elementi;
- Messa in scatola della facciata Per l'assemblaggio e la legatura degli elementi, è necessario essere provvisti di pinze e tenaglie e di una graffatrice tipo pneumatico, con alimentazione ad aria compressa (6-8 bar). In generale, per le operazioni di legatura per una continuità strutturale, si consiglia un intervallo tra punto e punto massimo di 20 cm;
- Riempimento con pietrame della facciata;
- Riempimento degli elementi di rinforzo in rete con materiale idoneo, fino a formare uno strato di spessore di 250 mm;
- Compattazione del materiale posto in opera mediante rullatura, secondo le indicazioni successivamente riportate;
- Risagomatura del piano di posa per l'esecuzione dell'elemento Terre rinforzate successivo;
- Ripetizione delle azioni da 1 a 6 fino a completamento della struttura.

12.4.1 Idrosemina a spessore, compattazione e prove di controllo

Realizzazione di idrosemina a spessore su strutture in terre rinforzate. La miscela, eseguita a regola d'arte, comprende i seguenti componenti e fasi:

- messa in opera di appropriato miscuglio di sementi scelte (graminace e leguminose), con una dose di impiego in condizioni normali di 35 gr/mq e di massimo 50 gr/mq in condizioni difficili per la germinazione;
- messa in opera di concimazione di base con prodotto organo-minerale bilanciato e microelementi, (7-7-7+2 Mgo) con una dose di impiego di almeno 250 gr/mq;
- somministrazione di colloidie di origine vegetale ad alta viscosità, derivato da piante e frutti, con quantità da applicare di circa 15gr/mq;

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 90 di 135</p>
---	---

- somministrazione di Humus, sostanza organica matura con titoli nutritivi (NP), in quantità variabile da 250 a 400 gr/mq a seconda della situazione;
- applicazione di una coltre protettiva di ca. 250/350 gr/mq "Mulch" composto da: 70% prodotto in fibre di legno e colloide naturale e 30 % miscela di fibre vegetali (paglia, cotone e cellulosa).

La provenienza e germinabilità della semente dovranno essere certificate. L'applicazione della miscela deve avvenire con idonea idroseminatrice che garantisce l'omogeneità del prodotto applicato e fornitura di pompa che mantenga l'integrità della semente.

Le operazioni di compattazione, il tipo, le caratteristiche dei mezzi di compattazione, nonché le modalità esecutive di dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza) devono essere tali da garantire la prevista densità finale del materiale. In ogni modo, deve ritenersi esclusa la possibilità di compattazione con pale meccaniche. Nel caso in cui lo sviluppo planimetrico dei manufatti sia modesto e gli spazi di lavoro disponibili siano esigui, si useranno mezzi di compattazione leggeri, quali piastre vibranti e costipatori vibranti azionati a mano. Ogni strato sarà messo in opera con un grado di compattazione pari al 95% del valore fornito dalle prove Proctor (ASTM D 1557). La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme. A tale scopo, i mezzi dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele, garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari al 10% del mezzo costipante. La compattazione a tergo delle opere eseguite dovrà essere tale da escludere una riduzione dell'addensamento e nello stesso tempo il danneggiamento delle opere stesse. In particolare, si dovrà fare in modo che i compattatori a rullo operino ad una distanza non inferiore a m 0.50 dal paramento esterno, e procedere quindi ad una successiva compattazione con "rana compattatrice" o piastra vibrante della porzione di terreno posta ad una distanza inferiore a 0,50 m dal paramento. Questo procedimento consente di non generare deformazioni locali indotte dal passaggio o urto meccanico dei mezzi contro i componenti del sistema. Durante la costruzione, nel caso di danni causati dalle attività di cantiere o dovuti ad eventi meteorologici si dovrà provvedere al ripristino delle condizioni iniziali.

Prima che venga messo in opera uno strato di terreno nel rilevato rinforzato, quello precedente dovrà essere sottoposto alle prove di controllo e possedere i requisiti di costipamento richiesti.

La frequenza delle prove di seguito specificata, deve ritenersi come indicativa e potrà essere diminuita o aumentata, secondo quanto prescritto dalla Direzione Lavori in considerazione della maggiore o minore omogeneità granulometrica dei materiali portati a rilevato e della variabilità nelle procedure di compattazione.

L'Impresa dovrà eseguire le prove di controllo nei punti indicati dalla Direzione Lavori ed in contraddittorio con la stessa.

L'Impresa potrà eseguire le prove di controllo o in proprio o tramite un laboratorio esterno comunque approvato dalla Direzione Lavori.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 91 di 135</p>
---	---

La serie di prove sui primi 5000 mc. potrà essere effettuata una sola volta a condizione che i materiali mantengano caratteristiche omogenee e siano costanti le modalità di compattazione.

In caso contrario la Direzione Lavori potrà prescrivere la ripetizione della serie.

Le prove successive devono intendersi riferite a quantitativi appartenenti allo stesso strato di rilevato.

Tipo di Prova	PRIMI 5000 m3 Ripetere la prova ogni (m3)	SUCCESSIVI m3
Classif. CNR - UNI 10006	2000	5000
Costipazione AASHTO Mod. CNR	2000	5000
Densità in sito CNR 22	250	1000
Carico su piastra CNR 9 - 70317	1000	5000
Controllo umidità	*	*

\* Frequenti e rapportate alle condizioni meteorologiche locali ed alle caratteristiche di omogeneità dei materiali costituenti il rilevato

## 12.5 Condizioni di carico verificate

Il dimensionamento della struttura è stata condotte sulla base dei dati forniti dal cliente secondo gli Stati Limite Ultimi (SLU - SLV) sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 6 – sono stati applicati coefficienti parziali ai carichi, ai parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo).

Per quanto riguarda la stabilità globale si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R2 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione, verifica di Capacità Portante della Fondazione e verifica a Ribaltamento della Struttura si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR), per le Verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 7.11 – sono state condotte anche le verifiche in condizioni sismiche applicando i coefficienti parziali dei parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo), mentre i coefficienti parziali dei carichi sono stati posti pari ad 1.

Per quanto riguarda la stabilità globale si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: M2+R2+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 92 di 135</p>
---	---

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione, verifica di Capacità Portante della Fondazione e verifica a Ribaltamento della Struttura si è utilizzato l'Approccio 2: M1+R3+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda invece le verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR) (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno), per le Verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 2: M1+R3+kh±kv.

## 12.6 Coefficienti di sicurezza parziali

Il progetto strutturale e geotecnico delle opere in esame sarà condotto in conformità alle indicazioni del D.M. 17/01/2018 (rif. Cap. 6 e Cap. 7).

Nell'ambito delle verifiche allo Stato Limite Ultimo si sono adottati i seguenti coefficienti parziali:

Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI DI RESISTENZA $\gamma_R$				
$R_d = R_k / \gamma_R$	R2	R2(*)	R3	R3(*)
Stabilità	1,10	1,20	1,00	1,20
Scorrimento - Slittamento per attrito	1,00	1,00	1,10	1,00
Ribaltamento	1,00	1,00	1,15	1,00
Capacità portante della Fondazione - Punzonamento	1,00	1,00	1,40	1,20

Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI GEOTECNICI $\gamma_M$				
	M1	M1(*)	M2	M2(*)
Peso unità di volume ( $\gamma_G$ )	1,00	1,00	1,00	1,00
Angolo di attrito $\tan\phi'k$ ( $\gamma_{\phi'}$ )	1,00	1,00	1,25	1,00
Coesione efficace $c'k$ ( $\gamma_{c'}$ )	1,00	1,00	1,25	1,00
Resistenza non drenata $c_{uk}$ ( $\gamma_{cu}$ )	1,00	1,00	1,40	1,00

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 93 di 135</p>
---	---

Coefficienti PARZIALI DELLE AZIONI <input type="checkbox"/> F					
		A1	A1(*)	A2	A2(*)
PERMANENTI: (Pesi, spinte geostatiche del terreno; sovraccarichi permanenti) ( <input type="checkbox"/> G1)	Favorevole	1,00	1,00	1,00	1,00
	Sfavorevole	1,30	1,00	1,00	1,00
VARIABILI: (sovraccarichi variabili; sisma; spinte relative indotte) ( <input type="checkbox"/> Qi)	Favorevole	0,00	1,00	0,00	1,00
	Sfavorevole	1,50	1,00	1,30	1,00

(Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II, Par. 7.11.6.2.2 e Par. 7.11.4)

Nota:

Coefficienti parziali dei carichi e delle spinte (i carichi permanenti non strutturali sono assimilati ai sovraccarichi permanenti in quanto compiutamente definiti).

I coefficienti parziali di riduzione delle prestazioni dei rinforzi definiti nel report di calcolo di MacStars W come "Fs Rottura Rinforzi" e "Fs Sfilamento Rinforzi" sono posti pari all'unità poiché non definiti nelle "Nuove Norme Tecniche 2018".

(\*) condizioni sismiche: nel caso di verifiche sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici vengono posti pari all'unità (Rif. 7.11.6.2.2 del D.M. 17/01/2018).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 94 di 135</p>
--	---

## 12.7 Ipotesi di calcolo

- Comune di costruzione o coordinate topografiche: S.S. 38 "Dello Stelvio"
- Vita nominale dell'opera - VN (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.I) 100 anni
- Coefficiente d'uso – CU (Rif. D.M. 17/01/2018 tab 2.4.II) Classe IV
- Categoria del Sottosuolo (Rif. D.M. 17/01/2018 tab. 3.2.II e tab. 3.2.IV) C
- Categoria Topografica (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 3.2.III e Tab. 3.2.V) T1

Nei calcoli di stabilità e resistenza si sono assunte le caratteristiche fisiche dei terreni. La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è riportata negli allegati di calcolo.

Si è considerato agente un sovraccarico accidentale pari a 20 kPa.

Per le verifiche sismiche il sovraccarico accidentale dovuto al transito di mezzi viene moltiplicato per il fattore  $\psi_{2j} = 0.2$  in accordo con D.M. 17/01/2018 cap. 5.1.3.12.

Il calcolo viene inoltre eseguito tenendo conto delle azioni sismiche dell'area oggetto del progetto secondo quanto prescritto da D.M. 17/01/2018 per cui:

- Accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido:  $a_{g/g} = 0,131$
- Coefficiente di sottosuolo:  $S = S_s \times S_t = 1,49$
- Coefficiente di riduzione:  $\beta_m = 0,38$  (valore riferito allo stato limite ultimo SLV);
- Coefficiente sismico orizzontale  $k_h = S \times a_{g/g} \times \beta_m = 1,49 \times 0,131 \times 0,38 = 0,074$
- Coefficiente sismico verticale  $k_v = k_h / 2 = + 0,037$

Il dimensionamento delle strutture in progetto è stato eseguito con riferimento a quanto riportato nelle seguenti tabelle ed eventualmente integrato e dettagliato nel proseguo del paragrafo. Per le altezze delle sezioni di calcolo si rimanda ai relativi tabulati ed agli eventuali disegni acclusi alla presente nota oltre che alle tavole di progetto.

DATI GEOTECNICI	Terreno 1: Sabbie con limo debolmente argillose	$\gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3$	$\phi_1 = 25^\circ$	$c'_1 = 0 \text{ kPa}$
	Terreno 2: Ghiaia con sabbia debolmente limosa	$\gamma_2 = 19 \text{ kN/m}^3$	$\phi_2 = 28^\circ$	$c'_2 = 0 \text{ kPa}$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 95 di 135</p>
--	---

<b>CARICHI ACCIDENTALI ESTERNI</b>	Rilevato	$\gamma_3 = 19 \text{ kN/m}^3$	$\phi_3 = 32^\circ$	$c'_3 = 0 \text{ kPa}$
	Riempimento gabbioni	$\gamma_3 = 17.5 \text{ kN/m}^3$	$\phi_3 = 40^\circ$	$c'_3 = 12.5 \text{ kPa}$
	Cls	$\gamma_3 = 25 \text{ kN/m}^3$	$\phi_3 = 0^\circ$	$c'_3 = 500 \text{ kPa}$
	Dinamico	20 kPa		
	Sismico	$K_h = 0,074$ $K_v = 0,037$		

La veridicità dei dati geotecnici in fase esecutiva deve essere verificata attraverso prove di laboratorio e di cantiere. Sarà compito della DD.LL. verificare che i materiali posti in opera corrispondono a quelli di progetto, al fine di assicurare, nella costruzione dei rilevati, i coefficienti di sicurezza previsti. La verifica di stabilità globale è a cura del progettista generale dell'opera in quanto influenzata dalle opere di sostegno previste a monte e a valle della stessa.

## 12.8 Metodi di calcolo

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati viene condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta mediante un programma di calcolo denominato MacStars W cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di BISHOP modificato che prevede l'utilizzo di superfici di scorrimento circolari.

### Metodi utilizzati nel codice

Nel codice di calcolo di MacStars W si utilizzano i metodi semplificati di Bishop e Janbu. In entrambi i metodi il criterio di rottura adottato è quello di Mohr - Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma - u) * \tan(\phi')$$

dove:

$\tau$  = tensione tangenziale massima

$c$  = coesione

$\sigma$  = pressione normale totale

$u$  = pressione interstiziale

$\phi'$  = angolo di attrito

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 96 di 135</p>
---	---

Applicando al valore della tensione tangenziale massima il coefficiente di sicurezza si ottiene la forza tangenziale mobilitata

**Caratteristiche del metodo semplificato di Bishop sono:**

- vale solo per superfici circolari e quasi circolari, cioè superfici che vengono assimilate a superfici circolari adottando un centro di rotazione fittizio;
- ipotizza che le forze di interazione tra i conci siano solo orizzontali;
- ottiene il coefficiente di sicurezza mediante scrittura della condizione di equilibrio alla rotazione intorno al centro della circonferenza;
- non soddisfa l'equilibrio globale in direzione orizzontale.

**Caratteristiche del metodo semplificato di Janbu sono:**

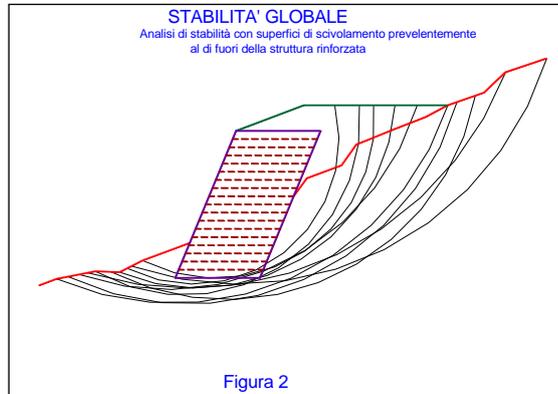
- vale per superfici di forma qualsiasi;
- ipotizza inizialmente che le forze di interazione tra i conci siano solo orizzontali;
- ottiene il coefficiente di sicurezza mediante scrittura della condizione di equilibrio alla traslazione verticale e quindi orizzontale;
- consente di tenere in conto le forze di interazione verticali (tangenziale) tra i conci mediante applicazione al precedente coefficiente di sicurezza di un fattore correttivo che dipende dalla geometria del problema e dal tipo di terreno;
- non soddisfa l'equilibrio globale alla rotazione del cuneo.

In relazione ai modelli di comportamento dei rinforzi una verifica di stabilità può essere condotta con il metodo rigido o con il metodo degli spostamenti.

**Verifica di stabilità globale**

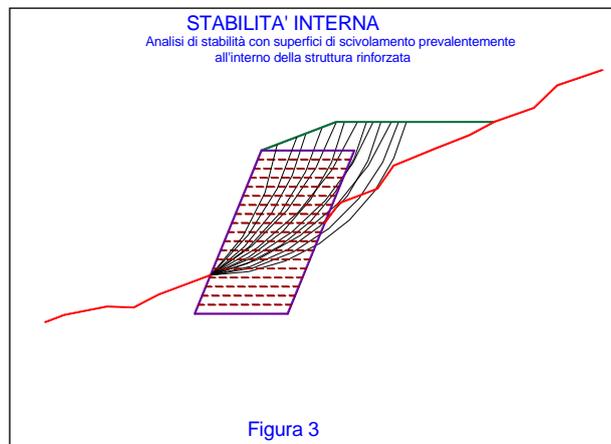
La verifica di stabilità globale, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato o meno. Può quindi essere utilizzato per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi, prima delle ipotesi di progetto di rinforzo. A seguito del progetto, tale verifica è da utilizzare per valutare la stabilità dell'opera nei confronti di meccanismi di potenziale scivolamento profondi e quindi eventualmente esterni ai rinforzi stessi (fig. 2).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 97 di 135</p>
---	---



### Verifica di stabilità interna

La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera, intesa come definizione dei rinforzi (tipologia, spaziatura, lunghezza, ecc.). In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata (fig. 3).



### Modello rigido

Nel modello rigido si ipotizza che un qualsiasi rinforzo che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata fornisca la forza di rottura del rinforzo, penalizzata dal relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidità dei rinforzi stessi. Per ciascun rinforzo devono essere verificate le seguenti condizioni:

- deve essere garantito un ancoraggio minimo (fornito dall'utente);
- deve essere garantito lo sfilamento nella zona di ancoraggio;
- deve essere garantito lo sfilamento all'interno della porzione di terreno instabile.

Nel primo caso, una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo

Nel secondo e nel terzo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al minore dei due valori di sfilamento.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 98 di 135</p>
---	---

Il calcolo delle forze ultime di sfilamento viene eseguito con il seguente procedimento, che si basa sulla considerazione che in tutti i punti del rinforzo sia raggiunta la condizione ultima ( $\tau_u$ ).

#### **Sfilamento esterno (tratto di ancoraggio)**

La zona di ancoraggio viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima ( $\tau_u$ ) dalla seguente relazione:

$$\tau_u = f \cdot \sigma_v$$

dove:

**f** = coefficiente di attrito totale del rinforzo sui materiali sopra e sotto nel tratto interessato, potendo essere rinforzo su rinforzo ( $f_{rr}$ ) o rinforzo su terreno ( $f_{tr}$ ).

$\sigma_v$  = tensione verticale efficace sul tratto considerato, ottenuta dalla relazione:

$$\sigma_v = (W + P_v - U) / dx$$

#### **12.8.1.1 W = peso totale della colonna di terreno sovrastante;**

**P<sub>v</sub>** = componente verticale del carico distribuito uniforme agente in sommità;

**U** = pressione neutra;

**dx** = larghezza del tratto considerato.

L'integrale delle tensioni tangenziali ultime fornisce la forza di sfilamento esterna ultima del rinforzo. Al valore così determinato può essere applicato un coefficiente di sicurezza definito dall'utente.

#### **Sfilamento interno**

Nel caso di rinforzi secondari il procedimento per il calcolo della forza di sfilamento ultima è identico a quella dello sfilamento esterno.

La lunghezza del rinforzo all'interno del blocco instabile viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima ( $\tau_u$ ) dalla seguente relazione:

$$\tau_u = f \cdot \sigma_v$$

dove il significato dei simboli è il medesimo del caso precedente. L'integrazione delle tensioni tangenziali ultime fornisce la forza ultima di sfilamento interno.

Nel caso di rinforzi principali è da aggiungere il contributo resistente dovuto al risvolto. Tale contributo (**F<sub>0</sub>**) può essere calcolato mediante somma di due contributi:

$$F_0 = F_1 + \Delta F$$

Dove **F<sub>1</sub>** è il contributo che genera sfilamento nella parte risvoltata (orizzontale), mentre **ΔF** è l'ulteriore contributo che tiene conto delle forze radenti lungo il tratto subverticale, adiacente al paramento.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 99 di 135</p>
---	---

$F_1$  viene calcolata con procedimento analogo a quello dello sfilamento esterno (integrazione delle forze tangenziali ultime), mentre  $\Delta F$  viene calcolato, nell'ipotesi che il tratto in oggetto assuma una configurazione semicircolare, dalla relazione:

$$\Delta F = F_1 \cdot \pi \cdot f_{tr}$$

Al valore di forza ultima totale di sfilamento interno può essere applicato un coefficiente di sicurezza definito dall'utente.

Nel codice di calcolo MacStars W è possibile assegnare una superficie di scorrimento mediante le coordinate (da utilizzare quando siano acquisite informazioni tali da conoscere la posizione della superficie di rottura del pendio) oppure è possibile far eseguire una ricerca della superficie di potenziale scorrimento, cioè la ricerca di quella superficie che presenta il coefficiente di sicurezza minore e quindi la superficie che presenta la maggiore probabilità di generare un collasso del pendio, qualora uno o più parametri di resistenza fossero inferiori a quelli del calcolo o i carichi fossero superiori.

La generazione delle superfici può essere di due tipi:

- superfici circolari;
- superfici casuali.

Il metodo di calcolo associabile alle superfici generate è: Bishop per superfici circolari, Janbu per superfici circolari e casuali.

Nel caso di superficie assegnata è possibile il calcolo sia con il metodo di Janbu che con il metodo di Bishop, ma in questo caso la forma della superficie deve essere prossima ad un arco di circonferenza.

La ricerca della superficie critica è sostanzialmente guidata dall'utente mediante l'utilizzo di alcuni parametri geometrici quali:

- l'estensione del tratto da cui partono le superfici;
- l'estensione del tratto in cui terminano le superfici;
- l'ampiezza dell'angolo di partenza delle superfici;
- la lunghezza di ogni singolo tratto della superficie di scorrimento;
- una quota minima sotto la quale le superfici non possono arrivare;
- un profilo geometrico all'interno del quale le superfici non possono entrare (ad esempio un profilo roccioso).

Il risultato finale può dipendere anche sensibilmente da tali scelte per cui è sempre opportuno eseguire più calcoli con differenti parametri. L'utente ovviamente può anche scegliere quante superfici generare. Ogni singola superficie viene generata mediante successione di tratti (della lunghezza stabilita dall'utente) la cui inclinazione è generata in modo casuale, ma comunque parzialmente guidata per rispettare i vincoli imposti.

MacStars W riconduce il calcolo in presenza di carichi sismici al metodo pseudostatico, introducendo nel calcolo forze di massa in direzione orizzontale ed in direzione verticale, ottenute moltiplicando il peso totale di ogni concio per i due coefficienti di intensità sismica.

Valori positivi dei coefficienti di intensità sismica, che vanno espressi come % di g, danno luogo a forze orientate verso l'esterno del pendio e verso l'alto.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 100 di 135</p>
---	--

Il contributo dei teli di rinforzo viene introdotto nel calcolo solo se essi intersecano la superficie di scivolamento. La resistenza a trazione nei rinforzi può mobilitarsi per l'aderenza tra il rinforzo stesso ed i materiali (terreno o altri rinforzi) che si trovano sopra e/o sotto.

Tale contributo viene simulato con una forza stabilizzante diretta verso l'interno del rilevato applicata nel punto di contatto tra superficie di scorrimento e rinforzo stesso. Il modulo di tale forza è determinato scegliendo il minore tra il valore della resistenza a rottura del rinforzo ed il valore della resistenza allo sfilamento del rinforzo nel tratto di ancoraggio o nel tratto interno alla porzione di terreno instabile.

Per tenere conto dell'effetto dei rinforzi è stato implementato un modello di comportamento rigido. Nel modello rigido si ipotizza che un qualsiasi rinforzo, che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata, fornisca la forza di rottura del rinforzo penalizzata del relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidità dei rinforzi stessi. Per ciascun rinforzo vengono verificate le seguenti condizioni:

- deve essere garantito un ancoraggio minimo;
- deve essere garantito lo sfilamento nella zona di ancoraggio;
- deve essere garantito lo sfilamento all'interno della porzione di terreno instabile.

Nel primo caso una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo. Nel secondo e terzo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al minore dei due valori di sfilamento.

Ai fini del calcolo strutturale si è tenuto conto che si tratta di un'opera permanente per cui si è fatto riferimento alle prestazioni a lungo termine dei materiali metallici.

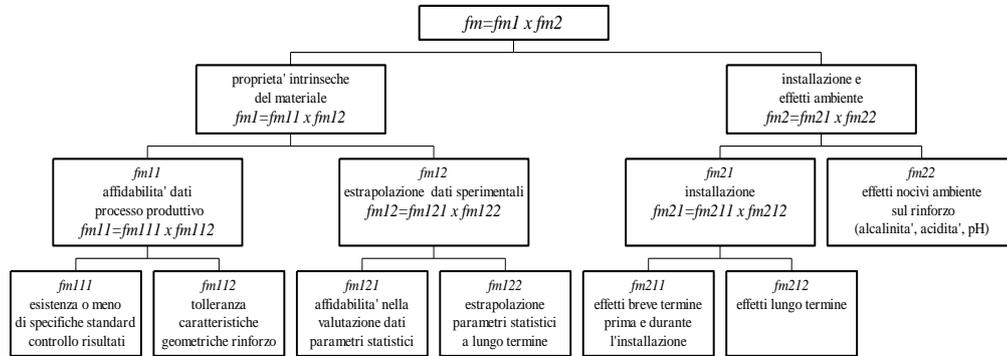
A tale proposito viene valutato il parametro di resistenza di lavoro  $T_d$ . Mancando in Italia uno specifico riferimento normativo, la stima della resistenza di lavoro degli elementi di rinforzo è stata determinata facendo riferimento allo schema illustrato di seguito che la normativa inglese BS8006 prescrive per i rinforzi in genere.

La resistenza di lavoro  $T_d$  è valutata secondo la formula:

$$T_d = T_b / f_m$$

Dove  $f_m$  è il fattore di sicurezza complessivo che consente di passare dalla resistenza a trazione nominale  $T_b$  a quella di progetto e si compone secondo lo schema indicato sotto:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 101 di 135</p>
---	--



La valutazione di dettaglio dei fattori parziali di sicurezza è riportata nella nota tecnica n° 7 in allegato.

Per il valore di  $T_b$ , resistenza nominale del rinforzo, ci si è basati sulle prove di trazione eseguite al CTC, Denver - Stati Uniti in accordo all'ASTM A-975, che hanno portato alla definizione del seguente valore per la resistenza a trazione nominale della rete metallica a doppia torsione:

$$T_b = 50 \text{ kN/m}$$

Per rinforzi realizzati in rete metallica doppia torsione, che non subiscono effetti di creep alle condizioni di carico di lavoro, tale coefficiente di riduzione non viene applicato.

La tabella seguente mostra i valori della resistenza a trazione di ogni rinforzo e del valore del coefficiente di sicurezza alla rottura applicato  $f_m$ .

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 102 di 135</p>
---	--

		<b>TERRE RINFORZATE VERDI 3x3x0.73 (mesh 8x10 wire 2.7/3.7mm)</b>	
		Gravel	Sandy gravel
<b>Resistenza caratteristica a trazione (UTS)</b>	kN/m	50	50
<b>Coefficiente di sicurezza globale - <math>f_m</math></b>	-	1.26	1.09
<b>Resistenza a trazione di progetto</b>	kN/m	39.6	45.8

		<b>TERRE RINFORZATE CON GABBIONI 5x2x1 (mesh 8x10 wire 2.7/3.7mm)</b>	
		Gravel	Sandy gravel
<b>Resistenza caratteristica a trazione (UTS)</b>	kN/m	50	50
<b>Coefficiente di sicurezza globale - <math>f_m</math></b>	-	1.26	1.09
<b>Resistenza a trazione di progetto</b>	kN/m	39.6	45.8

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 103 di 135</p>
---	--

## 12.9 Esito delle verifiche

Nella verifica di stabilità esterna ed interna si definiscono i cosiddetti coefficienti di sovradimensionamento, cioè i rapporti fra le capacità di resistenza della struttura e le azioni agenti sulla struttura stessa. Poiché nel calcolo si introducono sia coefficienti di sicurezza parziali che fattori di amplificazione dei carichi, è sufficiente che i fattori di sovradimensionamento siano maggiori od uguali a 1,00 per garantire la sicurezza nei confronti del criterio considerato. I valori minimi ottenuti nella struttura in oggetto sono riportati in dettaglio nei tabulati di calcolo allegati.

Coefficienti Minimi di Sovradimensionamento (+kv)					
Sezione	Stabilità Esterna				Stabilità Interna
	Globale	Scorrimento	Ribaltamento	Capacità Portante	
<b>Sezione 24</b>	1.158	1.667	3.592	2.005	1.103
<b>Condizione da soddisfare</b>	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$

Coefficienti Minimi di Sovradimensionamento					
Sezione	Stabilità Esterna				Stabilità Interna
	Globale	Scorrimento	Ribaltamento	Capacità Portante	
<b>Sezione 24</b>	1.206	2.160	4.921	2.768	1.466
<b>Condizione da soddisfare</b>	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$	$\geq 1.00$

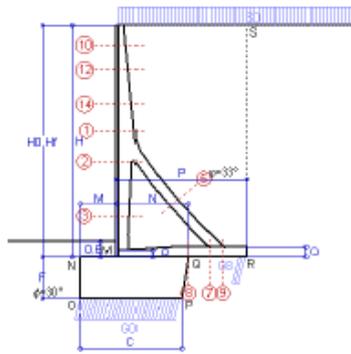
<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b></p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIGLIONE ANDEVENNO</p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>  <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D</p> <p>Data: Maggio 2023</p> <p>Pag. 104 di 135</p>
--	--

### 13 ALLEGATI DI CALCOLO

#### 13.1 Muro Tipo M4

#### Scheda 1: Appoggio 2, (A1+M1+R3)

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO E CASTIGLIONE ANDEVENNO (S0)



#### Dati

H <sub>0</sub> = 8.50 m	Prefabbricato tipo u85TM	H <sub>0</sub> = 8.50 m
C = 3.55 m	Altezza della terra contro il pannello	H = 8.50 m
F = 1.50 m	Sovraccarico sul rilevato	S <sub>0</sub> = 20.0 kN/m <sup>2</sup>
M = 1.25 m	Angolo d'attrito della terra	φ = 33.00°
N = 2.55 m	Peso specifico della terra	P <sub>0</sub> = 18.0 kN/m <sup>3</sup>
P = 4.65 m	Peso specifico del calcestruzzo	Q <sub>0</sub> = 25.0 kN/m <sup>3</sup>
Q = 0.40 m	Coefficiente d'attrito della fondazione	R <sub>0</sub> = 0.577
R = 0.25 m	Pendenza del rilev. lontano dal muro	i <sub>0</sub> = 0.0%

#### Calcolo delle azioni sulla struttura

Coefficiente di spinta attiva della terra (formula di Rankine)	K <sub>1</sub> = 0.295
agente su una sezione ideale R-S di altezza	H = 8.50 m
Angolo fra la spinta su R-S e l'orizzontale	α <sub>0</sub> = 0.00°
Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine)	K <sub>3</sub> = 0.203

#### Spinte, pesi e momenti rispetto al punto O (per metro lineare)

COMPONENTI	ORIZZONTALI		VERTICALI	
	Forze KN	Momenti KN m	Forze KN	Momenti KN m
Spinta della terra su sez. R-S x 1.3	249.2	1 079.9	0.0	0.0
Spinta del sovraccar. su R-S x 1.5	75.2	432.3	0.0	0.0
Peso struttura (parete+platea) x 1.3	0.0	0.0	104.3	273.2
Peso terra x 1.3 e sovracc. x 1.50	0.0	0.0	989.3	3 608.5
Spinta della terra sulla fondaz. x 1.3	5.3	2.7	0.0	0.0
Peso della fondazione x 1.3	0.0	0.0	179.2	329.3
<b>TOTALI (GEO e STR)</b>	<b>S<sub>0</sub> = 329.7</b>	<b>M<sub>0</sub> = 1 514.8</b>	<b>P<sub>0</sub> = 1 272.7</b>	<b>M<sub>0</sub> = 4 211.0</b>

#### Stabilità (GEO) della struttura:

Calcolo dei carichi agenti sulla fondazione: poiché la risultante di tutti i carichi è più vicina al punto P che al punto O, la platea appoggia sul terreno con la forza G8 necessaria a riportare la risultante sulla mezzera della fondazione. Assunta l'ipotesi che la larghezza del nastro di appoggio di G8 sia tale che la pressione sul terreno sia il doppio del carico geostatico dovuto all'altezza R-S risulta:

Carico sul terreno sotto la platea:	G8 = 122.0 kN	Larghezza dell'impronta d'appoggio . . .	Q <sub>8</sub> = 0.31 m
Carico sul terreno sotto la fondazione:	G0 = 1150.8 kN	Larghezza dell'impronta d'appoggio . . .	C <sub>8</sub> = 3.55 m
TENSIONE unitaria sul terreno sotto la fondazione secondo Meyerhoff			σ <sub>1</sub> = 0.324 MPa
OBLIQUITA' del carico sul terreno sotto la fondazione rispetto alla verticale			β = 14.5°

Scorrimento sul piano di posa: verificato essendo

$$Rd = (1272.7 * 0.577) / 1.1 = 688.0 > Ed = 329.7$$

Ribaltamento rispetto al punto O: verificato essendo

$$Rd = (4211) / 1.15 = 3661.7 > Ed = 1514.8$$

Ribaltamento rispetto al punto M: verificato essendo

$$Rd = (2514.7) / 1.15 = 2186.7 > Ed = 1025.6$$

Componenti verticali nel contatto platea-fondazione: Lato valle (punto M) G8 = 603 kN Lato monte (punto Q) G7 = 389 kN

#### Verifica delle sezioni allo s.l.u.

Freccia in cima al pannello mm 3.42

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (Formula di Coulomb)

K<sub>0</sub> = 0.264

Sezione	Sollecitazioni esterne (1)				Descrizione delle sezioni						Aree dei ferri (1)				Sollecitazioni resistenti (1)	
	M <sub>Ed</sub> (1) sulla sez. naturale	M <sub>Ed</sub> (1) sulla sez. traslata	N <sub>Ed</sub> (2)	V <sub>Ed</sub>	H altezza totale	d altezza utile	B5 lato com- presso	b <sub>w</sub> larghezza taglio	staffe α°, dig@	X1 asse neutro	A1 lato terrapieno	A2 lato foc. o inf. platea	A4 staffe	M <sub>Ed</sub> baricentrico	V <sub>Ed</sub>	
	KN.m	KN.m	KN	KN	cm	cm	cm	cm		cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m	KN.m	KN	
1	144.8	162.2	58.6	64.1	66.3	59.3	121.1	20.8	-	5.73	15.27	4.15	4.02	352.9	88.1	
2	85.1	97.9	366.1	-100.0	59.8	54.9	112.0	22.5	90°, 1.0	5.76	7.63	7.54	10.16	222.9	-180.5	
3	-39.9	-39.9	419.1	0.0	46.1	41.0	22.5	22.5	-	13.36	5.09	7.54	4.57	-216.3	87.2	
5	-29.0	-29.0	-372.1	46.1	34.0	27.9	18.5	18.5	90°, 1.0	5.12	9.11	11.66	5.82	-64.6	57.2	
7	-23.7	-17.9	239.2	-74.5	40.0	33.8	125.0	125.0	-	5.12	11.59	6.47	10.69	-127.2	-204.0	
8	2.4	2.4	239.2	48.9	40.0	34.0	125.0	125.0	-	5.21	7.57	6.47	4.33	140.2	204.8	
9	70.5	70.5	0.0	70.0	40.0	34.0	125.0	125.0	-	4.69	11.59	3.08	9.82	147.9	174.3	
10	3.0	3.8	6.7	7.3	34.2	28.7	115.3	13.8	73°, 1.0	2.80	5.69	4.15	4.02	65.0	47.0	
12	18.5	21.5	18.2	19.5	43.6	36.7	119.5	15.7	73°, 1.0	3.48	8.23	4.15	4.02	117.8	57.8	
14	70.9	80.2	38.7	42.0	56.4	49.3	124.0	18.6	73°, 1.0	4.43	10.96	4.15	4.02	210.9	73.3	

(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.

14/03/2022

Compilato da Dott. Ing. Silvio Feno

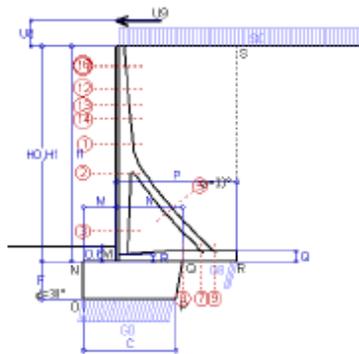
con il programma Tenster "Muri 2018" vers. 1.2.4

(2) Negativo se lo sforzo è di trazione

Norma: Italia D.M 17/1/2018

**Scheda 1-URTO: Urto sul sicurvia da 14.3 kN/cad a 1.00 m da terra**

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO (SO) Coefficienti SLU per azioni eccezionali



**Dati**

H <sub>0</sub> = 8.50 m	Prefabbricato tipo u85TM	H <sub>0</sub> = 8.50 m
C = 3.55 m	Altezza della terra contro il pannello	H = 8.50 m
F = 1.50 m	Sovraccarico sul rilevato	S <sub>0</sub> = 20.0 kN/m <sup>2</sup>
M = 1.25 m	Angolo d'attrito della terra	φ = 33°
N = 2.55 m	Peso specifico della terra	P <sub>0</sub> = 18.0 kN/m <sup>3</sup>
Q = 4.65 m	Peso specifico del calcestruzzo	Q <sub>0</sub> = 25.0 kN/m <sup>3</sup>
P = 0.40 m	Coefficiente d'attrito della fondazione	R <sub>0</sub> = 0.58
U <sub>y</sub> = 1.00 m	Urto: Forza orizzontale concentrata	U <sub>0</sub> = 14.3 kN/cad
V <sub>0</sub> = 0.00 m	Forza verticale concentrata in cima	V <sub>0</sub> = 0.00 kN/cad
R = 0.25 m	Pendenza del riev. lontano dal muro	i <sub>0</sub> = 0.0%

**Calcolo delle azioni sulla struttura**

Coefficiente di spinta attiva della terra (formula di Rankine)	K <sub>1</sub> = 0.295
agente su una sezione ideale R-G di altezza	H = 8.50 m
Angolo fra la spinta su R-G e l'orizzontale	α <sub>1</sub> = 0.00°
Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine)	K <sub>2</sub> = 0.203

**Spinte, pesi e momenti rispetto al punto O (per metro lineare)**

COMPONENTI	ORIZZONTALI		VERTICALI	
	Forze KN	Momenti KN m	Forze KN	Momenti KN m
Spinta della terra su sez. R-G x 1	191.7	830.7	0.0	0.0
Spinta del sovraccar. su R-G x 1	50.1	288.2	0.0	0.0
Peso struttura (parete+platea) x 1	0.0	0.0	80.2	210.2
Peso terra x 1 e sovracc. x 1.00	0.0	0.0	746.7	2.724.6
Forze concentrate (U <sub>0</sub> +V <sub>0</sub> ) x 1	11.4	125.8	0.0	0.0
Spinta della terra sulla fondaz. x 1	4.1	2.1	0.0	0.0
Peso della fondazione x 1	0.0	0.0	137.8	253.3
<b>TOTALI (GEO e STR)</b>	<b>S<sub>0</sub> = 257.4</b>	<b>M<sub>0</sub> = 1.246.7</b>	<b>P<sub>0</sub> = 964.7</b>	<b>M<sub>0</sub> = 3.188.1</b>

**Stabilità (GEO) della struttura:**

**Calcolo dei carichi agenti sulla fondazione:** poiché la risultante di tutti i carichi è più vicina al punto P che al punto O, la platea appoggia sul terreno con la forza G8 necessaria a riportare la risultante sulla mezzera della fondazione. Assunta l'ipotesi che la larghezza del nastro di appoggio di G8 sia tale che la pressione sul terreno sia il doppio del carico geostatico dovuto all'altezza R-G risulta:

Carico sul terreno sotto la platea: G8 = 63.2 kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio . . . Q<sub>0</sub> = 0.21 m

Carico sul terreno sotto la fondazione: G0 = 901.5 kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio . . . C<sub>0</sub> = 3.55 m

TENSIONE unitaria sul terreno sotto la fondazione secondo Meyerhoff . . . . . σ<sub>1</sub> = 0.254 MPa

OBLIQUITA' del carico sul terreno sotto la fondazione rispetto alla verticale . . . . . β = 14.9°

Scorrimento sul piano di posa: verificato essendo      Rd = (964.7 \* 0.577) / 1.1 = 506.3 > Ed = 257.4

Ribaltamento rispetto al punto O: verificato essendo      Rd = (3188.1) / 1.15 = 2772.2 > Ed = 1246.7

Ribaltamento rispetto al punto M: verificato essendo      Rd = (1901.1) / 1.15 = 1653.1 > Ed = 864.8

Componenti verticali nel contatto platea-fondazione: Lato valle (punto M) G6 = 470 kN      Lato monte (punto Q) G7 = 294 kN

**Verifica delle sezioni allo s.l.u. (STR)**

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (Formula di Coulomb)      Freccia in cima al pannello mm      7.70

K<sub>0</sub> = 0.264

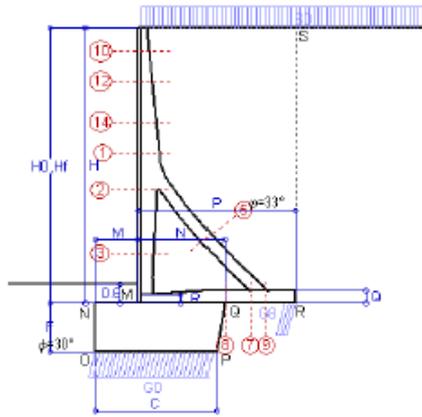
sezione	Sollecitazioni esterne (1)				Descrizione delle sezioni							Aree dei ferri (1)				Sollecitazioni resistenti (1)	
	M <sub>Ed</sub> (1) sulla sez. naturale	M <sub>Ed</sub> (1) sulla sez. traslata	N <sub>Ed</sub> (2)	V <sub>Ed</sub>	H	d	B5	b <sub>w</sub>	staffe	X1	A1	A2	A4	M <sub>Rd</sub>	V <sub>Rd</sub>		
	KN.m	KN.m	KN	KN	cm	cm	cm	cm	α°, ctgθ	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	KN.m	KN		
1	173.2	188.6	43.6	48.8	66.3	59.3	121.1	20.8	73°, 1.0	5.66	15.27	4.15	4.02	350.3	90.2		
2	121.3	132.7	312.9	-78.8	59.8	54.9	112.0	22.5	90°, 1.0	5.53	7.63	7.54	10.16	214.1	-184.5		
3	-6.5	-6.5	363.2	0.0	46.1	41.0	22.5	22.5	-	11.91	5.09	7.54	4.57	-204.4	83.4		
5	-21.8	-21.8	-321.4	34.7	34.0	27.9	18.5	18.5	90°, 1.0	5.54	9.11	11.66	5.82	-70.7	57.2		
7	10.9	14.5	206.6	-90.3	40.0	34.0	125.0	125.0	-	5.75	11.59	6.47	10.69	182.1	-200.7		
8	35.5	35.5	206.6	43.1	40.0	34.0	125.0	125.0	-	5.07	7.57	6.47	4.33	134.9	200.7		
9	67.2	67.2	0.0	66.5	40.0	34.0	125.0	125.0	-	4.69	11.59	3.08	9.82	147.9	174.3		
10	26.4	28.2	4.9	10.3	34.2	26.7	115.3	13.6	73°, 1.0	2.79	5.69	4.15	4.02	64.9	48.1		
11	28.1	30.1	5.6	10.8	35.0	29.5	115.6	13.8	73°, 1.0	2.81	5.69	4.15	4.02	66.7	49.3		
12	50.4	54.2	13.4	17.3	43.6	36.7	119.5	15.7	73°, 1.0	3.45	8.23	4.15	4.02	117.3	59.8		
13	78.2	84.6	21.6	25.6	50.9	44.4	122.8	17.3	73°, 1.0	4.10	10.45	4.15	4.02	179.1	70.5		
14	105.8	114.7	28.7	32.8	56.4	49.3	124.0	18.6	73°, 1.0	4.38	10.96	4.15	4.02	209.6	76.9		

(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.      14/03/2022      Compilato da Dott. Ing. Silvio Feno  
(2) Negativo se lo sforzo è di trazione      con il programma Tensler "Muri 2018" vers. 1.2.4  
Le sezioni sulla parete prefabbricata (come la 12) sono collocate poco sopra il piego di ogni ferro, senza più considerarne il contributo.      Norma: Italia D.M 17/10/2018

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D</p> <p>Data: Maggio 2023</p> <p>Pag. 106 di 135</p>
--	--

**Scheda 2: Verifica SLE combinaz. RARA**

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO



Spinta della terra su sez. R-S x 1  
Spinta del sovraccar. su R-S x 1  
Peso struttura (parete+platea) x 1  
Peso terra e sovraccarico x 1  
Spinta della terra sulla fondaz. x 1  
Peso della fondazione x 1  
\*non sommati

**Dati**

$H_m = 8.50$ m	<b>Prefabbricato tipo</b> u85TM	$H_0 = 8.50$ m
$C = 3.55$ m	Altezza della terra contro il pannello	$H = 8.50$ m
$F = 1.50$ m	Angolo d'attrito della terra	$\Phi = 33^\circ$
$M = 1.25$ m	Sovraccarico sul rilevato	$S_0 = 20.0$ kN/m <sup>2</sup>
$N = 2.55$ m	Peso specifico della terra	$P_0 = 18.0$ kN/m <sup>3</sup>
$P = 4.65$ m	Peso specifico del calcestruzzo	$Q_0 = 25.0$ kN/m <sup>3</sup>
$Q = 0.40$ m	Coefficiente d'attrito della fondazione	$R_0 = 0.58$

**Verifica statica**

Coefficiente di spinta attiva su R-S (formula di Rankine)  $K_1 = 0.295$   
 agente su una sezione ideale R-S di altezza  $H_3 = 8.50$  m  
 Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine)  $K_3 = 0.203$

SPINTE, PESI E MOMENTI rispetto al punto O (per metro lineare)

COMPONENTI ORIZZONTALI		COMPONENTI VERTICALI	
Forze	Momenti	Forze	Momenti
KN	KN m	KN	KN m
191.09	830.68	0.00	0.00
50.12	288.17	0.00	0.00
0.00	0.00	80.22	210.15
0.00	0.00	746.69	2 724.60
4.11	2.05	0.00	0.00
0.00	0.00	137.81	253.33
<b><math>S_3 = 245.92</math></b>	<b><math>M_3 = 1 120.90</math></b>	<b><math>P_3 = 964.72</math></b>	<b><math>M_3 = 3 188.08</math></b>

GRADO di stabilità al ribaltamento  $\eta_{rib} =$  valore rispetto a 'M' perché < del valore rispetto a 'O' = 2.514  
 GRADO di stabilità allo scorrimento  $\eta_{scorr} =$  (attriti e forze resistenti) / (spinte e forze motrici) = 2.285  
 Carico sul terreno sotto la platea:  $G_8 = 99.09$  kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio  $Q_8 = 0.32$  m  
 Carico sul terreno della fondazione:  $G_0 = 865.64$  kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio  $C_8 = 3.55$  m  
 TENSIONE unitaria sul terreno di fondazione secondo Meyerhoff  $\sigma_t = 0.244$  MPa  
 OBLIQUITA' del carico rispetto al terreno di fondazione  $\beta = 14.3^\circ$

**Verifica della fessurazione<sup>(1)</sup>**

Freccia in cima al pannello mm 1.49

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (Coulomb)

$K_0 = 0.264$

SEZIONE	SOLLECITAZIONI <sup>(1)</sup>			Larghezza di compar-tecipazione	ALTEZZE		AREA dei FERR <sup>(1)</sup>		T E N S I O N I		FESSURAZIONE	
	Mom.flett.baricentr.	Sforzo normale <sup>(2)</sup>	Taglio		totale H	utile Y	lato terrapieno	lato facciata o inf. platea	acciaio $\sigma_a$	calcestr. $\sigma_c$	ricoprime. $c+\Phi_{state}$	apertura fessure
N°	KN m	KN	KN	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Mpa	Mpa	mm	mm
1	104.5	43.6	64.2	121.1	66.3	59.3	15.27	4.15	113	3.63	38	0.062
2	60.7	276.8	-77.5	112.0	59.8	54.9	7.63	7.54	45	3.58	38	0.000
3	-31.9	318.7	0.0	22.5	46.1	41.0	5.09	7.54	-4	4.14	38	0.000
5	-17.6	-274.3	33.7	0.0	34.0	22.1	9.11	11.66	190	0.00	38	0.120
7	-24.7	176.3	-59.1	125.0	40.0	33.8	11.59	6.47	6	1.41	50	0.000
8	-7.1	176.3	34.4	125.0	40.0	33.8	7.57	6.47	-1	0.55	50	0.000
9	53.5	0.0	53.1	125.0	40.0	34.0	11.59	3.08	144	4.75	50	0.000
10	2.1	4.9	5.6	115.3	34.2	28.7	5.69	4.15	11	0.39	38	0.000
12	13.0	13.4	17.2	119.5	43.6	36.7	8.23	4.15	41	1.31	38	0.000
14	50.7	28.7	40.4	124.0	56.4	49.3	12.31	4.15	81	2.58	38	0.000

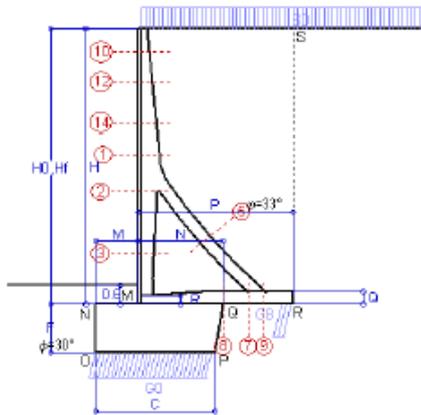
(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.  
 (2) Negativo se lo sforzo è di trazione

Compilato da Dott. Ing. Silvio Feno  
 con il programma Tensiter "Muri 2018" vers.1.2.4  
 Norma: Italia D.M 17/1/2018

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**  
**Opere di sostegno - Relazione di calcolo**

**Scheda 3: Verifica SLE combinaz. FREQUENTE**

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO



Spinta della terra su sez. R-S x 1  
Spinta del sovraccar. su R-S x 1  
Peso struttura (parete+platea) x 1  
Peso terra e sovraccarico x 1  
Spinta della terra sulla fondaz. x 1  
Peso della fondazione x 1  
"non sommati" Totali

**Dati**

$H_m = 8.50$ m	Prefabbricato tipo <b>u85TM</b>	$H_0 = 8.50$ m
$C = 3.55$ m	Altezza della terra contro il pannello	$H = 8.50$ m
$F = 1.50$ m	Angolo d'attrito della terra . . . . .	$\Phi = 33^\circ$
$M = 1.25$ m	Sovraccarico sul rilevato . . . . .	$S_0 = 15.0$ kN/m <sup>2</sup>
$N = 2.55$ m	Peso specifico della terra . . . . .	$P_0 = 18.0$ kN/m <sup>3</sup>
$P = 4.65$ m	Peso specifico del calcestruzzo . . . . .	$Q_0 = 25.0$ kN/m <sup>3</sup>
$Q = 0.40$ m	Coefficiente d'attrito della fondazione	$R_0 = 0.58$

**Verifica statica**

Coefficiente di spinta attiva su R-S (formula di Rankine)  $K_1 = 0.295$   
agente su una sezione ideale R-S di altezza  $H_3 = 8.50$  m  
Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine)  $K_3 = 0.203$

SPINTE, PESI E MOMENTI rispetto al punto O (per metro lineare)

COMPONENTI ORIZZONTALI		COMPONENTI VERTICALI	
Forze	Momenti	Forze	Momenti
KN	KN m	KN	KN m
191.69	830.68	0.00	0.00
37.59	216.13	0.00	0.00
0.00	0.00	80.22	210.15
0.00	0.00	723.44	2 641.48
4.11	2.05	0.00	0.00
0.00	0.00	137.81	253.33
$S_3 = 233.39$	$M_3 = 1 048.86$	$P_3 = 941.47$	$M_3 = 3 104.96$

GRADO di stabilità al ribaltamento  $\eta_{rib} =$  valore rispetto a 'M' perché  $<$  del valore rispetto a 'O'  $= 2.628$   
GRADO di stabilità allo scorrimento  $\eta_{scorr} =$  (attriti e forze resistenti) / (spinte e forze motrici)  $= 2.329$   
Carico sul terreno sotto la platea:  $G_8 = 107.62$  kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio  $Q_8 = 0.35$  m  
Carico sul terreno della fondazione:  $G_0 = 833.85$  kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio  $C_8 = 3.55$  m  
TENSIONE unitaria sul terreno di fondazione secondo Meyerhoff  $\sigma_t = 0.235$  MPa  
OBLIQUITA' del carico rispetto al terreno di fondazione  $\beta = 13.9^\circ$

**Verifica della fessurazione<sup>(1)</sup>**

Freccia in cima al pannello mm  $1.01$

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (Coulomb)

$K_0 = 0.264$

SEZIONE	SOLLECITAZIONI <sup>(1)</sup>			Larghezza di compartecipazione	ALTEZZE		AREA dei FERRI <sup>(1)</sup>		TENSIONI		FESSURAZIONE	
	Mom.flett. baricentr.	Sforzo normale <sup>(2)</sup>	Taglio		totale H	utile Y	lato terrapieno	lato facciata o inf. platea	acciaio $\sigma_a$	calcestr. $\sigma_c$	ricopr. $c + \phi_{stare}$	apertura fessure
N°	KN m	KN	KN	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Mpa	Mpa	mm	mm
1	92.7	41.2	58.3	121.1	66.3	59.3	15.27	4.15	99	3.23	38	0.046
2	50.8	259.0	-72.7	112.0	59.8	54.9	7.63	7.54	30	2.98	38	0.000
3	-34.6	298.7	0.0	22.5	46.1	41.0	5.09	7.54	-3	4.27	38	0.000
5	-17.0	-255.0	32.4	0.0	34.0	22.1	9.11	11.66	179	0.00	38	0.118
7	-35.1	163.9	-61.9	125.0	40.0	33.8	11.59	6.47	41	2.91	50	0.000
8	-21.4	163.9	29.2	125.0	40.0	33.8	7.57	6.47	4	1.18	50	0.000
9	52.2	0.0	51.7	125.0	40.0	34.0	11.59	3.08	140	4.63	50	0.000
10	1.7	4.5	4.6	115.3	34.2	28.7	5.69	4.15	9	0.31	38	0.000
12	10.9	12.4	14.7	119.5	43.6	36.7	8.23	4.15	34	1.10	38	0.000
14	44.1	26.9	36.0	124.0	56.4	49.3	12.36	4.15	70	2.24	38	0.000

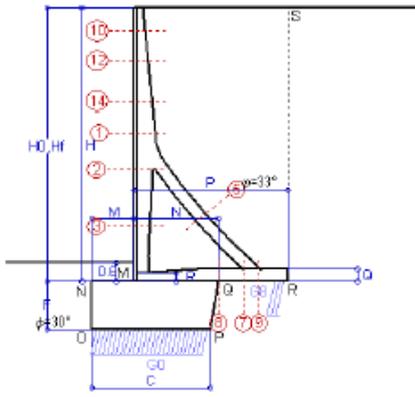
(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.

(2) Negativo se lo sforzo è di trazione

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIGLIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Opere di sostegno - Relazione di calcolo</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D</p> <p>Data: Maggio 2023</p> <p>Pag. 108 di 135</p>
--	--

**Scheda 4: Verifica SLE combinaz QUASI PERMANENTE**

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO



Spinta della terra su sez. R-S x 1  
Peso struttura (parete+platea) x 1  
Peso terra e sovraccarico x 1  
Spinta della terra sulla fondaz. x 1  
Peso della fondazione x 1  
\*non sommati

**Dati**

H <sub>0</sub> = 8.50 m	Prefabbricato tipo <b>u85TM</b>	H <sub>0</sub> = 8.50 m
C = 3.55 m	Altezza della terra contro il pannello	H = 8.50 m
F = 1.50 m	Angolo d'attrito della terra	φ = 33°
M = 1.25 m	Sovraccarico sul rilevato	S <sub>0</sub> = 0.0 kN/m <sup>2</sup>
N = 2.55 m	Peso specifico della terra	P <sub>0</sub> = 18.0 kN/m <sup>3</sup>
P = 4.65 m	Peso specifico del calcestruzzo	Q <sub>0</sub> = 25.0 kN/m <sup>3</sup>
Q = 0.40 m	Coefficiente d'attrito della fondazione	R <sub>0</sub> = 0.58

**Verifica statica**

Coefficiente di spinta attiva su R-S (formula di Rankine) K<sub>1</sub> = 0.295  
 agente su una sezione ideale R-S di altezza H<sub>3</sub> = 8.50 m  
 Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine) K<sub>3</sub> = 0.203

SPINTE, PESI E MOMENTI rispetto al punto O (per metro lineare)

COMPONENTI ORIZZONTALI		COMPONENTI VERTICALI	
Forze	Momenti	Forze	Momenti
KN	KN m	KN	KN m
191.69	830.68	0.00	0.00
0.00	0.00	80.22	210.15
0.00	0.00	653.69	2 392.12
4.11	2.05	0.00	0.00
0.00	0.00	137.81	253.33
<b>S<sub>3</sub> = 195.80</b>	<b>M<sub>3</sub> = 832.73</b>	<b>P<sub>3</sub> = 871.72</b>	<b>M<sub>3</sub> = 2 855.60</b>

GRADO di stabilità al ribaltamento η<sub>rib</sub> = valore rispetto a 'M' perché < del valore rispetto a 'O' = 3.102  
 GRADO di stabilità allo scorrimento η<sub>scorr</sub> = (attriti e forze resistenti) / (spinte e forze motrici) = 2.570  
 Carico sul terreno sotto la platea: G<sub>8</sub> = 119.10 kN Larghezza dell'impronta d'appoggio Q<sub>8</sub> = 0.39 m  
 Carico sul terreno della fondazione: G<sub>0</sub> = 752.82 kN Larghezza dell'impronta d'appoggio C<sub>8</sub> = 3.42 m  
 TENSIONE unitaria sul terreno di fondazione secondo Meyerhoff σ<sub>1</sub> = 0.220 MPa  
 OBLIQUITA' del carico rispetto al terreno di fondazione β = 12.7°

**Verifica della fessurazione<sup>(1)</sup>**

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (Coulomb) K<sub>0</sub> = 0.264

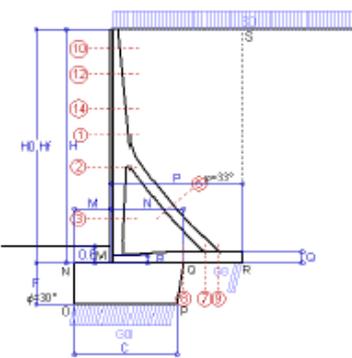
SEZIONE	SOLLECITAZIONI <sup>(1)</sup>			Larghezza di compartecipazione	ALTEZZE		AREA dei FERRI <sup>(1)</sup>		TENSIONI		FESSURAZIONE	
	Mom.flett. baricentr.	Sforzo normale <sup>(2)</sup>	Taglio		totale H	utile Y	lato terrapieno	lato facciata o inf. platea	acciaio σ <sub>a</sub>	calcestr. σ <sub>c</sub>	ricoprim. c+Φ <sub>stirre</sub>	apertura fessure
N°	KN m	KN	KN	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Mpa	Mpa	mm	mm
1	57.3	34.1	40.6	121.1	66.3	59.3	15.27	4.15	60	2.02	38	0.000
2	21.0	205.4	-58.4	112.0	59.8	54.9	7.63	7.54	0	1.42	38	0.000
3	-43.2	238.6	0.0	22.5	46.1	41.0	5.09	7.54	1	4.86	38	0.000
5	-15.0	-197.2	28.5	0.0	34.0	22.1	9.11	11.66	145	0.00	38	0.101
7	-48.8	126.7	-52.8	125.0	40.0	33.8	11.59	6.47	129	5.11	50	0.000
8	-32.8	126.7	31.1	125.0	40.0	33.8	7.57	6.47	55	3.04	50	0.000
9	48.1	0.0	47.7	125.0	40.0	34.0	11.59	3.08	129	4.27	50	0.000
10	0.4	3.2	1.4	115.3	34.2	28.7	5.69	4.15	1	0.08	38	0.000
12	4.5	9.4	7.2	119.5	43.6	36.7	8.23	4.15	13	0.48	38	0.000
14	24.2	21.6	22.8	124.0	56.4	49.3	12.55	4.15	36	1.25	38	0.000

(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.  
 (2) Negativo se lo sforzo è di trazione

Compilato da Dott. Ing. Silvio Feno  
 con il programma Tensiter "Mun 2018" vers.1.2.4  
 Norma: Italia D.M 17/1/2018

**Scheda 5: Verifica sismica**

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO E CASTIGLIONE ANDEVENNO (SO) Comune di Castiglione Andevenno



Angolo di rotazione sismica  $\theta = 4.19^\circ$   
Coefficiente sismico orizzontale  $K_h = 0.071$   
Coefficiente sismico verticale  $K_v = 0.035$

Dati	Acceleraz. orizz. al suolo	$a_y/g = 0.124$
$H_m = 8.50$ m	Prefabbricato tipo u8STM	$H_0 = 8.50$ m
$C = 3.55$ m	Altezza della terra contro il pannello	$H = 8.50$ m
$F = 1.50$ m	Sovraccarico sul rilevato (20%)	$S_0 = 4.0$ kN/m <sup>2</sup>
$M = 1.25$ m	Angolo d'attrito della terra	$\varphi = 33^\circ$
$N = 2.55$ m	Coefficiente d'attrito della fondazione	$R_0 = 0.577$
$P = 4.65$ m	Accelerazione massima locale	$a_{max}/g = 0.186$
$Q = 0.40$ m	Coeff. riduz. acceleraz. max attesa	$\beta_m = 0.38$
$U_1 = 0.0$ m	Pendenza del rilevato vicino al muro	$i_0 = 0.0\%$
$R = 0.25$ m	Pendenza del rilevato lontano dal muro	$i_1 = 0.0\%$

**Calcolo delle azioni sul terreno**

Coefficiente di spinta attiva della terra (Rankine con sisma) agente su una sezione ideale R-S di altezza	$K_1 = 0.312$
Angolo fra la spinta su R-S e l'orizzontale	$H = 8.50$ m
Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine)	$O_3 = 13.10^\circ$
Coeff. di spinta passiva sulla fondaz. O-N (Monoblo-Okabe) (Dati: $\delta = 30.00^\circ$ , $\epsilon = 0.0^\circ$ , $\psi = 90^\circ$ , $\delta = 0^\circ$ )	$K_2 = 0.245$
	$K_3 = 2.87$

**SPINTE, PESI E MOMENTI rispetto al punto O (per metro lineare)**

COMPONENTI	ORIZZONTALI		VERTICALI	
	Forze	Momenti	Forze	Momenti
	KN	KN m	KN	KN m
Spinta della terra su sez. R-S' x 1	197.5	855.8	46.0	271.2
Spinta del sovraccar. su R-S' x 1	10.3	59.4	2.4	14.2
Peso struttura (parete+platea) x 1	5.7	19.4	77.4	202.7
Peso terra x 1 e sovraccar. x 1.00	46.2	275.3	648.5	2 371.7
Spinta della terra sulla fondaz. x 1	5.6	2.5	0.0	0.0
Peso della fondazione x 1	9.7	7.4	132.9	244.4
Spinta passiva sulla fondaz. Sp x 0.5	-60.1*	-42.1*	0.0*	0.0*
*non sommati	$S_0 =$	$M_0 =$	$P_0 =$	$M_0 =$
<b>TOTALI (GEO e STR)</b>	<b>274.9</b>	<b>1 219.7</b>	<b>907.2</b>	<b>3 104.2</b>

**Stabilità (GEO) della struttura:**

Calcolo dei carichi agenti sulla fondazione: poiché la risultante di tutti i carichi è più vicina al punto P che al punto O, la platea appoggia sul terreno con la forza G8 necessaria a riportare la risultante sulla mezzzeria della fondazione. Assunta l'ipotesi che la larghezza del nastro di appoggio di G8 sia tale che la pressione sul terreno sia il doppio del carico geostatico dovuto all'altezza R-S risulta:

Carico sul terreno sotto la platea:  $G8 = 87.2$  kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio  $Q_8 = 0.28$  m

Carico sul terreno sotto la fondazione:  $G0 = 820.0$  kN      Larghezza dell'impronta d'appoggio  $C_0 = 3.55$  m

TENSIONE unitaria sul terreno di fondazione secondo Meyerhoff  $\sigma_1 = 0.231$  MPa

OBLIQUITA' del carico sulla fondazione rispetto alla verticale  $\beta = 13.3^\circ$

Scorrimento sul piano di posa: verificato essendo  $Rd = (907.2 * 0.577 + 60.1) / 1.0 = 583.9 > Ed = 274.9$

Componenti verticali nel contatto platea-fondazione: Lato valle (punto M)  $G6 = 421$  kN      Lato monte (punto Q)  $G7 = 286$  kN

**Verifica delle sezioni allo s.l.u.**

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (1a formula di Monoblo-Okabe)  $K_0 = 0.310$

sezione	Sollecitazioni esterne (1)				Descrizione delle sezioni						Aree dei ferri (1)				Sollecitazioni resistenti (1)	
	$M_{Ed}^{(1)}$	$M_{Edu}^{(1)}$	$N_{Ed}^{(2)}$	$V_{Ed}$	H	d	B5	$b_w$	staffe	X1	A1	A2	A4	$M_{Rd}$	$V_{Rd}$	
	KN.m	KN.m	KN	KN	cm	cm	cm	cm	$\alpha^\circ, dg\theta$	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> /m	KN.m	KN	
1	80.6	91.6	39.1	41.6	68.3	59.3	121.1	20.8	73°, 1.0	5.64	15.27	4.15	4.02	349.5	90.8	
2	35.3	44.4	257.0	-76.6	59.8	54.9	112.0	22.5	90°, 1.0	5.29	7.63	7.54	10.16	204.8	-184.5	
3	-47.5	-47.5	298.2	2.9	48.1	41.0	22.5	22.5	-	10.47	5.09	7.54	4.57	-189.3	78.9	
5	-19.2	-19.2	-254.6	30.4	34.0	27.9	18.5	18.5	90°, 1.0	6.06	9.11	11.66	5.82	-78.5	57.2	
7	-17.1	-14.2	163.7	-47.1	40.0	33.8	125.0	125.0	-	4.83	11.59	6.47	10.89	-115.0	-194.4	
8	5.8	5.8	163.7	40.2	40.0	34.0	125.0	125.0	-	4.88	7.57	6.47	4.33	127.9	195.2	
9	49.9	49.9	0.0	49.5	40.0	34.0	125.0	125.0	-	4.69	11.59	3.08	9.82	147.9	174.3	
10	0.9	1.3	3.7	2.6	34.2	28.7	115.3	13.6	73°, 1.0	2.78	5.69	4.15	4.02	64.8	49.1	
12	7.7	9.2	10.8	9.6	43.6	38.7	119.5	15.7	73°, 1.0	3.44	8.23	4.15	4.02	117.1	60.9	
14	36.0	41.3	24.8	25.1	56.4	49.3	124.0	18.6	73°, 1.0	4.36	10.96	4.15	4.02	209.0	77.8	

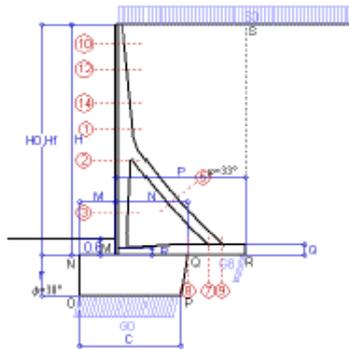
(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.      14/03/2022      Compilato da Dott. Ing. Silvio Feno  
(2) Negativo se lo sforzo è di trazione      con il programma Tensiter "Muri 2018" vers. 1.2.4  
Nelle sezioni 3, 5, 6, 8 e 9 Med-Medu perché il momento flettente è già massimo      Norma: Italia D.M 17/10/2018

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA  
Opere di sostegno - Relazione di calcolo

Scheda 6: Verifica sismica al ribaltamento

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO (SO)

Comune di Castione Andevenno



Angolo di rotazione sismica  $\theta = 6.39^\circ$   
Coefficiente sismico orizzontale  $K_h = 0.106$   
Coefficiente sismico verticale  $K_v = 0.053$

Dati	Acceleraz. orizz. al suolo	$a_g/g = 0.124$
$H_0 = 8.50$ m	Prefabbricato tipo u8STM	$H_0 = 8.50$ m
$C = 3.55$ m	Altezza della terra contro il pannello	$H = 8.50$ m
$F = 1.50$ m	Sovraccarico sul rilevato (20%)	$S_0 = 4.0$ kNm <sup>2</sup>
$M = 1.25$ m	Angolo d'attrito della terra	$\varphi = 33^\circ$
$N = 2.55$ m	Coefficiente d'attrito della fondazione	$R_0 = 0.577$
$P = 4.65$ m	Accelerazione massima locale	$a_{max}/g = 0.186$
$Q = 0.40$ m	Coeff. riduz. acceleraz. max attesa	$\beta_{max} = 0.57$
$U_1 = 0.0$ m	Pendenza del rilevato vicino al muro	$i_1 = 0.0\%$
$R = 0.25$ m	Pendenza del rilevato lontano dal muro	$i_2 = 0.0\%$

Calcolo delle azioni sul terreno		
Coefficiente di spinta attiva della terra (Rankine con sisma) agente su una sezione ideale R-S di altezza	$K_1 = 0.333$	
Angolo fra la spinta su R-S e l'orizzontale	$H = 8.50$ m	$O_2 = 18.58^\circ$
Coeff. di spinta attiva sulla fondazione P-Q (Rankine)	$K_2 = 0.270$	
Coeff. di spinta passiva sulla fondaz. O-N (Mononobe-Okabe) (Dat: $\varphi = 30.00^\circ$ $\tau = 0.0^\circ$ $\psi = 90^\circ$ $\delta = 0^\circ$ )	$K_3 = 2.80$	

SPINTE, PESI E MOMENTI rispetto al punto O (per metro lineare)

COMPONENTI	ORIZZONTALI		VERTICALI	
	Forze KN	Momenti KN m	Forze KN	Momenti KN m
Spinta della terra su sez. R-S' x 1	205.1	888.8	68.9	406.7
Spinta del sovraccar. su R-S' x 1	10.7	61.7	3.6	21.3
Peso struttura (parete+platea) x 1	8.5	29.0	76.0	199.0
Peso terra x 1 e sovracc. x 1.00	69.3	412.7	636.7	2 328.3
Spinta della terra sulla fondaz. x 1	6.9	2.9	0.0	0.0
Peso della fondazione x 1	14.6	11.1	130.5	239.9
Spinta passiva sulla fondaz. Sp x 0.5	-58.0*	-41.0*	0.0*	0.0*
TOTALI (GEO e STR)	$S_0 = 315.2$	$M_0 = 1406.2$	$P_0 = 915.7$	$M_0 = 3195.2$

Stabilità (GEO) della struttura:

Calcolo dei carichi agenti sulla fondazione: poiché la risultante di tutti i carichi è più vicina al punto P che al punto O, la platea appoggia sul terreno con la forza G8 necessaria a riportare la risultante sulla mezzera della fondazione. Assunta l'ipotesi che la larghezza del nastro di appoggio di G8 sia tale che la pressione sul terreno sia il doppio del carico geostatico dovuto all'altezza R-S risulta:  
Carico sul terreno sotto la platea:  $G8 = 56.7$  kN Larghezza dell'impronta d'appoggio  $C_0 = 0.19$  m  
Carico sul terreno sotto la fondazione:  $G0 = 859.0$  kN Larghezza dell'impronta d'appoggio  $C_0 = 3.55$  m  
TENSIONE unitaria sul terreno di fondazione secondo Meyerhoff  $c_0 = 0.242$  MPa  
OBLIQUITA' del carico sulla fondazione rispetto alla verticale  $\beta = 15.6^\circ$   
Ribaltamento rispetto al punto O: verificato essendo  $Rd = (3195.2 + 41) / 1.0 = 3236.2 > Ed = 1406.2$   
Ribaltamento rispetto al punto M: verificato essendo  $Rd = (1973.8) / 1.0 = 1973.8 > Ed = 951.8$   
Componenti verticali nel contatto platea-fondazione: Lato valle (punto M)  $G6 = 429$  kN Lato monte (punto Q)  $G7 = 300$  kN

Verifica delle sezioni allo s.l.u.

Le sollecitazioni sono calcolate in base a un coefficiente di spinta sulla parete del pannello (1a formula di Mononobe-Okabe) Freccia in cima al pannello mm  $0.95$   
 $K_0 = 0.338$

Sezione	Sollecitazioni esterne (1)				Descrizione delle sezioni							Aree dei ferri (1)				Sollecitazioni resistenti (1)	
	$M_{Ed}$ (1) sulla sez. naturale kN.m	$M_{Ed}$ (1) sulla sez. traslata kN.m	$N_{Ed}$ (2) kN	$V_{Ed}$ kN	H altezza totale cm	d altezza utile cm	B5 lato com- presso cm	$b_w$ larghezza taglio cm	staffe $\alpha^*$ , $d_{st}$ cm	X1 asse neutro cm	A1 lato terrapieno cm <sup>2</sup>	A2 lato fcc. o inf. platea cm <sup>2</sup>	A4 staffe cm <sup>2</sup> /m	$M_{Rd}$ bicentrico kN.m	$V_{Rd}$ kN		
1	88.9	101.0	41.0	45.7	66.3	59.3	121.1	20.8	73°, 1.0	5.65	15.27	4.15	4.02	349.8	89.6		
2	39.4	49.4	279.0	-83.6	59.8	54.9	112.0	22.5	90°, 1.0	5.39	7.63	7.54	10.16	208.4	-183.5		
3	-51.1	-51.1	323.6	4.4	46.1	41.0	22.5	22.5	-	10.88	5.09	7.54	4.57	-195.5	80.7		
5	-19.2	-19.2	-279.3	30.4	34.0	27.9	18.5	18.5	90°, 1.0	5.87	9.11	11.66	5.82	-75.6	57.2		
7	18.4	17.7	179.5	-27.2	40.0	34.0	125.0	125.0	-	5.63	11.59	6.47	10.69	177.9	-197.2		
8	57.3	57.3	179.5	60.4	40.0	34.0	125.0	125.0	-	4.95	7.57	6.47	4.33	130.5	197.2		
9	64.5	64.5	0.0	63.9	40.0	34.0	125.0	125.0	-	4.69	11.59	3.08	9.82	147.9	174.3		
10	1.1	1.4	3.8	3.0	34.2	28.7	115.3	13.6	73°, 1.0	2.78	5.69	4.15	4.02	64.8	49.0		
12	8.6	10.2	11.2	10.6	43.6	36.7	119.5	15.7	73°, 1.0	3.45	8.23	4.15	4.02	117.1	60.5		
14	39.8	45.7	25.9	27.6	56.4	49.3	124.0	18.6	73°, 1.0	4.37	10.96	4.15	4.02	209.2	77.0		

(1) Grandezze su un pannello largo 1.25 m.

(2) Negativo se lo sforzo è di trazione

Nelle sezioni 3, 5, 6, 8 e 9 Med+Medu perché il momento flettente è già massimo

14/03/2022

Compilato da Dott. Ing. Silvio Feno  
con il programma Tensiter "Muri 2018" vers. 1.2.4

Norma: Italia D.M 17/1/2018

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIGLIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA Opere di sostegno - Relazione di calcolo</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 111 di 135</p>
---	--

### Portanza della fondazione

ANAS - NUOVO SVINCOLO "SASSELLA" E RIQUALIF. DELLA S.S.38 - SONDRIO E CASTIGLIONE ANDEVENNO (G0)

**Prefabbricato tipo u85TM**

Calcolo con la formula di Brinch-Hansen 1970 (valida per terreno omogeneo e condizioni drenate)

**Dati geotecnici del terreno di fondazione:**

	Natura di terreno di fondazione	<b>UNITA': "TERRENO B"</b>			
$\phi$	Angolo d'attrito nominale	gradi	30.0°	$\phi = \text{rad}$	0.5236
c	Coesione drenata	kN/m <sup>2</sup>	0		
$\gamma$	Peso specifico	kN/m <sup>3</sup>	19.00		
Iv	Inclinazione del terreno a valle	%	0.0%	$\epsilon = \text{rad}$	0.0000

**Dati geometrici della fondazione:**

E	Spessore della terra sulla fondazione	m	0.60		
F	Spessore della fondazione (tacciata di valle)	m	1.50		
I7	Inclinazione del letto di posa	%	0.0%	$\alpha = \text{rad}$	0.0000

FALDA AGENTE A LIVELLO DELL'INTRADOSSO FONDAZIONE

Verifiche allo stato limite ultimo (A1+M1+R3)			Scheda 1	Sisma
<b>Carichi agenti sulla fondazione:</b>				
N	Componente verticale (G0)	kN/m	1150.8	820.0
$\beta$	Obliquità del carico rispetto alla verticale	gradi	14.52°	13.32°
H	Componente orizzontale = G0 * tan( $\beta$ )	kN/m	298.1	194.2
B	Larghezza del nastro di appoggio (C8)	m	3.55	3.55
<b>Dati influenzati dal tipo di verifica:</b>				
$\Phi$	Angolo d'attrito assunto nel calcolo	rad	0.5236	0.5236
E5	Distanza della risultante dal bordo esterno della fondazione	m	1.77	1.77
D	Affondamento = E + F + E5 * Iv	m	2.10	2.10
<b>Termini della formula di Brinch-Hansen</b>				
Profondità	$= [\gamma D N_q] s_q d_q i_q b_q g_q z_q$	kN/m <sup>2</sup>	471.90	478.32
Coefficiente base	$N_q = \tan^2(45^\circ + \Phi / 2) e^{\pi \tan \Phi}$		18.40	18.40
Inclinaz. terreno a valle	$g_q = (1 - \tan \epsilon)^2$		1.00	1.00
Lunghezza del muro	$s_q = 1$ (fondazione nastriforme)		1.00	1.00
Larghezza fondazione	$d_q = 1 + 2 \tan \Phi (1 - \sin \Phi)^2 \times \text{se}[D < B; D/B; \text{atn}(D/B)]$		1.17	1.17
Inclinazione letto di posa	$b_q = (1 - \alpha \tan \Phi)^2$		1.00	1.00
Inclinaz. della risultante	$i_q = (1 - H / N)^2$		0.55	0.58
Paolucci e Pecker 1997	$z_q = (1 - K_h / \tan \Phi)^{0.35}$		-	0.955
Coesione	$= [c N_c] s_c d_c i_c b_c g_c z_c$	kN/m <sup>2</sup>	0.00	0.00
Coefficiente base	$N_c = (N_q - 1) \cot \Phi$		30.14	30.14
Inclinaz. terreno a valle	$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \Phi)$		1.00	1.00
Lunghezza del muro	$s_c = 1$ (fondazione nastriforme)		1.00	1.00
Larghezza fondazione	$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \Phi)$		1.18	1.18
Inclinazione letto di posa	$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \Phi)$		1.00	1.00
Inclinaz. della risultante	$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \Phi)$		0.52	0.56
Paolucci e Pecker 1997	$z_c = 1 - 0.34 K_h$		-	0.976
Superficie	$= [1/2 (\gamma - 10) B N_\gamma] s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma z_\gamma$	kN/m <sup>2</sup>	145.57	151.99
Coefficiente base	$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \Phi$		22.40	22.40
Inclinaz. terreno a valle	$g_\gamma = (1 - \tan \epsilon)^2$		1.00	1.00
Lunghezza del muro	$s_\gamma = 1$ (fondazione nastriforme)		1.00	1.00
Larghezza fondazione	$d_\gamma = 1.00$		1.00	1.00
Inclinazione letto di posa	$b_\gamma = (1 - \alpha \tan \Phi)^2$		1.00	1.00
Inclinaz. della risultante	$i_\gamma = (1 - H / N)m + 1$		0.41	0.44
Paolucci e Pecker 1997	$z_\gamma = (1 - K_h / \tan \Phi)^{0.35}$		-	0.955
<b>Verifica della capacità portante</b>				
Q <sub>LM</sub>	Carico unitario limite (Meyerhof)	Mpa	0.617	0.630
$\gamma_R$	Coeff. per le verifiche SLU di fondazioni superficiali		1.4	1.2
C <sub>p</sub>	Capacità portante, tenuto conto di $\gamma_R$	kN	1565.7	1864.7
G <sub>0</sub>	Carico effettivo, dovuto alle forze esterne	kN	1150.8	820.0
<b>La struttura è verificata al collasso per carico limite dell'insieme fondazione terreno per l'approccio 2 (A1+M1+R3)</b>				

14/03/2022

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 112 di 135</p>
---	--

**Paratia Tipo 1**

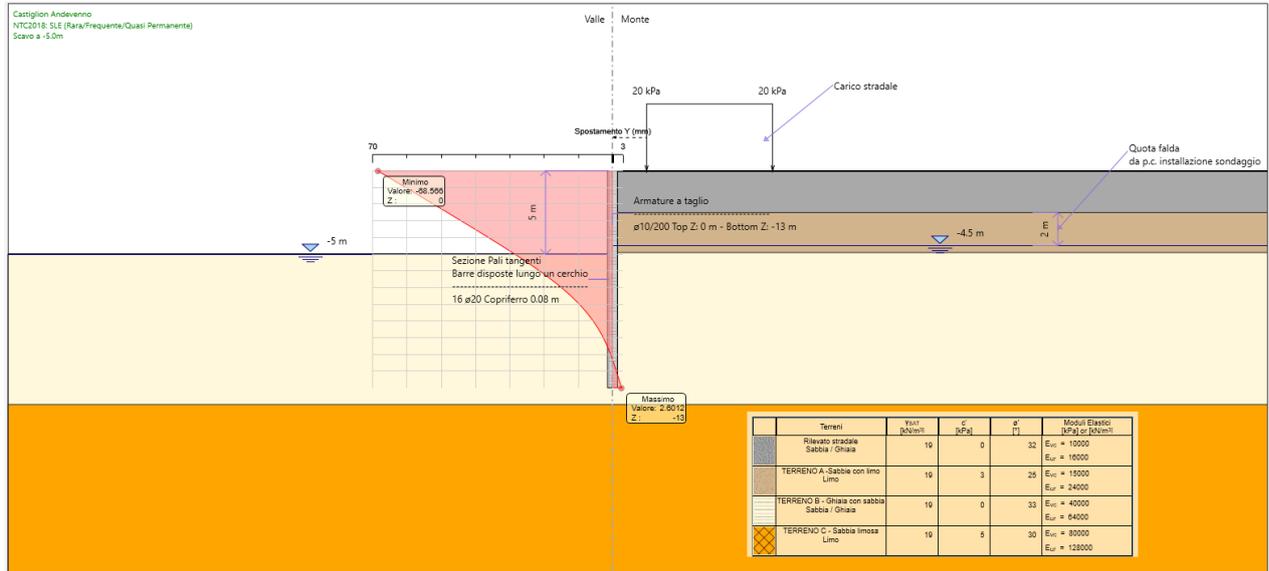


Figura 13.1 – Tipo 1: SLE, diagramma involuppo spostamenti

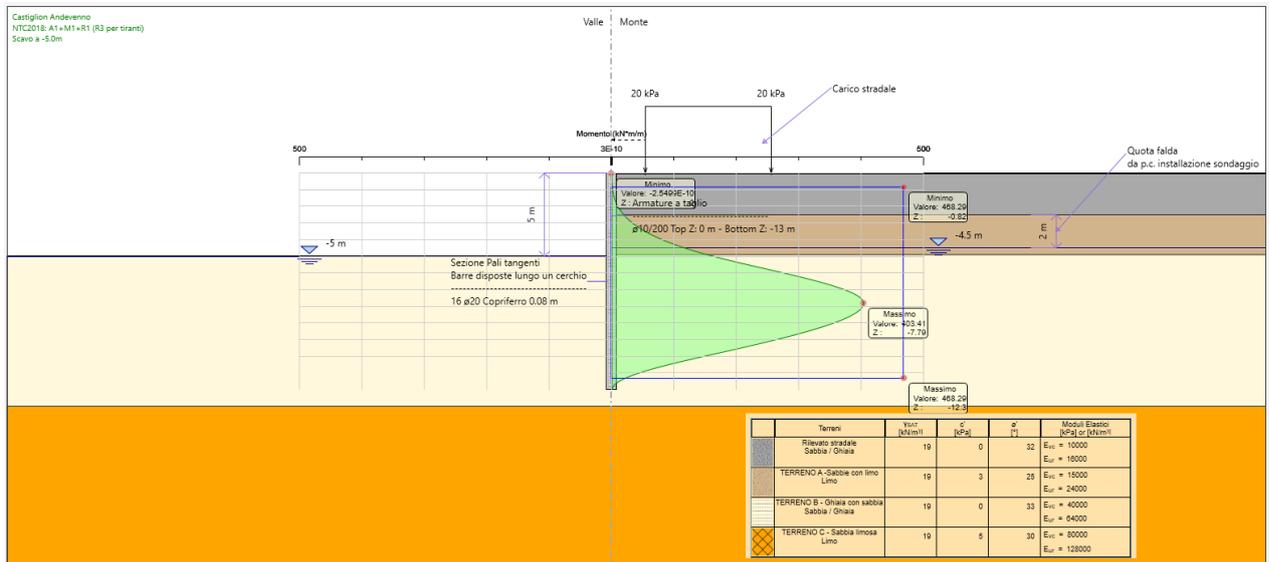


Figura 13.2 – Tipo 1: SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo momento flettente

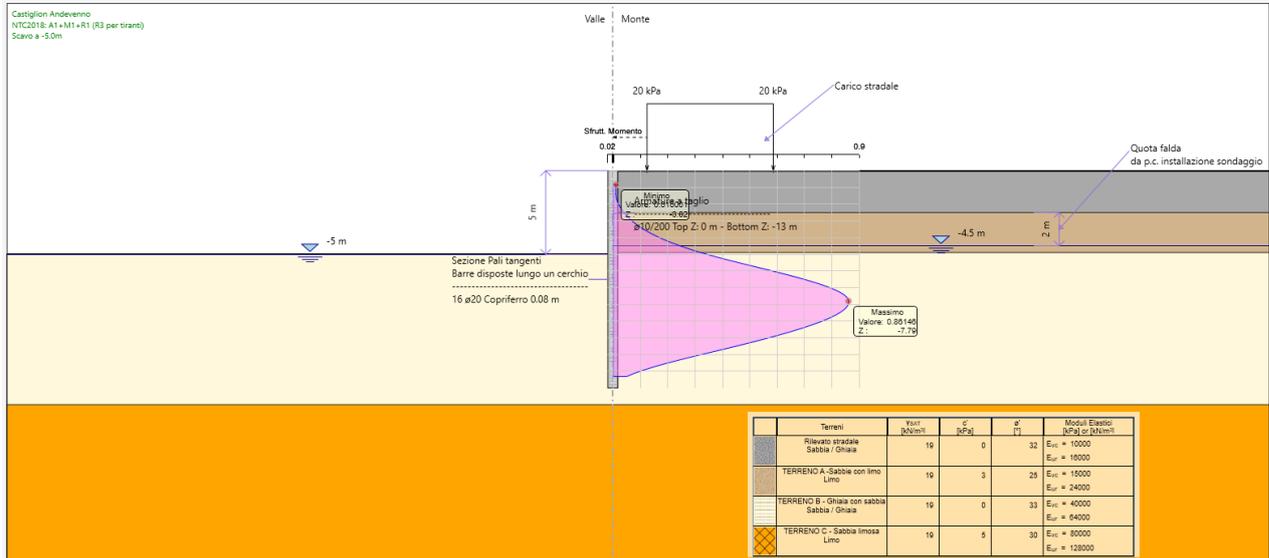


Figura 13.3 – Tipo 1 (TSF): SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo momento flettente

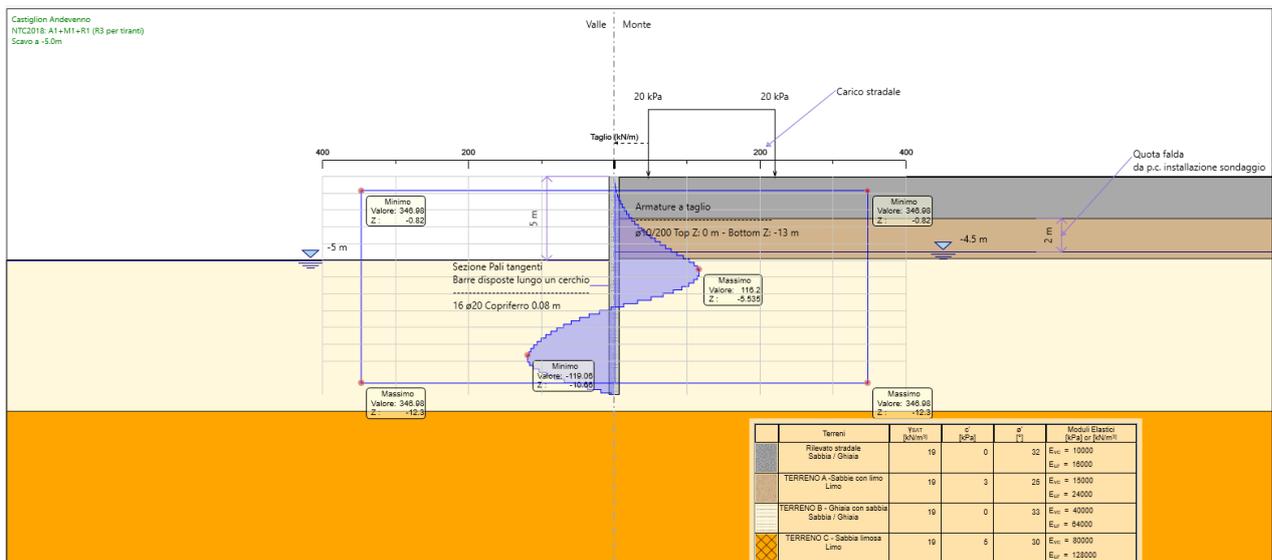


Figura 13.4 – Tipo 1: SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo taglio

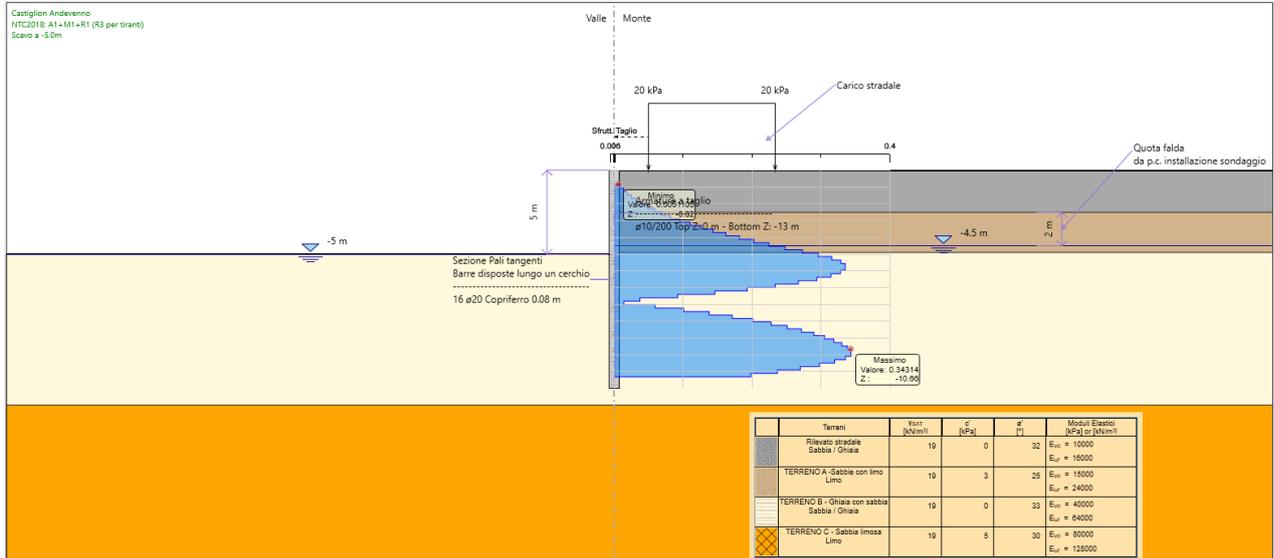


Figura 13.5 – Tipo 1 (TSF): SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo taglio.

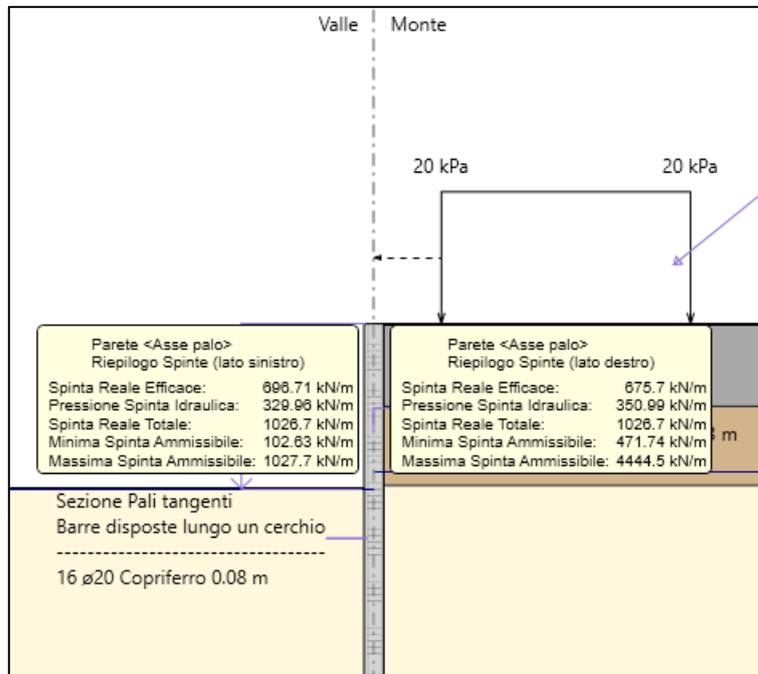


Figura 13.6 – Tipo 1: SLU A2+M2+R1, verifica di stabilità al piede.

### 13.2 Paratia Tipo 2

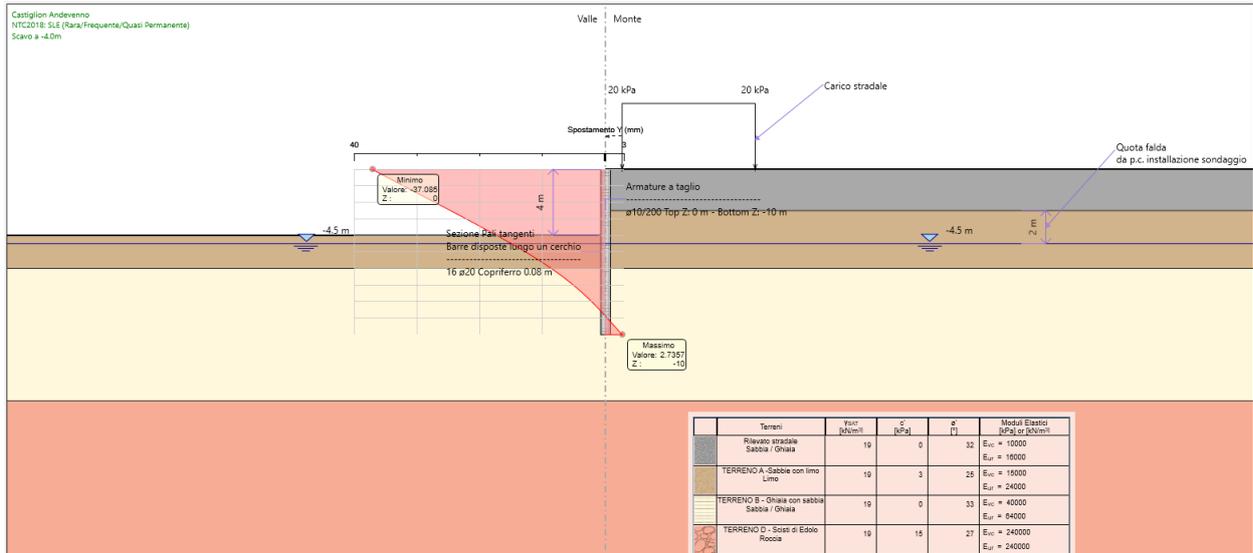


Figura 13.7 – Tipo 2: SLE, diagramma involuppo spostamenti.

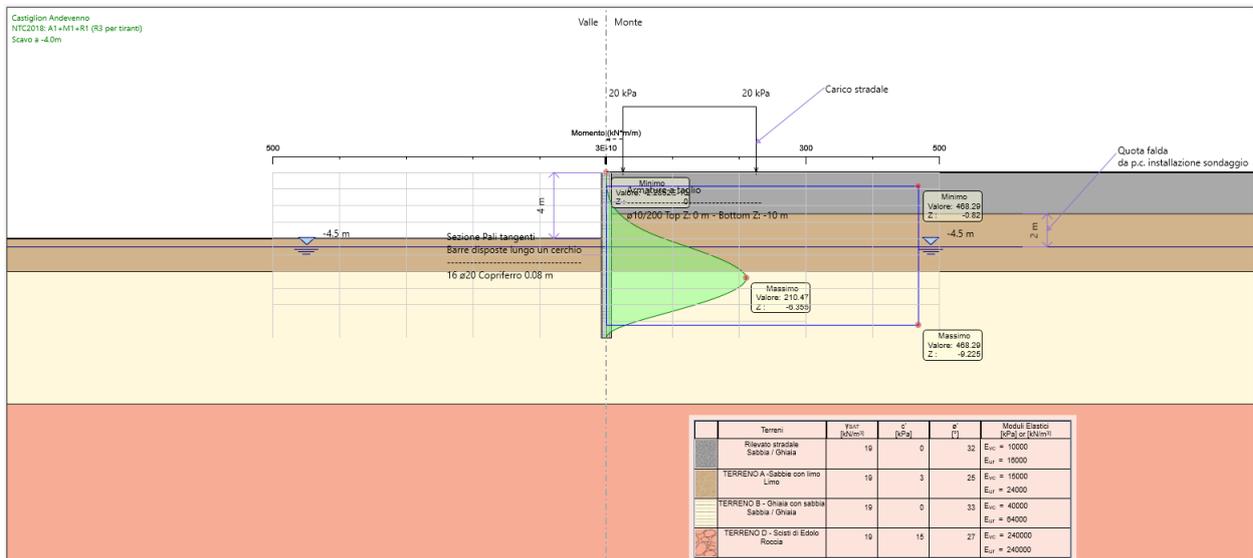


Figura 13.8 – Tipo 2: SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo momento flettente.

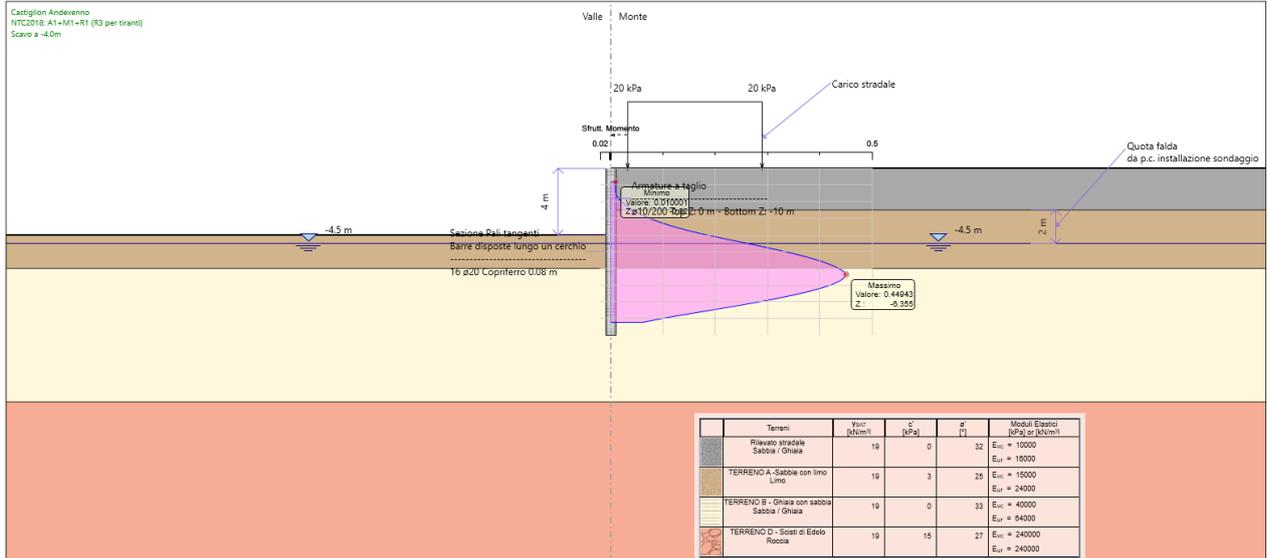


Figura 13.9 – Tipo 2 (TSF): SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo momento flettente.

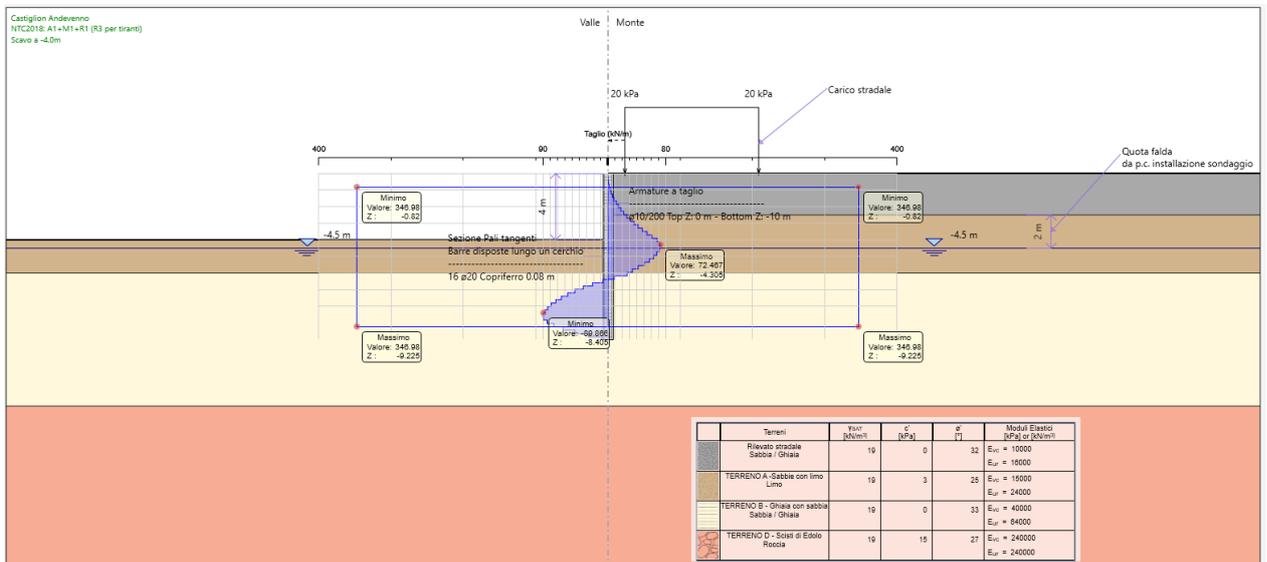


Figura 13.10 – Tipo 2: SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo taglio.

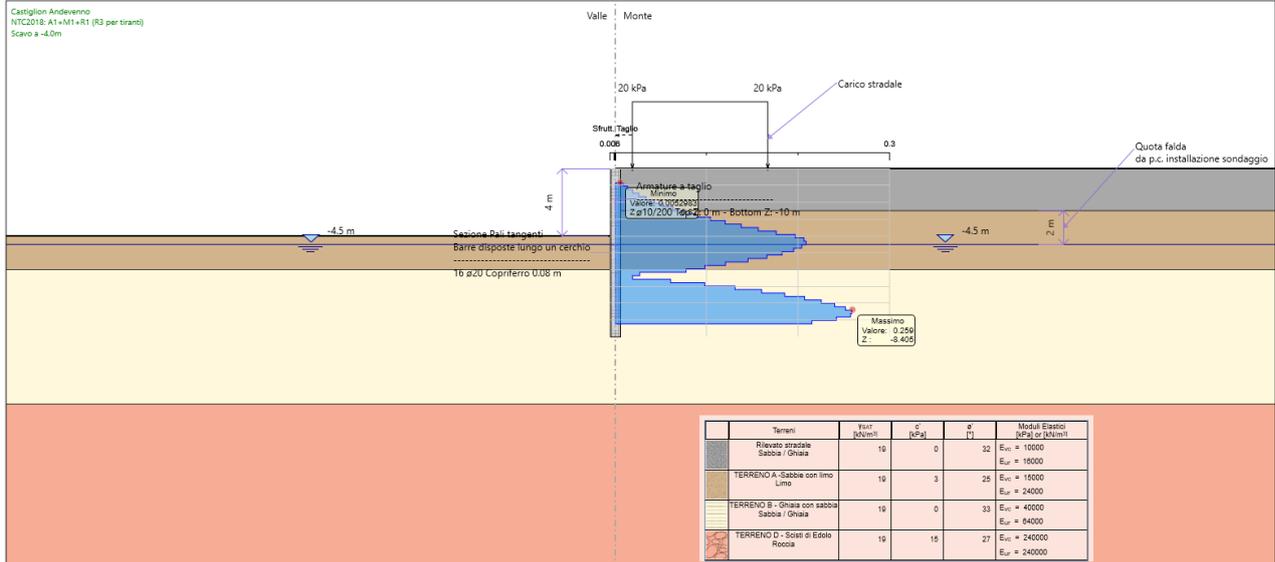


Figura 13.11 – Tipo 2 (TSF): SLU-STR A1+M1+R1, diagramma involuppo taglio.

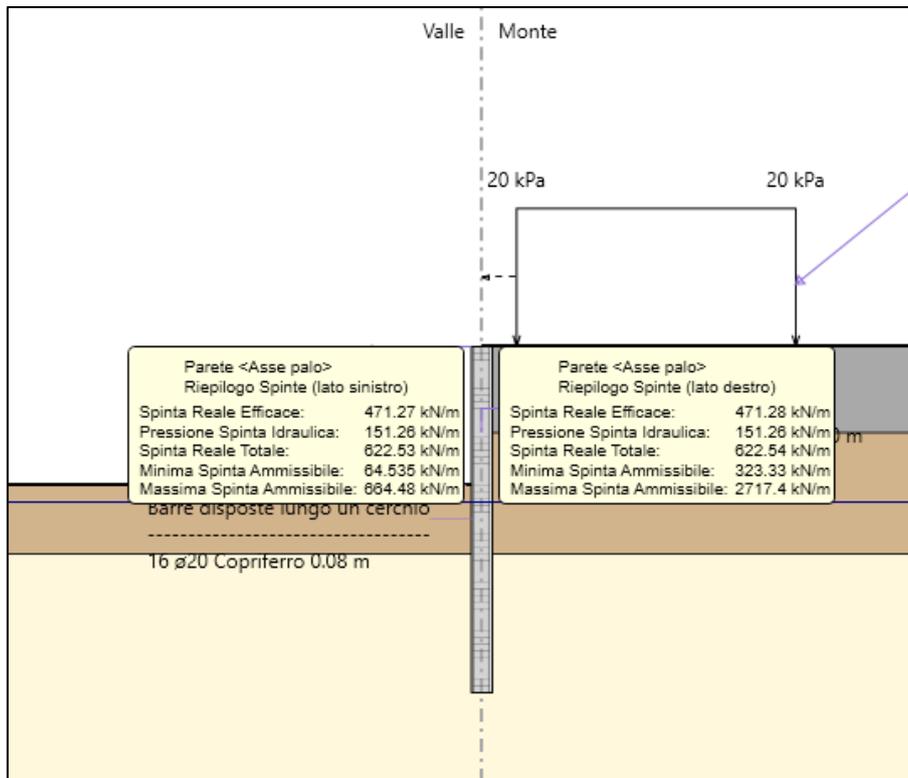
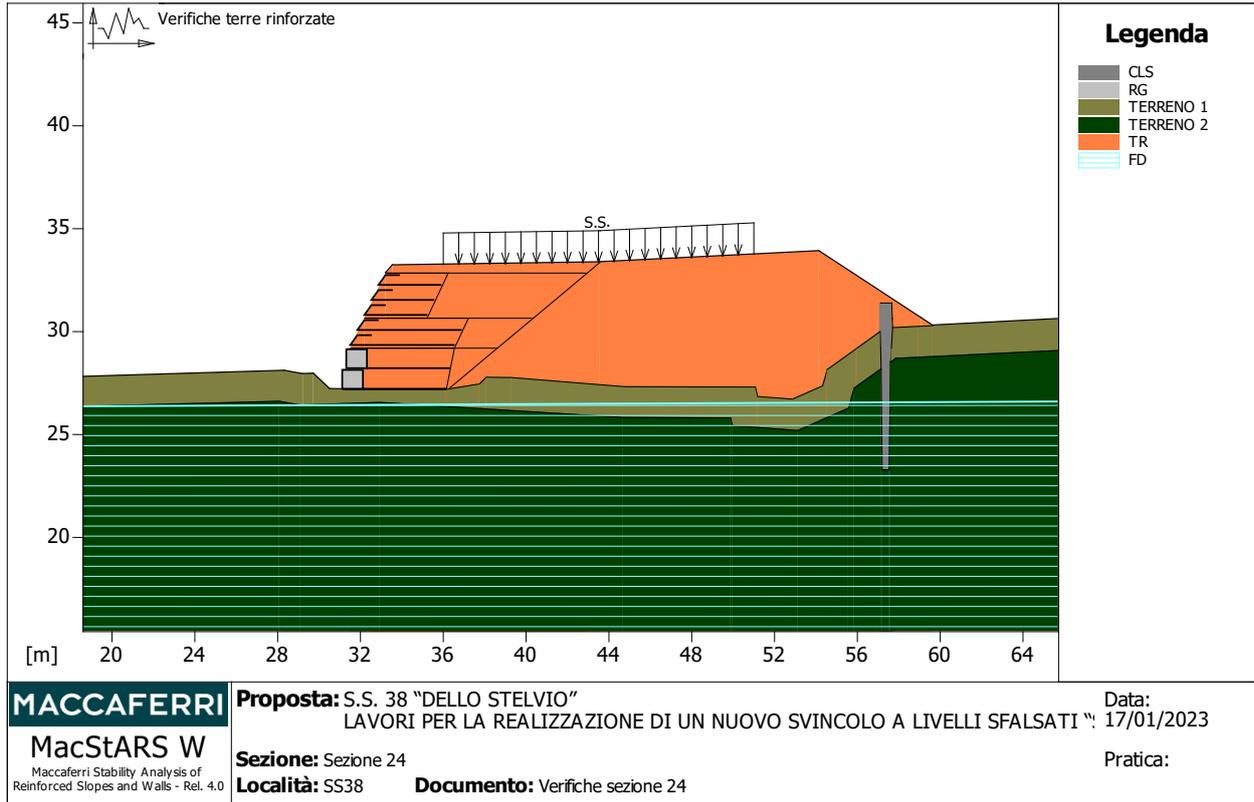


Figura 13.12 – Tipo 2: SLU A2+M2+R1, verifica di stabilità al piede.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 119 di 135</p>
--	--

### 13.3 Terre armate

#### CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI



#### Terreno : CLS

Descrizione : Calcestruzzo

Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 500.00  
 Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio  
 Angolo d'attrito.....[°].....: 0.00  
 Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
 Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole  
 Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 25.00  
 Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 25.00  
 Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
 Coefficiente di Poisson.....: 0.30

#### Terreno : RG

Descrizione : Riempimento gabbioni

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace  
 Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 12.50  
 Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 120 di 135</p>
---	--

Angolo d'attrito.....[°].....: 40.00  
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole  
Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 17.50  
Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 18.50

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**Terreno : TERRENO 1** Descrizione : Sabbie con limo debolmente argilloso

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace  
Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
Angolo d'attrito.....[°].....: 25.00  
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole  
Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 19.00  
Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 20.00

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**Terreno : TERRENO 2** Descrizione : Ghiaia con sabbia debolmente limosa

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace  
Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio  
Angolo d'attrito.....[°].....: 28.00  
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole  
Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 19.00  
Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 20.00

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**Terreno : TR** Descrizione : Terreno di riempimento

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace  
Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00  
Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio  
Angolo d'attrito.....[°].....: 32.00  
Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00  
Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 121 di 135</p>
--	--

Peso specifico sopra falda.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	19.00
Peso specifico in falda.....[kN/m <sup>3</sup> ].....:	20.00
Modulo elastico.....[kN/m <sup>2</sup> ].....:	0.00
Coefficiente di Poisson.....:	0.30

### PROFILI STRATIGRAFICI

**Strato: STR\_1A**

Descrizione:

Terreno : TERRENO 1

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
0.00	27.23	28.36	28.09	29.24	27.93	29.75	27.96
30.54	27.20	31.15	27.20	36.15	27.20	37.75	27.46
38.08	27.78	39.30	27.77	44.76	27.32	51.07	27.30
51.18	26.85	52.87	26.72	54.32	27.36	54.55	28.16
55.96	29.18	57.10	30.00	57.15	28.18		

**Strato: STR\_1B**

Descrizione:

Terreno : TERRENO 1

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
57.60	28.51	57.70	30.19	58.95	30.26	87.61	31.76

**Strato: STR\_2**

Descrizione:

Terreno : TERRENO 2

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
0.00	25.89	28.09	26.61	29.09	26.43	32.95	26.56
44.68	25.83	49.88	25.80	49.97	25.43	53.13	25.19
55.58	26.27	55.85	27.25	57.15	28.18	57.20	23.29
57.54	23.28	57.60	28.51	57.87	28.70	87.61	30.13

**Strato: STR\_3**

Descrizione:

Terreno : CLS

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
57.10	30.00	57.11	30.59	57.12	31.39	57.66	31.39
57.69	30.59	57.70	30.19				

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 122 di 135</p>
--	--

**Strato: STR\_TR**

Descrizione: Rilevato

Terreno : TR

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]							
36.26	27.21	43.57	33.37	54.17	33.91	59.65	30.29

**PROFILI FALDE FREATICHE**

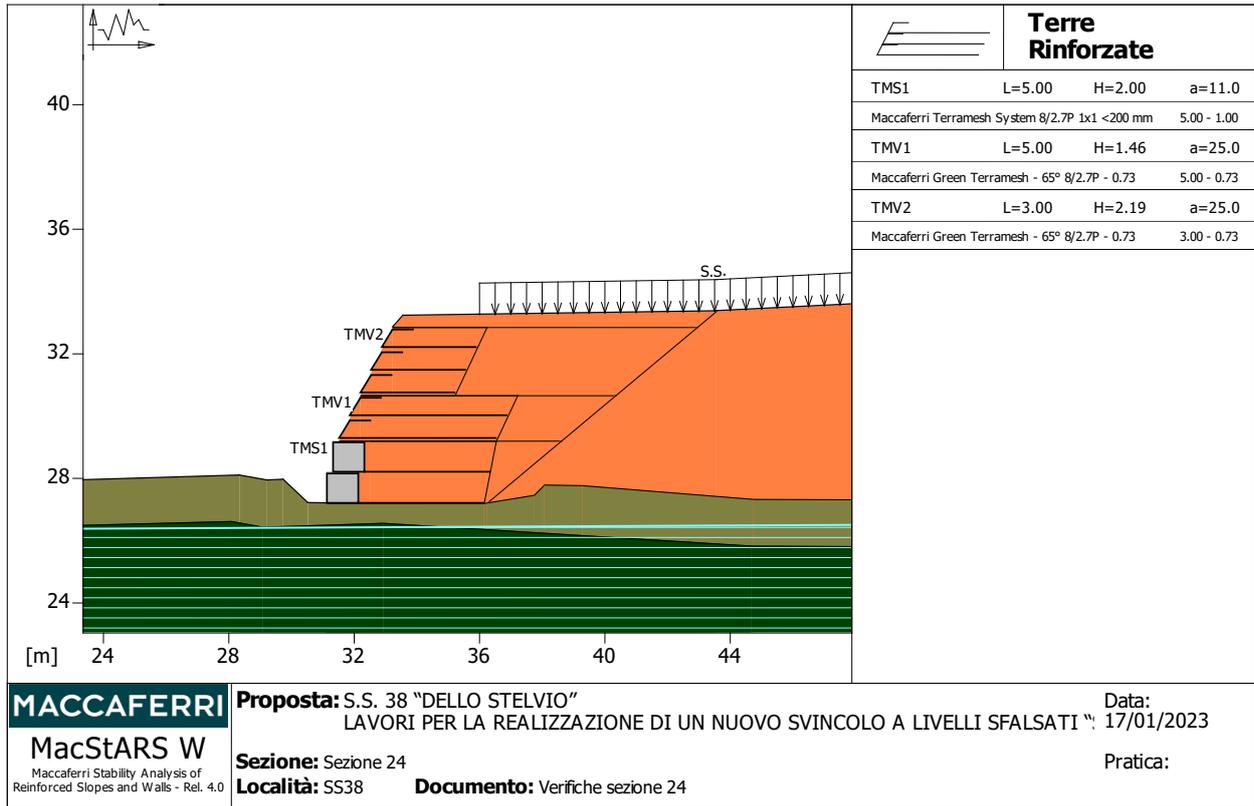
**Falda: FD**

Descrizione:

X	Y	Y	P	X	Y	Y	P
[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
0.00	26.25			87.61	26.68		

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 123 di 135</p>
--	--

### BLOCCHI RINFORZATI



**MACCAFERRI** **MacStARS W** **Proposta:** S.S. 38 "DELLO STELVIO" **Data:** 17/01/2023  
Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls - Rel. 4.0 **LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "**  
**Sezione:** Sezione 24 **Località:** SS38 **Documento:** Verifiche sezione 24 **Pratica:**

**Blocco : TMS1**

Dati principali.....[m].....: Larghezza..... = 5.00 Altezza..... = 2.00  
 Coordinate Origine.....[m].....: Ascissa..... = 31.15 Ordinata..... = 27.19  
 Inclinazione paramento[°].....: 11.00

Terreno riempimento gabbioni .....: RG  
 Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Sabbia  
 Rilevato strutturale.....: TR  
 Terreno di riempimento a tergo.....: TR  
 Terreno di copertura.....: TR  
 Terreno di fondazione.....: TERRENO 1

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione.....[m] : 0.00  
 Inclinazione pendio a valle.....[°] : 0.00

**Rinforzi :**

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 124 di 135</p>
---	--

- Terre rinforzate Con gabbioni - 8/2.7P 1x1 <200 mm  
Lunghezza.....[m] = 5.00  
Gabbione.....[m] : Altezza..... = 1.00      Larghezza.. = 1.00

**Blocco : TMV1**

Dati principali.....[m] : Larghezza..... = 5.00      Altezza..... = 1.46  
Arretramento.....[m] = 0.00 da TMS1  
Inclinazione paramento[°].....: 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Sabbia  
Rilevato strutturale.....: TR  
Terreno di riempimento a tergo.....: TR  
Terreno di copertura.....: TR  
Terreno di fondazione.....: TR

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione.....[m] : 0.00  
Inclinazione pendio a valle.....[°] : 0.00

**Rinforzi :**

- Green Terre rinforzate - 65° - 8/2.7P - 0.73  
Lunghezza.....[m] = 5.00  
Interasse.....[m] = 0.73  
Risolto.....[m] = 0.65

**Blocco : TMV2**

Dati principali.....[m] : Larghezza..... = 3.00      Altezza..... = 2.19  
Arretramento.....[m] = 0.00 da TMV1  
Inclinazione paramento[°].....: 25.00

Rilevato strutturale - materiale tipo.....: Sabbia  
Rilevato strutturale.....: TR  
Terreno di riempimento a tergo.....: TR  
Terreno di copertura.....: TR  
Terreno di fondazione.....: TR

Parametri per il calcolo della capacità portante com Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione.....[m] : 0.00  
Inclinazione pendio a valle.....[°] : 0.00

**Rinforzi :**

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 125 di 135</p>
---	--

- Green Terre rinforzate - 65° - 8/2.7P - 0.73  
Lunghezza.....[m]..... = 3.00  
Interasse.....[m]..... = 0.73  
Risolto.....[m]..... = 0.65

**Profilo di ricopertura:**

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	0.00	0.33	0.38	10.49	0.52		

**CARICHI**

**Pressione : S.S.**                      Descrizione : Sovraccarico stradale  
Classe : Variabile - sfavorevole  
Intensità.....[kN/m<sup>2</sup>].. = 20.00      Inclinazione.....[°].. = 0.00  
Ascissa.....[m] : Da = 36.00 To = 51.00

**Sisma :**

Classe : Sisma  
Accelerazione\_[m/s<sup>2</sup>]: Orizzontale... = 0.73      Verticale..... = 0.36

**PROPRIETA' DEI RINFORZI UTILIZZATI**

- Green Terre rinforzate - 65° - 8/2.7P - 0.73

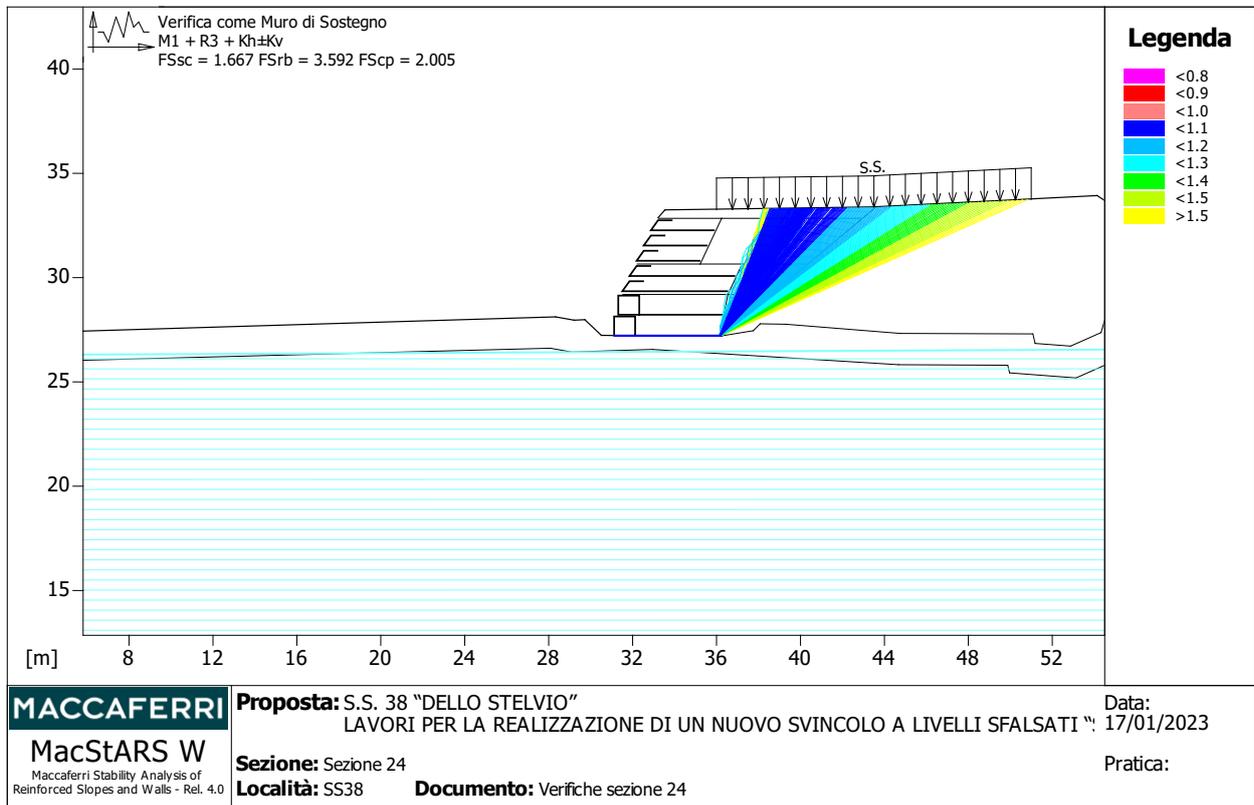
Carico di rottura Nominale Tr .....	[kN/m].....	50.00
Rapporto di Scorrimento plastico.....		2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....	[m <sup>3</sup> /kN].....	1.10e-04
Rigidità estensionale.....	[kN/m].....	500.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....	[m].....	0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia).....		1.26
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....		1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla).....		1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....		1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo		0.30

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 126 di 135</p>
---	--

Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia.....	: 0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia.....	: 0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo.....	: 0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla.....	: 0.30
- Terre rinforzate Con gabbioni - 8/2.7P 1x1 <200 mm	
Carico di rottura Nominale Tr .....[kN/m].....	: 50.00
Rapporto di Scorrimento plastico.....	: 2.00
Coefficiente di Scorrimento elastico.....[m <sup>3</sup> /kN].....	: 1.10e-04
Rigidezza estensionale.....[kN/m].....	: 500.00
Lunghezza minima di ancoraggio.....[m].....	: 0.15
Coefficiente di sicurezza alla rottura (ghiaia).....	: 1.33
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....	: 1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (sabbia).....	: 1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....	: 1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (limo).....	: 1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out .....	: 1.00
Coefficiente di sicurezza alla rottura (argilla).....	: 1.09
Coefficiente di sicurezza al Pull-out.....	: 1.00
Coefficiente di interazione rinforzo-rinforzo.....	: 0.30
Coefficiente di sfilamento rinforzo-ghiaia.....	: 0.90
Coefficiente di sfilamento rinforzo-sabbia.....	: 0.65
Coefficiente di sfilamento rinforzo-limo.....	: 0.50
Coefficiente di sfilamento rinforzo-argilla.....	: 0.30

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 127 di 135</p>
--	--

## VERIFICHE



### Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

Forza Stabilizzante ..... [kN/m] : 254.58

Forza Instabilizzante ..... [kN/m] : 152.72

Classe scorrimento ..... : Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento ..... : 1.667

Momento Stabilizzante ..... [kN\*m/m] : 1924.60

Momento Instabilizzante ..... [kN\*m/m] : 535.77

Classe momento ..... : Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento ..... : 3.592

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima ..... [kN/m<sup>2</sup>] : 272.82

Pressione media agente ..... [kN/m<sup>2</sup>] : 113.38

Classe pressione ..... : Coeff. parziale R - Capacità portante

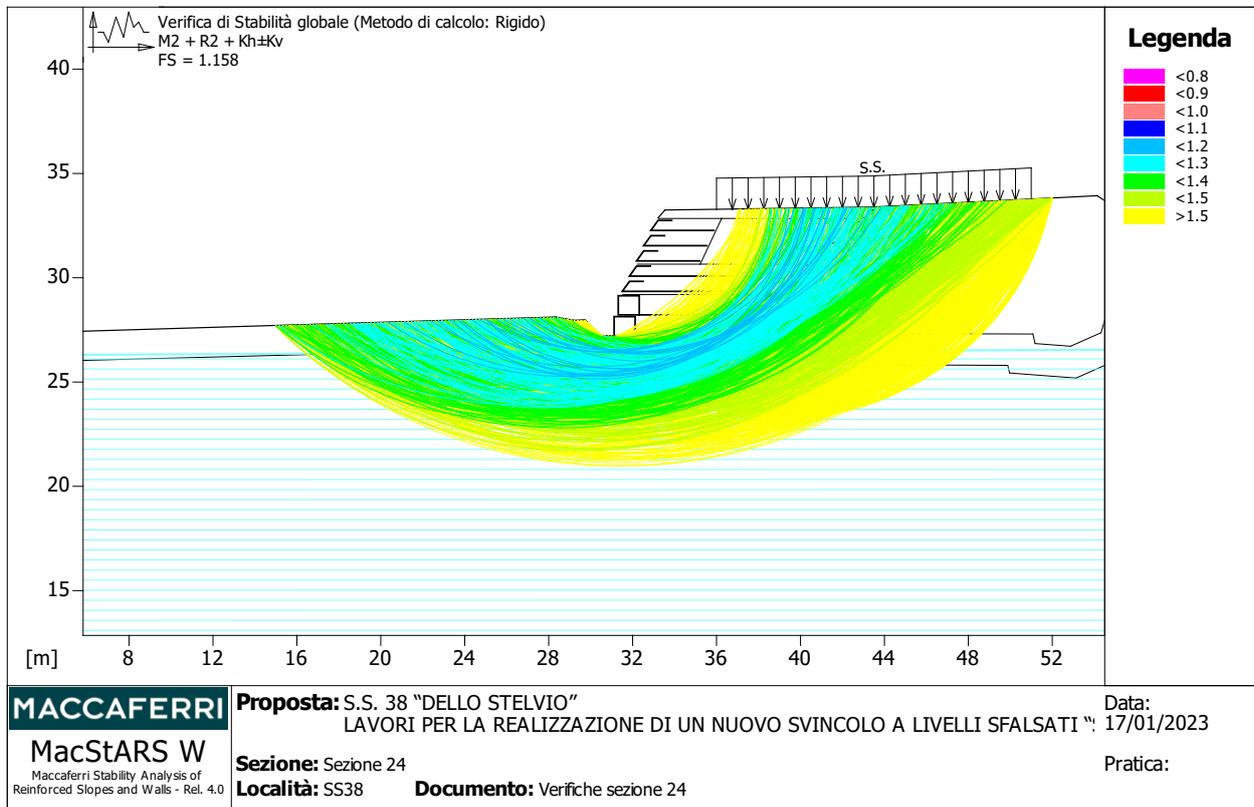
Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante ..... : 2.005

Fondazione equivalente ..... [m] : 5.00

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 128 di 135</p>
--	--

Eccentricità forza normale.....[m].....: -0.04  
 Braccio momento.....[m].....: 3.51  
 Forza normale.....[kN].....: 545.95  
 Pressione estremo di valle.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 105.18  
 Pressione estremo di monte.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 117.10

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.20	Coeff. parziale R - Capacità portante
1.00	Coeff. parziale R - Ribaltamento



<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 129 di 135</p>
--	--

**Verifica di stabilità globale :**

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

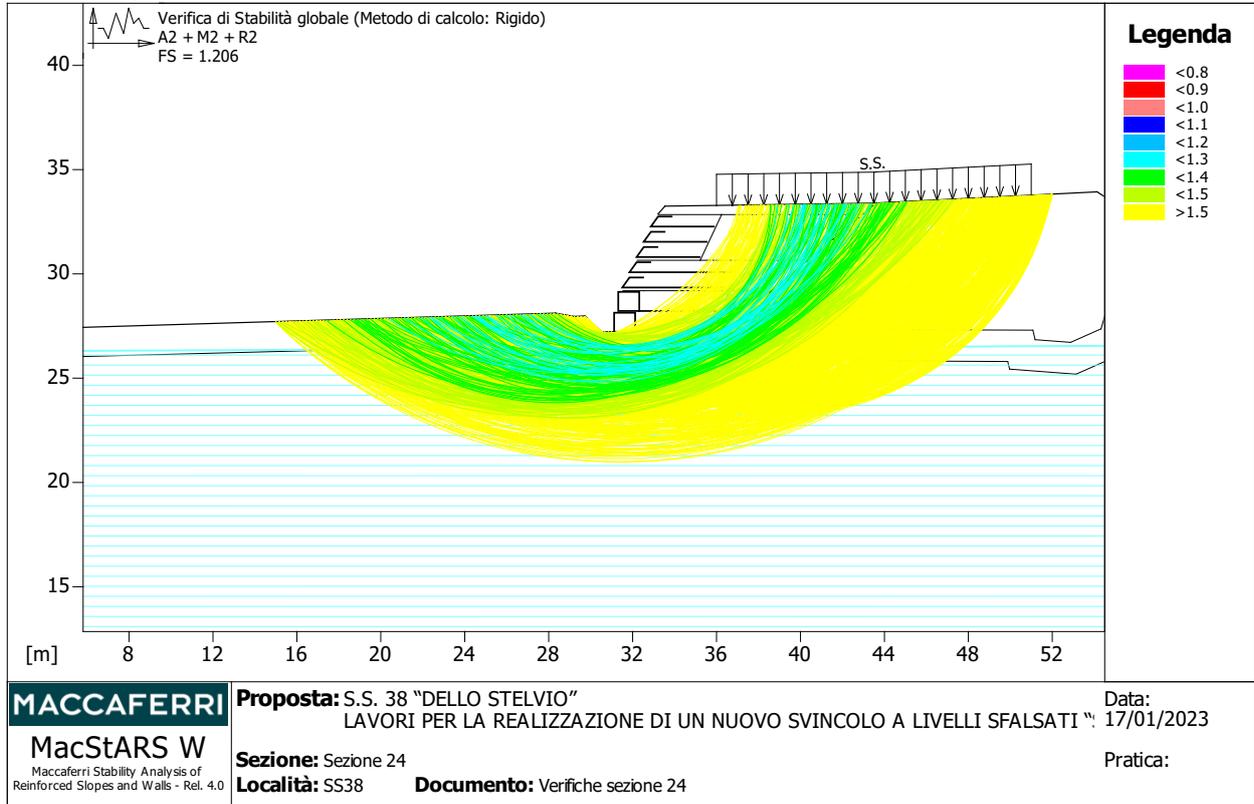
Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.158

Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
15.00	31.00	37.00	52.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		100	
Numero totale superfici di prova.....:		1000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:		0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:		0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:		0.00	

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.20	Coeff. Parziale R - Stabilità

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 130 di 135</p>
--	--



### Verifica di stabilità globale :

Combinazione di carico : A2 + M2 + R2

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.206

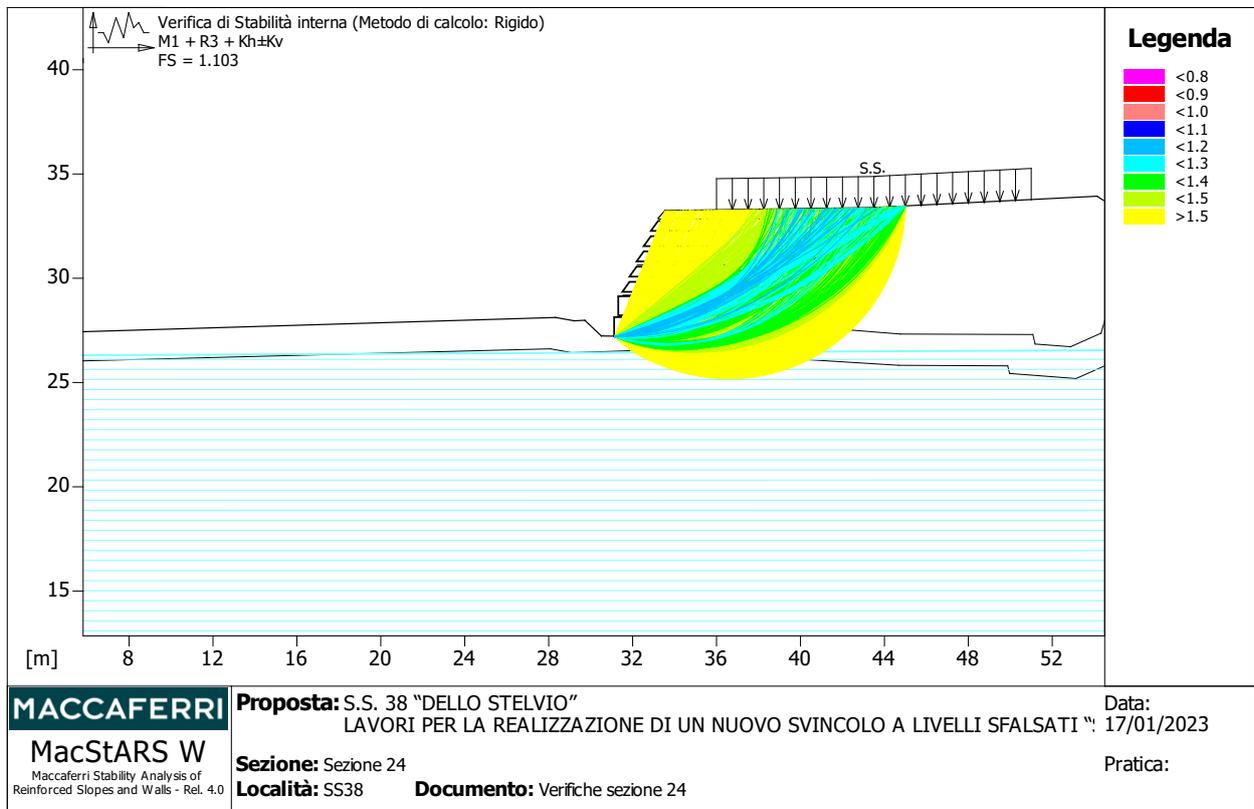
#### Intervallo di ricerca delle superfici

Segmento di partenza, ascisse [m]		Segmento di arrivo, ascisse [m]	
Primo punto	Secondo punto	Primo punto	Secondo punto
15.00	31.00	37.00	52.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:		100	
Numero totale superfici di prova.....:		1000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:		0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:		0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:		0.00	

Fattore	Classe
1.30	Variabile - sfavorevole
0.00	Sisma
1.25	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 131 di 135</p>
--	--

1.25	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. Parziale R – Stabilità



**Verifica di stabilità interna :**

Combinazione di carico : M1 + R3 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.103

Intervallo di ricerca delle superfici

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
TMS1	Primo punto	Secondo punto
	33.50	45.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	1	
Numero totale superfici di prova.....:	1000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:	0.50	

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 132 di 135</p>
---	--

Angolo limite orario.....[°].....: 0.00  
Angolo limite antiorario.....[°].....: 0.00

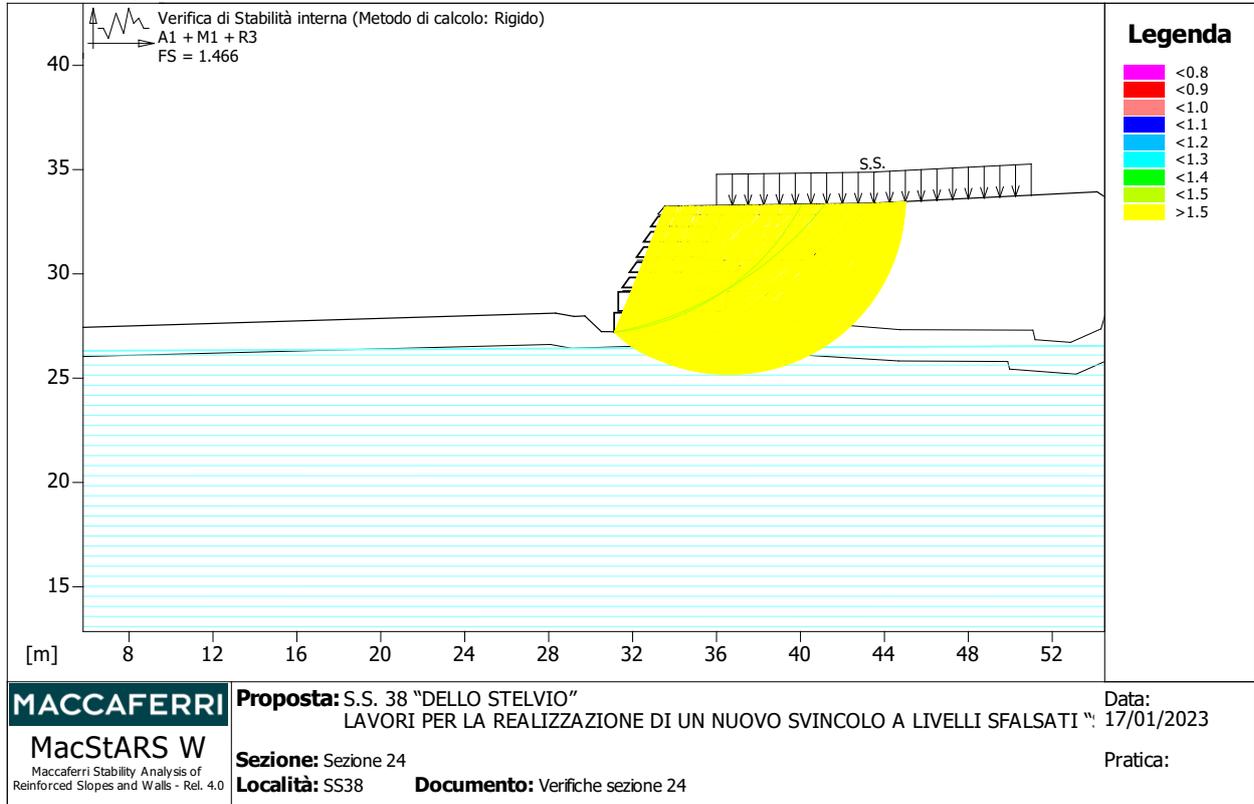
Blocco : TMS1

- Terre rinforzate Con gabbioni - 8/2.7P 1x1 <200 mm

Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
	rottura	sfilamento	agente	1/Fmax	
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
1.000	50.0	157.1	45.9	1.09	3.42

Fattore	Classe
1.00	Variabile - sfavorevole
1.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.20	Coeff. Parziale R – Stabilità

<b>ANAS S.p.A.</b> <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b> <b>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</b>  <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b> <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b>	P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 133 di 135
---	---



**Verifica di stabilità interna :**

Combinazione di carico : A1 + M1 + R3

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.466

**Intervallo di ricerca delle superfici**

Blocco	Segmento di arrivo, ascisse [m]	
	Primo punto	Secondo punto
TMS1	33.50	45.00
Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....:	1	
Numero totale superfici di prova.....:	1000	
Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:	0.50	
Angolo limite orario..... [°].....:	0.00	
Angolo limite antiorario..... [°].....:	0.00	

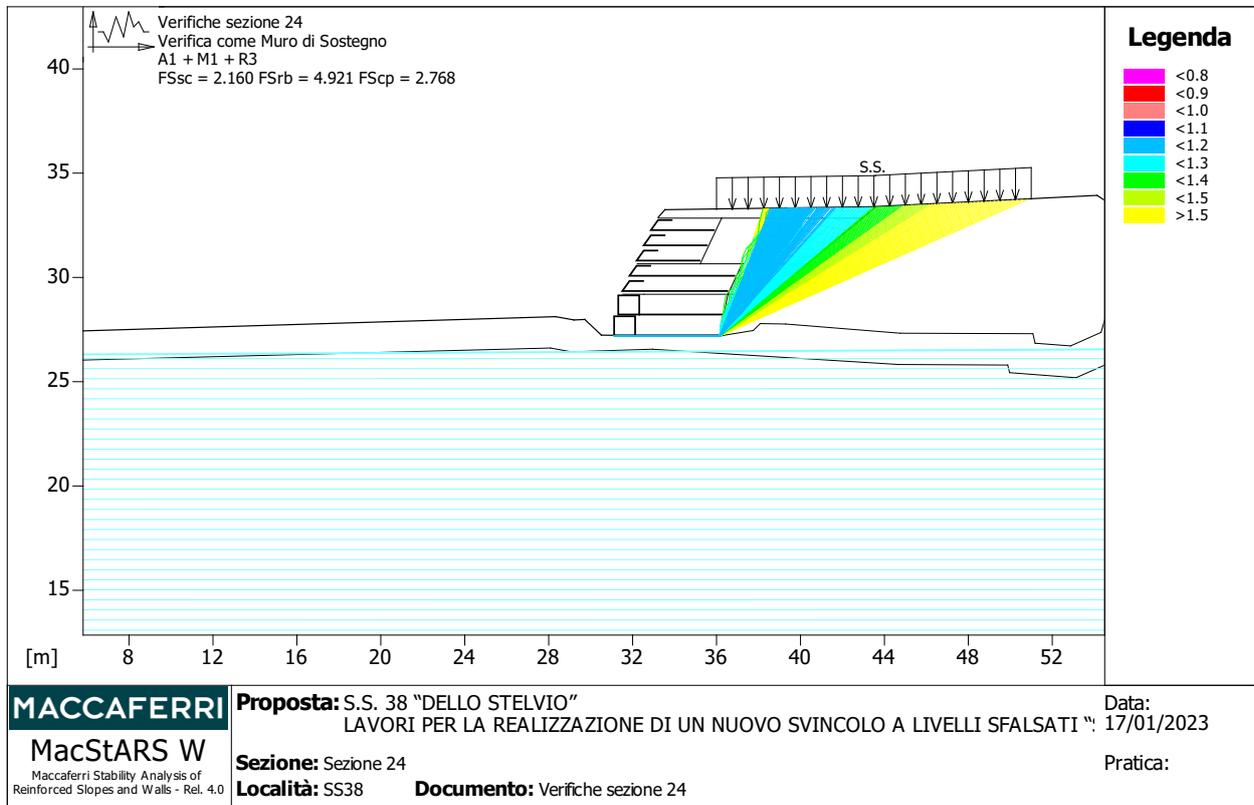
<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 134 di 135</p>
--	--

Blocco : TMS1

- Terre rinforzate Con gabbioni - 8/2.7P 1x1 <200 mm

Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	1/Fmax	
1.000	50.0	141.0	45.9	1.09	3.07

Fattore	Classe
1.50	Variabile - sfavorevole
0.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.30	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.00	Coeff. Parziale R – Stabilità



<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA <b>Opere di sostegno - Relazione di calcolo</b></p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_D Data: Maggio 2023 Pag. 135 di 135</p>
---	--

### Verifica come muro di sostegno : Verifiche sezione 24

Combinazione di carico : A1 + M1 + R3

Stabilità verificata sul blocco : TMS1

Forza Stabilizzante ..... [kN/m] : 269.62

Forza Instabilizzante ..... [kN/m] : 113.49

Classe scorrimento ..... : Coeff. parziale R - Scorrimento

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento ..... : 2.160

Momento Stabilizzante ..... [kN\*m/m] : 1991.40

Momento Instabilizzante ..... [kN\*m/m] : 351.86

Classe momento ..... : Coeff. parziale R - Ribaltamento

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento ..... : 4.921

Pressione ultima calcolata con metodo dell'equilibrio limite.

Pressione ultima ..... [kN/m<sup>2</sup>] : 456.65

Pressione media agente ..... [kN/m<sup>2</sup>] : 117.85

Classe pressione ..... : Coeff. parziale R - Capacità portante

Coefficiente di sicurezza sulla capacità portante ..... : 2.768

Fondazione equivalente ..... [m] : 5.00

Eccentricità forza normale ..... [m] : -0.34

Braccio momento ..... [m] : 3.10

Forza normale ..... [kN] : 578.21

Pressione estremo di valle ..... [kN/m<sup>2</sup>] : 71.47

Pressione estremo di monte ..... [kN/m<sup>2</sup>] : 195.65

Fattore	Classe
1.50	Variabile - sfavorevole
0.00	Sisma
1.00	Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio
1.00	Coeff. Parziale - Coesione efficace
1.00	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole
1.30	Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - sfavorevole
1.00	Fs Rottura Rinforzi
1.00	Fs Sfilamento Rinforzi
1.10	Coeff. parziale R - Scorrimento
1.40	Coeff. parziale R - Capacità portante
1.15	Coeff. parziale R - Ribaltamento