

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA
DEL TRATTO RIMINI NORD-PEDASO

TRATTO: SENIGALLIA - ANCONA NORD

PROGETTO ESECUTIVO

AU - CORPO AUTOSTRADALE

OPERE D'ARTE MINORI

MURO IN TERRA ARMATA - TA35 - CARR. SUD
RELAZIONE DI CALCOLO TERRA ARMATA

 ingegneria europea	IL PROJECT ENGINEER: Ing. Michele Pastorino Ord. Ingg. Savona N.1104	IL DIRETTORE TECNICO : Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N.16492
	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	RESPONSABILE FUNZIONE "STUDI E PROGETTI"

WBS - Rif. elaborato	DIRETTORIO				FILE		DATA:	REVISIONE						
	AU-CS02		codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	GIUGNO 2008	n.	data				
TA35-008	1	1	1	4	2	3	0	2	GEI APE	4	7	8		

ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	Geom. Giorgio Perfetti	CONSULENZA:	
ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	Ing. Federico Carbonaro	COORDINATORE GEOINGEGNERIA:	Ing. Tiziano COLLOTTA - O.I. Lecco N. 122
		RESPONSABILE PROG. SPECIALISTICA:	Ing. Piero BONGIO - O.I. Sondrio N. 538

VISTO DELLA COMMITTENTE

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	RIFERIMENTI	3
2.1	Normative e raccomandazioni	3
2.2	Documentazione di progetto	3
2.3	Riferimenti bibliografici principali	4
3	QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRATTO IN ESAME	5
3.1	Inquadramento litologico e geotecnico	5
3.2	Schematizzazione stratigrafica e geotecnica dell'area d'intervento	7
4	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	8
5	DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE	10
5.1	Ipotesi di calcolo	10
5.1.1	INFORMAZIONI GENERALI	10
5.1.2	DEFINIZIONE DELLA SEZIONE DA CALCOLARE	12
5.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO E LIVELLI DI SICUREZZA	13
5.1.4	STABILITA' ESTERNA	15
5.1.5	STABILITA' INTERNA	16
5.1.6	DATI COMPLEMENTARI	19
	Muri di sostegno in Terra Verde – Tabulati di calcolo	20
	TABELLE	32
	FIGURE	34

1 INTRODUZIONE

La presente relazione contiene le verifiche relative all'opera in terra armata prevista a sostegno del rilevato autostradale dal km 195+999 al km 196+179, da realizzare nell'ambito del progetto di ampliamento alla terza corsia della A14 Bologna-Taranto nel tratto Senigallia – Ancona Nord.

L'area di studio ricade nel comune di Senigallia (AN), classificato come zona sismica 2, in accordo all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20.03.03, n. 3274.

2 RIFERIMENTI

2.1 Normative e raccomandazioni

- 2.1.1 Legge 1086 del 05.11.1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato”.
- 2.1.2 D.M. 09.01.1996 “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- 2.1.3 D.M. 16.01.1996 “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- 2.1.4 Circolare 156 del 04.07.1996 “Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- 2.1.5 D.M. 11.03.1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- 2.1.6 Raccomandazioni AICAP “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce” (maggio 1993).
- 2.1.7 Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20.03.03, n. 3274 (G.U. 08.05.03).
- 2.1.8 Regione Marche “Piano stralcio di bacino per l’Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale”. Carta del Rischio Idrogeologico - Tavola RI21 scala 1:25.000.

2.2 Documentazione di progetto

- 2.2.1 Autostrade S.p.A. “Interventi di manutenzione straordinari nella tratta Senigallia-Ancona Nord – Opere di stabilizzazione di dissesti ai km 197+800; 198+350; 199+200; 200+150; 200+900; 201+200; 203+850; 204+450; 205+500”.
- 2.2.2 SPEA Ingegneria Europea “Autostrade A1 – A9 – A14, ampliamento alla terza corsia. Studi specialistici propedeutici alla progettazione definitiva e

SIA. Monografia n. 6. A14-Azioni sismiche di progetto. Valutazione dell'impatto delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche sulle opere all'aperto in ampliamento. Maggio 2004.

Documentazione di progetto "Autostrada A14 Bologna-Bari-Taranto - Ampliamento alla terza corsia tratto Senigallia-Ancona Nord. Progetto definitivo. Elenco elaborati". Novembre 2004.

In particolare:

2.2.3 SPEA Ingegneria Europea "Autostrada A14 Bologna-Bari-Taranto - Ampliamento alla terza corsia tratto Senigallia-Ancona Nord. Progetto definitivo. Relazione Geologica e Geomorfologica". Novembre 2004.

2.2.4 SPEA Ingegneria Europea "Autostrada A14 Bologna-Bari-Taranto - Ampliamento alla terza corsia tratto Senigallia-Ancona Nord. Progetto definitivo. Relazione Geotecnica". Novembre 2004.

2.2.5 SPEA Ingegneria Europea "Autostrada A14 Bologna-Bari-Taranto - Ampliamento alla terza corsia tratto Senigallia-Ancona Nord. Progetto definitivo. Opere di presidio – Relazione descrittiva". Novembre 2004.

2.3 Riferimenti bibliografici principali

2.3.1 Lancellotta R., 1993, "Geotecnica" – Zanichelli, Bologna, 2a ed., 555pp.

2.3.2 Bustamante M. e Doix B., 1985, "Une Méthode pour le Calcul des Tirants et des Micropieux Injectés", Bull. Liaison Labo. P. et Ch. N. 140, nov dic 1985 – Réf. 3047.

2.3.3 Mononobe N., and Matuo H., 1929, "On the determination of earth pressure during earthquakes", Proceedings of World Engineering conference, Vol.9.

2.3.4 Okabe S., 1926, "General theory of earth pressure", Journal, Japanese Society of Civil engineers, Vol.12, No.1.

2.3.5 Janbu N., 1973, "Slope stability computations", Casagrande Volume. Embankment Dam Engineering. John Wiley & Sons ed.

2.3.6 Ito T. e Matsui T., 1975, "Method to stabilize lateral force acting on stabilizing piles", Soil and Foundations, Vol. 15 n. 4.

3 QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TRATTO IN ESAME

3.1 Inquadramento litologico e geotecnico

Sotto il profilo litologico, nella tratta in esame vengono riconosciuti due gruppi principali di depositi, di età compresa tra il Pliocene e l'Olocene (rif. 2.2.3).

In particolare, procedendo dall'unità più recente alla più antica, si possono distinguere:

- successioni continentali quaternarie;
- successioni marine plio-quaternarie, all'interno delle quali è possibile effettuare una suddivisione in “*depositi del ciclo di chiusura*” e “*depositi di avanfossa adriatica*”.

Le successioni continentali quaternarie sono costituite da depositi alluvionali, indicati in rif. 2.2.3 con la sigla **a₂**, affioranti generalmente fino ad una quota di 15÷20m dal fondovalle dei principali corsi d'acqua e costituiti da ghiaie frammiste a sabbie, con intercalazioni di argille, limi e sabbie. In questa unità sono inclusi anche depositi deltizi e di spiaggia, attuali e recenti, costituiti da sabbie quarzose a granulometria medio fine sciolte o debolmente addensate. Lungo i pendii sono talora presenti depositi eluvio-colluviali olocenici, indicati con la sigla **ec**, costituiti prevalentemente da terriccio di colore rossastro generalmente di natura argilloso-sabbiosa.

Le successioni marine plio-quaternarie del ciclo di chiusura, indicate con la sigla **Q_a**, sono costituite prevalentemente da depositi argilloso-limosi con locali intercalazioni sabbiose.

I depositi pliocenici di avanfossa, indicati con la sigla **P_a**, sono costituiti da argille e limi con sottili intercalazioni sabbiose che raramente superano il decimetro di spessore. Il deposito possiede superficialmente una caratteristica colorazione tra l'avana ed il giallo ocra, indicativa di processi di ossidazione connessi a circolazione idrica epidermica.

Sotto il profilo geotecnico, le unità litologiche presenti nell'area di studio sono state raggruppate in categorie omogenee sulla base delle comuni caratteristiche meccaniche.

In particolare, nella tratta di competenza, sono presenti le seguenti unità geotecniche:

- **A₁** raggruppa tutti i depositi e le alluvioni attuali costituiti da materiali limoso argillosi: **a₂** ed **ec**. Comprende anche le formazioni geologiche **a_{2a}** e **dt** non affioranti lungo la tratta in esame;
- **P₁** raggruppa tutti i depositi plio-pleistocenici limoso argillosi **Q_a** e **P_a**. Per questa categoria geotecnica, in fase di progettazione esecutiva, è stata ritenuta opportuna un'ulteriore suddivisione in due sottounità:

P_{1a} rappresenta la porzione superiore degradata dell'unità **P₁**, sede di dissesti gravitativi in atto o quiescenti. Il decadimento dei parametri di resistenza è in genere riconducibile a processi di completo rammollimento per circolazione idrica negli interstrati sabbiosi ed a fenomeni di rottura progressiva del versante. L'unità è caratterizzata da spessori variabili lungo la tratta, con limite inferiore in genere compreso tra i -6m ed i -12m dal piano campagna. Da un punto di vista litologico comprende depositi limosi e argillosi, a tratti debolmente sabbiosi e/o con intercalazioni sabbiose da millimetriche a centimetriche;

P₁ rappresenta la porzione inferiore dell'unità, raramente affiorante, costituita da argille e argille limose di colore grigio azzurro molto consistenti con intercalazioni millimetriche di sabbie fini.

La caratterizzazione meccanica di queste unità è compiutamente illustrata nella Relazione geotecnica di progetto (rif. 2.2.4), alla quale si rimanda per gli opportuni approfondimenti.

Nelle tabelle 3.1 e 3.2 in allegato sono richiamati i principali parametri geotecnici di riferimento per le unità **P₁** e **A₁**. I parametri della sottounità **P_{1a}** si ipotizzano per condizioni di completo rammollimento (perdita di coesione intercetta) o per resistenza residua, in caso di dissesti pregressi attivi o quiescenti.

3.2 Schematizzazione stratigrafica e geotecnica dell'area d'intervento

L'intervento in progetto ricade interamente nell'area di affioramento dell'unità geotecnica **P₁** e della relativa coltre di alterazione **P_{1a}** fino a circa la progressiva km 195+870 (a partire da nord), e dell'unità geotecnica **A₁** (depositi eluvio colluviali **ec**), fino alla fine dell'opera di interesse.

Per la definizione dello schema stratigrafico e geotecnico di calcolo si è fatto riferimento ai dati di sito e di laboratorio provenienti dalle seguenti indagini:

- sondaggio E4/S1 attrezzato per l'esecuzione di misure del livello di falda.

Per il terreno di fondazione sono stati quindi assunti i seguenti parametri geotecnici:

Terreno di fondazione

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 26^\circ$$

$$c' = 0.0 \text{ kPa}$$

Il livello di falda assunto nei calcoli è stato ricavato dalle letture del piezometro E4/S1 da cui deriva, in corrispondenza dell'opera in progetto, una falda con soggiacenza minima pari a 3,5m dal locale piano campagna.

Per il materiale costituente il rilevato si sono assunti i seguenti parametri:

Rilevato

$$\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 35^\circ$$

$$c' = 0.0 \text{ kPa}$$

4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'ampliamento alla terza corsia del tratto autostradale dell'A14 compreso tra le progressive chilometriche 195+999 ÷ 196+179 comporta un allargamento del rilevato esistente.

Il ricorso a terre armate è imposto da limiti di esproprio che non consente di realizzare un rilevato tradizionale. La vegetazione del paramento esterno permette inoltre un efficace inserimento dell'opera nel contesto paesaggistico-ambientale della zona, limitando al contempo l'impatto visivo e ambientale.

L'opera in terra armata è costituita da un materiale composito che combina la tipica resistenza di due differenti elementi in grado di migliorare le caratteristiche globali dell'insieme. Nello specifico le proprietà geotecniche del terreno, materiale resistente a compressione, sono migliorate dalla combinazione con lamine in acciaio, materiale ad alta resistenza a trazione.

Gli elementi costitutivi dei paramenti in terra armata sono pertanto:

- pannelli inclinati in rete metallica elettrosaldata $\phi 8$ aventi maglia $10 \times 10 \text{ cm}^2$, realizzati in acciaio FeB44k zincato e montati in file parallele;
- materiale da rilevato;
- armature ad aderenza migliorata in acciaio zincato costituite da lamine del tipo $50 \times 4 \text{ mm}^2$ realizzate in acciaio Fe510, aventi lunghezza variabile in funzione del contesto geotecnico.

L'intervento prevede il posizionamento dei pannelli prefabbricati sul piano di fondazione opportunamente livellato e compattato e quindi il successivo montaggio in file orizzontali contemporaneamente alla formazione del rilevato. Fintanto che il rilevato e le armature non saranno completamente posate, i pannelli saranno mantenuti in posizione inclinata dai ganci di collegamento tra paramento ed armature. La posa del materiale di riempimento seguirà strettamente il montaggio di ciascuna fila di pannelli ed in corrispondenza di ogni livello di armature il materiale sarà steso e compattato dopo la posa ed il fissaggio delle stesse. Per ogni pannello le armature verranno posizionate ad interasse

verticale di 81 cm e ad interasse longitudinale di 0.97-0.73 m. Il collegamento fra armature e paramento è assicurato da un doppio gancio. Verranno inoltre posizionati geotessili idroconduttori per favorire il drenaggio all'interno del paramento.

Al termine della costruzione dei paramenti viene previsto un inerbimento del muro di facciata realizzato tramite idrosemina. Per favorire il rinverdimento, sul lato interno della rete metallica viene montata una biostuia costituita da fibre vegetali, oltre al posizionamento di uno strato di terreno vegetale dello spessore di circa 25 cm a contatto con la biostuia.

Tutte le sezioni di progetto sono caratterizzate da un'inclinazione del muro di facciata pari a 70°.

Al piede del manufatto è prevista un'opera di presidio per garantire la stabilità globale del rilevato stesso. Tale intervento è costituito da pali trivellati di grosso diametro (1200 mm) e collegati in sommità da una trave di testata, nella quale è inoltre previsto un sistema di tirantatura. Per il dimensionamento di tale opera di presidio si rimanda agli appositi elaborati di progetto.

5 DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

5.1 Ipotesi di calcolo

5.1.1 INFORMAZIONI GENERALI

CLASSIFICAZIONE DELLA STRUTTURA

La durata di servizio e l'ubicazione dell'opera, cioè la presenza o meno dell'acqua dolce, determinano lo spessore sacrificato per corrosione dell'acciaio utilizzato. (tabella tratta dalle Norme NF A 05-252).

Spessori di sacrificio (in millimetri)

	Durata di servizio							
	5 anni		30 anni		70 anni		100 anni	
Metallo	Nero	Zincato	Nero	Zincato	Nero	Zincato	Nero	Zincato
Ubicazione:								
A secco	0.5	0	1.5	0.5	3	1.0	4	1.5
Sommersa	0.5	0	2.0	1.0	4	1.5	5	2.0

Nero = Acciaio non zincato;

Zincato = Acciaio galvanizzato a caldo, con un minimo di 500g/m².

Il livello di sicurezza, indicato come "alto", corrisponde alla classe delle strutture "sensibili"; se è indicato come "ordinario" corrisponde alle opere correnti o "non sensibili".

ARMATURE

Il materiale utilizzato è generalmente l'acciaio, sia nero che zincato.

Per ogni tipo di armatura utilizzata nella costruzione della struttura, sono qui indicate la larghezza b , lo spessore iniziale e_0 , lo spessore di sacrificio e_s ,

precedentemente definito, di cui si è tenuto conto nei calcoli, nonché il tipo di acciaio costituente l'armatura stessa.

Sono inoltre indicate le tensioni ammissibili T_r e T_{r0} della singola armatura, rispettivamente nella sezione corrente e nella sezione all'attacco:

$$T_r = \sigma_r \cdot (b - b_t) (e_0 - e_t - e_s) / FS_t$$

in cui σ_r è la tensione di rottura a trazione relativa al tipo di acciaio utilizzato, secondo il metodo agli stati limite. Le dimensioni sono tutte in millimetri, “ b_t ” ed “ e_t ” sono le tolleranze di fabbricazione rispettivamente sulla larghezza e sullo spessore delle armature.

Per la definizione del coefficiente di sicurezza alla rottura FS_t , si veda il relativo capitolo.

T_{r0} è calcolato allo stesso modo, tenendo conto della riduzione della sezione resistente dell'armatura dovuta al foro per l'attacco.

PARAMENTO

Viene specificato il tipo di paramento utilizzato, con la relativa pendenza.

I pannelli standard sono in rete metallica elettrosaldata denominata “terratrel”.

DATI RELATIVI ALLE AZIONI SISMICHE (SE PRESENTI)

Per tener conto dell'incremento dell'azione sismica con l'aumentare dell'altezza dei muri, il programma di calcolo incrementa già automaticamente tale grandezza con la seguente espressione:

$$a_c/g = a_g/g (1,45 - a_g/g).$$

Il fattore di riduzione dei carichi accidentali ψ è una frazione di essi variabile da 0 a 1.

Il fattore di variazione dinamica in senso verticale può assumere il valore:

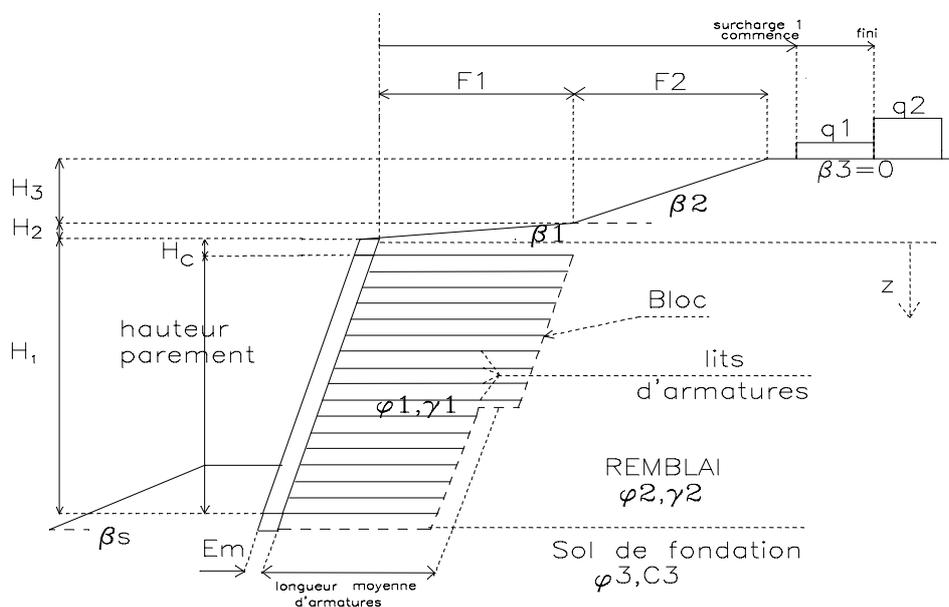
- 0 (se non si tiene conto dell'accelerazione verticale)
- 1 (se si tiene conto dell'accelerazione verticale)

5.1.2 DEFINIZIONE DELLA SEZIONE DA CALCOLARE

DATI SEZIONE

Geometria della sezione

Le dimensioni geometriche necessarie alla definizione della sezione dell'opera ed i sovraccarichi sopra il muro sono qui di seguito indicati. (Vedi figura)



Sezione trasversale di un muro, ad esempio trapezoidale.

Nel caso di sezione rettangolare, che corrisponde ad una sezione con la lunghezza delle armature costante, la Nota di Calcolo indica una sola lunghezza delle armature.

Caratteristiche del terreno

- MASSICCIO IN TERRA VERDE (terreno 1): sono indicati la densità massima e minima (γ_1) e l'angolo di attrito interno (ϕ_1).
- TERRENO A TERGO DELLA STRUTTURA (terreno 2): sono indicati la densità (γ_2) e l'angolo di attrito interno (ϕ_2).

- TERRENO DI FONDAZIONE (terreno 3): sono indicati l'angolo di attrito interno (ϕ_3), la coesione (C_3) e la capacità portante ultima (Q_u) che non interviene però nelle verifiche di stabilità del muro.

Per il significato dei simboli, vedi la precedente figura.

5.1.3 COMBINAZIONI DI CARICO E LIVELLI DI SICUREZZA

La tabella seguente presenta i coefficienti di ponderazione per le tre combinazioni di carico.

Combinazioni di carico	LFw Pesi propri della struttura	LFp Spinta del terreno a tergo della struttura	LFq ₁ Sovraccarico sopra la struttura	LFq ₂ Spinta dovuta al sovraccarico	Densità del terreno costituente il muro in terra verde
Statico					
1	1,00	1,35	0	1,50	Min
2	1,35	1,35	1,50	1,50	Max
3 *	1,00	1,00	0	0	Max
Sismico					
1s	1,00	1,00	0	1,00	Min.
2s	1,00	1,00	1,00	1,00	Max.

* Il caso di carico 3 ritorna utile per il calcolo dei cedimenti.

La combinazione 1s è per la stabilità esterna, la combinazione 2s è per la stabilità interna.

Ad ognuna delle combinazioni di carico studiate nel caso sismico corrispondono due sottocasi:

+dW : accelerazione verticale diretta in basso; - dW : accelerazione verticale diretta in alto.

I fattori di sicurezza parziali ed i fattori di sicurezza sul metodo (che tengono conto di possibili incertezze nel metodo di calcolo adottato) sono riportati nella tabella seguente:

	Fase statica - fondamentale			Fase sismica - accidentale		
	Fattori di sicurezza parziali		Fattori di metodo (γ_{F3})	Fattori di sicurezza parziali		Fattori di metodo (γ_{F3})
	Opere ordinarie	Opere sensibili		Opere ordinarie	Opere sensibili	
STABILITÀ ESTERNA						
Slittamento:						
Attrito FS_g	1,20	1,20	1,000	1.20	1.20	1.000
Coesione FS_{gc}	1,65	1,65		1.20	1.20	
Ribaltamento FS_r	1,50	1,50	1,000	1.50	1.50	1.000
Punzonamento FS_c	1,50	1,50	1,000	1.50	1.50	1.000
STABILITÀ INTERNA						
Tensione FS_t	1,50	1,65	1,000	1.50	1.65	1.000
Aderenza FS_f	1,35	1,50	1,000	1.00	1.00	1.000

Nota: Le pagine seguenti riguardano la stabilità interna ed esterna della struttura e si definiscono i cosiddetti fattori di sovradimensionamento, cioè i rapporti fra le azioni sulla struttura e la sua capacità di resistervi, secondo il metodo degli stati limite. Poiché nel calcolo s'introducono sia coefficienti di sicurezza parziali e generali sul metodo, che fattori di ponderazione dei carichi, è sufficiente che i fattori di sovradimensionamento siano maggiori di 1.00 per garantire la sicurezza nei confronti del criterio considerato.

5.1.4 STABILITA' ESTERNA

I calcoli sono eseguiti sulla larghezza di 1,00 metro.

Slittamento alla base

Per ogni combinazione di carico, il programma calcola il Fattore di sovradimensionamento nei confronti dello slittamento sul piano di fondazione, Γ , dato da:

$$\Gamma = \frac{R_v \times \frac{\tan \phi}{FSg} + \frac{c}{FSgc} \times L}{\gamma_{F3} \times R_h}$$

in cui ϕ e c sono alternativamente l'angolo di attrito interno e la coesione del materiale costituente il massiccio in terra verde (per garantirsi contro lo slittamento all'interno della struttura) o del terreno costituente la fondazione (per garantirsi contro lo slittamento all'interno di quest'ultimo). I valori riportati dal tabulato sono già divisi per FSg.

Il programma calcola anche i valori minimi dell'angolo di attrito interno e della coesione al contatto tra terreno costituente la fondazione e massiccio in terra verde (entrambi considerati o puramente attritivi o puramente coesivi).

Ribaltamento

La verifica a ribaltamento dei muri inclinati è stata omessa; quando l'inclinazione del paramento scende al di sotto degli 80° circa rispetto all'orizzontale, la verifica a ribaltamento del muro perde di significato fisico in quanto il cinematismo di rottura avviene non più per ribaltamento in senso tradizionale ma per scorrimento interno alla struttura.

Punzonamento

Per ogni combinazione di carico considerata il programma calcola:

- R_v e R_h le risultanti verticali e orizzontali (in kN/m);

- q_{ref} la pressione di riferimento a terra valutata come rapporto R_v/l_b in cui l_b rappresenta la larghezza equivalente della base della sezione del muro, in cui si tiene conto dello spessore del paramento e del diagramma delle pressioni verticali, che non sono uniformi lungo la base.

$q_{lim.}$, la pressione limite sul terreno di base: $q_{lim} = q_{ref} \times F_{Sc}$

Il valore della pressione massima applicata al terreno $q_{max} = q_{ref} / L_{Fw1}$ ($L_{Fw1} = 1,35$) è utile al Progettista Generale che dovrà confrontare tale valore con la capacità portante del terreno di fondazione del muro in terra verde, rispettando i coefficienti di sicurezza di Normativa.

L'infissione minima del muro stesso nel terreno è calcolata in funzione del valore di q_{ref} è dovrà essere comunque superiore a 0,40 metri per ovvi motivi di sicurezza.

5.1.5 STABILITA' INTERNA

La larghezza di calcolo dipende dalla tipologia del paramento utilizzato.

A questo punto di sviluppo del programma, viene fornita l'inclinazione della spinta dietro il massiccio in terra verde.

Rottura delle armature - Trazione vicino al paramento

Il programma di calcolo, per ogni livello di armatura e per ogni condizione di carico, calcola la tensione massima **T_{max}** agente e la tensione all'attacco tra armatura e paramento **T_o**, ottenuta come percentuale di **T_{max}** in funzione della flessibilità del paramento stesso, e le confronta con le trazioni che provocano, nelle stesse sezioni, la rottura dell'acciaio, ottenendo i fattori di sovradimensionamento delle armature nei confronti della rottura.

Il tabulato fornisce i risultati del calcolo, per ogni livello di armatura:

- Colonna 1: il numero di riferimento del livello di armatura considerato.
- Colonna 2: la sua profondità z (in m) rispetto alla testa del muro.
- Colonna 3: il valore di k , coefficiente di spinta, calcolato secondo la seguente espressione:

$$k = k_0 (6-z)/6 + k_a (z/6) \quad \text{per } 0 < z < 6,0 \text{ m} \quad (k_0 = 1 - \text{sen } \phi_1)$$

$$k = k_a \quad \text{per } z > 6,0 \text{ m} \quad (k_a = \text{tg}^2 (45^\circ - \phi_1/2))$$

- Colonna 4: il tipo di armature
- Colonna 5: N_0 , il numero di armature per larghezza di calcolo.
- Colonna 6: “case”, la combinazione di carico considerata.
- Colonna 7: sigmh = la pressione orizzontale = $k \cdot \sigma_v$ (σ_v è la pressione verticale calcolata secondo Meyerhof, considerando il momento ribaltante)
- Colonna 8: T_{max} = valore della trazione massima in un'armatura dello strato.
- Colonna 9: T_r/T_m = valore del coefficiente di sovradimensionamento nei confronti della trazione massima nella sezione corrente dell'armatura.
- Colonna 10: T_0 = valore della trazione all'attacco col paramento.
- Colonna 11: T_{r0}/T_0 = valore del coefficiente di sovradimensionamento nei confronti della trazione massima nella sezione all'attacco col pannello.

Aderenza

Il programma, per ogni livello di armatura e per ogni condizione di carico, calcola la tensione massima T_{max} agente e la resistenza massima T_f che l'attrito tra armatura e terreno circostante può mobilitare, e le rapporta tra di loro.

Il tabulato fornisce i risultati del calcolo, per ogni livello di armatura:

- Colonna 1 : il numero di riferimento del livello di armatura considerato.
- Colonna 2 : la sua profondità z_a , ossia l'altezza di terreno che contribuisce all'aderenza.
- Colonna 3: f^* = coefficiente di attrito apparente tra terreno e armature, con la seg. espressione:

$$f^* = f_0^* (6 - z)/6 + \text{tg } \phi_1 (z/6) \quad \text{per} \quad 0 < z < 6,0 \text{ m}$$

$$f^* = \text{tg } \phi_1 \quad \text{per} \quad z > 6,0 \text{ m}$$

con generalmente $f_0^* = 1,5$ oppure, ove applicabile, $f_0^* = 1,2 + \log(D_{60}/D_{10})$

- Colonna 4: L = lunghezza totale delle armature.
- Colonna 5: L_a = la lunghezza di aderenza, in metri, dell' armatura.
- Colonna 6: type = tipo di armature
- Colonna 7: N_o = il numero di armature presenti al livello considerato, nella larghezza di calcolo
- Colonna 8: case = la combinazione di carico considerata
- Colonna 9: sigmh = la pressione orizzontale = $k \cdot \sigma_v$
- Colonna 10: T_f = valore della resistenza d'attrito mobilizzata da una armatura.
- Colonna 11: T_f/T_{adh} = valore del coefficiente di sovradimensionamento nei confronti dell'aderenza, dove si deve considerare $T_{adh} = T_{max}$.

In seguito sono presentati:

- il tipo di armature utilizzate.
- per ogni tipo d'armatura utilizzata, la quantità di armature necessarie per un tratto del paramento con larghezza pari alla larghezza di calcolo.
- il peso delle armature per metro quadrato di paramento.

5.1.6 DATI COMPLEMENTARI

Scheda di standardizzazione

E' il nome della scheda contenente i parametri utilizzati dal programma per effettuare il calcolo delle sezioni, come indicato di seguito.

Metodo di calcolo

E' il metodo di calcolo utilizzato (per es.: Stati Limite oppure Tensioni Ammissibili).

Factors = coefficienti

Sonoriportati in tabella i coefficienti di ponderazione, di sicurezza e di metodo (Paragr. 3.1.4)

Facing = paramento

In questo paragrafo si precisa che il rapporto $T_0/R_0 = T_0/T_{max} = 0,75$ è costante ai diversi livelli del muro; significa che lo sforzo di trazione al paramento è pari al 75% di T_{max} .

Infine è riportato il numero minimo di armature per la larghezza di calcolo e l'incremento delle armature.

Muri di sostegno in Terra Verde – Tabulati di calcolo

```
*****  
*                                                    *  
*                                                    *  
*      Reinforced Earth : Program  THIZY      *  
*                                                    *  
*                                                    *      r2.4 *  
*****
```

Job number : 2500

=====

Run number : 02

=====

Structure : AUTOSTRADA A14

=====

SENIGALLIA - ANCONA NORD

SEZ. T 35A

* 1 . GENERAL DATA *

1 . 1 STRUCTURE CLASS :

Service life : 100 years
Site : NO WATER

1 . 2 R.E STRIPS :

protection : GALVANIZED

sacrificial thickness es : 1.50 mm

type 1: H.A 50X4

Grade : 520.00 MPa weight : 1.90 kg/lm
width b : 50.00 mm width tolerance : 0.00 mm
thickness eo : 4.00 mm thick. tolerance : 0.00 mm

Tr Tro
Allowable tensile strength : 43.33 kN 32.07 kN

1 . 3 FACING : TERRATREL 2/1

1 . 4 SEISMIC DATA :

Maximal horizontal acceleration ao/g : 0.24
Reduction factor of live loads : 0.00
Dynamic variation factor : 1

* 2 . SECTION 02 *

2 . 1 SECTION DATA :

2 . 1 . 1 GEOMETRY :

R.E STRUCTURE:

Wall height H1 : 10.800 m Facing height : 10.530 m
Wall inclination Alpha : 63.43 deg. Facing thickness Em : 0.00 m
Mechanical height Hm : 10.80 m

SLOPES :

beta 1 : 0.00 deg. H2 : 0.00 m F1 : 2.20 m
beta 2 : 26.56 deg. H3 : 4.50 m F2 : 9.00 m
beta 3 : 0.00 deg. Angle at toe Beta_s : 0.00 deg.

Strip Length : 10.00 m

SURCHARGES:

Number	Value (kPa)	Position (m)		type
		begin	end	
1	20.00	16.70	999.00	Road traffic

2 . 1 . 2 SOIL PROPERTIES :

R.E. BACKFILL

Density gamma1 maxi : 20.00 kN/m3
 gamma1 mini : 18.00 kN/m3
Friction phi1 : 35.00 deg.

GENERAL BACKFILL

Density gamma2 : 19.00 kN/m3
Friction phi2 : 30.00 deg.

FOUNDATION

Friction phi3 : 26.00 deg.
Cohesion C3 : 0.00 kPa
Ult. pressure Qu : 0.00 kPa

2 . 2 EXTERNAL STABILITY

2 . 2 . 1 SLIDING ON THE BASE :

case	overdesign factor-slip in:		minimal value	
	R.E	foundation	phi(ø)	Cohesion(kPa)
1	1.55	1.08	24.28	106.17
2	1.84	1.28	20.85	130.66
3	1.95	1.36	19.72	90.33
1s -dW	1.40	0.98	26.52	99.12
2s -dW	1.45	1.01	25.72	104.47
1s +dW	1.45	1.01	25.72	106.68
2s +dW	1.51	1.05	24.93	112.61

2 . 2 . 3 BEARING PRESSURE :

case	Rv kN/m	Rh kNm/m	qref kPa	qlim kPa
1	1711.43	643.46	174.47	261.70
2	2495.34	791.86	248.59	372.89
3	1832.19	547.43	181.27	271.90

Minimum embedment depth = 0.37 m

2 . 3 INTERNAL STABILITY

Calculation width : 2.95 m pressure inclination : 22.50 deg.

2 . 3 . 1 STRIP RUPTURE - TENSILE LOAD AT FACING : Overdesign factors

strip										
layer	z	k	type	No.	case	sighm	Tmax	Tr/Tm	T0	Tro/To
	m					kPa	kN		kN	
1	0.680	.409	1	3	1	5.95	5.15	8.42	3.86	8.30
					2	8.89	7.69	5.63	5.77	5.56
					3	6.43	5.56	7.79	4.17	7.69
					1s	5.79	8.91	4.86	6.69	4.80
					2s	6.43	9.90	4.38	7.42	4.32
2	1.080	.398	1	3	1	8.25	4.91	8.83	3.68	8.71
					2	12.17	7.24	5.99	5.43	5.91
					3	8.87	5.27	8.22	3.96	8.11
					1s	8.00	8.62	5.03	6.46	4.96
					2s	8.87	9.56	4.53	7.17	4.47
3	1.890	.377	1	3	1	11.78	9.38	4.62	7.04	4.56
					2	17.20	13.70	3.16	10.27	3.12
					3	12.58	10.02	4.33	7.51	4.27
					1s	11.35	12.82	3.38	9.61	3.34
					2s	12.58	14.21	3.05	10.66	3.01

4	2.700	.356	1	3	1	14.62	11.64	3.72	8.73	3.67
					2	21.24	16.92	2.56	12.69	2.53
					3	15.54	12.38	3.50	9.28	3.45
					1s	14.04	14.87	2.91	11.16	2.87
					2s	15.54	16.48	2.63	12.36	2.59
5	3.510	.335	1	3	1	16.00	12.75	3.40	9.56	3.35
					2	23.19	18.47	2.35	13.85	2.31
					3	16.94	13.50	3.21	10.12	3.17
					1s	15.31	15.92	2.72	11.94	2.69
					2s	16.94	17.63	2.46	13.22	2.43
6	4.320	.315	1	3	1	16.99	13.53	3.20	10.15	3.16
					2	24.56	19.56	2.22	14.67	2.19
					3	17.92	14.28	3.04	10.71	2.99
					1s	16.21	16.65	2.60	12.49	2.57
					2s	17.92	18.43	2.35	13.82	2.32
7	5.130	.294	1	3	1	17.66	14.06	3.08	10.55	3.04
					2	25.47	20.28	2.14	15.21	2.11
					3	18.57	14.79	2.93	11.09	2.89
					1s	16.80	17.15	2.53	12.86	2.49
					2s	18.57	18.97	2.28	14.23	2.25
8	5.940	.273	1	3	1	18.02	14.35	3.02	10.77	2.98
					2	25.93	20.65	2.10	15.49	2.07
					3	18.89	15.04	2.88	11.28	2.84

						1s	17.10	17.41	2.49	13.06	2.46
						2s	18.89	19.25	2.25	14.44	2.22
9	6.750	.271	1	4	1		19.92	11.90	3.64	8.93	3.59
						2	28.65	17.11	2.53	12.84	2.50
						3	20.86	12.46	3.48	9.35	3.43
						1s	18.89	15.10	2.87	11.32	2.83
						2s	20.86	16.70	2.60	12.52	2.56
10	7.560	.271	1	4	1		21.98	13.13	3.30	9.85	3.26
						2	31.53	18.84	2.30	14.13	2.27
						3	22.95	13.71	3.16	10.28	3.12
						1s	20.80	16.26	2.67	12.19	2.63
						2s	22.95	17.97	2.41	13.48	2.38
11	8.370	.271	1	4	1		24.01	14.35	3.02	10.76	2.98
						2	34.36	20.53	2.11	15.39	2.08
						3	25.01	14.94	2.90	11.20	2.86
						1s	22.67	17.40	2.49	13.05	2.46
						2s	25.01	19.22	2.25	14.42	2.22
12	9.180	.271	1	4	1		25.10	14.99	2.89	11.25	2.85
						2	35.88	21.44	2.02	16.08	1.99
						3	26.10	15.59	2.78	11.70	2.74
						1s	23.67	18.14	2.39	13.60	2.36
						2s	26.10	20.03	2.16	15.02	2.13
13	9.990	.271	1	4	1		25.89	15.47	2.80	11.60	2.76

							2	37.01	22.11	1.96	16.58	1.93
							3	26.91	16.08	2.70	12.06	2.66
							1s	24.41	18.76	2.31	14.07	2.28
							2s	26.91	20.71	2.09	15.53	2.06
14	10.800	.271	1	4	1			26.70	7.97	5.43	5.98	5.36
							2	38.15	11.39	3.80	8.55	3.75
							3	27.74	8.28	5.23	6.21	5.16
							1s	25.17	11.86	3.65	8.90	3.60
							2s	27.74	13.11	3.30	9.84	3.26

2 . 3 . 2 ADHERENCE : Overdesign factor

layer	z _a m	f*	L	L _a	type	N ₀	case	sighm kPa	T _f kN	T _f /T _{adh}
1	0.680	0.780	10.00	8.97	1	3	1	5.95	22.79	4.43
							2	8.89	35.92	4.67
							3	6.43	25.32	4.55
							1s	5.79	24.61	2.76
							2s	6.43	28.59	2.89
2	1.080	0.765	10.00	8.88	1	3	1	8.25	25.60	5.21
							2	12.17	40.18	5.55
							3	8.87	28.45	5.39
							1s	8.00	27.65	3.21
							2s	8.87	32.01	3.35
3	1.890	0.734	10.00	8.69	1	3	1	11.78	30.47	3.25
							2	17.20	47.57	3.47
							3	12.58	33.86	3.38
							1s	11.35	32.91	2.57
							2s	12.58	37.91	2.67
4	2.700	0.704	10.00	8.50	1	3	1	14.62	34.42	2.96
							2	21.24	53.53	3.16
							3	15.54	38.24	3.09
							1s	14.04	37.17	2.50
							2s	15.54	42.67	2.59
5	3.510	0.700	10.00	8.55	1	3	1	16.00	38.42	3.01
							2	23.19	59.61	3.23

								3	16.94	42.69	3.16
								1s	15.31	41.49	2.61
								2s	16.94	47.53	2.70
6	4.320	0.700	10.00	8.61	1	3	1	16.99	42.22	3.12	
							2	24.56	65.39	3.34	
							3	17.92	46.91	3.29	
							1s	16.21	45.59	2.74	
							2s	17.92	52.15	2.83	
7	5.130	0.700	10.00	8.66	1	3	1	17.66	45.86	3.26	
							2	25.47	70.95	3.50	
							3	18.57	50.96	3.45	
							1s	16.80	49.53	2.89	
							2s	18.57	56.59	2.98	
8	5.940	0.700	10.00	8.71	1	3	1	18.02	49.40	3.44	
							2	25.93	76.35	3.70	
							3	18.89	54.88	3.65	
							1s	17.10	53.35	3.06	
							2s	18.89	60.90	3.16	
9	6.750	0.700	10.00	8.77	1	4	1	19.92	52.94	4.45	
							2	28.65	81.76	4.78	
							3	20.86	58.83	4.72	
							1s	18.89	57.18	3.79	
							2s	20.86	65.22	3.91	
10	7.560	0.700	10.00	8.82	1	4	1	21.98	56.52	4.30	
							2	31.53	87.22	4.63	
							3	22.95	62.80	4.58	
							1s	20.80	61.04	3.75	
							2s	22.95	69.58	3.87	

11	8.370	0.700	10.00	8.87	1	4	1	24.01	60.08	4.19
							2	34.36	92.66	4.51
							3	25.01	66.76	4.47
							1s	22.67	64.89	3.73
							2s	25.01	73.92	3.85
12	9.180	0.700	10.00	9.19	1	4	1	25.10	64.89	4.33
							2	35.88	100.02	4.67
							3	26.10	72.10	4.62
							1s	23.67	70.08	3.86
							2s	26.10	79.80	3.98
13	9.990	0.700	10.00	9.59	1	4	1	25.89	70.21	4.54
							2	37.01	108.19	4.89
							3	26.91	78.02	4.85
							1s	24.41	75.83	4.04
							2s	26.91	86.32	4.17
14	10.800	0.700	10.00	10.00	1	4	1	26.70	75.57	9.48
							2	38.15	116.41	10.22
							3	27.74	83.96	10.13
							1s	25.17	81.61	6.88
							2s	27.74	92.88	7.08

Strips type 1 : H.A 50X4

Strips type 1 : 480.0 meters for 3.0 m width of wall

Reinforcing strips weight for one square meter of facing: 29.4 kg

Table

Peso di volume naturale	γ_n	(kN/m ³)	19.5÷20.5
Passante al setaccio n. 200 ASTM	P ₂₀₀	(%)	80÷100
Contenuto in argilla	CF	(%)	50÷60
Limite liquido	W _L	(%)	50÷60
Indice di plasticità	IP	(%)	25÷35
Angolo di resistenza al taglio di picco	ϕ'	(°)	25÷28
Angolo di resistenza al taglio residua	ϕ'	(°)	12÷15
Coesione drenata	c'	(kPa)	20÷40
Coesione non drenata (tra p.c. e -15m)	c _u	(kPa)	125÷250
Coesione non drenata (oltre -15m)	c _u	(kPa)	> 300
Rapporto di compressione	CR	(-)	0.15÷0.18
Rapporto di ricomprensione	RR	(-)	0.05
Coefficiente di consolidazione	c _v	(cm ² /s)	1e ⁻³ ÷1e ⁻⁴

Tabella 3.1- Parametri geotecnici di riferimento per l'unità geotecnica P₁

Peso di volume naturale	γ_n	(kN/m ³)	19÷20
Passante al setaccio n. 200 ASTM	P ₂₀₀	(%)	80÷100
Contenuto in argilla	CF	(%)	20÷40
Limite liquido	W _L	(%)	30÷40
Indice di plasticità	IP	(%)	15÷20
Angolo di resistenza al taglio di picco	ϕ'	(°)	26÷28
Angolo di resistenza al taglio residua	ϕ'	(°)	-
Coesione drenata	c'	(kPa)	-
Coesione non drenata	c _u	(kPa)	60÷80

Tabella 3.2- Parametri geotecnici di riferimento per l'unità geotecnica A₁

Figure

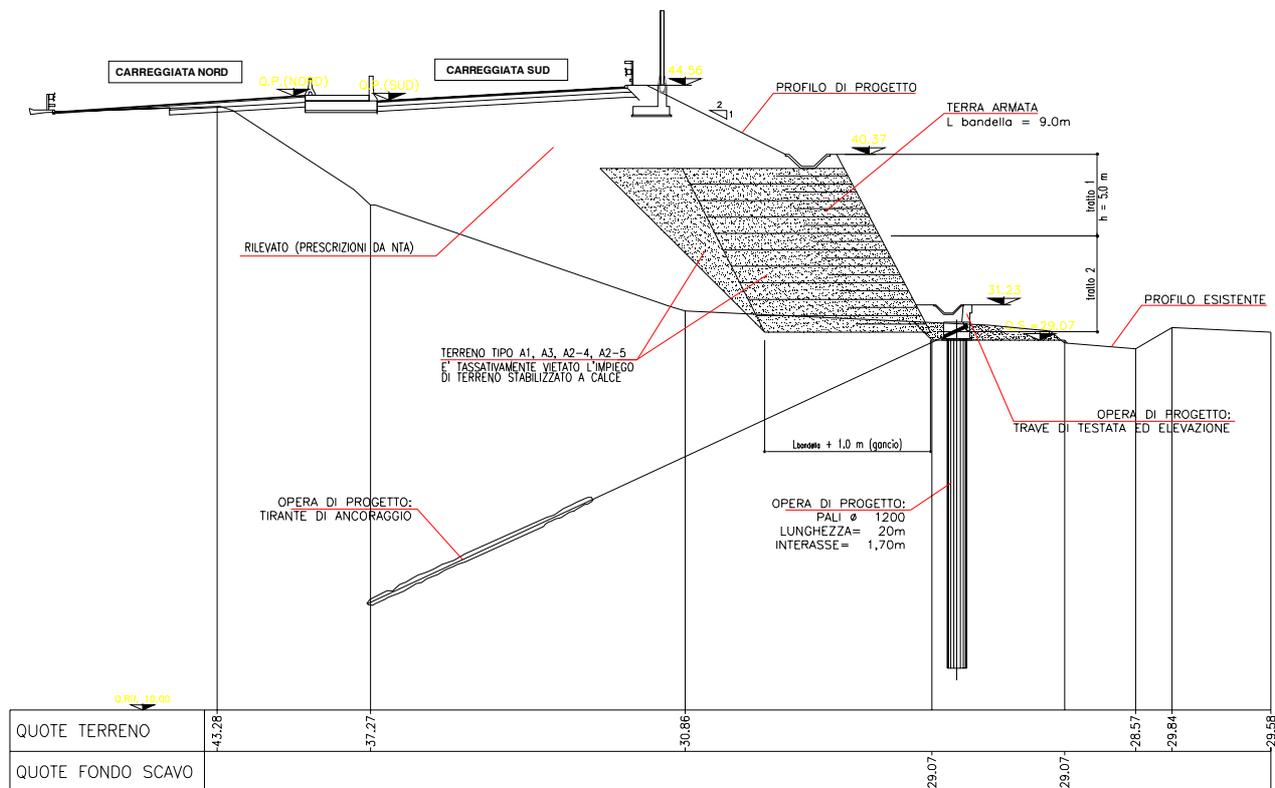


Figura 1: sezione di calcolo