

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTARO (BN)

MARZO 2011



COMMITTENTE



R.E.C. S.r.l.
Via Uberti 37-20129 Milano

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

Mandataria :

ETATEC S.R.L.
SOCIETA' DI INGEGNERIA

20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2008
SINCERT **SCN - SC 00-07/EA 34**



PROGETTISTA: Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Mandante :

CeAS

SISTEMA QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2008
CERTIFICATO K031 RILASCIATO
DA

CENTRO DI ANALISI STRUTTURALE S.R.L.
AZIENDA CON SISTEMA QUALITA'

SERVIZI DI INGEGNERIA CIVILE
CIVIL ENGINEERING SERVICES




PROGETTISTA: Dott. Ing. Giovanni Canetta

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE SULLA STABILITA'
DEI VERSANTI INTERESSATI DAGLI ELETTRODOTTI

Revisione	Data	Descrizione					Redazione	Verifica	Approvazione
A	30/07/2012	EMISSIONE PER RECEPIMENTO INTEGRAZIONI VIA					M.CARNI	CANETTA	CANETTA
B									
C									
CODICE COMMESSA		TIPOLOGIA COMMESSA	TIPOLOGIA ELABORATO	FASE PROGETTAZIONE	PARTE DI IMPIANTO	PROGRESSIVO ELABORATO	SCALA:		
10062		PG	R	D	A	077	—		

INDICE

1.	SCOPO	3
2.	RIFERIMENTI	4
2.1	Riferimenti Normativi	4
2.2	Riferimenti bibliografici	4
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI MATERIALI	5
4.	ANALISI NUMERICHE DI STABILITA' DEI VERSANTI	6
4.1	Metodo di calcolo del coefficiente di sicurezza	6
4.1.1	Generalità	6
4.1.2	Modello costitutivo dei terreni	7
4.1.3	Calibrazione del modello	7
4.1.4	Azioni indotte dalle attività in progetto	10
4.1.5	Azioni del sisma	10
4.1.6	Verifica ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008	10
4.2	Traliccio TR13	11
4.2.1	Risultati delle analisi e considerazioni sul meccanismo di collasso	11
4.2.2	Stato di fatto	12
4.2.3	Stato di progetto	15
4.3	Traliccio TRT07	18
4.3.1	Risultati delle analisi e considerazioni sul meccanismo di collasso	18
4.3.2	Stato di fatto	19
4.3.3	Stato di progetto	22
4.4	Riepilogo coefficienti di sicurezza e conclusioni	25

1. Scopo

Nell'ambito dell'istruttoria sviluppata sul Progetto Definitivo da ISPRA, è stato richiesto quanto segue:

“Riguardo ai rischi idrogeologici, si richiede al proponente di porre una maggiore attenzione ai pericoli e rischi connessi a movimenti gravitativi nei versanti, specie in fase di cantiere: per alcuni settori del territorio interessato dalle opere in progetto dove sono presenti le maggiori criticità geomorfologiche (aree in frana, aree classificate a rischio di frana o a medio alta attenzione R3, R2, A4, A3, e A2) che possono interferire con le opere in progetto, prevedendo l'esecuzione di rilievi e indagini di dettaglio in sito, eventuali verifiche di stabilità nel versante ante operam e post operam, per meglio definire l'evoluzione dei fenomeni d'instabilità nel versante, gli eventuali interventi di consolidamento e messa in sicurezza delle aree.”

La presente relazione accoglie i risultati dei calcoli di stabilità condotti sui due versanti ritenuti più significativi degli elettrodotti in progetto, i quali risultano essere o i più acclivi, oppure quelli caratterizzati da una maggiore potenza della coltre superficiale, potenzialmente instabile.

Si tratta di pendii naturali, per i quali non è possibile imporre “a priori” un coefficiente di sicurezza alla stabilità, coefficiente che invece viene a determinarsi naturalmente in seguito alle vicissitudini geologiche del versante.

L'indagine condotta calcola il coefficiente di sicurezza nelle condizioni *ante operam* e nelle condizioni di cantiere/*post operam*, dimostrando che quanto previsto in progetto non ha un effetto apprezzabile sulla stabilità, ovvero che i coefficienti di sicurezza sono innanzitutto maggiori dell'unità, e che in secondo luogo che l'esecuzione delle opere non li riduce.

Il risultato ottenuto per i due versanti più critici lungo il percorso degli elettrodotti porta a concludere quanto segue:

- 1) i versanti interessati dalle opere in progetto risultano stabili e
- 2) la realizzazione delle opere non ha influenze negative sulla stabilità globale dei versanti.

2. Riferimenti

2.1 Riferimenti Normativi

- [1] Legge 5-11-1971 n. 1086. Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e a struttura metallica
- [2] D.M. 14/01/2008. Norme tecniche per le costruzioni. (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008)
- [3] Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti n.617 del 02/02/2009. Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.
- [4] Regione Campania. Decreto del Presidente della Giunta Regionale n° 574 del 22 luglio 2002 - Emanazione Regolamento per l'attuazione degli interventi di Ingegneria naturalistica.

2.2 Riferimenti bibliografici

- [5] Itasca C.G. – FLAC, Fast Lagrangian Analysis of Continua. Rel. 7.0, 2011. Itasca C.G., Minneapolis, Minnesota US
- [6] Dawson, E. M., W. H. Roth and A. Drescher. "Slope Stability Analysis by Strength Reduction," *Géotechnique*, 49(6), 835-840 (1999).
- [7] Dawson, E. M., and W. H. Roth. "Slope Stability Analysis with FLAC," in *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics (Proceedings of the International FLAC Symposium on Numerical Modeling in Geomechanics, Minneapolis, Minnesota, September 1999)*, pp. 3-9. C. Detournay and R. Hart, eds. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999.

3. Caratterizzazione geomeccanica dei materiali

La caratterizzazione dei materiali è stata condotta sulla base delle indagini geofisiche condotte nell'ambito del progetto, e documentate in specifico rapporto ("Indagine geofisica sul tracciato Impianto di Campolattaro e relative opere di allacciamento RTN, 10 luglio 2012").

Sulla base di tali indagini, e sulla base delle conoscenze dei litotipi della zona, già noti attraverso le altre indagini associate al Progetto, è stata definita una stratigrafia tipo, che si ripropone all'incirca immutata per tutti i siti esaminati, e che prevede una sequenza di tre strati i quali, pur con differenti spessori, si presentano sempre con caratteristiche meccaniche molto simili.

La seguente tabella riporta la caratterizzazione geomeccanica dei tre strati, adottata nei calcoli di stabilità.

Strato	Definizione	γ	c'	ϕ'
		<i>[kN/m³]</i>	<i>[kPa]</i>	<i>[°]</i>
S1	coltre superficiale	21	10	16
S2	strato di alterazione	23	50	20
S3	roccia (flysch rosso)	24	50	25

Lo strato superficiale risulta sempre quello critico per la stabilità, ed è caratterizzato da velocità dell'onda S da 200 a 300 m/s, con potenze che vanno da 4 a 6 m.

Il secondo strato ha generalmente velocità V_s fra i 350 e i 500 m/s e potenze da 6 a 13m.

Lo strato di base ha $V_s > 600$ m/s.

4. ANALISI NUMERICHE DI STABILITÀ DEI VERSANTI

4.1 Metodo di calcolo del coefficiente di sicurezza

4.1.1 Generalità

Allo scopo di verificare la stabilità dei versanti, è stata condotta, per i due tralicci più significativi, un'analisi di stabilità globale, in due dimensioni, su una sezione piana monte – valle; il calcolo viene ripetuto identico in condizioni *ante operam* (pendio prima dell'inizio lavori) e di cantiere / *post operam* (la condizione di cantiere governa, con l'applicazione dei carichi di servizio sulla piazzola per la realizzazione del traliccio).

L'analisi, condotta con il codice FLAC (rif. [5]), è caratterizzata nel modo seguente:

- 1) creazione di un reticolo alle differenze finite della sezione in esame, sufficientemente esteso sia ai lati monte e valle che in profondità per far sì che le condizioni imposte a detti contorni non influenzino i risultati del calcolo;
- 2) dichiarazione delle proprietà dei materiali costituenti il versante, secondo quanto riportato al precedente capitolo.
- 3) applicazione dei carichi gravitativi (pesi propri) e calcolo del campo di sforzi nel terreno.
- 4) applicazione del sisma, simulato con un campo statico di accelerazioni, in conformità al disposto della vigente normativa (rif.[2]).
- 5) calcolo del coefficiente di sicurezza del versante, con una successione di analisi numeriche, che si differenziano fra loro per il valore attribuito ai parametri di resistenza; questa sequenza ("bracketing method", rif. [6] e [7]) porta alla determinazione di un "coefficiente di riduzione della resistenza", analogo al coefficiente di sicurezza ed equivalente al "moltiplicatore dei carichi" tipico dell'analisi limite. Tale coefficiente viene calcolato come punto di accumulazione di due sequenze di coefficienti:
 - a. una prima sequenza, crescente, contiene i coefficienti "staticamente ammissibili", per i quali è sempre garantito l'equilibrio, il rispetto del legame di continuità e dei vincoli e il rispetto del legame costitutivo; questi coefficienti risultano tutti dei minoranti del c.s.
 - b. una seconda sequenza, decrescente, contiene i coefficienti "cinematicamente ammissibili", associati a meccanismi di collasso cinematicamente ammissibili, per i quali è garantito, oltre al rispetto cinematico del legame di continuità e dei vincoli, il rispetto del legame costitutivo; questi coefficienti risultano tutti dei maggioranti del c.s.
- 6) Le due sequenze si accumulano su un punto, che si identifica quindi, con le approssimazioni insite nell'approccio numerico, come il coefficiente di sicurezza.

Il risultato dell'analisi di stabilità analisi svolta viene quindi illustrato nel seguito nel modo seguente:

- valore del coefficiente di sicurezza
- rappresentazione grafica dell'atto di moto di collasso; poiché FLAC è un codice al continuo, non si genera una vera e propria superficie di scorrimento (che costituirebbe una discontinuità), ma una banda di taglio, ovvero una fascia nella quale si accumulano le deformazioni plastiche di taglio. La rappresentazione del collasso avviene quindi con una mappa a colori della velocità di deformazione al taglio, che si massimizza appunto nella fascia dove avviene lo scorrimento. A questa si sovrappongono i vettori velocità, che indicano la direzione e l'intensità dell'atto di moto (le velocità sono ovviamente delle "pseudo-velocità" definite in modo parametrico, non essendo l'approccio di tipo dinamico).

4.1.2 Modello costitutivo dei terreni

Per le analisi di stabilità, è consuetudine riferirsi al criterio di rottura di Mohr – Coulomb, in termini di parametri drenati ϕ' e c' ; la resistenza del versante al collasso globale risulta proporzionale a c' e a $\tan(\phi')$.

4.1.3 Calibrazione del modello

Per la calibrazione del modello, è stata condotta inizialmente un'analisi di stabilità su una porzione di pendio molto grande; tuttavia il meccanismo di collasso evidenziato da questa analisi risulta essere molto distante dall'opera in esame. Al fine di cogliere meglio l'influenza dell'opera sulla stabilità globale del pendio naturale, il modello è stato, quindi, calibrato in un intorno del traliccio di dimensioni inferiori, sufficienti tuttavia a scongiurare problemi di tipo numerico dovuti alla vicinanza dei contorni.

Le due figure seguenti, che illustrano i meccanismi di collasso che si sviluppano in una sezione tipo nei modelli rispettivamente "allargato" e "locale", mettono in evidenza quanto detto.

Nelle due figure, la zona in collasso è indicata con bande di colore e frecce che indicano la direzione e la velocità (parametrica) del moto. La presenza del traliccio (e dei carichi di servizio in fase di cantiere) è indicata con frecce verticali di lunghezza proporzionale alle forze nodali applicate.

Si osserva che il primo modello dà un coefficiente di sicurezza inferiore (2,23), ma relativa ad un meccanismo lontano dalla zona di intervento, mentre il secondo (c.s. 2,71) si manifesta nelle adiacenze della piazzola.

Nelle analisi più avanti presentate, quindi, che sono mirate alla determinazione degli effetti delle lavorazioni sulla stabilità globale dei versanti (più che a determinare la stabilità globale dei versanti dell'area) si adotta questa tipologia di modello.

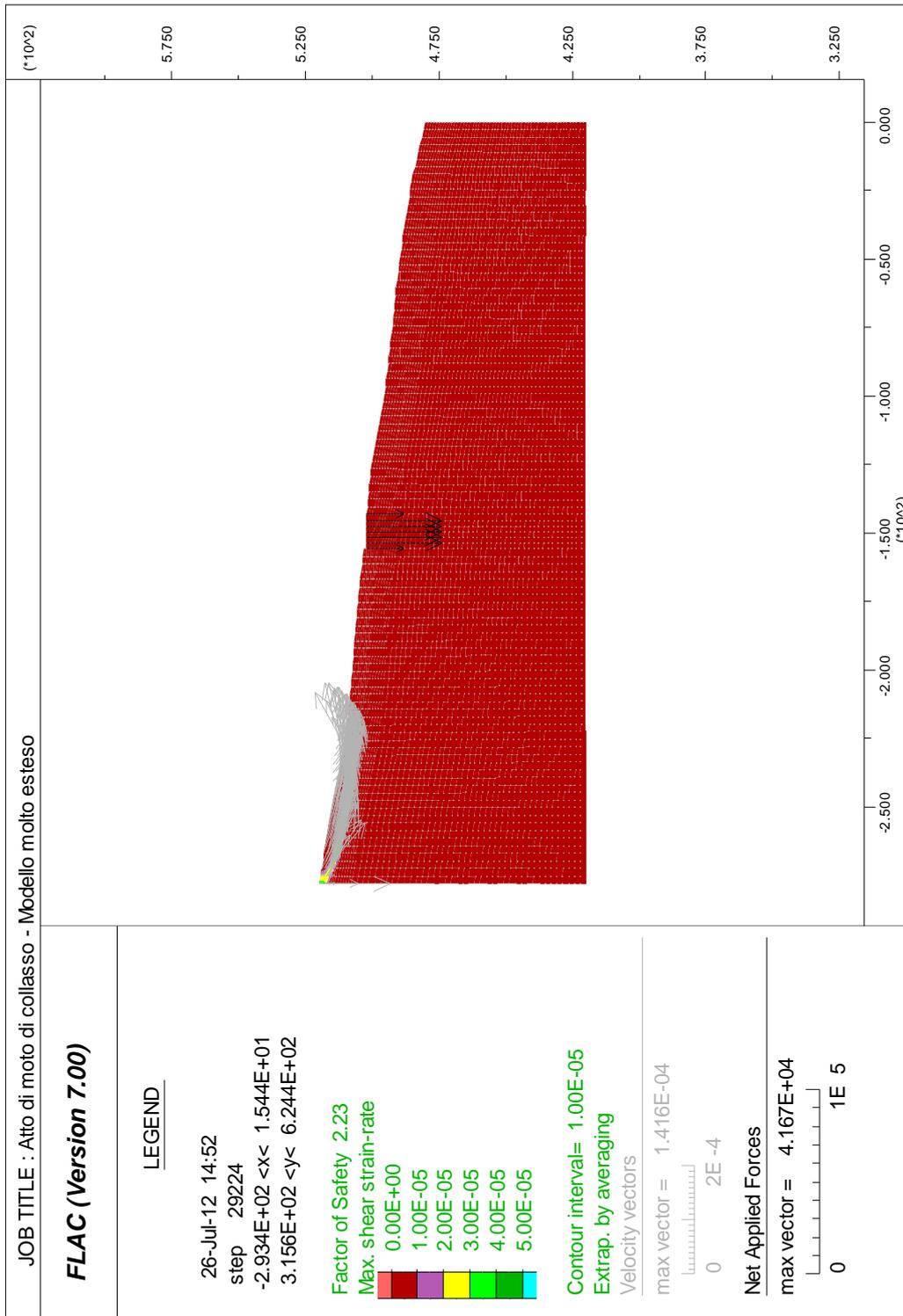


Figura 4-1 Atto di moto di collasso del modello più esteso

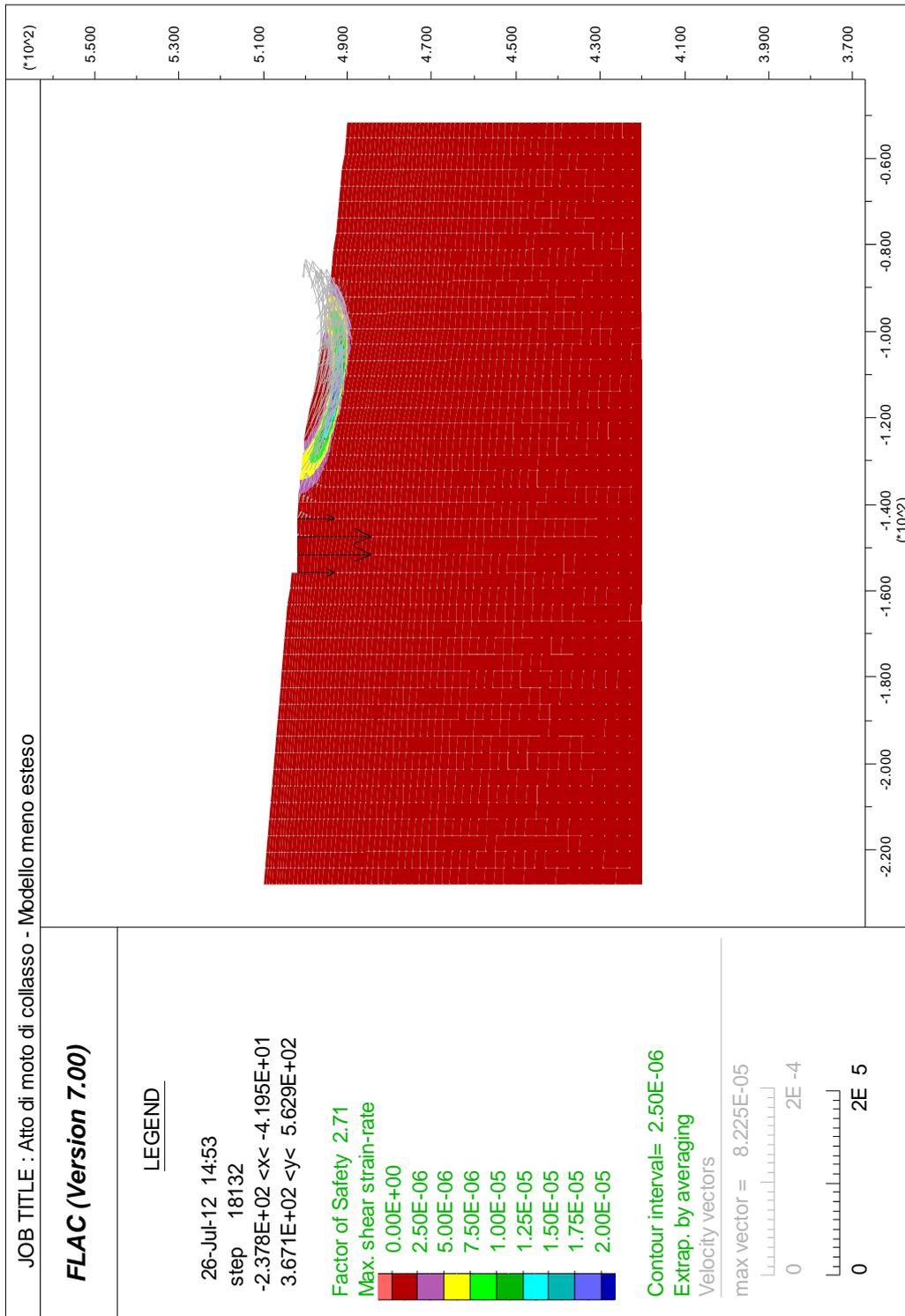


Figura 4-2 Atto di moto di collasso per il modello meno esteso

4.1.4 Azioni indotte dalle attività in progetto

Si considerano due situazioni:

- situazione *post operam*, a traliccio completato, nella quale si esercita un carico di entità assai ridotta (generalmente alcune decine di tonnellate su un'area di oltre $10 \times 10 \text{ m}^2$)
- situazione di cantiere: si ipotizza un carico di servizio agente sulla superficie della piattaforma di cantiere di 20 kN/m^2 .

La seconda ipotesi risulta molto più gravosa, e viene quindi utilizzata come condizione di riferimento per le analisi.

4.1.5 Azioni del sisma

Allo scopo di eseguire le verifiche di resistenza negli elementi strutturali, è stata tenuta in conto un'accelerazione sismica, calcolata ai sensi delle NTC 2008 (rif.[2]), in base alla definizione del sisma locale riportata nella Relazione Geotecnica del Progetto Definitivo, nel modo seguente:

- o classe d'uso II, $c_u = 1$, $V_r = 50$ anni;
- o $a_{\max} = 0,265g S_S S_T$, nel quale $S_S = 1,327$, $S_T = 1,2$ (pendio sup 15°), dunque
 $a_{\max} = 0,42g$
- o azioni sismiche applicate al pendio (come modifica del vettore gravità) K_h e K_v :
 $K_h = \beta a_{\max}/g$; con $\beta = 0,31$ (sottosuolo A, e $0,2 < a_g < 0,4$); $K_v = 0,5 K_h$, e quindi
 $K_h = 0,31 \cdot 0,42 = 0,13$ corrispondente a $1,3 \text{ m/s}^2$, diretta verso valle, e
 $K_v = 0,065$ corrispondente a $0,65 \text{ m/s}^2$, diretta verso l'alto

4.1.6 Verifica ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008

Il versante viene considerato come un pendio naturale; in base a quanto disposto al par. 7.11.3.5.2 delle NTC2008 (rif. [2]), la verifica di stabilità viene condotta con riferimento ai valori caratteristici dei parametri di resistenza del materiale. L'adeguatezza del coefficiente di sicurezza dovrebbe essere "motivata" dal progettista.

Nel nostro caso, trattandosi di versanti naturali che vengono solo superficialmente interessati dalle opere in progetto, tale verifica viene condotta semplicemente raffrontando il coefficiente di sicurezza *ante operam* con quello *post operam*, e verificare che entrambi siano ragionevolmente maggiori dell'unità in condizioni statiche, e non inferiori all'unità in condizioni sismiche.

Allo scopo di verificare la stabilità del versante in prossimità del traliccio, pertanto, sono state condotte le seguenti analisi:

- verifica di stabilità del pendio allo stato di fatto (in condizioni statiche e sismiche);
- verifica di stabilità del pendio allo stato di progetto, con l'installazione dei carichi di servizio per l'esecuzione del traliccio (in condizioni statiche e sismiche).

4.2 Traliccio TR13

4.2.1 Risultati delle analisi e considerazioni sul meccanismo di collasso

Sono state condotte le seguenti quattro analisi:

1. stato di fatto in condizioni statiche
2. stato di fatto in condizioni sismiche
3. stato di progetto in condizioni statiche
4. stato di fatto in condizioni sismiche

La Figura 4-4 e la Figura 4-7 di seguito riportate illustrano il meccanismo di collasso, evidenziato con bande di colore (che indicano la banda di taglio, lungo la quale si massimizzano le deformazioni plastiche di taglio) e i vettori velocità di spostamento (atto di moto).

La Figura 4-8 e la Figura 4-5 illustrano il risultato dell'analisi sotto sisma. In questa, il vettore gravità, inizialmente applicato pari a 10 m/s^2 in direzione verticale, viene modificato come segue:

- componente orizzontale (da monte verso valle): è pari all'accelerazione sismica orizzontale, $1,3 \text{ m/s}^2$
- componente verticale (dal basso verso l'alto): è pari all'accelerazione sismica verticale, $0,65 \text{ m/s}^2$ e si sottrae alla gravità, che risulta quindi $10 - 0,65 = 9,35 \text{ m/s}^2$.

Come si evince dal raffronto fra i coefficienti di sicurezza, la costruzione del traliccio non comporta significative variazioni del fattore di sicurezza del pendio rispetto alle condizioni indisturbate.

4.2.2 Stato di fatto

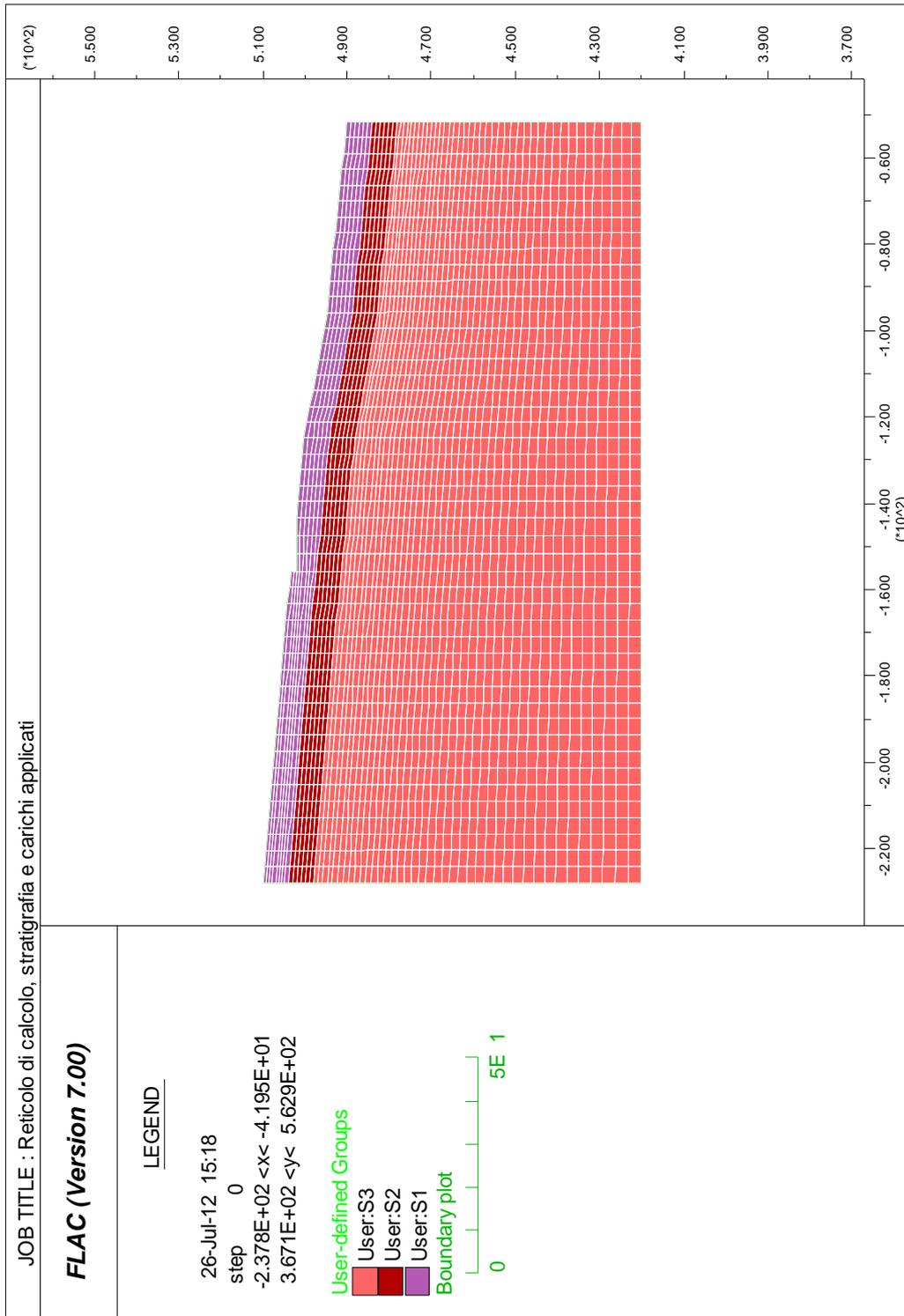


Figura 4-3 TR13 - Reticolo di calcolo, stratigrafia e carichi applicati - Stato di fatto

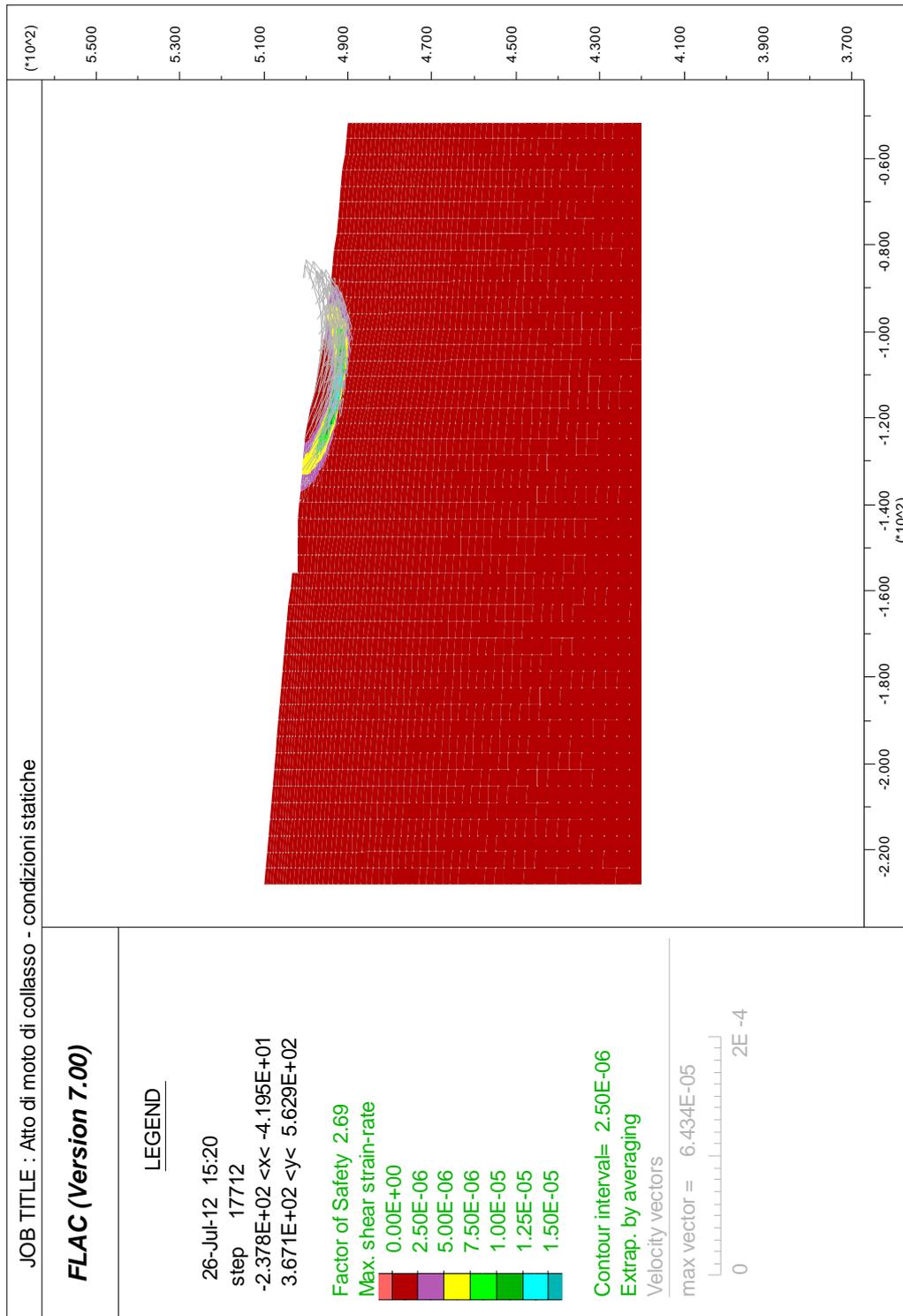


Figura 4-4 TR13 - Atto di moto di collasso in condizioni statiche - Stato di fatto

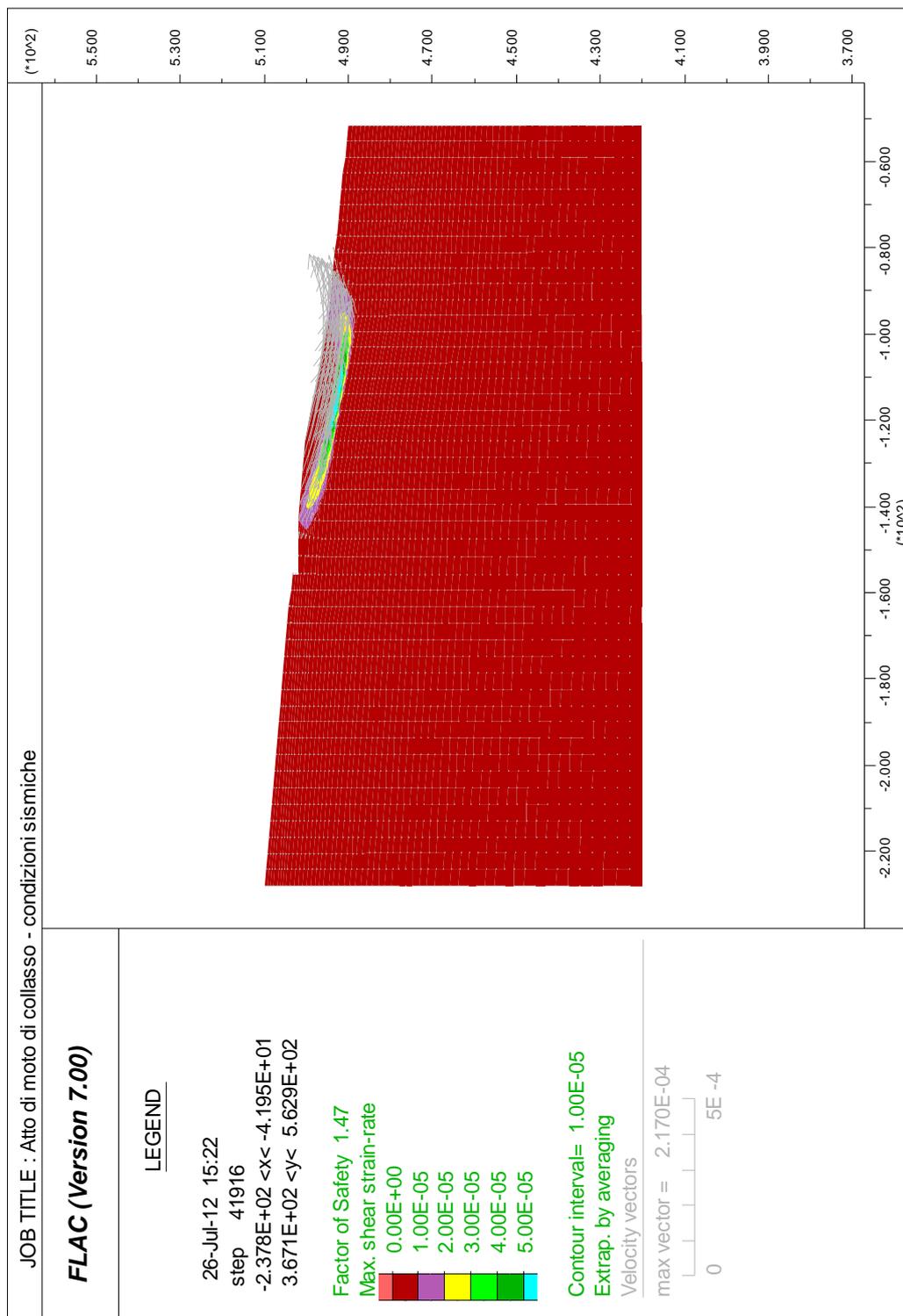


Figura 4-5 TR13 - Atto di moto di collasso in condizioni sismiche – Stato di fatto

4.2.3 Stato di progetto

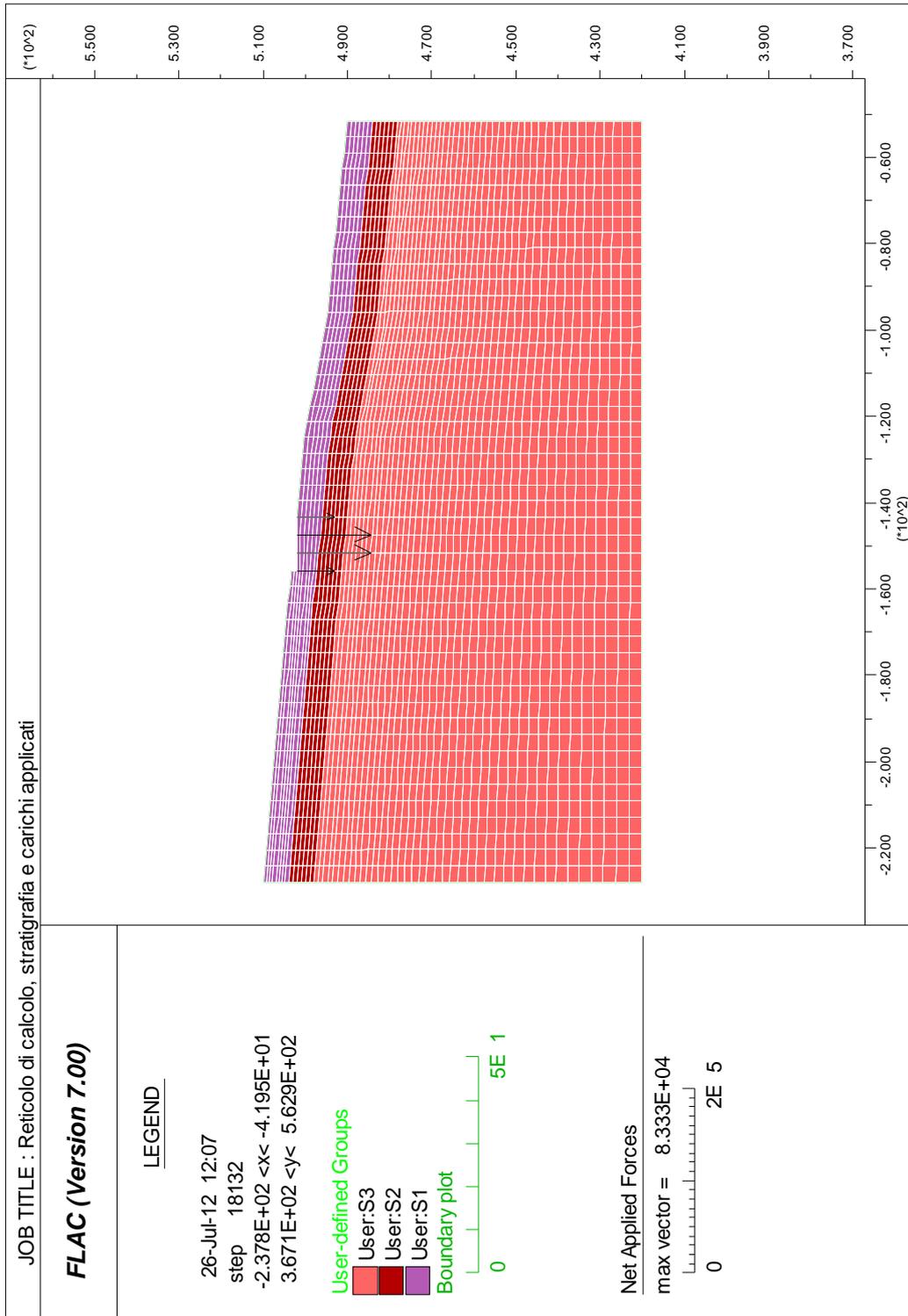


Figura 4-6 TR13 - Reticolo di calcolo, stratigrafia e carichi applicati – Stato di progetto

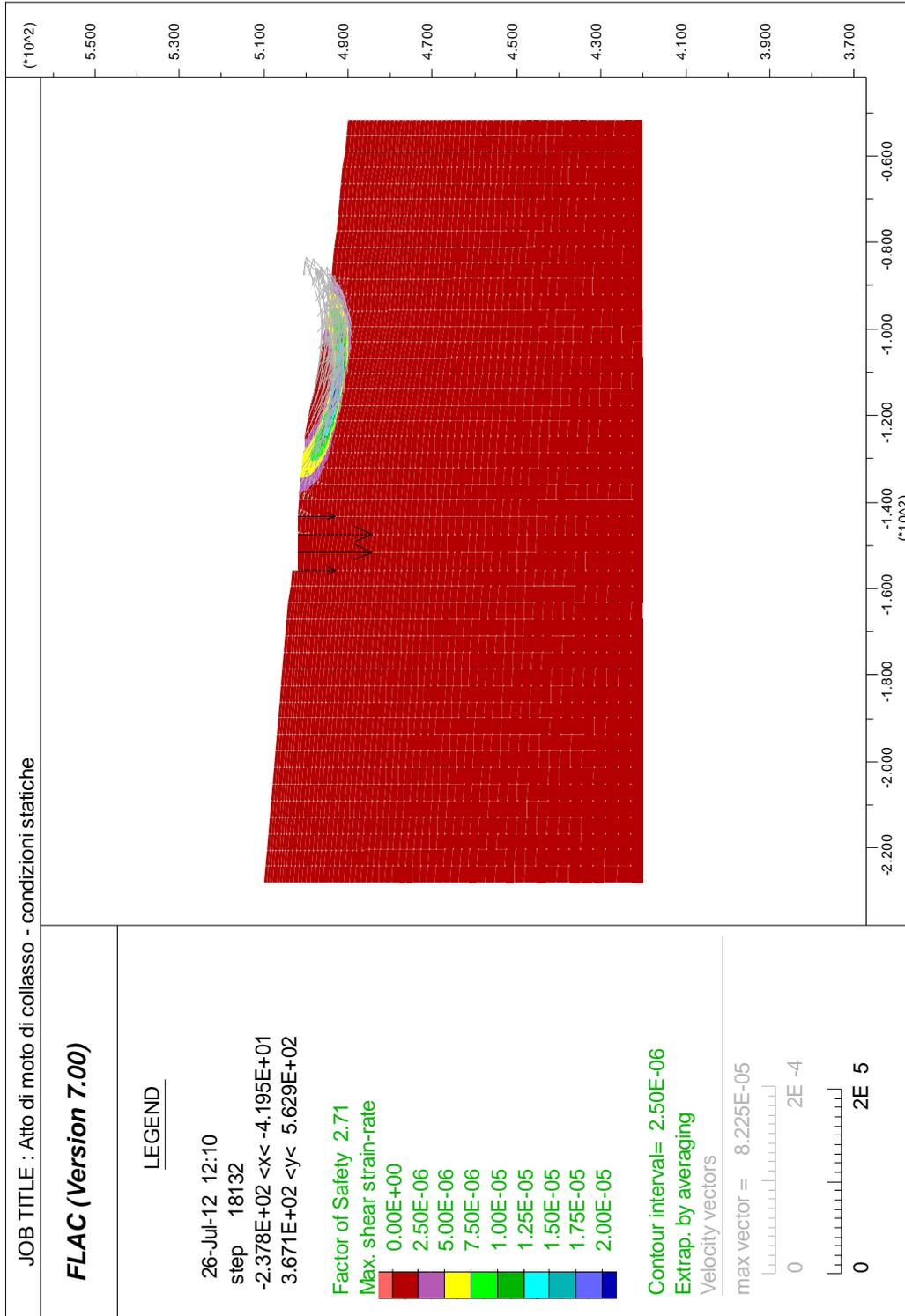


Figura 4-7 TR13 - Atto di moto di collasso in condizioni statiche – Stato di progetto

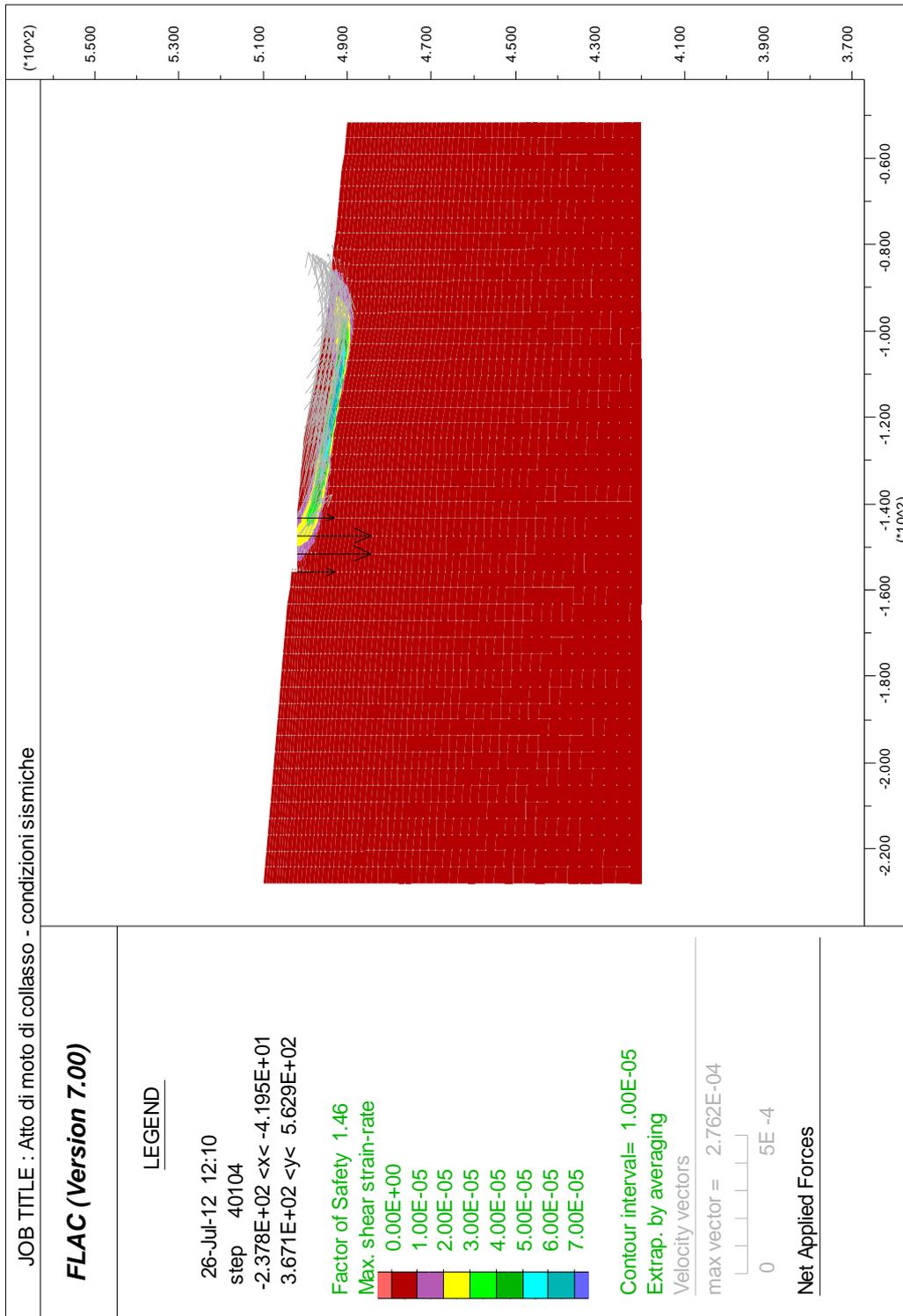


Figura 4-8 TR13 - Atto di moto di collasso in condizioni sismiche – Stato di progetto

4.3 Traliccio TRT07

4.3.1 Risultati delle analisi e considerazioni sul meccanismo di collasso

Sono state condotte le seguenti quattro analisi:

5. stato di fatto in condizioni statiche
6. stato di fatto in condizioni sismiche
7. stato di progetto in condizioni statiche
8. stato di fatto in condizioni sismiche

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** di seguito riportate illustrano il meccanismo di collasso, evidenziato con bande di colore (che indicano la banda di taglio, lungo la quale si massimizzano le deformazioni plastiche di taglio) e i vettori velocità di spostamento (atto di moto).

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** illustrano il risultato dell'analisi sotto sisma. In questa, il vettore gravità, inizialmente applicato pari a 10 m/s^2 in direzione verticale, viene modificato come segue:

- componente orizzontale (da monte verso valle): è pari all'accelerazione sismica orizzontale, $1,3 \text{ m/s}^2$
- componente verticale (dal basso verso l'alto): è pari all'accelerazione sismica verticale, $0,65 \text{ m/s}^2$ e si sottrae alla gravità, che risulta quindi $10 - 0,65 = 9,35 \text{ m/s}^2$.

Come si evince dal raffronto fra i coefficienti di sicurezza, la costruzione del traliccio non comporta significative variazioni del fattore di sicurezza del pendio rispetto alle condizioni indisturbate.

4.3.2 Stato di fatto

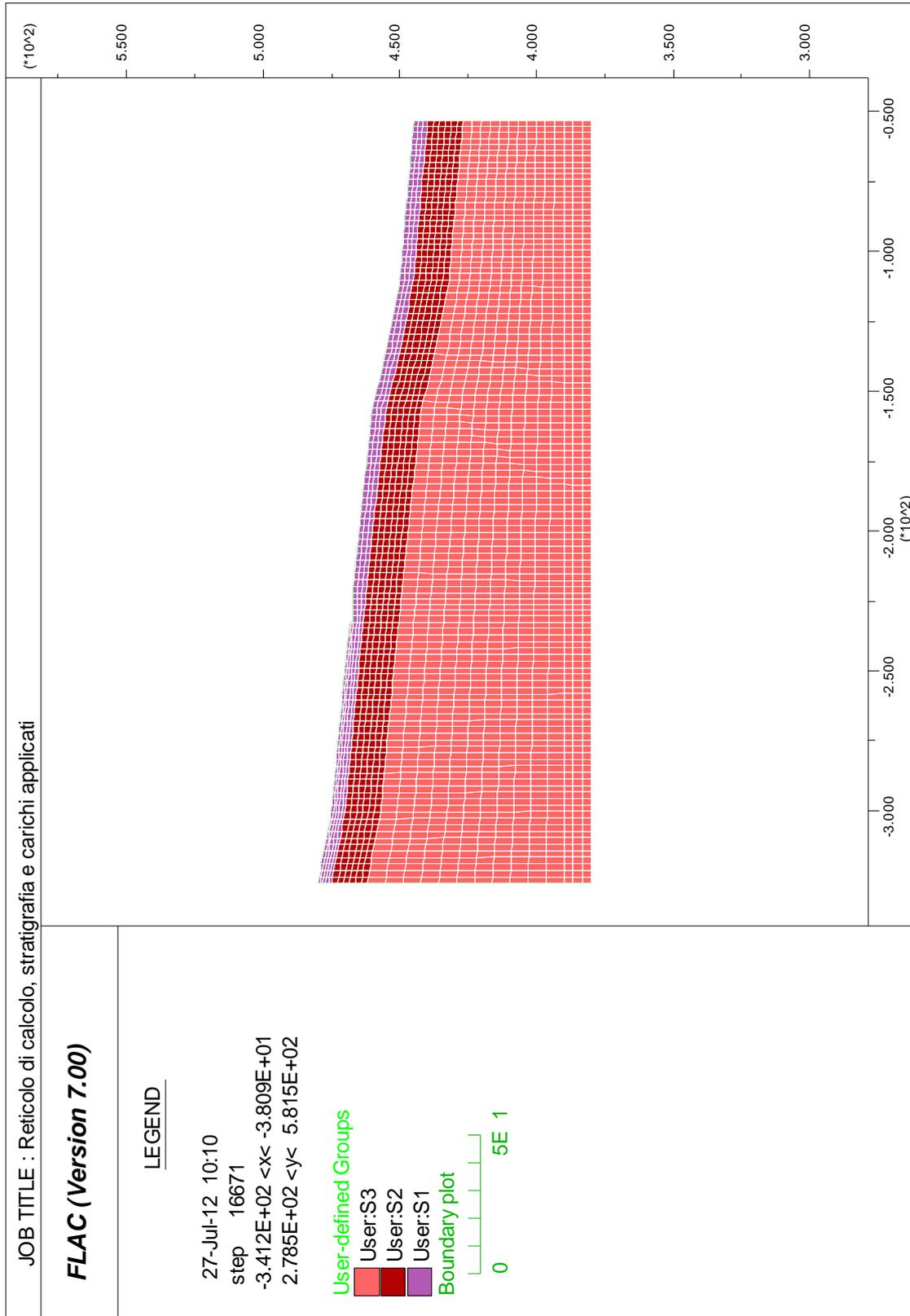


Figura 4-9 TRT07 - Reticolo di calcolo, stratigrafia e carichi applicati – Stato di fatto

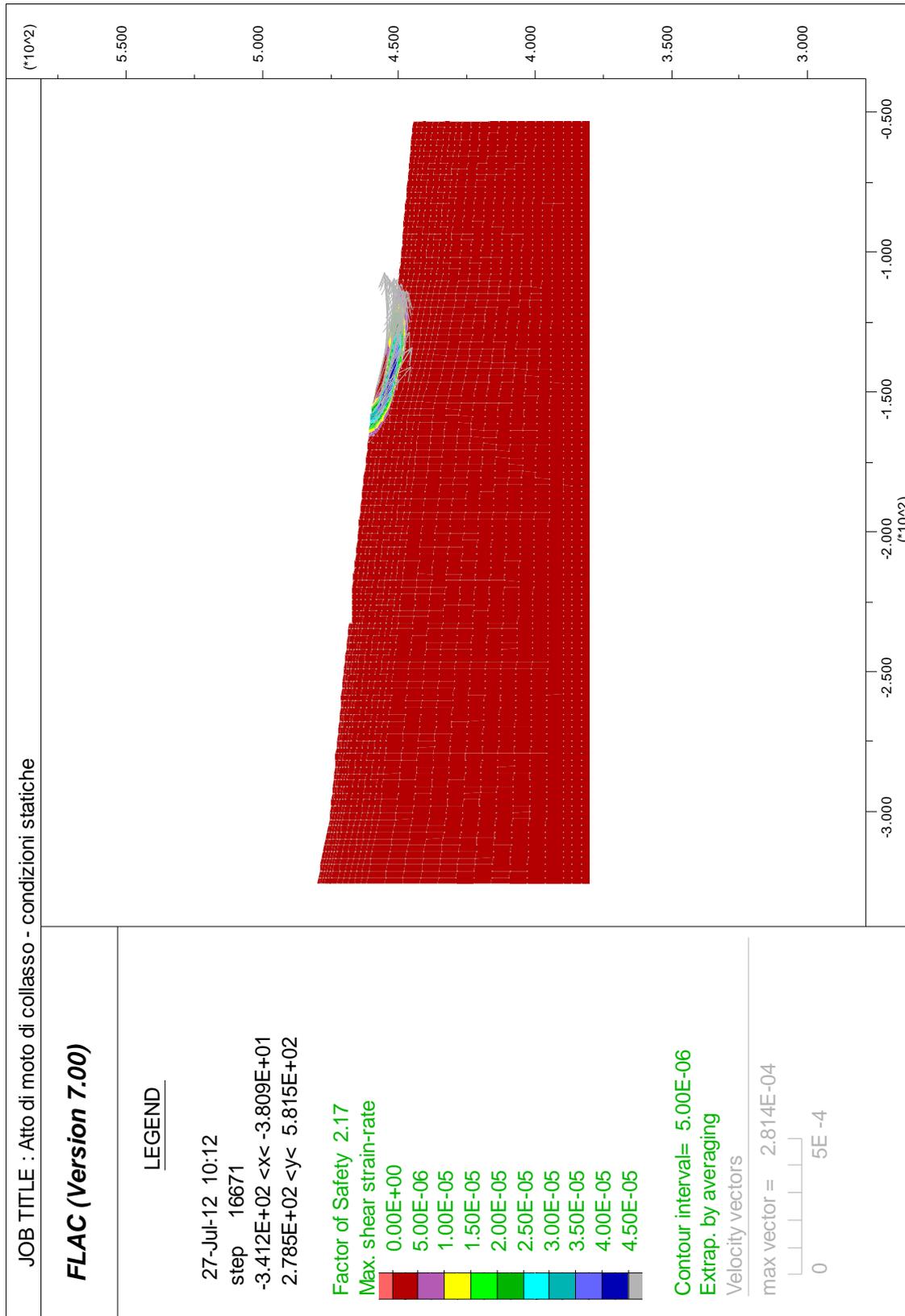


Figura 4-10 - TRT07 - Atto di moto di collasso in condizioni statiche – Stato di fatto

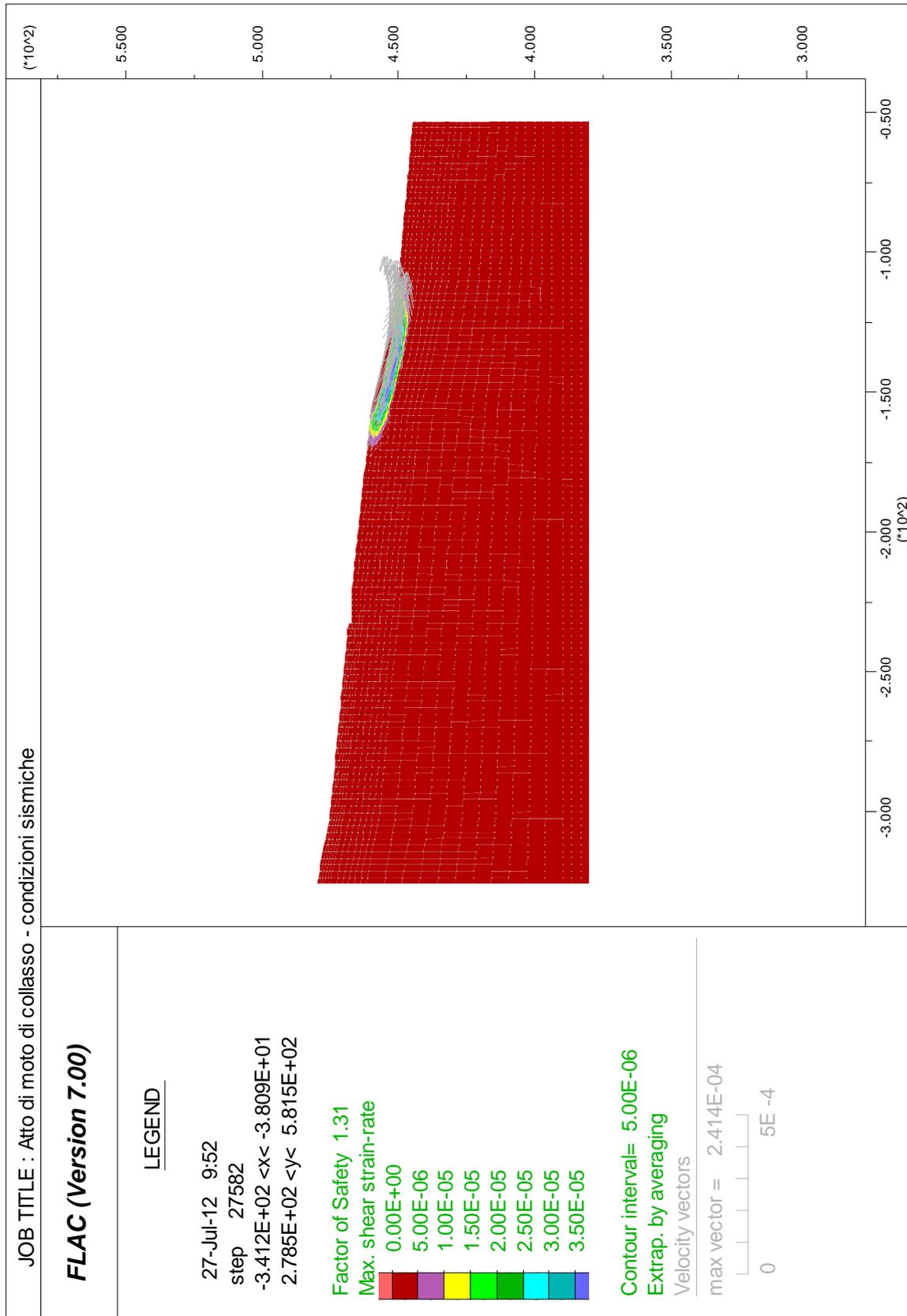


Figura 4-11 - TRT07 - Atto di moto di collasso in condizioni sismiche – Stato di fatto

4.3.3 Stato di progetto

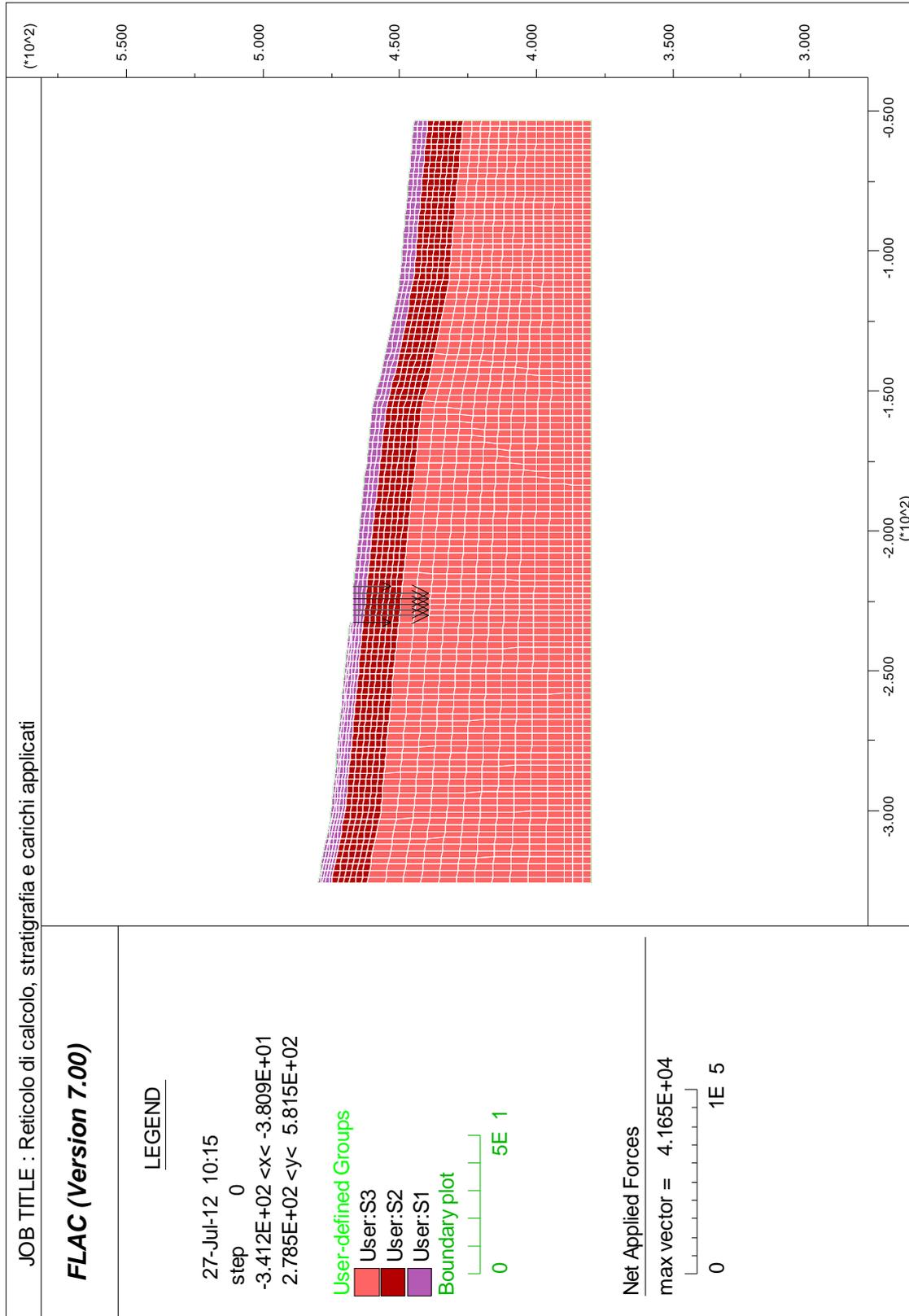


Figura 4-12 - TRT07 - Reticolo di calcolo, stratigrafia e carichi applicati – Stato di progetto

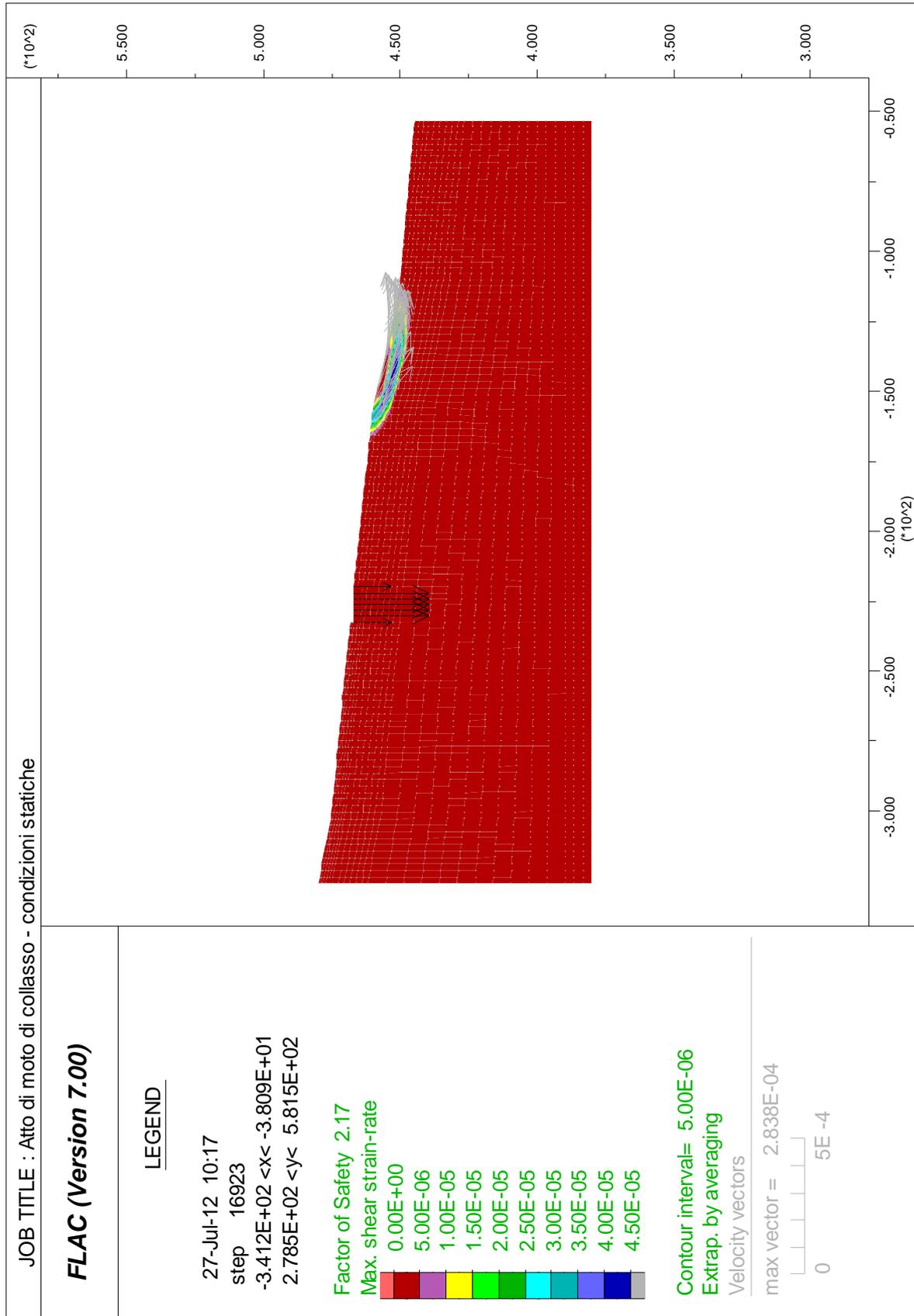


Figura 4-13 - TRT07 - Atto di moto di collasso in condizioni statiche – Stato di progetto

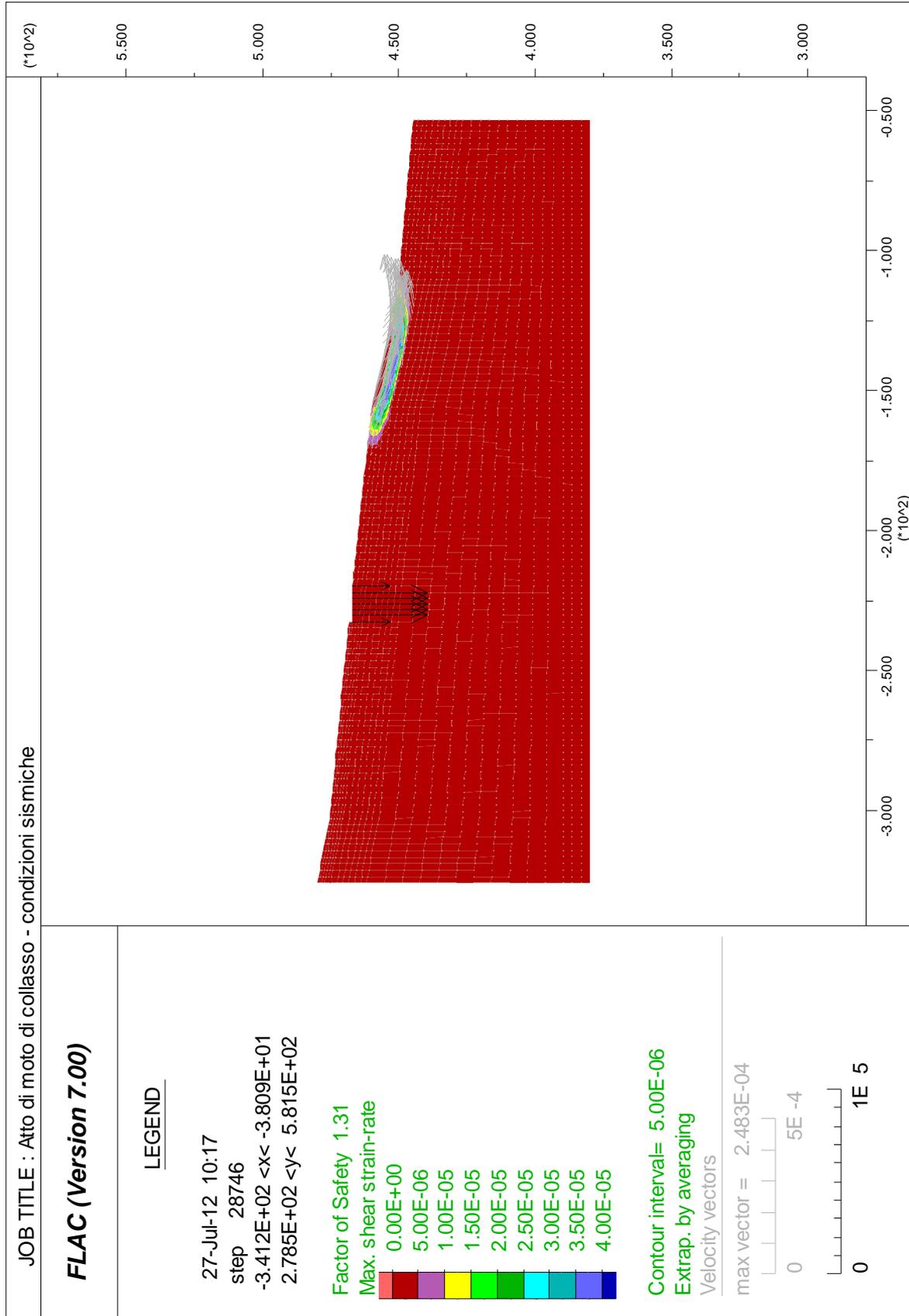


Figura 4-14 - TRT07 - Atto di moto di collasso in condizioni sismiche – Stato di progetto

4.4 Riepilogo coefficienti di sicurezza e conclusioni

La seguente tabella riepiloga i coefficienti di sicurezza calcolati.

Sezione	Stato di fatto		Stato di progetto	
	FS non sismico	FS sismico	FS non sismico	FS sismico
TR13	2.69	1.47	2.71	1.46
TRT07	2.17	1.31	2.17	1.31

Si conclude quanto segue:

- 1) i meccanismi di collasso interessano sempre lo strato di coltre
- 2) i coefficienti di sicurezza risultano elevati in condizioni statiche, e si mantengono superiori all'unità anche in condizioni sismiche
- 3) le analisi in condizioni *post operam* portano a coefficienti praticamente identici a quelli *ante operam*, a indicare la sostanziale ininfluenza delle opere in progetto e delle attività di cantiere sulla stabilità globale.

In conclusione, il risultato ottenuto per i due versanti più critici lungo il percorso degli elettrodotti porta a concludere quanto segue:

- 3) i versanti interessati dalle opere in progetto risultano stabili e
- 4) la realizzazione delle opere non ha influenze negative sulla stabilità globale dei versanti.