



PROVINCIA DI MASSA CARRARA

INTERVENTO DI RIPRISTINO DI PICCOLI MOVIMENTI FRANOSI LUNGO LA S.P. 58 DIR "PIAN DI MOLINO – MONTE DE' BIANCHI"

COMUNE DI FIVIZZANO

PROGETTO ESECUTIVO

STUDIO TECNICO

Dott. Ing. Aldo Marginesi

Via della Stazione, 36 54021 Bagnone (MS)

Tel. e Fax 0187 429688 e-mail aldmargi@tin.it

ELABORATI GRAFICI PLANIMETRIA GENERALE

committente

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI MASSA CARRARA

localizzazione dell'intervento

COMUNE DI FIVIZZANO

S.P. N°58 LOCALITA' FOLEGNANO-MOZZANO

TAVOLA

oggetto dell'intervento

INTERVENTO DI RIPRISTINO DI PICCOLI MOVIMENTI
FRANOSI LUNGO LA S.P. 58 DIR
"PIAN DI MOLINO – MONTE DE' BIANCHI"

L

titolo della tavola

RELAZIONE DI CALCOLO

progettisti

Dott. Ing. Aldo Marginesi

SCALA

DATA

RELAZIONE DI CALCOLO

1 SOMMARIO

1	SOMMARIO	2
2	PREMESSA.....	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
4	OPERE OGGETTO DELLA RELAZIONE.....	4
5	MATERIALI IMPIEGATI	4
5.1	Elementi di Rinforzo	4
5.2	Requisiti richiesti per il Rilevato strutturale	5
6	ISTRUZIONI OPERATIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE (E DELLA FACCIAIA)	6
6.1	Posa degli elementi di rinforzo	6
6.2	Compattazione.....	7
6.3	Condizioni climatiche	7
6.4	Eventuali Rilevati di prova.....	7
6.5	Prove di controllo.....	8
7	CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE.....	8
8	COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI.....	9
9	IPOTESI DI CALCOLO	10
10	METODO DI CALCOLO	11
11	SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA	13
12	ESITO DELLE VERIFICHE	13
	Coefficienti di sovradimensionamento – Valori minimi ottenuti.....	13

2 PREMESSA

Il presente documento si riferisce al progetto esecutivo relativo alle Opere di sostegno sulla strada Provinciale n. 58 nel Comune di Fivizzano (MS) dove verranno realizzate nella tratta 1 opere di sostegno in terra rinforzata a paramento rinverdito, nella tratta 2 muri in c.a.

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 delle 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.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente normativa.

1. Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 14/01/2008
2. Circolare al D.M. del 14/01/2008

3. Eurocodice 7 “Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”, aprile 1997.
4. Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 1: Regole generali - azioni sismiche e requisiti generali per le strutture”, ottobre 1997.
5. Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”, febbraio 1998.
6. UNI EN 14475 - Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata
7. UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecniche di impiego delle terre
8. ASTM D 3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
1. 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
2. UNI EN 13285 - Miscele non legate - Specifiche
3. UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione

4 OPERE OGGETTO DELLA RELAZIONE

La presente relazione riguarda il dimensionamento per la realizzazione di strutture di sostegno nell'ambito del progetto esecutivo relativo alla Opera di sostegno sulla strada Provinciale n. 58 nel Comune di Fivizzano (MS).

Più in dettaglio, oggetto della relazione sono le seguenti opere:

- Struttura 1 – SEZIONE TRATTO 1.

5 MATERIALI IMPIEGATI

5.1 ELEMENTI DI RINFORZO

La struttura di sostegno in terra rinforzata con paramento rinverdibile è realizzata in elementi marcati CE in accordo con la ETA 13/0295 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.

Caratteristiche rete metallica a doppia torsione:

- maglia esagonale tipo 8x10 (UNI-EN 10223-3), tessuta con filo in acciaio trafilato, avente un diametro pari 2.70 mm o superiore, 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 dovrà essere ricoperto da un rivestimento di materiale plastico che dovrà avere uno spessore nominale minimo di 0.5 mm, portando il diametro esterno al valore nominale minimo di 3.70 mm.
- 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 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).
- La rete deve presentare una resistenza a corrosione in SO₂ (0,2 dm³ SO₂ per 2 dm³ 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 in vista sarà provvisto inoltre di un elemento di irrigidimento interno assemblato in fase di produzione in stabilimento, costituito da un pannello di rete elettrosaldato con diametro non inferiore a 6 mm e da un idoneo ritentore di fini. Il paramento sarà fissato con pendenza variabile, per mezzo di elementi a squadra realizzati in tondino metallico e preassemblati alla struttura. Gli elementi di rinforzo contigui saranno posti in opera e legati tra loro con punti metallici meccanizzati galvanizzati con 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.

5.2 REQUISITI RICHIESTI PER IL RILEVATO STRUTTURALE

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/m³.

6 ISTRUZIONI OPERATIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE (E DELLA FACCIATA)

6.1 POSA DEGLI ELEMENTI DI RINFORZO

Il piano di posa dovrà essere predisposto fino a raggiungere la quota d'imposta del primo elemento 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 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 dovrà eseguire delle canalette di scolo laterale in pendenza con adeguato recapito.

Prima si eseguirà 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 verde 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.

Gli elementi TMV dovranno essere posti in opera per strati costanti, secondo le modalità di seguito riportate.

1. Apertura e predisposizione dell'elemento TMV avendo cura di stendere il telo di rinforzo eliminando le linee di piegatura preformate in fase di produzione e mettere in posizione gli elementi.
2. 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 graffiatrice 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.
3. Riempimento della parte a tergo del paramento manualmente con terreno vegetale che subirà una compattazione "leggera" per permettere l'attecchimento della vegetazione

4. Riempimento degli elementi di rinforzo in rete con materiale idoneo, fino a formare uno strato di spessore di 300 mm;
5. Compattazione del materiale posto in opera mediante rullatura, secondo le indicazioni successivamente riportate;
6. Ripetizione delle azioni 1 e 2 fino a completamento dell'elemento TMV
7. Risagomatura del piano di posa per l'esecuzione dell'elemento TMV successivo.

6.2 COMPATTAZIONE

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 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.

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.

6.3 CONDIZIONI CLIMATICHE

La costruzione dei rilevati in presenza di gelo o di pioggia persistenti non sarà consentita in linea generale, tranne per quei materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (es. ghiaia). Nella esecuzione di rilevati con terre ad elevato contenuto della frazione coesiva dovranno essere tenuti a disposizione anche dei rulli gommati che permettano la chiusura della superficie dell'ultimo strato in caso di pioggia.

6.4 EVENTUALI RILEVATI DI PROVA

Quando prescritto dalla Direzione Lavori, l'Impresa procederà alla esecuzione dei rilevati di prova.

In particolare si potrà fare ricorso ai rilevati di prova per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati nei precedenti capitoli.

Il rilevato di prova consentirà di individuare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive

più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.

6.5 PROVE DI CONTROLLO

Prima che venga messo in opera uno strato di terreno nel rilevato rinforzato, quello precedente dovrà essere sottoposto, a discrezione della Direzione Lavori, alle prove di controllo e possedere i requisiti di costipamento richiesti.

La frequenza e la tipologia delle prove sarà decisa 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, quando richieste, 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.

7 CONDIZIONI DI CARICO VERIFICATE

Il dimensionamento della struttura è stata condotta sulla base dei dati rilevati dalla relazione geologica 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. 14/01/2008 - 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 : $A2+M2+R2$.

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione e per la verifica di Portanza della Fondazione si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: $A2+M2+R2$, in accordo con quanto riportato nella Circolare Interpretativa par. C6.5.3.1.1)

Per quanto riguarda invece le verifiche e agli SLU di tipo strutturale (STR) (par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno), per le Verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 1: $A1+M1+R1$.

In accordo con Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 - 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 : $M2+R2+kh+kh$

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione e per la verifica di Portanza della Fondazione si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: $M2+R2+kh+kh$, in accordo con quanto riportato nella Circolare Interpretativa par. C6.5.3.1.1)

Per quanto riguarda invece le verifiche e agli SLU di tipo strutturale (STR) (par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno), per le Verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 1: M1+R1+kh+kh.

8 COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI

Il progetto strutturale e geotecnico delle opere in esame sarà condotto in conformità alle indicazioni del NTC D.M. 14/01/2008 (rif. Cap. 6).

Nell'ambito delle verifiche allo stato limite ultimo si sono adottati i seguenti coefficienti parziali:

Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI DI RESISTENZA γ_R		
$R_d = R_k / \gamma_R$	R1	R2
Stabilità globale	-	1.1
Scorrimento - Slittamento per attrito	1,00	1,0
Ribaltamento	1,00	1,0
Capacità portante della Fondazione - Punzonamento	1,00	1,0

Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI GEOTECNICI γ_M		
	M1	M2
Peso unità di volume γ_r	1,00	1,00
Angolo di attrito $\tan\phi'_k$ (γ_ϕ)	1,00	1,25(*)
Coesione efficace c'_k (γ_c)	1,00	1,25(*)
Resistenza non drenata c_{uk} (γ_{cu})	1,00	1,40(*)

Coefficienti PARZIALI AZIONI $\gamma_F = \gamma_F$		FASE STATICA SLU		
		A1	A2	EQU
<u>PERMANENTE:</u> (Pesi, spinte geostatiche del terreno; sovraccarichi permanenti) ($\gamma_G = \gamma_{F1G}$)	Sfavorevole	1,30	1,00	1,10
	Favorevole	1,00	1,00	0,90
<u>VARIABILE:</u> (sovraccarichi variabili; sisma; spinte relative indotte) ($\gamma_Q = \gamma_{F1Q}$)	Sfavorevole	1,50	1,30	1,50

	Favorevole	0,00	0,00	0,00
--	------------	------	------	------

Nota:

Coefficienti parziali dei carichi e delle spinte (i carichi permanenti non strutturali sono assimilati ai sovraccarichi permanenti in quanto compiutamente definiti)

9 IPOTESI DI CALCOLO

- Comune di costruzione o coordinate topografiche: (N 44.183136, E 10.120676)
- Vita nominale dell'opera - V_N (Rif. D.M. 18/01/2008 tab 2.4.I) 50 anni
- Coefficiente d'uso - C_U (Rif. D.M. 18/01/2008 tab 2.4.II) Classe II
- Categoria del Suolo (Rif. D.M. 18/01/2008 tab. 3.2.II e tab. 3.2.V) E
- Categoria Topografica (Rif. D.M. 18/01/2008 Tab. 3.2.IV e Tab. 3.2.VI) T2

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. 14/01/2008 cap. 3.2.4.

Il calcolo viene inoltre eseguito tenendo conto delle azioni sismiche dell'area oggetto del progetto secondo con quanto prescritto da D.M. 14/01/2008 per cui:

Accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido: $a_g/g = 0,184$

Coefficiente di sottosuolo: $S = S_s \times S_t = 1,51 \times 1,2 = 1,812$

Coefficiente di riduzione: $\beta_m = 0,24$ (per la determinazione del valore si veda la tabella seguente)

Coefficiente sismico orizzontale k_h : $= S \times a_g/g \times \beta_m = 1,812 \times 0,184 \times 0,24 = 0,080$

Coefficiente sismico verticale k_v : $k_h / 2 = \pm 0,040$

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (tabella 7.11.II D.M. 14/01/2008)

	Categoria di sottosuolo	
	A	B,C,D,E
	β_m	β_m
$0,2 < a_g/g \leq 0,4$	0.31	0.31
$0,1 < a_g/g \leq 0,2$	0.29	0.24
$a_g/g \leq 0,1$	0.20	0.18

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (tabella 7.11.II D.M. 14/01/2008)

10 METODO 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 MacStar 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.

Per tutti i dettagli teorici si rimanda al manuale di calcolo allegato

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 mobilizzarsi 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 determinata 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.

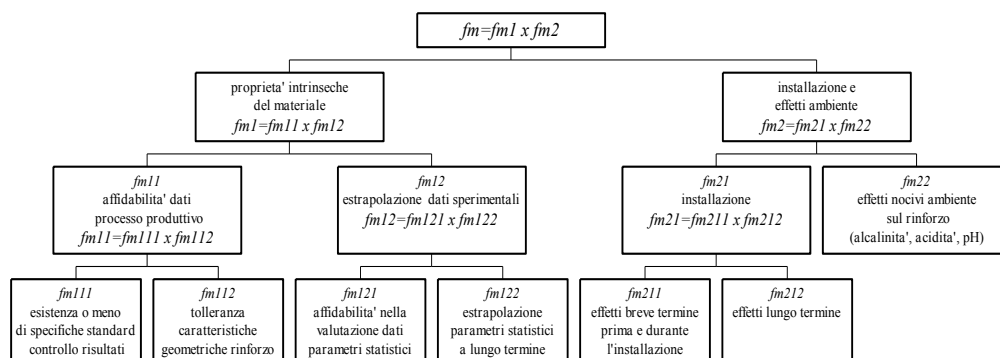
Ai fini del calcolo strutturale si è tenuto conto che si tratta di un'opera permanente per cui si è fatto riferimento alle prestazioni a lungo termine dei materiali metallici e geosintetici.

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 $f_m = 1.44$ è il fattore di sicurezza complessivo che consente di passare dalla resistenza a trazione nominale T_b e si compone secondo lo schema indicato sotto.



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:

$$T_b = 50.11 \text{ kN/m}$$

Un ulteriore coefficiente di sicurezza per fenomeni di creep viene considerato nel caso di rinforzi in materiali sintetici:

$$f_{\text{creep}} = 1.5$$

Per rinforzi realizzati in rete metallica doppia torsione che non subisce 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 dei valori dei coefficienti di sicurezza alla rottura applicati f_m e f_{creep}

		TERRA RINFORZATA (8x10 2.7/3.7mm)	
		Gravel	Sandy gravel
Resistenza caratteristica a trazione (UTS)	kN/m	50.11	50.11
Coefficiente di riduzione percentuale per Creep (TCR% of UTS)	%	100	100
Coefficiente di sicurezza globale - f_m		1.27	1.15
Resistenza a trazione di progetto	kN/m	39.4	43.5

11 SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA

Le Sezioni verificate secondo la combinazione più gravosa per il dimensionamento, di cui nel seguito si riportano i tabulati di calcolo, sono:

- Struttura 1 – SEZIONE TRATTO 1.

12 ESITO DELLE VERIFICHE

Coefficienti di sovradimensionamento – Valori minimi ottenuti

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.
