

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
SICV - SC 06-07/EA 31



PROGETTISTA: Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Mandante :



PROGETTISTA: Dott. Ing. Giovanni Canetta

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE SULLA STABILITA'
DEGLI IMBOCCHI DI GALLERIA

Revisione	Data	Descrizione				Redazione	Verifica	Approvazione
A	09/05/2012	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	073	—	

INDICE

1. SCOPO	3
2. RIFERIMENTI	3
2.1 Riferimenti Normativi	3
2.2 Riferimenti bibliografici	3
3. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI MATERIALI	4
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 Azioni del sisma	8
4.1.4 Verifica ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008	8
4.2 Monte Alto	8
4.3 Paratoie	16
4.4 Imbocco centrale	24
4.5 Imbocco camera valvole	33
4.6 Riepilogo dei Coefficienti di Sicurezza	41

1. Scopo

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

"... per le aree a ridosso degli imbocchi delle gallerie d'accesso, situati nei versanti rocciosi (in particolare per l'imbocco della galleria d'accesso alla Centrale in Caverna, previsto in corrispondenza del fronte di una cava abbandonata di rocce calcaree). ... si ritiene necessario eseguire una verifica di stabilità nel versante ante operam, per meglio definire l'evoluzione dei fenomeni d'instabilità delle pareti rocciose e gli eventuali interventi di consolidamento e messa in sicurezza dell'area, oltre a predisporre un sistema di monitoraggio dei movimenti gravitativi."

Parimenti, l'istruttoria svolta sul progetto medesimo dalla Regione Campania, chiede aquanto segue:

"Stabilità dei versanti dell'area di Monte Calvello. Considerata la descrizione fornita dell' area interessata dalla realizzazione dell'invaso superiore, si chiede di fornire chiarimenti in merito alla stabilità dei versanti dell'area di Monte Calvello"

La presente relazione accoglie i risultati dei calcoli di stabilità condotti sui versanti dei quattro imbocchi principali (è escluso quello dell'opera di presa di Campolattaro, le cui verifiche di stabilità sono già incluse nel Progetto Definitivo): imbocco della Galleria di accesso alla camera paratoie e imbocco dell'Opera di Presa di monte (versanti del Bacino di Monte Calvello); imbocco galleria di accesso alla Camera Valvole (versante del Monte Forgioso) e imbocco della Galleria di aceso alla Centrale (ex Cava Ciarli).

Per ciascuno dei quattro siti viene riportata brevemente la caratterizzazione geomeccanica (basata sulla documentazione geologica e geotecnica già presente all'interno del Progetto Definitivo) e vengono studiate le condizioni di stabilità "ante operam" e "post operam".

Si dimostra che la stabilità globale degli imbocchi è sempre garantita con ampio margine di sicurezza.

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

Le tabelle seguenti riportano la caratterizzazione geomeccanica adottata nei calcoli di stabilità.

Si tratta di calcari e calcareniti e calcari pseudocristallini biancastri e localmente grigiastri; sporadici livelli rossastri o marnosi grigiastri.

Formazione geologica: Flysh Rosso – Membro calcareo (FYR2)

I dati rappresentativi seguenti si riferiscono alla stazione di rilievo geomeccanico 04 e 01:

Monte Alto - paratoie			
Calcari massivi			
Indice	Valore considerato	Campo di variabilità	U.M.
σ_{ci}	50	37-134	MPa
RMRb	61	55-65	
GSI	57	55-60	
mi	12		
MR	500		
Ei	25000	20000-47000	MPa
γ	2.6		t/mc

I dati rappresentativi seguenti si riferiscono alla stazione di rilievo geomeccanico 07 e secondariamente alla stazione 06:

Centrale			
Calcari massivi			
Indice	Valore considerato	Campo di variabilità	U.M.
σ_{ci}	60	37-134	MPa
RMRb			
GSI	35	15-55	
mi	12		
MR	500		
Ei	30000	20000-47000	MPa
γ	2.6		t/mc

I dati rappresentativi seguenti si riferiscono alla stazione di rilievo geomeccanico 09:

Camera valvole			
Calcari massivi			
Indice	Valore considerato	Campo di variabilità	U.M.
σ_{ci}	50	37-134	MPa
RMRb	63	55-65	
GSI	57	55-60	
mi	12		
MR	500		
Ei	25000	20000-47000	MPa
γ	2.6		t/mc

Legenda	
σ_{ci}	Resistenza a compressione monoassiale
RMRb	Indice di Beniaowski (1989)
Gsi	Geological Strenght Index
mi	
MR	modulus ratio
Ei	Intact Modulus
γ	peso di volume
D	0.7

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 del versante, è stata condotta 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 *post operam* (situazione di fine scavo imbocco, prima della realizzazione delle opere strutturali permanenti dell'imbocco).

L'analisi, condotta con il codice FLAC (rif. [5] **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), 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; la superficie della scarpata, dedotta dal profilo altimetrico lungo l'asse dell'impluvio, è stata localmente adeguata per evitare collassi localizzati in zone di minor interesse;
- 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) eventuale 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 $\tan(\varphi')$.

Il software FLAC, adottato nei calcoli, consente l'impiego di un criterio di rottura alla Hoek – Brown, che può essere utilizzato nel calcolo della stabilità, come definito al paragrafo precedente, consentendo proprio di effettuare la variazione “proporzionale” della resistenza agendo sui parametri costitutivi.

Tale procedimento è descritto nel manuale di teoria del programma stesso (rif. [5]).

Il vantaggio di questo modo di operare è duplice:

- 1) l'input al programma è dato direttamente in termini di parametri di resistenza di ammasso, come definiti al capitolo precedente, senza ricorrere a conversioni dal criterio di Hoek-Brown a quello di Mohr-Coulomb;
- 2) il risultato è più accurato: evitando le conversioni dai parametri di Hoek-Brown a valori “equivalenti” di c' e φ' , si evita di introdurre una certa approssimazione. Si ricorda infatti che l'involuppo di rottura di Hoek-Brown è simile a quello di Mohr-Coulomb, ma con un angolo d'attrito che varia al crescere dello sforzo normale medio; la conversione viene pertanto effettuata su valori “locali” dello sforzo medio (angolo d'attrito “tangente” all'involuppo di Hoek-Brown).

4.1.3 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

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

Considerando, cautelativamente, il versante come una scarpata comunque artificiale (indipendentemente dal fatto che "ante operam" esso è un versante naturale) la verifica consiste nel raffrontare resistenze e azioni sollecitanti secondo la combinazione A2+M2+R2, nella quale:

A2: i carichi vanno amplificati per un coefficiente $\gamma_G = 1$ (permanenti) e $\gamma_Q = 1,3$ (permanenti non strutturali, accidentali); data la scarsa incidenza di questi ultimi, si assume un coefficiente $\gamma_{G,Q} = 1$;

M2: i parametri di resistenza del terreno sono divisi per coefficienti riduttivi $\gamma_{\phi,c} = 1,25$

R2: $\gamma_R = 1,1$.

Poiché esiste un'esatta proporzionalità fra coefficienti di sicurezza parziali dei materiali e il coefficiente di sicurezza all'equilibrio globale, la verifica è soddisfatta se il c.s. complessivo (valutato assumendo parametri caratteristici del materiale, non affetti da alcun coefficiente di sicurezza parziale) è superiore a $1 \times 1,25 \times 1,1 = 1,38$.

4.2 Monte Alto

Il modello rappresenta una sezione in corrispondenza dell'asse dell'opera di presa. L'approccio piano nelle deformazioni, che non consente di tener conto dell'effetto "nicchia", risulta cautelativo.

Nelle immagini seguenti si riporta uno stralcio planimetrico e la geometria del modello per la situazione *ante operam* e la *post operam*.

Seguono i disegni degli atti di moto di collasso in condizioni *ante operam* e *post operam*, per condizioni statiche e sismiche.

I coefficienti di sicurezza risultano tutti abbondantemente superiori al requisito minimo di 1,38, come si evince dalla seguente tabella:

CONDIZIONI	C.S. STATICO	C.S. SISMICO
<i>ante operam</i>	9.5	6.9
<i>post operam</i>	4.1	3.4

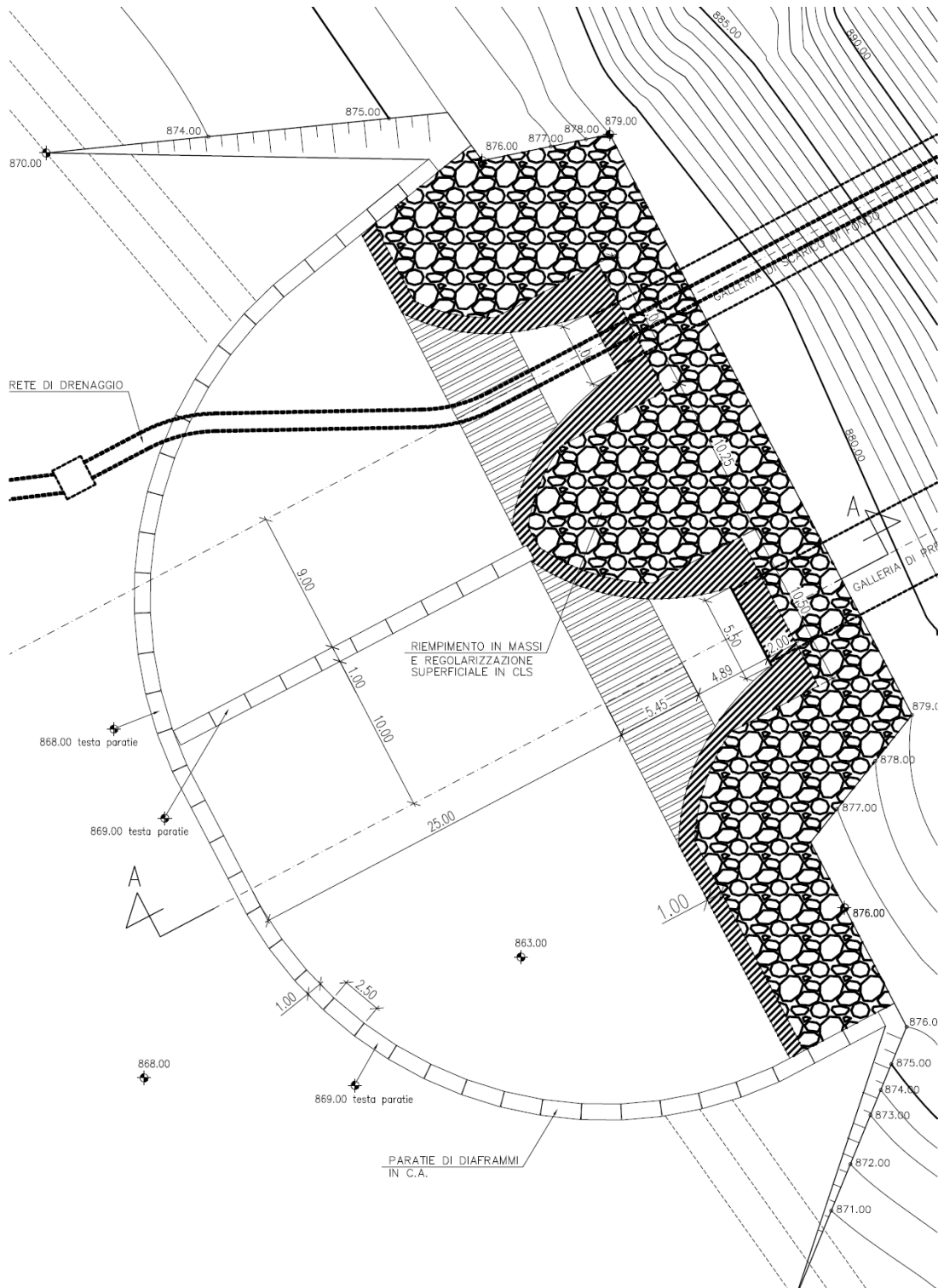


Figura 4-1 Planimetria Monte Alto

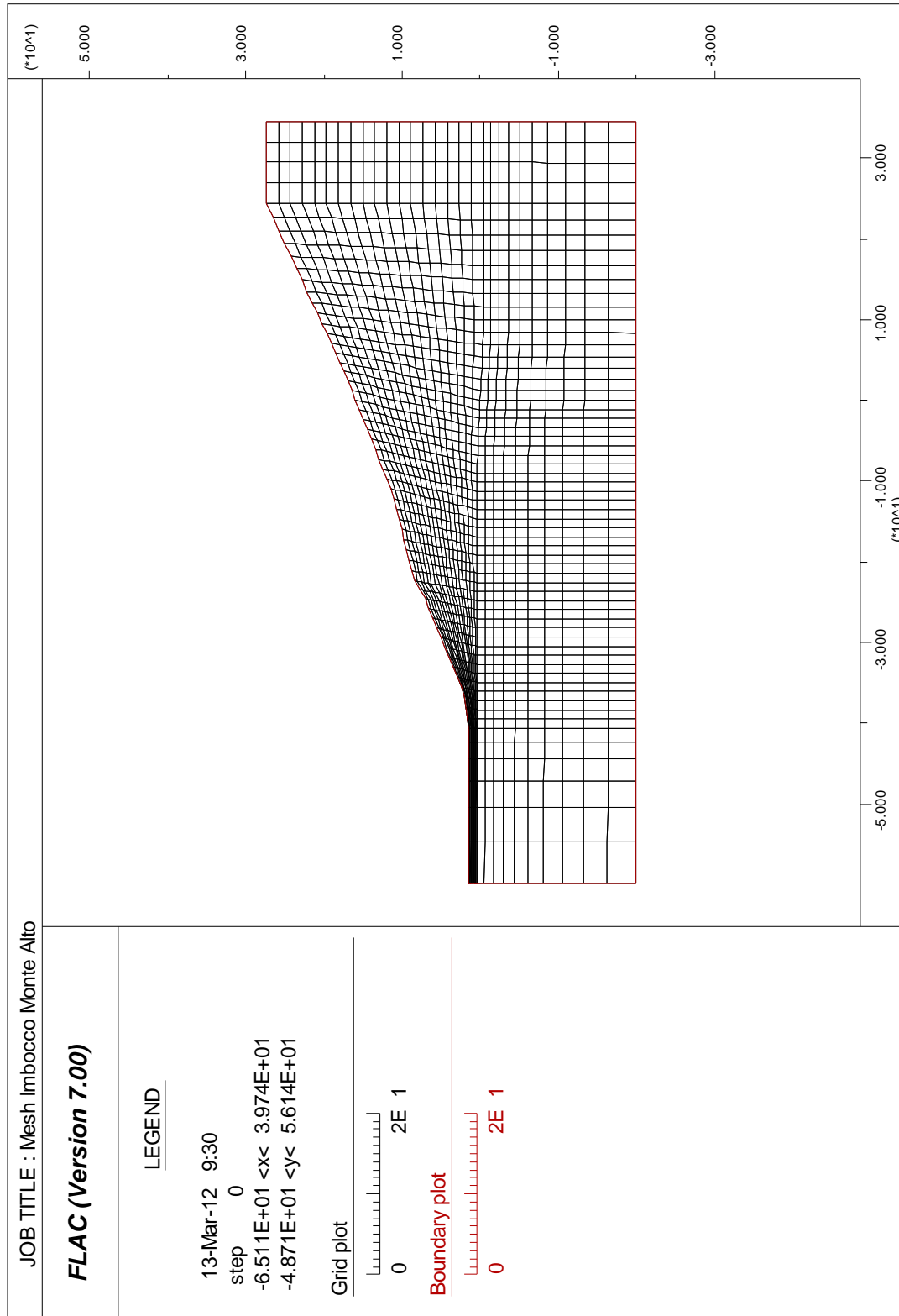


Figura 4-2 Mesh Monte alto

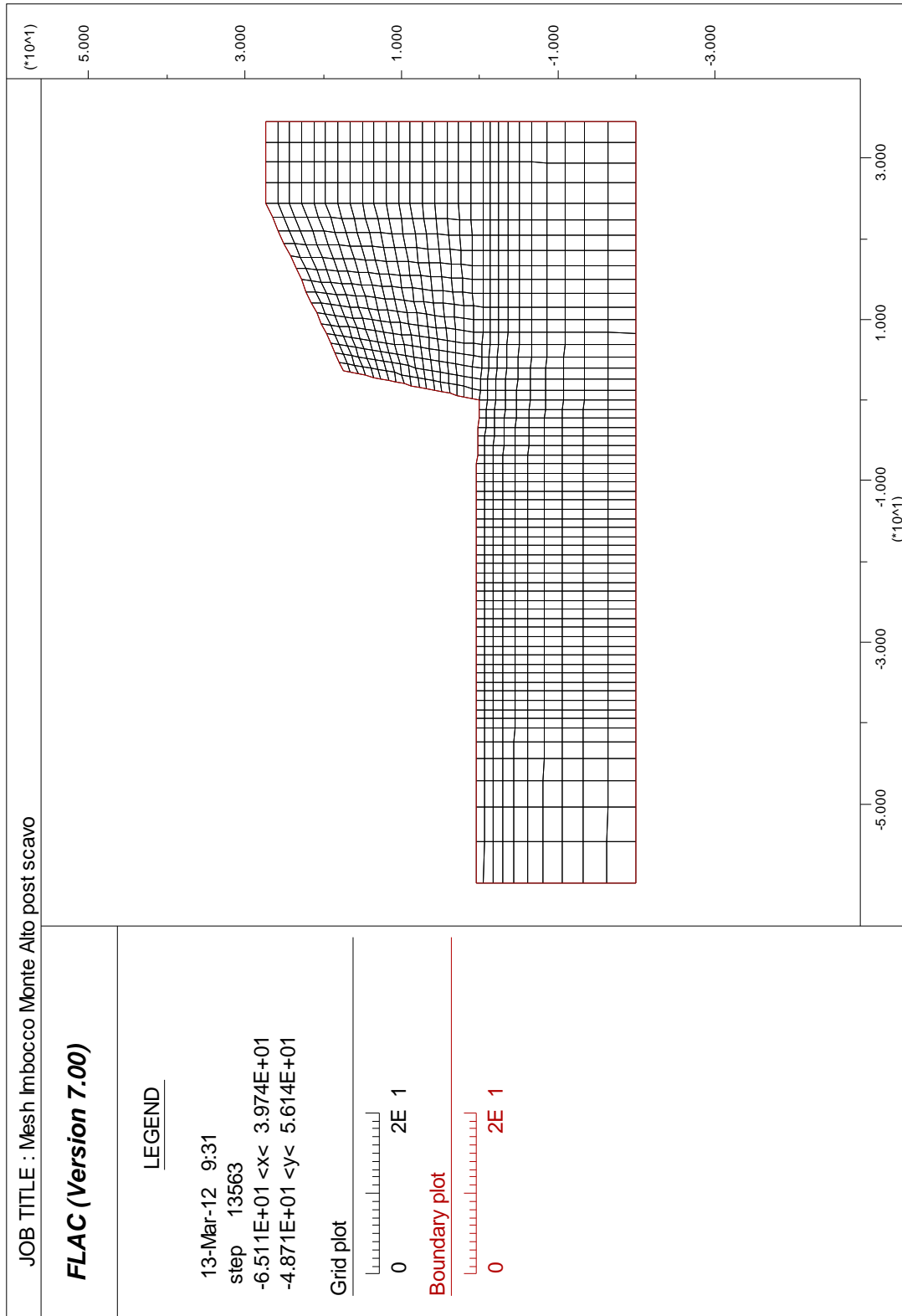


Figura 4-3 Mesh Monte Alto - post scavo

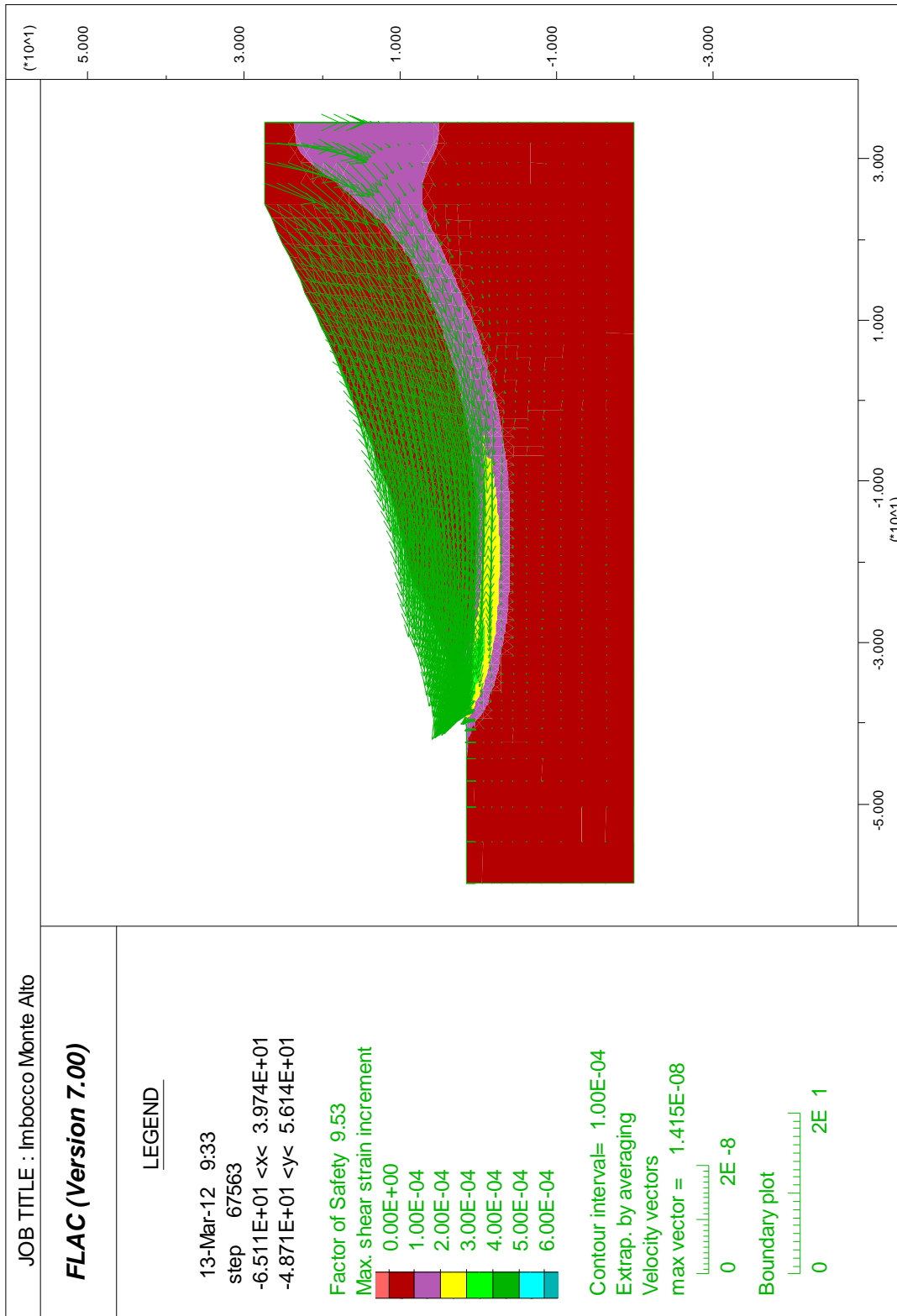


Figura 4-4 Atto di moto di collasso - FoS Monte Alto

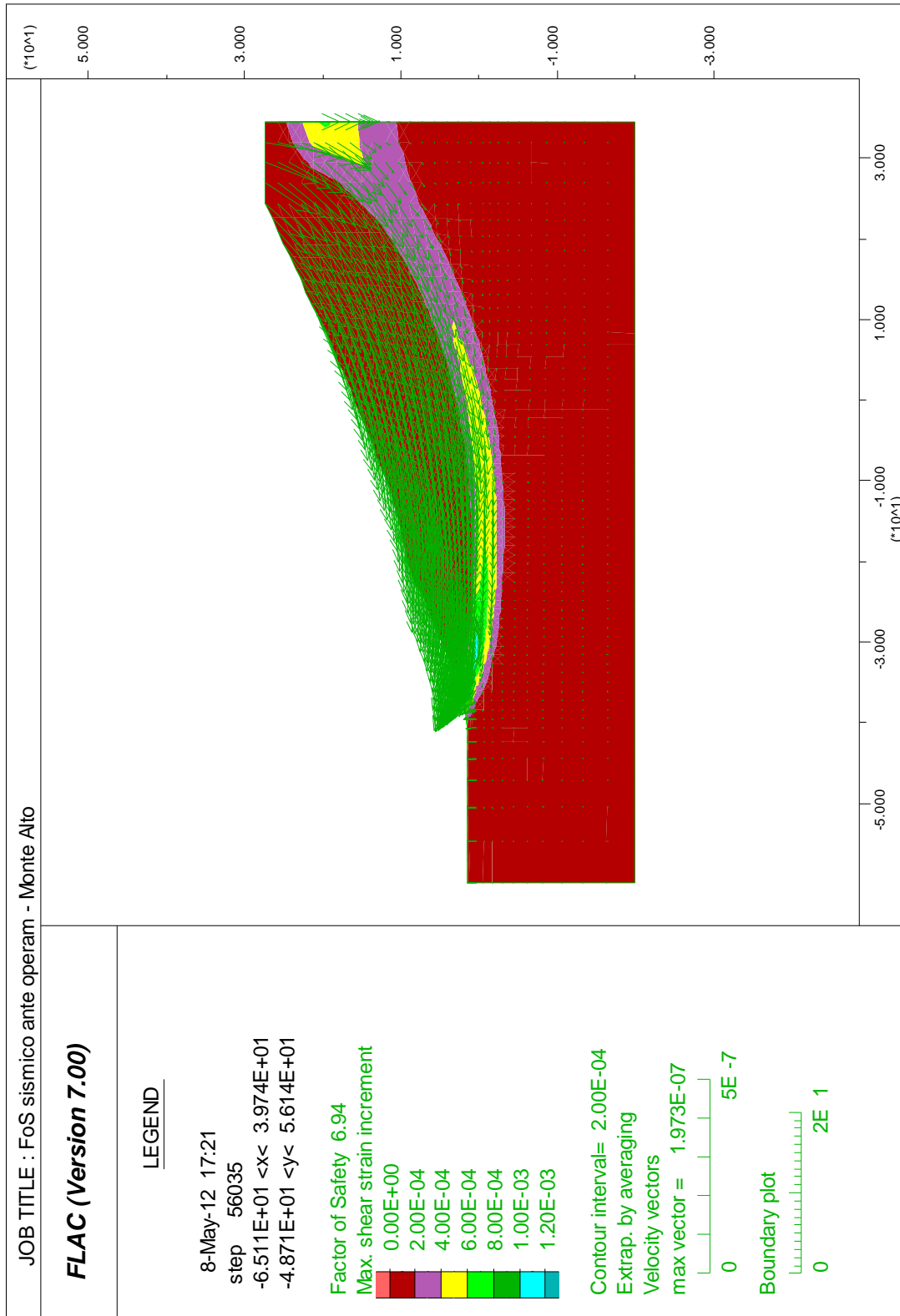


Figura 4-5 Atto di moto di collasso - FoS sismico Monte Alto

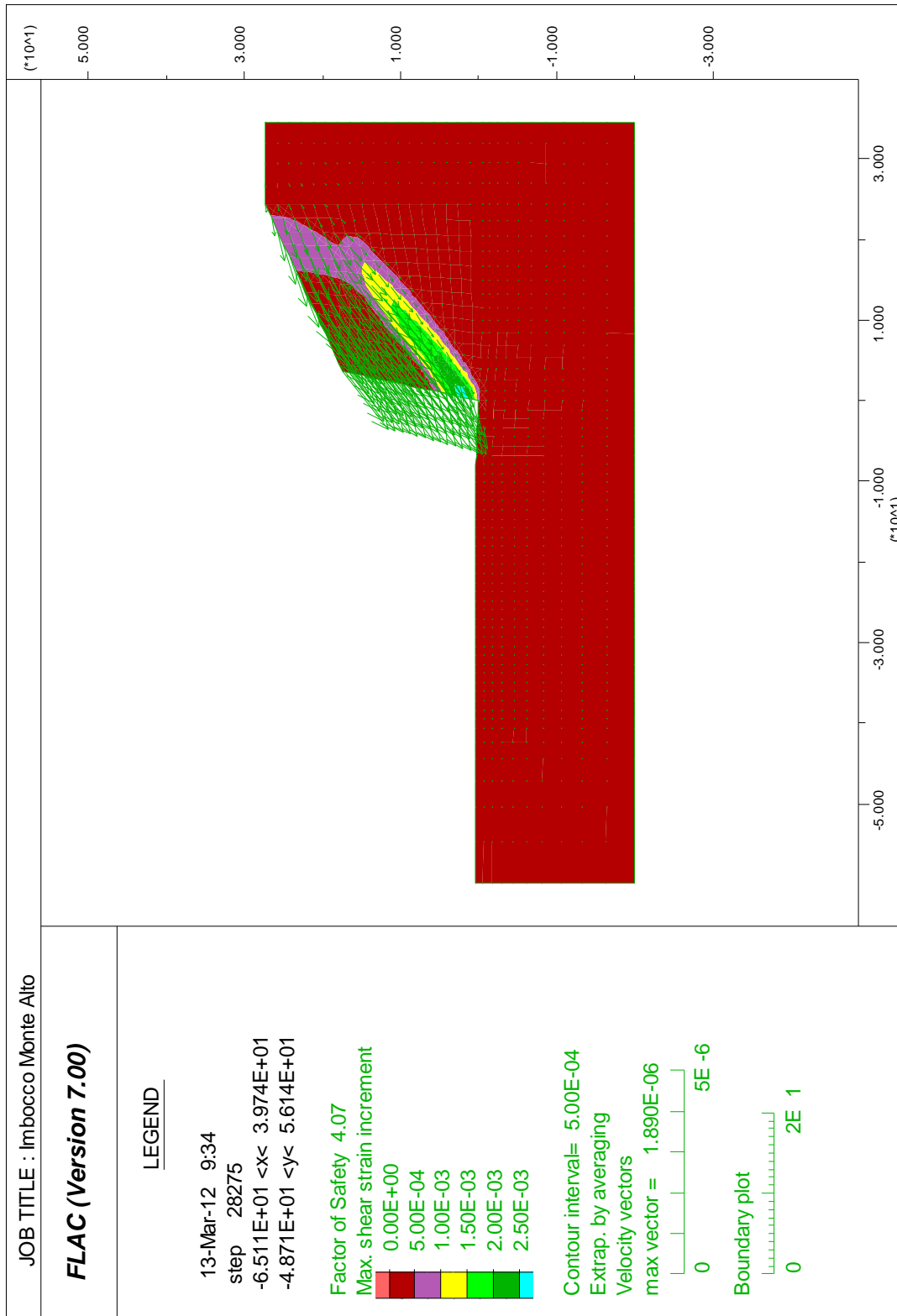


Figura 4-6 Atto di moto di collasso - FoS Monte Alto - post scavo

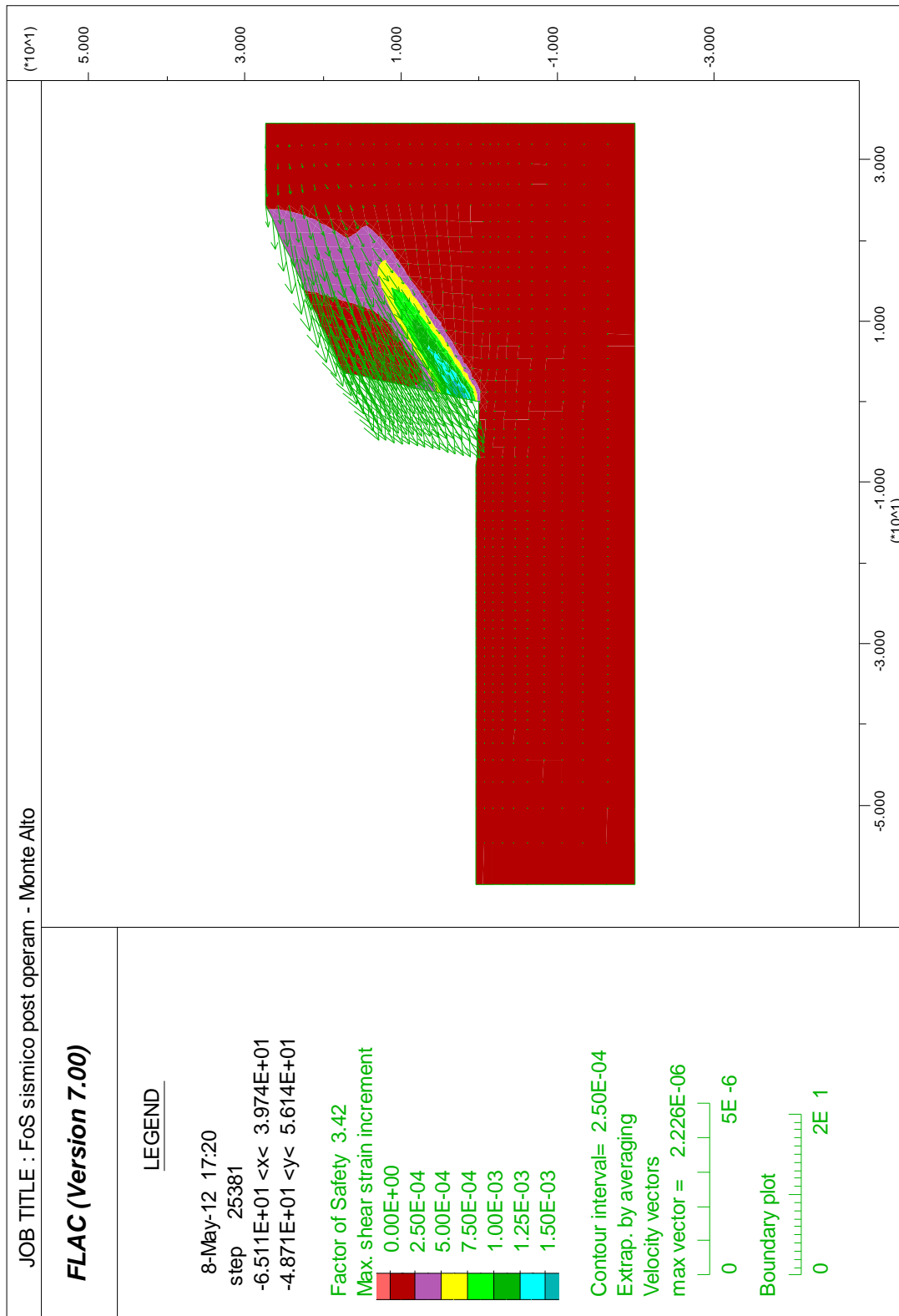


Figura 4-7 Atto di moto di collasso - FoS sismico Monte Alto - post scavo

4.3 Paratoie

Il modello rappresenta una sezione in corrispondenza dell'asse dell'imbocco della galleria di accesso, ubicata poco sopra l'opera di presa. Anche in questo caso, l'approccio piano nelle deformazioni, che non consente di tener conto dell'effetto "nicchia", risulta cautelativo.

Nelle immagini seguenti si riporta uno stralcio planimetrico e la geometria del modello per la situazione *ante operam* e la *post operam*.

Seguono i disegni degli atti di moto di collasso in condizioni *ante operam* e *post operam*, per condizioni statiche e sismiche.

I coefficienti di sicurezza risultano tutti abbondantemente superiori al requisito minimo di 1,38, come si evince dalla seguente tabella:

CONDIZIONI	C.S. STATICO	C.S. SISMICO
<i>ante operam</i>	7.5	6.1
<i>post operam</i>	4.2	3.4

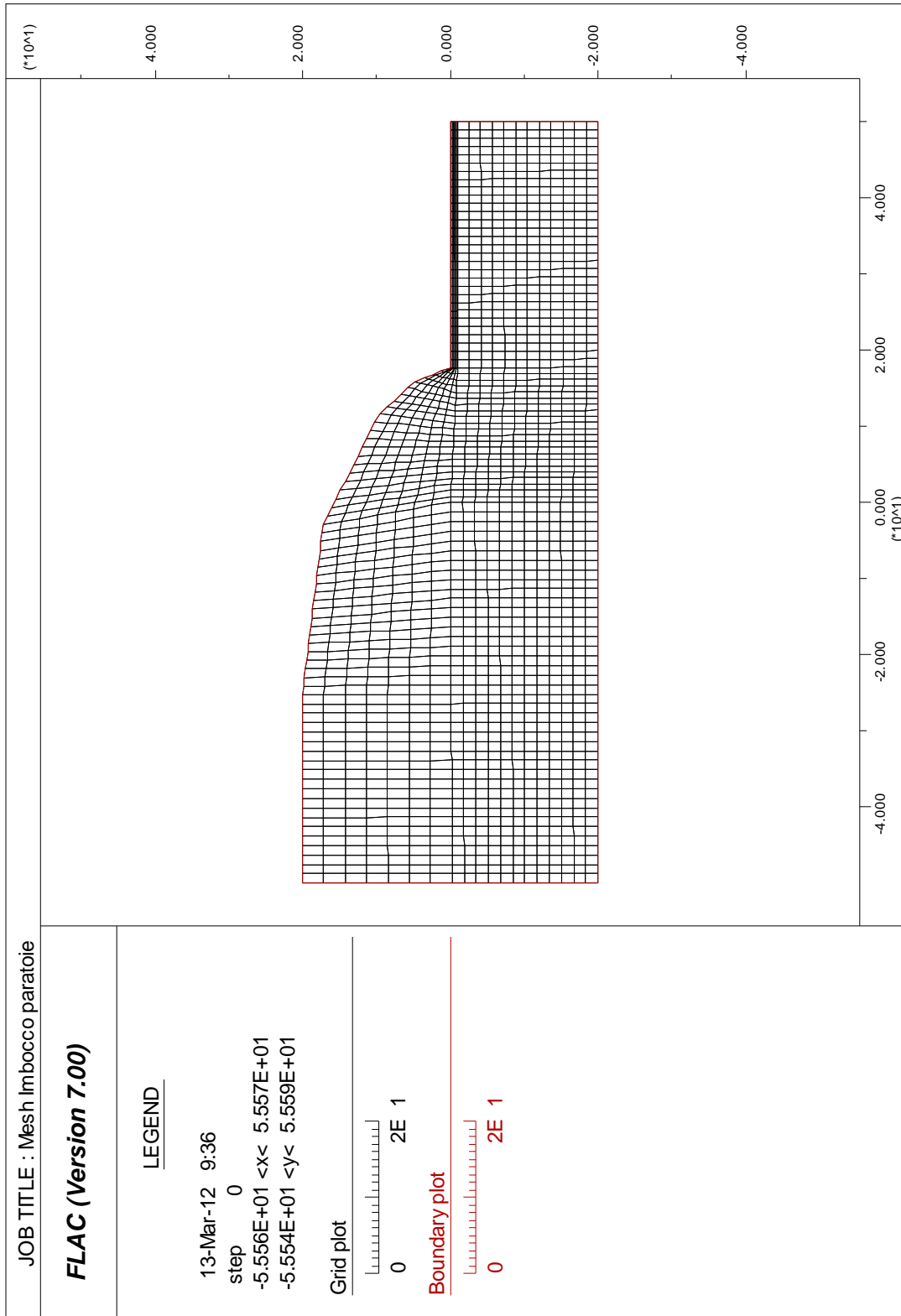


Figura 4-9 Mesh Paratoioe

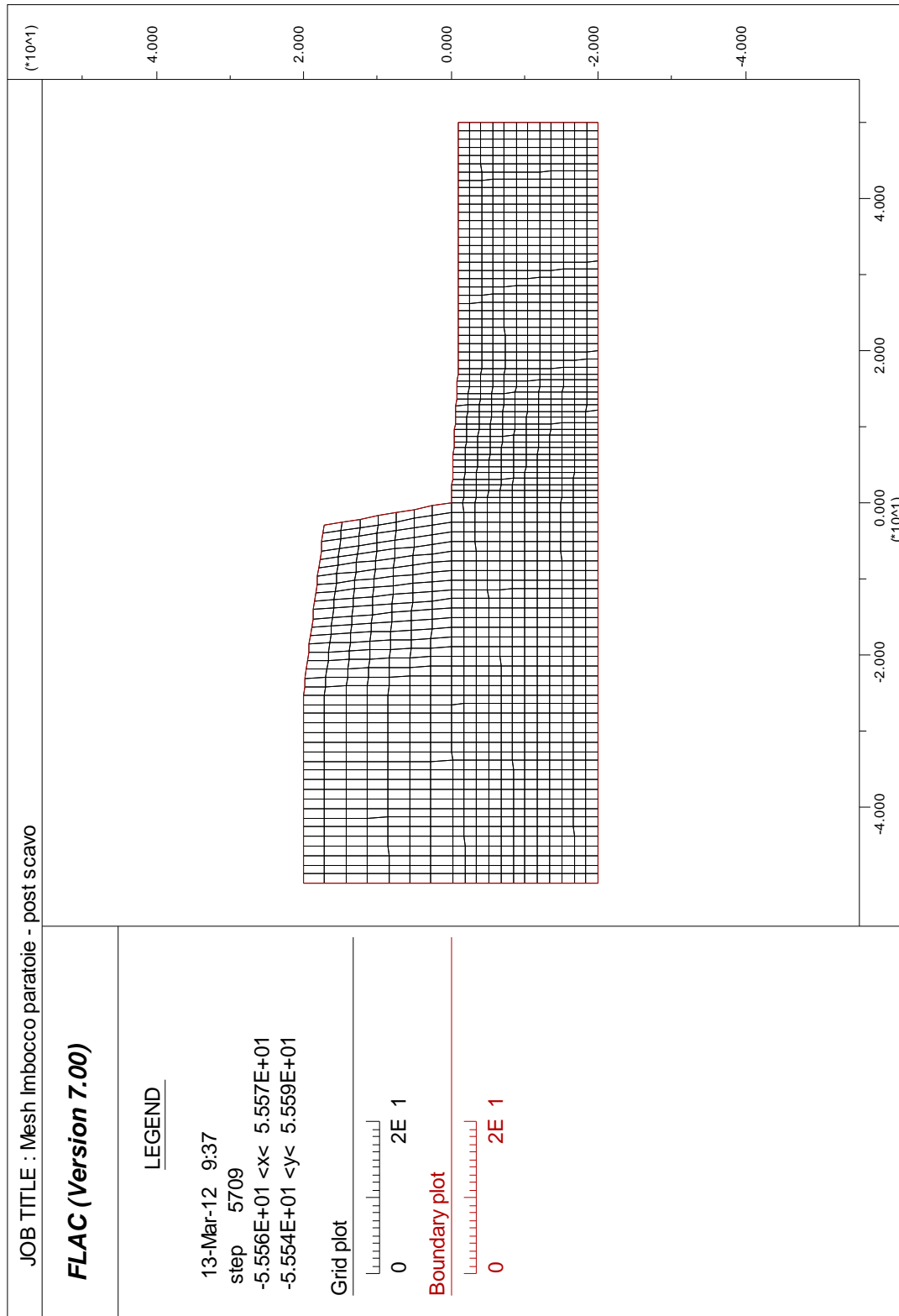


Figura 4-10 Mesh Paratoie - post scavo

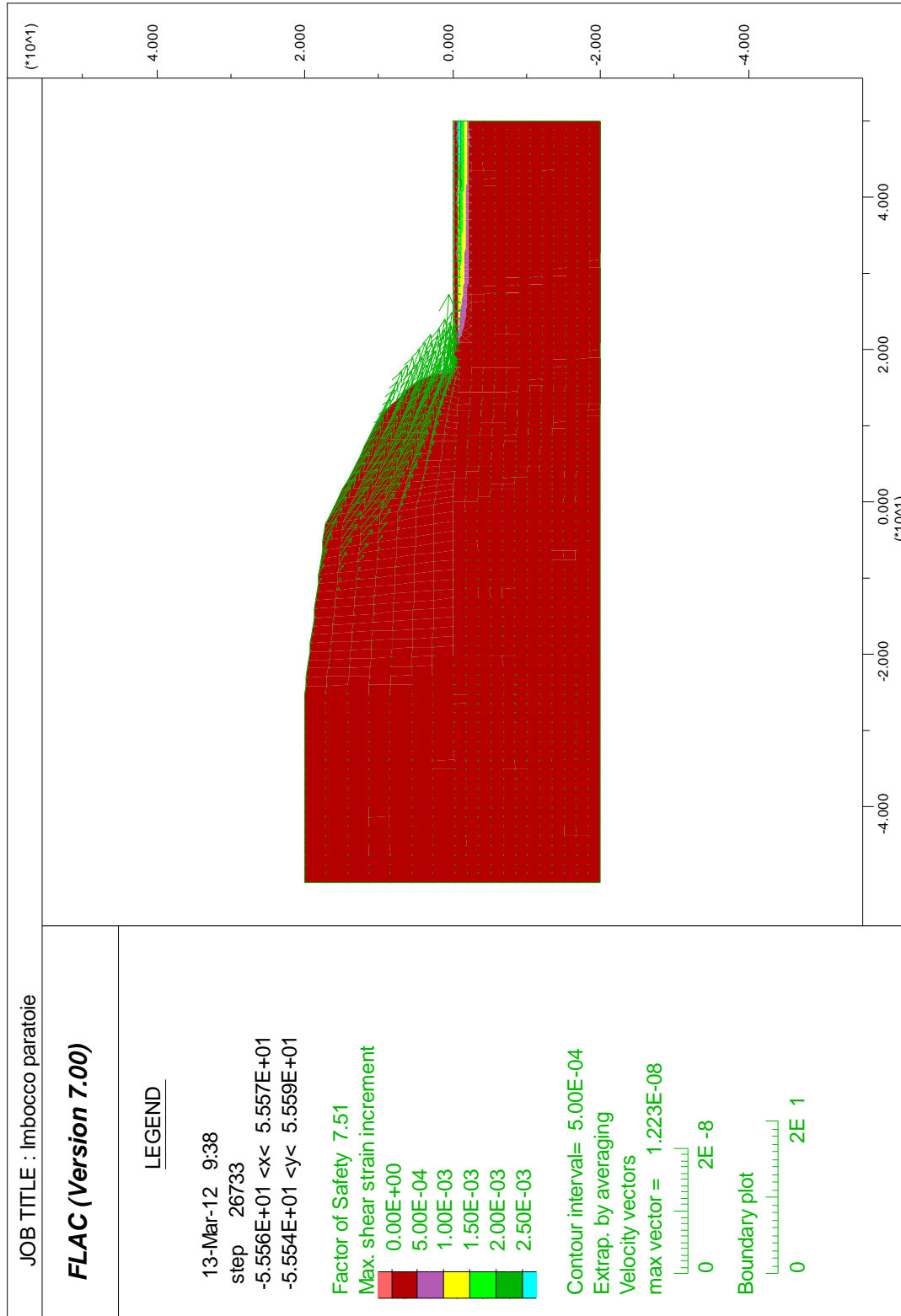


Figura 4-11 Atto di moto di collasso - FoS Paratoio

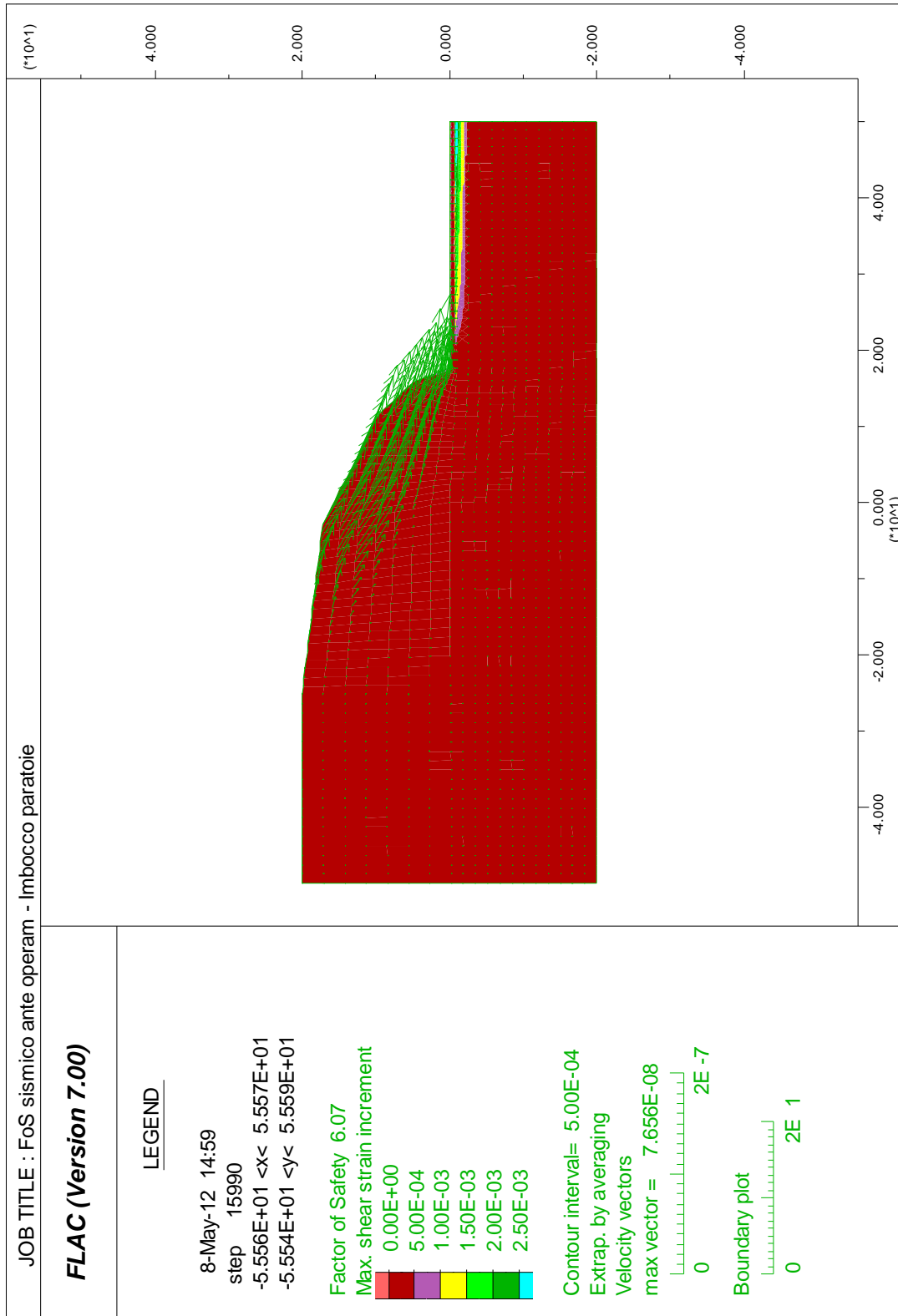


Figura 4-12 Atto di moto di collasso - FoS Sismico Paratoie

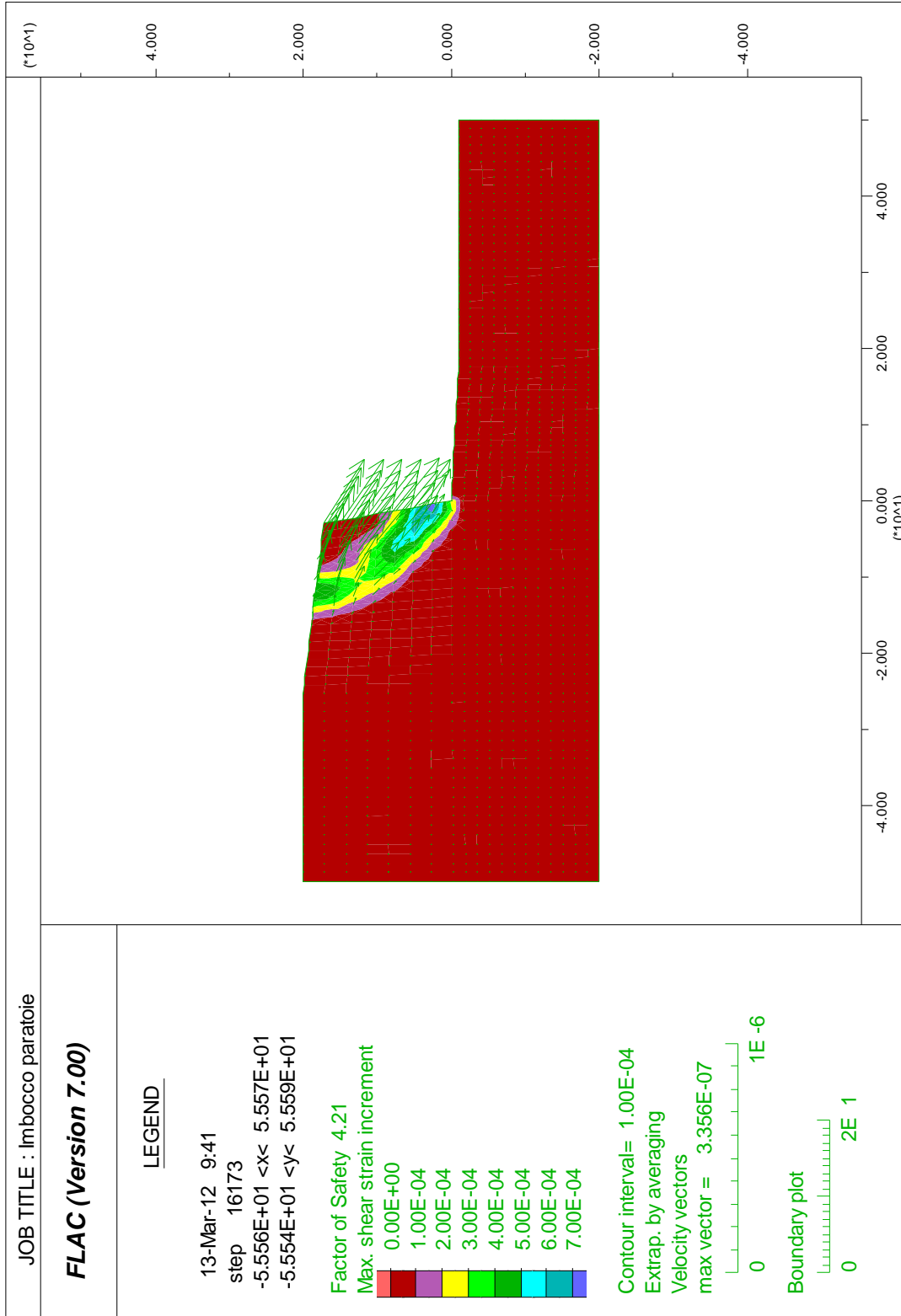


Figura 4-13 Atto di moto di collasso - FoS Paratoie - post scavo

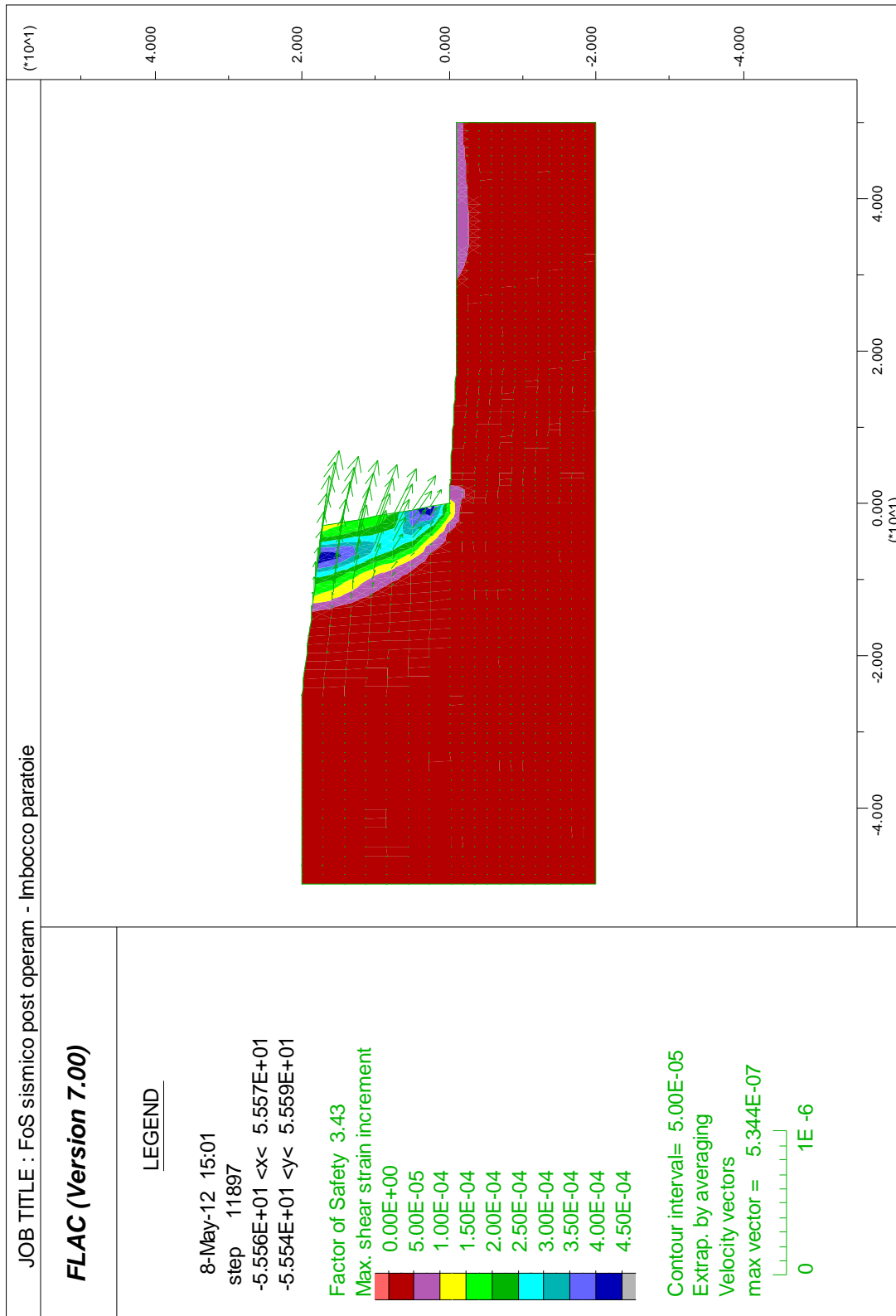


Figura 4-14 Atto di moto di collasso - FoS sismico Paratoioe - post scavo

4.4 Imbocco centrale

Il modello rappresenta una sezione in corrispondenza dell'asse dell'imbocco della galleria di accesso alla Centrale, ubicata nell'area della cava dismessa Ciarli..

Nelle immagini seguenti si riporta uno stralcio planimetrico e la geometria del modello per la situazione *ante operam* e la *post operam*.

Seguono i disegni degli atti di moto di collasso in condizioni *ante operam* e *post operam*, per condizioni statiche e sismiche.

Per questa sezione, le caratteristiche dell'ammasso roccioso, più scadenti che per le altre, fanno rilevare la necessità di chiodature del fronte di imbocco pere conseguire il coefficiente minimo richiesto.

I coefficienti di sicurezza calcolati risultano tutti superiori al requisito minimo di 1,38, come si evince dalla seguente tabella:

CONDIZIONI	C.S. STATICO	C.S. SISMICO
<i>ante operam</i>	5.4	3.8
<i>post operam</i>	1.8	1.5

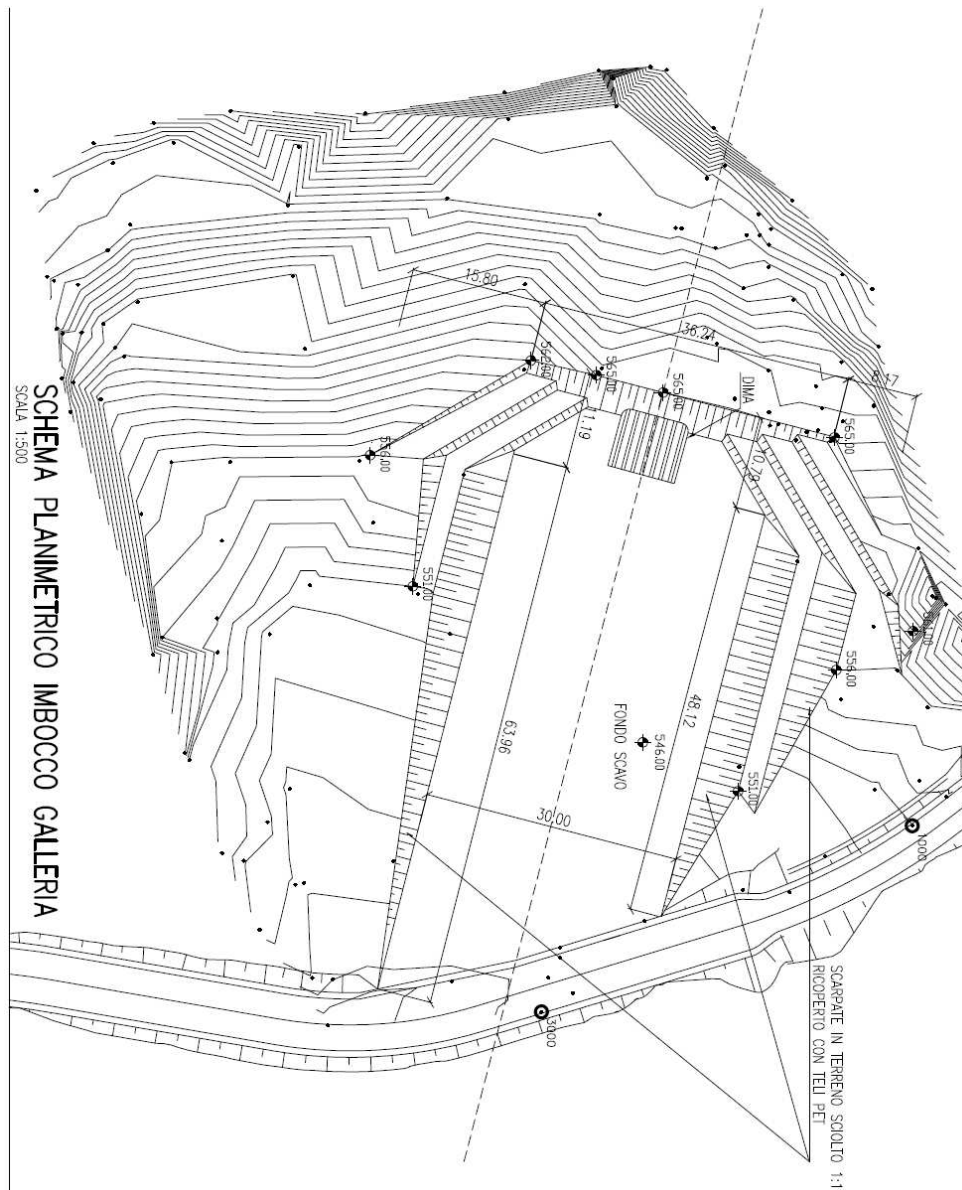


Figura 4-15 Planimetria imbocco Centrale

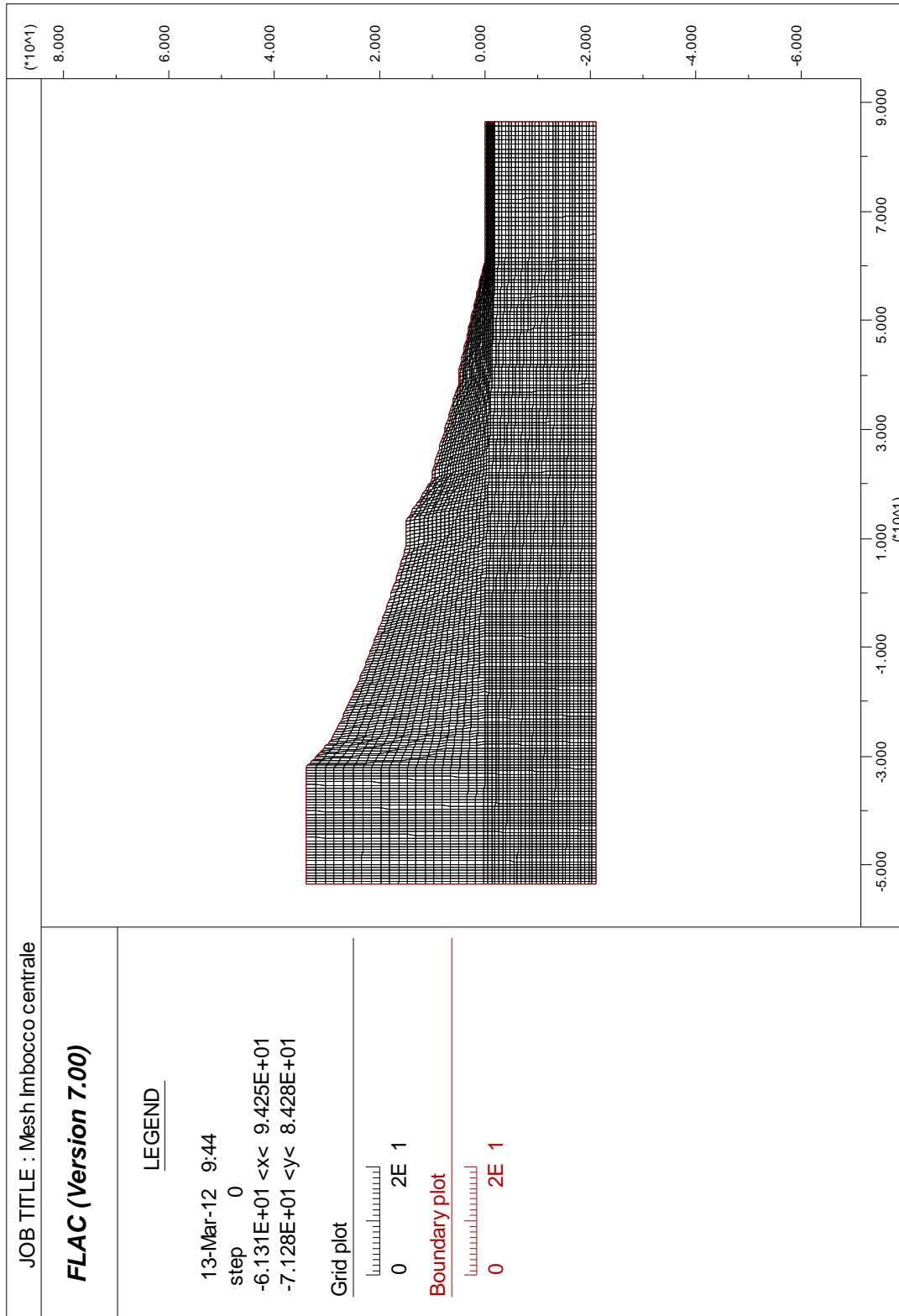


Figura 4-16 Mesh Centrale

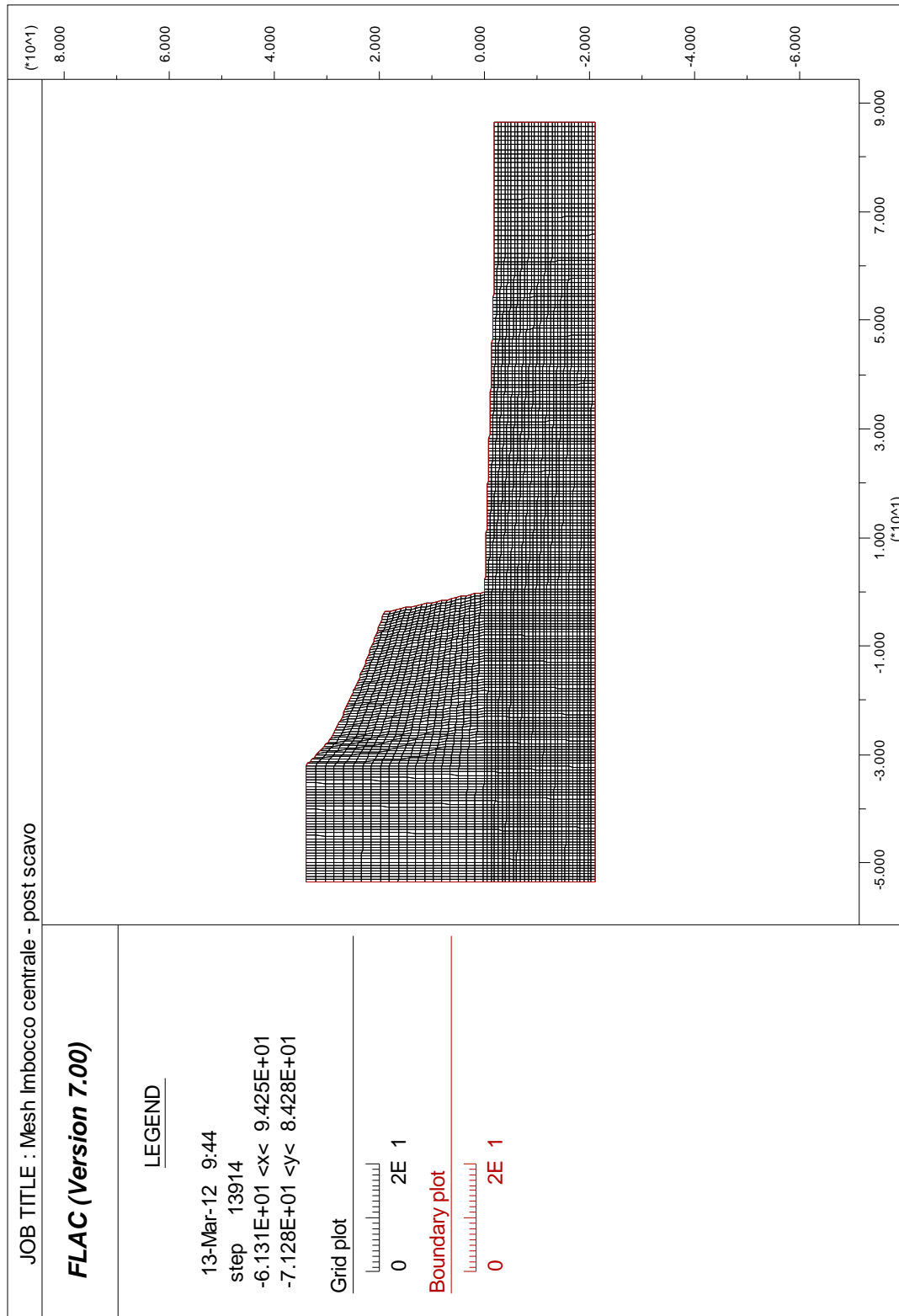


Figura 4-17 Mesh Centrale - post scavo

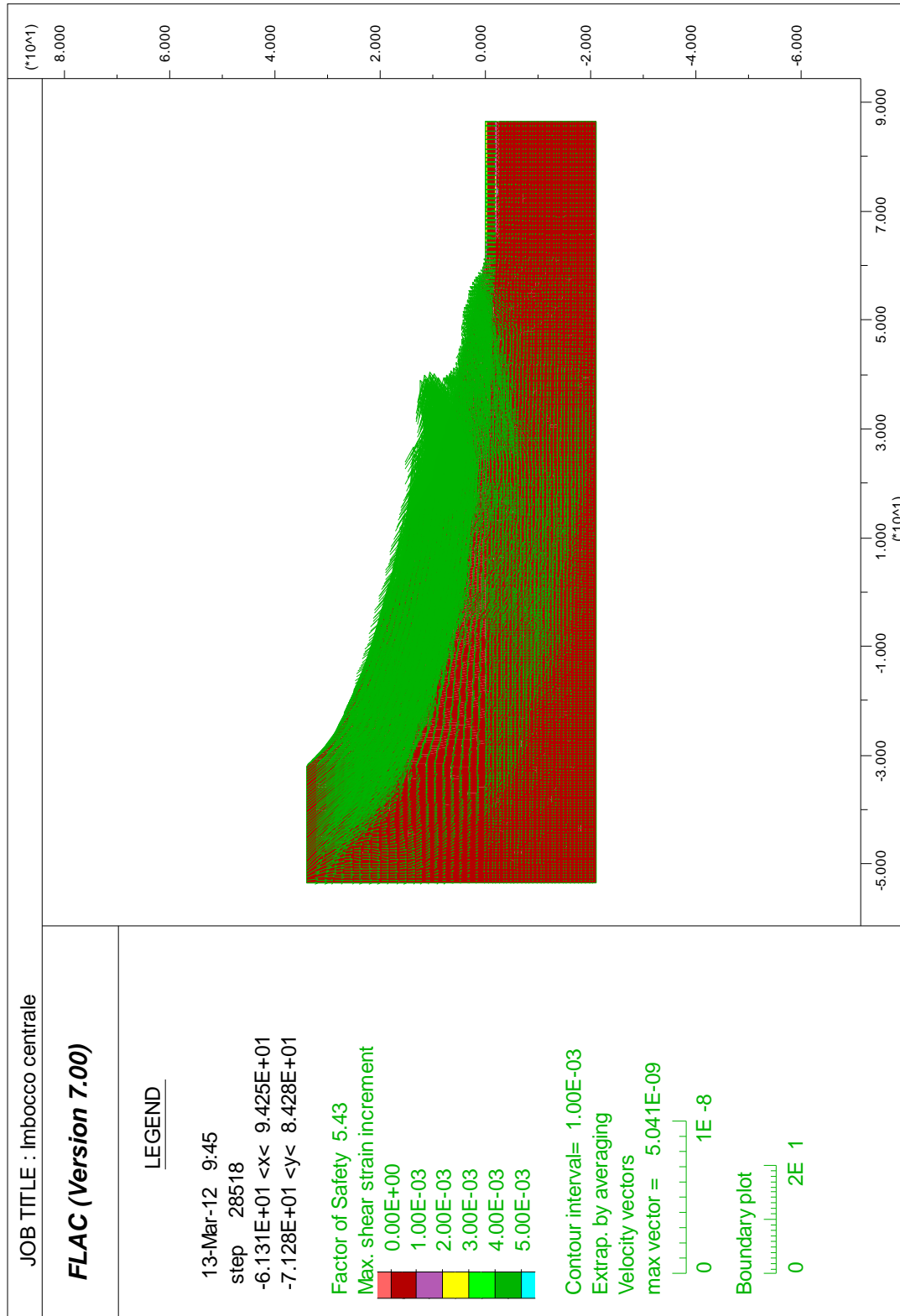


Figura 4-18 Atto di moto di collasso - FoS Centrale

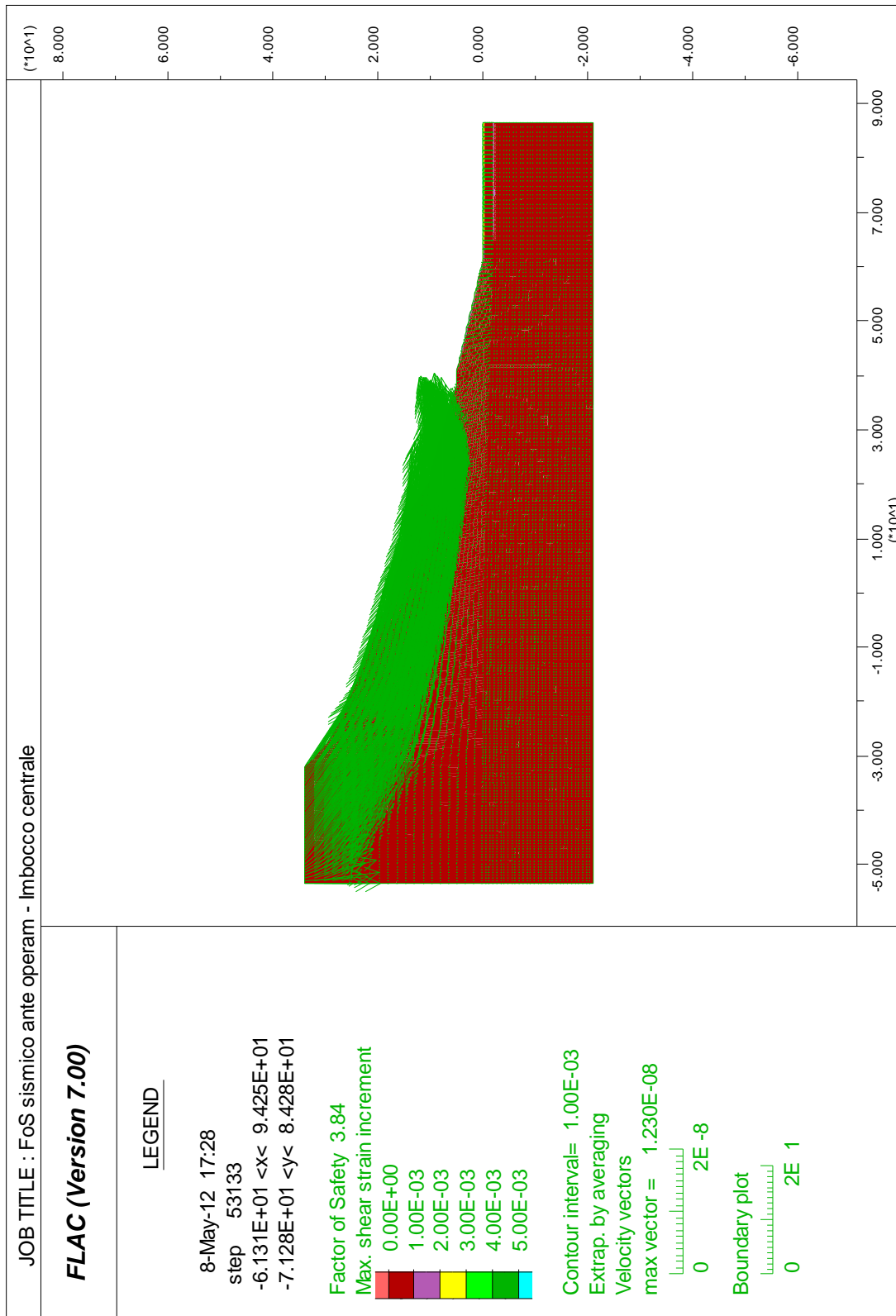


Figura 4-19 Figura 4 18 Atto di moto di collasso - FoS sismico Centrale

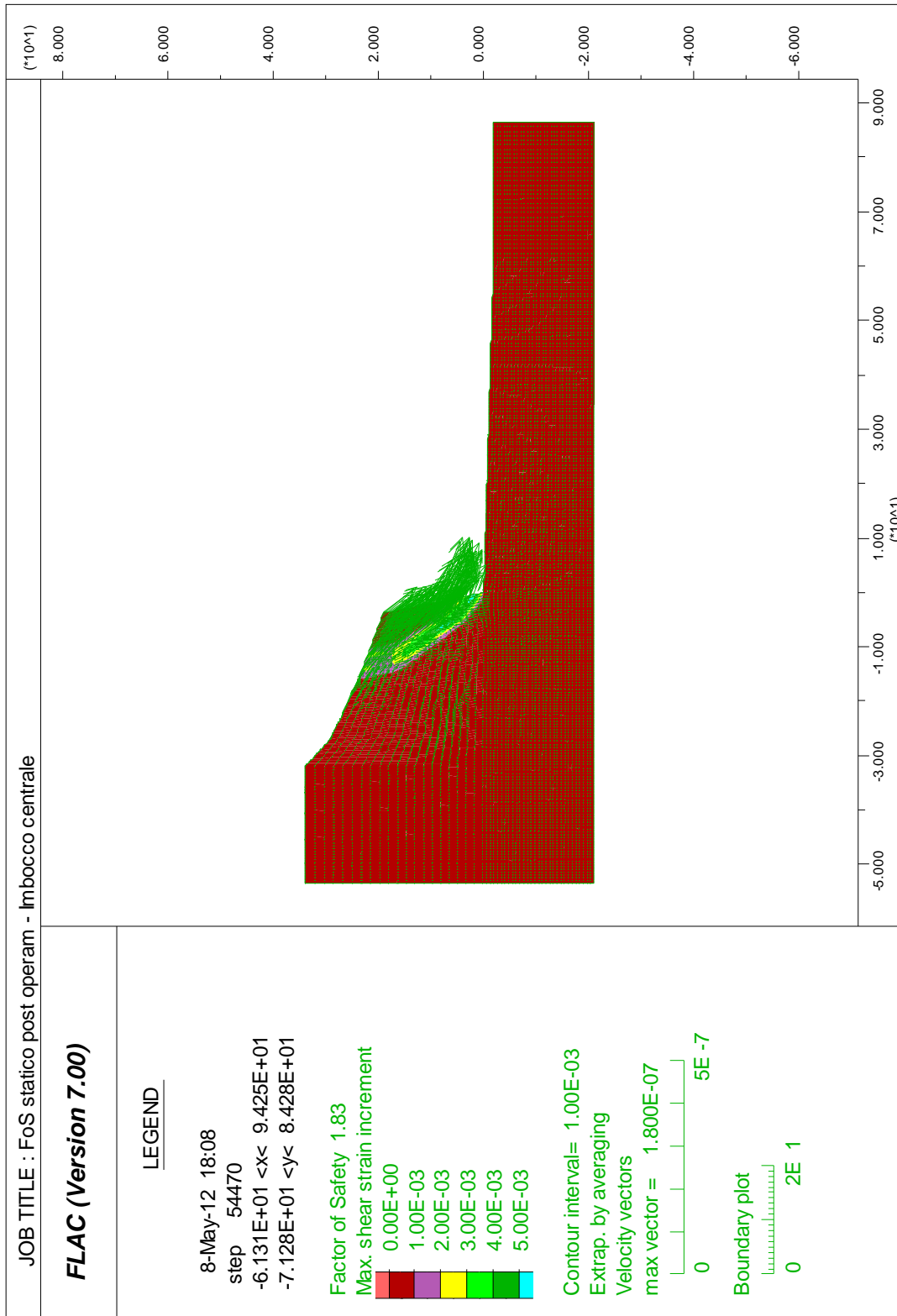


Figura 4-20 Atto di moto di collasso - FoS Centrale - post scavo

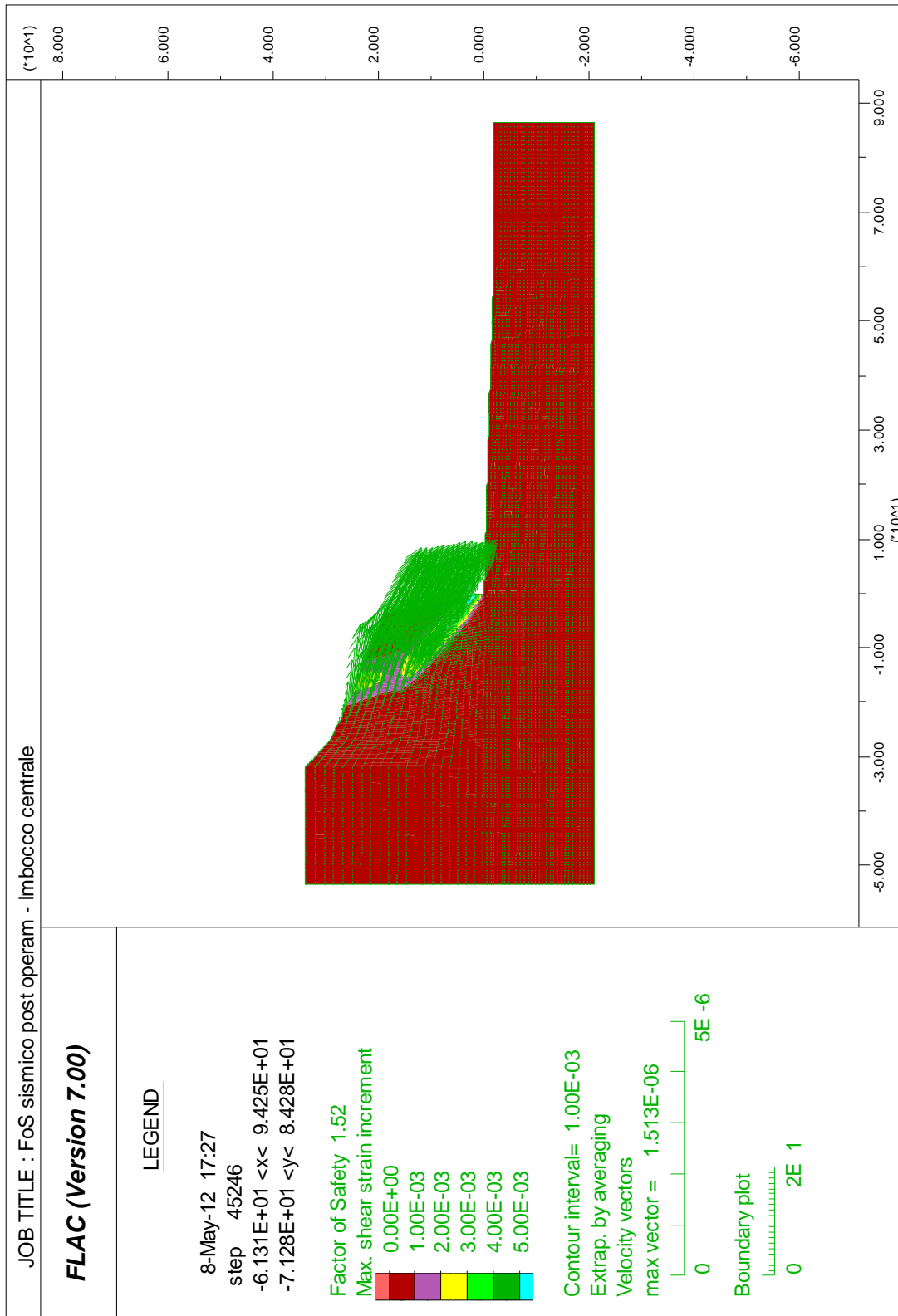


Figura 4-21 Atto di moto di collasso - FoS sismico Centrale - post scavo

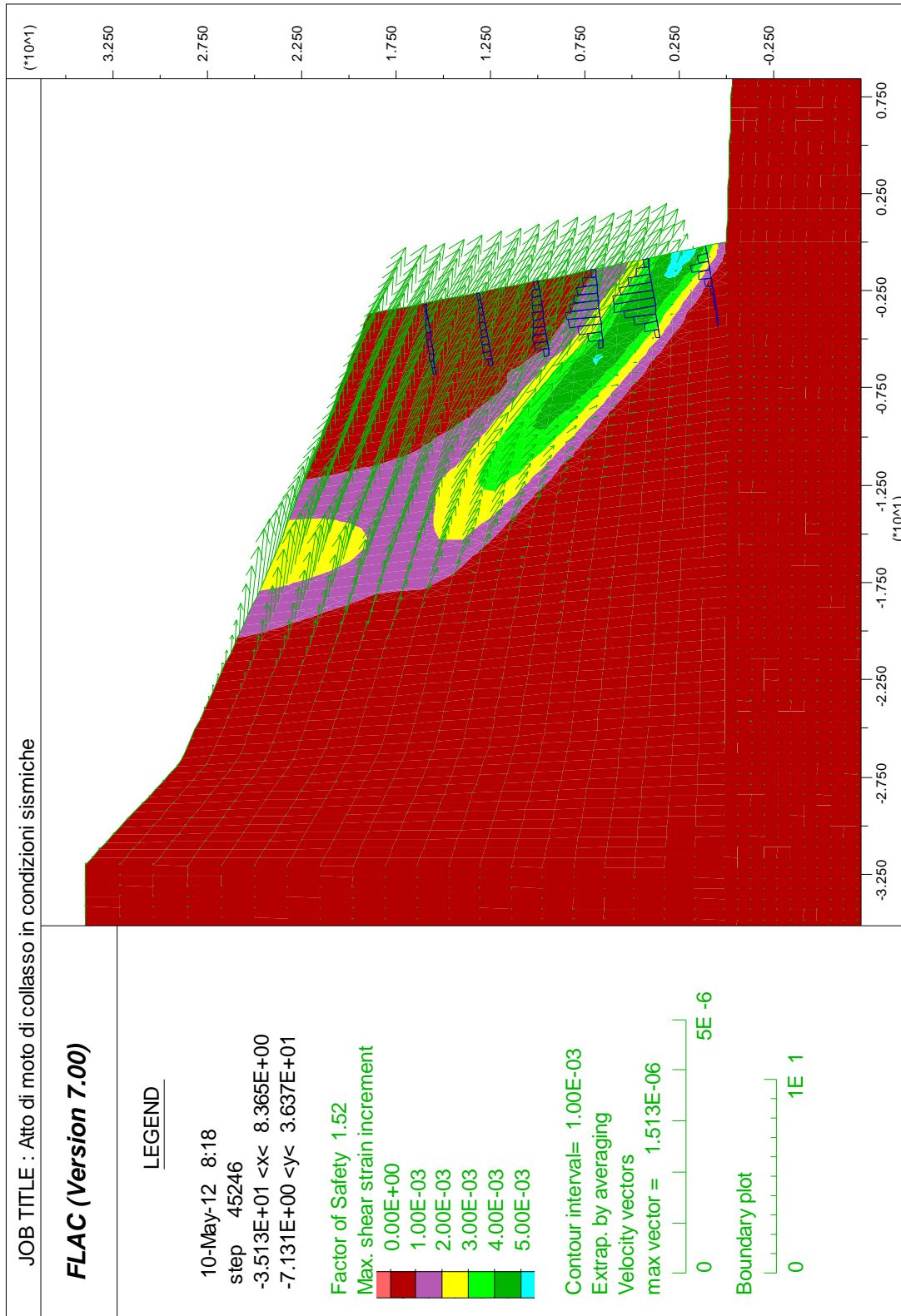


Figura 4-22 Atto di moto di collasso - FoS sismico Centrale - post scavo

4.5 Imbocco camera valvole

Il modello rappresenta una sezione in corrispondenza dell'asse dell'imbocco della galleria di accesso, ubicata al piede del Monte Forgioso. Anche in questo caso, l'approccio piano nelle deformazioni, che non consente di tener conto dell'effetto "nicchia", risulta cautelativo.

Nelle immagini seguenti si riporta uno stralcio planimetrico e la geometria del modello per la situazione *ante operam* e la *post operam*.

Seguono i disegni degli atti di moto di collasso in condizioni *ante operam* e *post operam*, per condizioni statiche e sismiche.

I coefficienti di sicurezza risultano tutti abbondantemente superiori al requisito minimo di 1,38, come si evince dalla seguente tabella:

CONDIZIONI	C.S. STATICO	C.S. SISMICO
<i>ante operam</i>	15,9	8,8
<i>post operam</i>	4,5	3,8

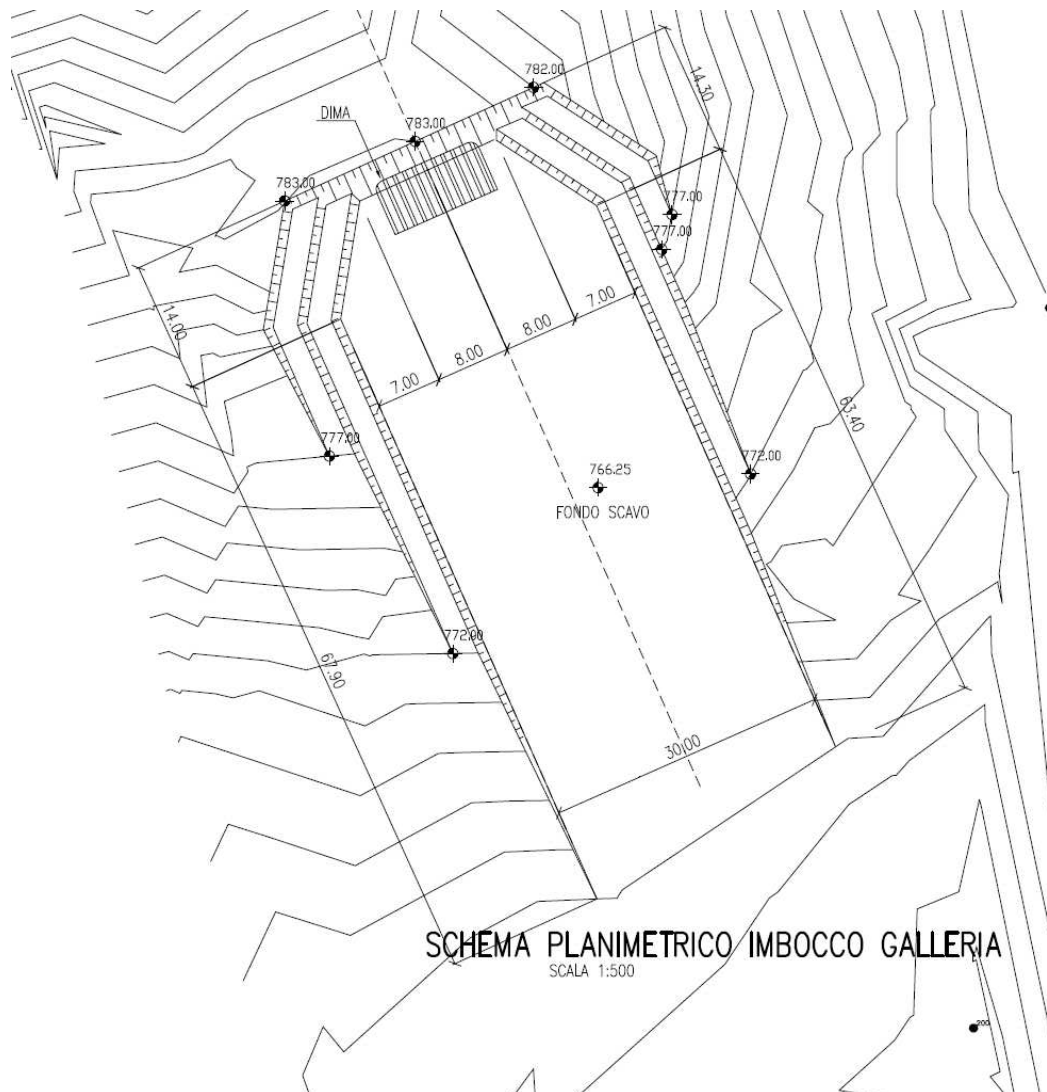


Figura 4-23 Planimetria ingresso camera valvole

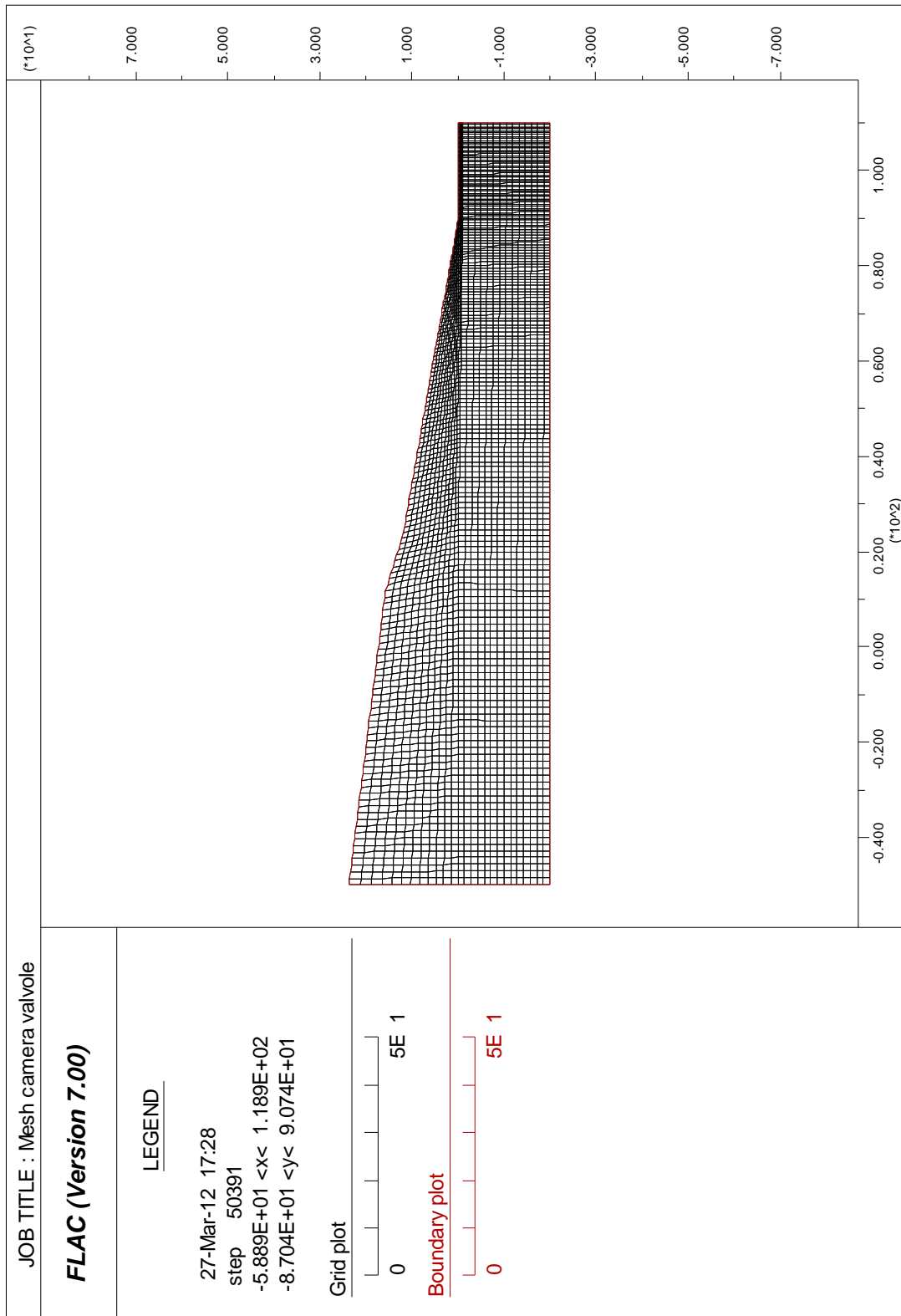


Figura 4-24 Mesh Imbocco camera valvole

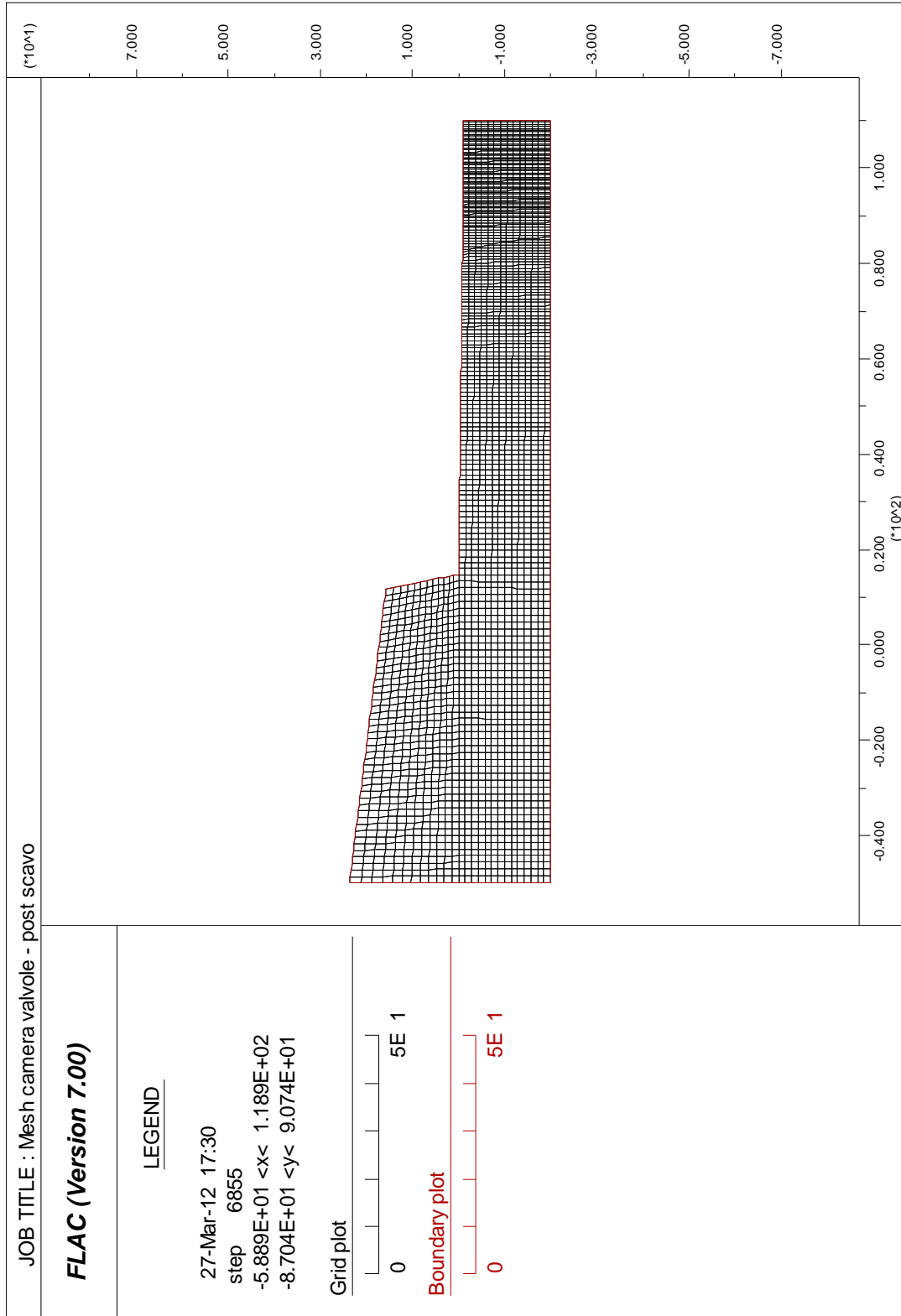


Figura 4-25 Mesh Imbocco camera valvole - post scavo

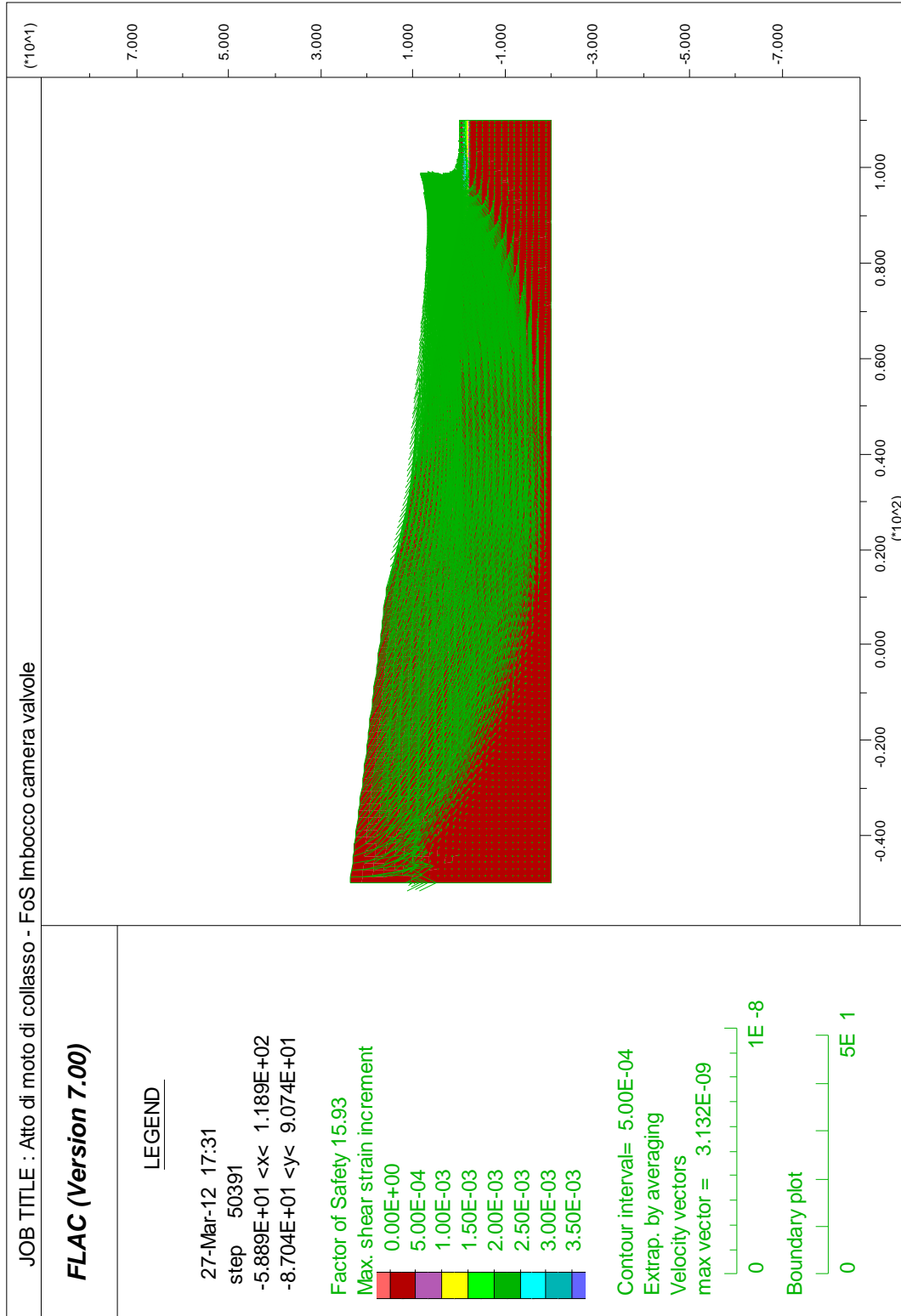


Figura 4-26 Atto di moto di collasso - FoS Imbocco camera valvole

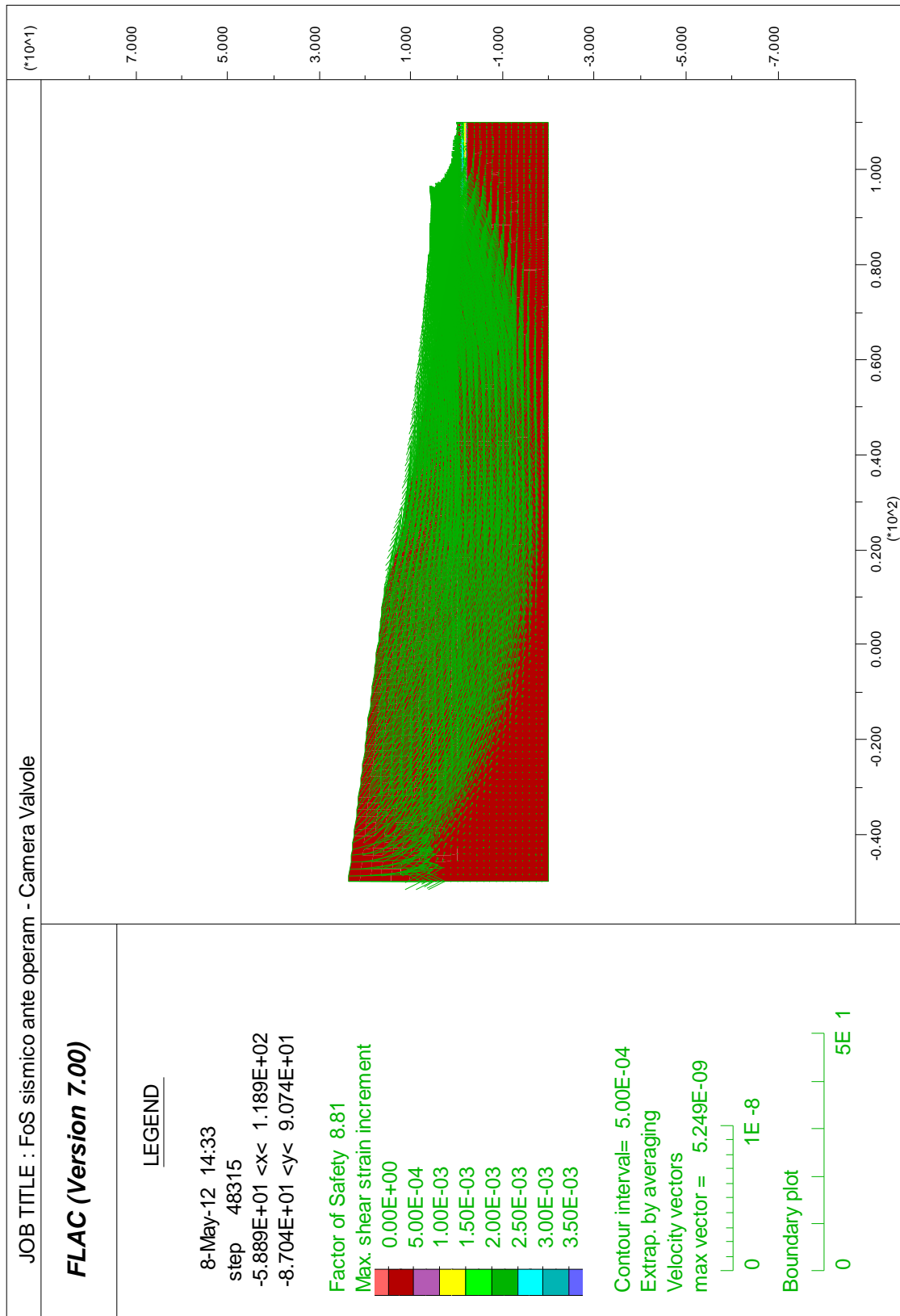


Figura 4-27 Atto di moto di collasso - FoS Sismico Imbocco camera valvole

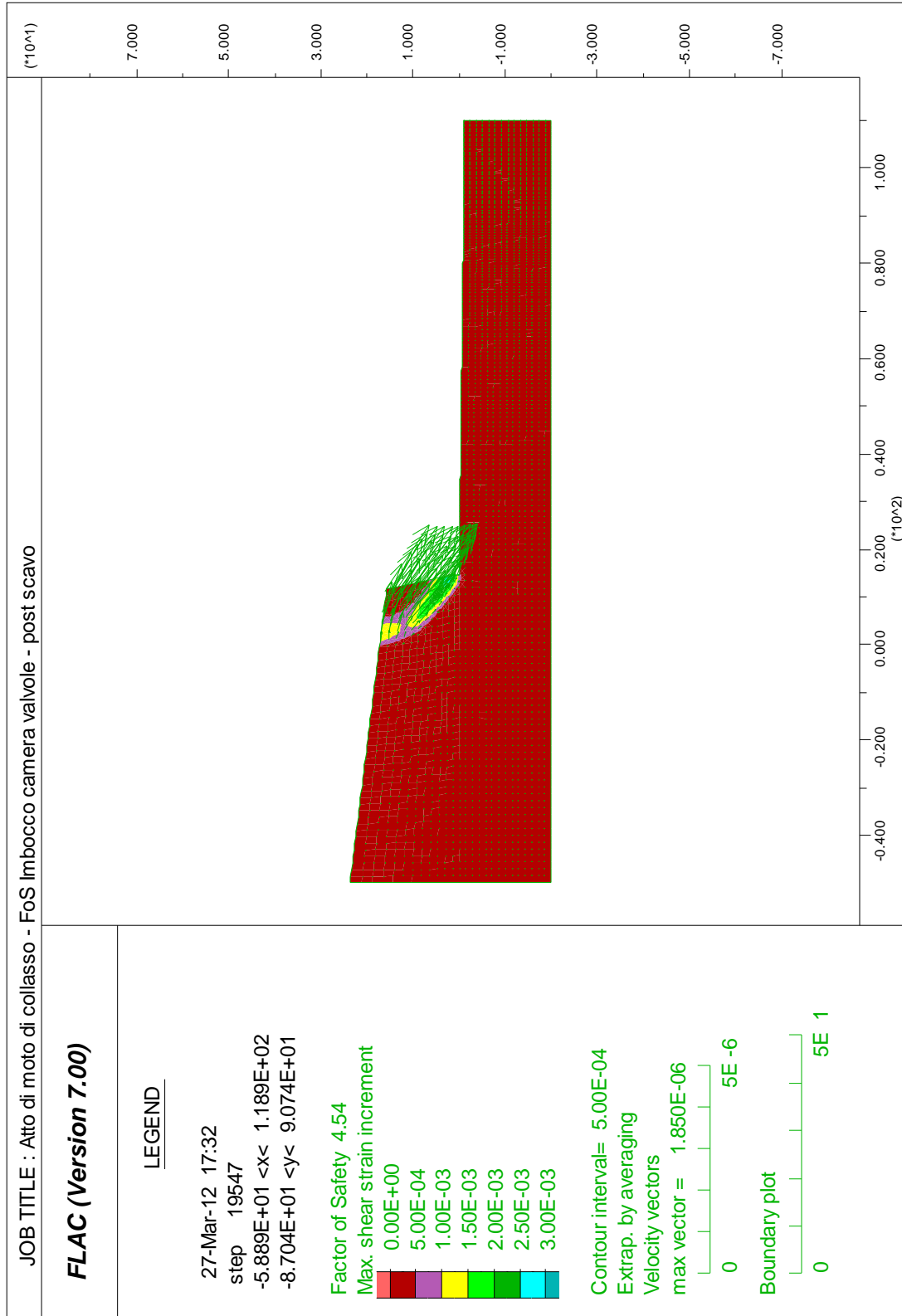


Figura 4-28 Atto di moto di collasso - FoS Imbocco camera valvole - post scavo

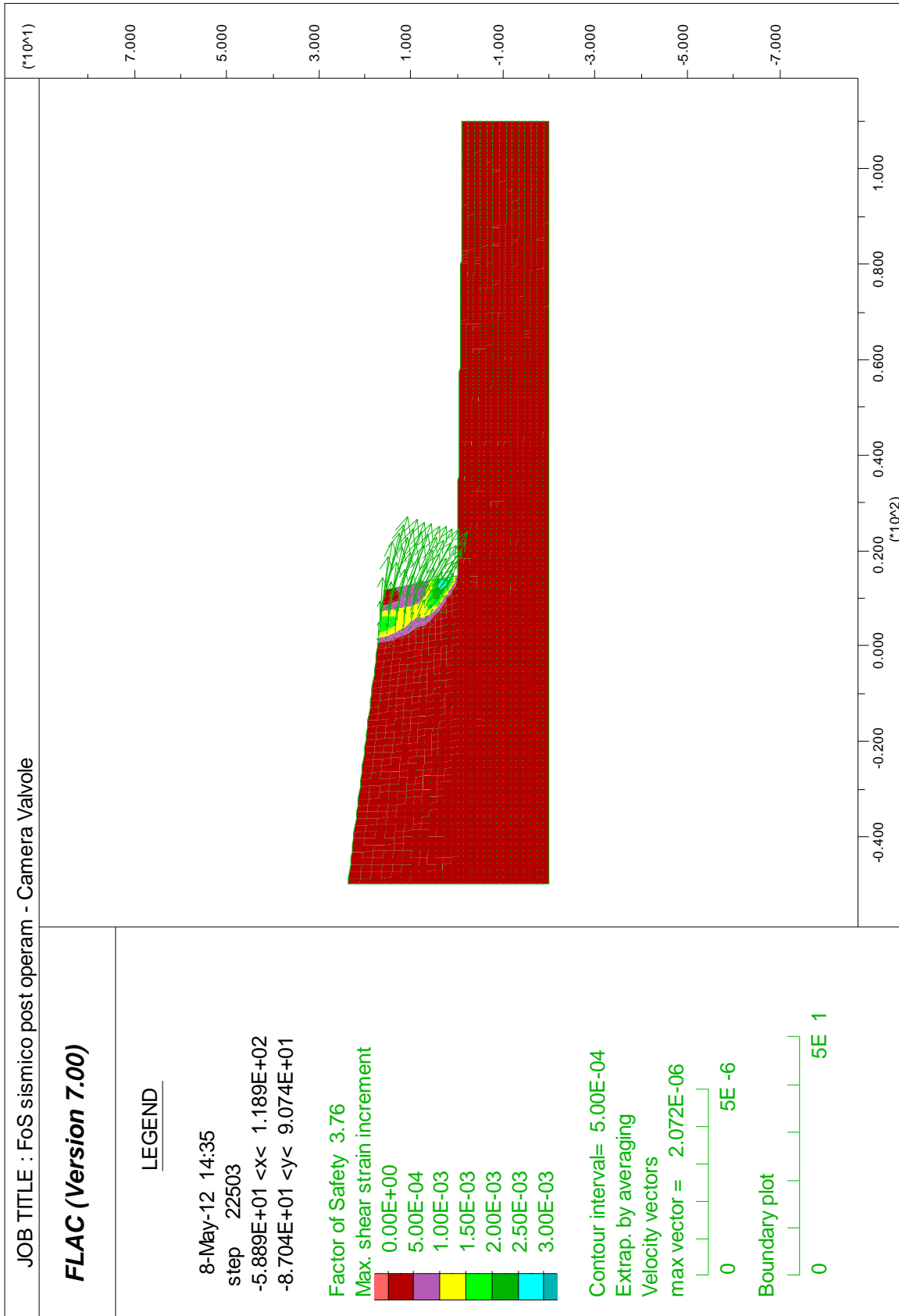


Figura 4-29 Atto di moto di collasso - FoS sismico Imbocco camera valvole - post scavo

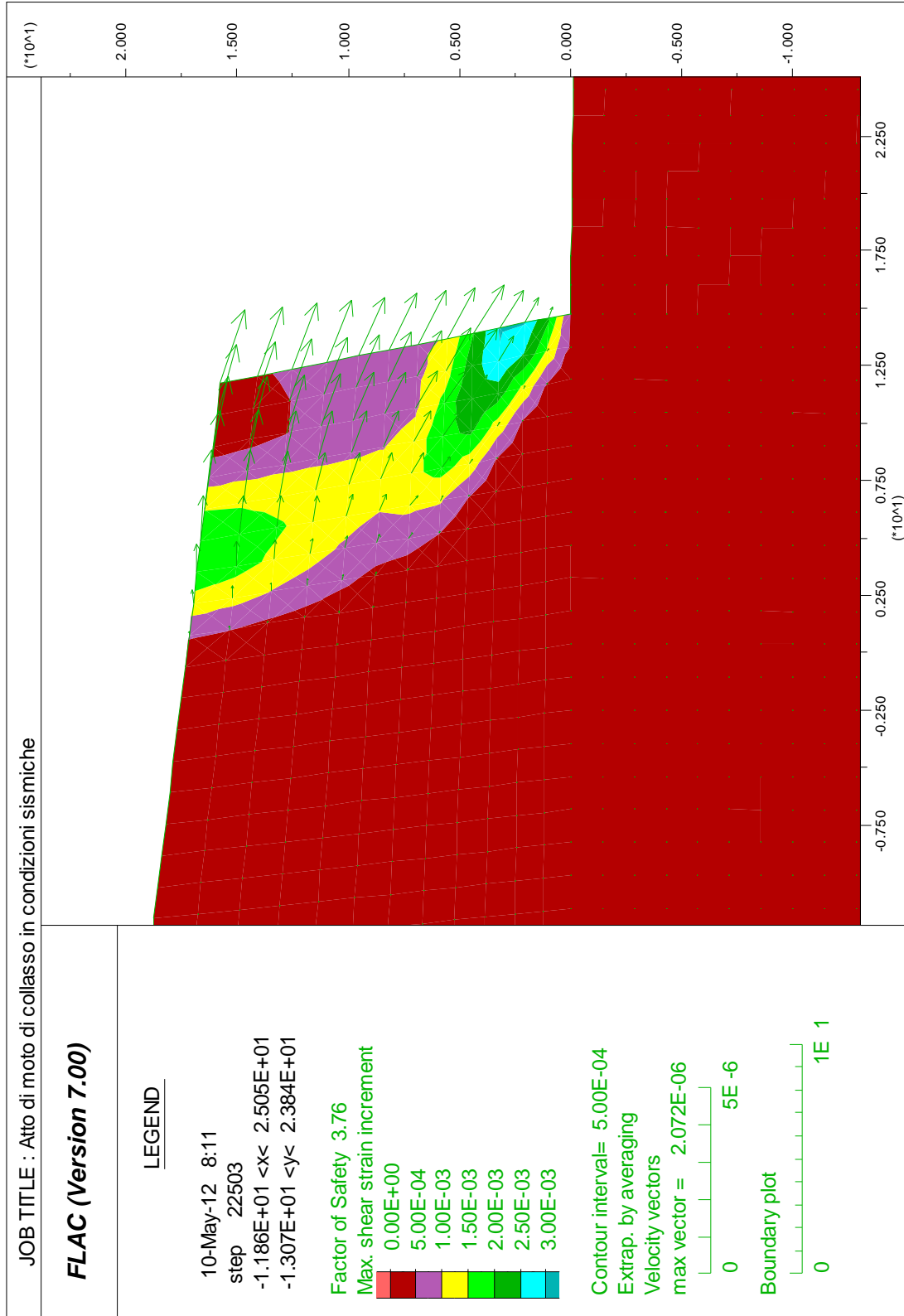


Figura 4-30 Atto di moto di collasso - FoS sismico Imbocco camera valvole - post scavo

4.6 Riepilogo dei Coefficienti di Sicurezza

C.S:	STATICO		SISMICO	
	<i>ante operam</i>	<i>post operam</i>	<i>ante operam</i>	<i>post operam</i>
Versante				
Monte Alto	9,5	4,1	6,9	3,4
Paratoie	7,5	4,2	6,1	3,4
Centrale	5,4	1,8	3,8	1,5
Valvole	15,9	4,5	8,8	3,7