



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



COMUNE DI GIUSTINO



COMUNE DI MASSIMENO

**STUDIO DI VERIFICA
DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE
A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO**

RELAZIONE DI SINTESI

Revisione	Data	Natura delle modifiche
-	03/04/2012	Emissione

Il Tecnico



Eugenio Castelli, Ph.D., Ingegnere e Geologo

Docente di Ingegneria e sicurezza degli scavi presso l'Università di Trieste

Ufficio di Trento: Via Dosso Dossi, 9 – 38121 Trento

Tel. 0461 420067 – Fax 0461 426908 – PEC: eugenio.castelli@ingpec.eu – Email: eugenio.castelli@corock.it

Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato, in tutto o in parte, senza il consenso scritto dell'Autore
Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge

INDICE

1. PREMESSA	1
2. ESAME DELLA SITUAZIONE PREGRESSA E DELLO STATO DI FATTO	2
2.1 DOCUMENTAZIONE CONSULTATA.....	2
2.2 SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA MINIERA	6
2.2.1 <i>Sistema di monitoraggio degli spostamenti interni</i>	6
2.2.2 <i>Sistema di monitoraggio degli spostamenti esterni</i>	19
2.2.3 <i>Considerazioni sulla risposta deformativa del versante Est</i>	26
2.2.4 <i>Osservazioni conclusive relative allo stato deformativo ed interpretazione del modello geomeccanico</i>	30
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO E GEOSTRUTTURALE	32
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	32
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	33
3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	33
3.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	36
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	37
4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO	37
4.1.1 <i>Analisi geostrutturale e caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità</i>	37
4.1.2 <i>Indici di qualità dell'ammasso roccioso RMR, Q e GSI</i>	38
4.1.3 <i>Caratterizzazione della roccia intatta</i>	39
4.1.4 <i>Caratteristiche di resistenza</i>	42
4.1.5 <i>Spazio oggetto di coltivazione sotterranea</i>	43
4.1.6 <i>Fascia di scivolamento</i>	43
4.1.7 <i>Zona di contatto (faglia)</i>	45
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEL MATERIALE GRANULARE	45
4.2.1 <i>Copertura morenica</i>	45
4.2.2 <i>Materiale di riempimento</i>	45
4.3 CARATTERIZZAZIONE DEL REGIME IDROGEOLOGICO.....	45
4.4 STATO TENSIONALE ORIGINARIO	46
4.5 MODELLAZIONE SISMICA	46
5. ANALISI TENSIO-DEFORMATIVE	48
6. VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI SICUREZZA	51
6.1 VERSANTE EST	51
6.1.1 <i>Situazione attuale del versante Est</i>	51
6.1.2 <i>Possibili interventi sul versante Est</i>	52
6.2 IMPLUVIO POSTO TRA IL CIGLIO DI CAVA ED IL RIO FLANGINECK.....	53
6.2.1 <i>Situazione attuale dell'impluvio</i>	53
6.2.2 <i>Possibili interventi sull'impluvio</i>	56
6.3 COSTI E TEMPI INDICATIVI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI	56
6.3.1 <i>Interventi sul versante Est</i>	56
6.3.2 <i>Interventi di mitigazione del rischio sul Rio Flangineck</i>	57
7. CONCLUSIONI	58

ALLEGATI

NUM. ELAB.	DESCRIZIONE	SCALA
ALLEGATO A	INDAGINI PRECEDENTI	-
1	PLANIMETRIA CON SEZIONI RIPRESE DAGLI STUDI PRECEDENTI	1:2.000
2	SEZIONE A (Sezione A – Relazione INGEON-GEODES – Giugno 2011)	1:2.000
3	SEZIONE B (Sezione B – Relazione INGEON-GEODES – Giugno 2011)	1:2.000
4	SEZIONE C (Sezione C – Relazione INGEON-GEODES – Giugno 2011)	1:2.000
5	SEZIONE D (Parte alta Sezione 1 – Relazione GEODES 249/1999)	1:2.000
6	SEZIONE E (Sezione 2 – Relazione GEODES 249/1999)	1:2.000
7	SEZIONE F (Sezione 3 GEODES 249/1999 – Verifiche di stabilità GEODES 530/2003 – Verifiche INGEON-GEODES 2011)	1:2.000
8	SEZIONE I (Sezione 1 – Relazione GEODES 104/1993a/02 del 1990)	1:2.000
ALLEGATO B	Situazione attuale su ortofoto anni 1973 ÷ 2008	-
1	CONFRONTO ORTOFOTO	1:2.500
2	CONFRONTO ORTOFOTO	1:2.500
ALLEGATO C	Ricostruzione geologica – geostrutturale – coltivazioni sotterranee su stato attuale	-
1	GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO (Estratta dalla relazione GEODES 625/2004)	1:1.000
2	CARTA GEOLOGICO GEOMORFOLOGICA	1:2.000
3	SEZIONE 1	1:2.000
4	SEZIONE 2	1:2.000
5	SEZIONE 3	1:2.000
6	SEZIONE 4	1:2.000
7	SEZIONE 5	1:2.000
8	SEZIONE 6	1:2.000
9	SEZIONE 7	1:2.000
10	SEZIONE 7 DATI INCLINOMETRICI	1:1.000
11	MORFOLOGIA DELLA ZONA DI STUDIO	-
12	CARTA DELLE PENDENZE	-
13	MODELLO TRIDIMENSIONALE	-
14	MODELLO TRIDIMENSIONALE	-
15	MODELLO TRIDIMENSIONALE	-
16	RISULTATI MONITORAGGIO 2009-2012	1:2.000
17	RISULTATI MONITORAGGIO DAL 06-2011	1:2.000
ALLEGATO D	Ricostruzione 3D delle gallerie minerarie da Piani di coltivazione anni 1963 ÷ 1965	-
1	MODELLAZIONE 3D GALLERIE MINERARIE VISTA DA SSE	-
2	MODELLAZIONE 3D GALLERIE MINERARIE VISTA DA SSW	-
3	MODELLAZIONE 3D GALLERIE MINERARIE VISTA DA NNW	-
ALLEGATO E	Modellazione FEM del versante Est della ex Cava Massimeno	-
1	SEZIONE 7 MODELLO GEOLOGICO	1:2.000
2	SEZIONE 7 UBICAZIONE SUPERFICI DI SCIVOLAMENTO	1:1.000
3	SEZIONE 7 STAGES UTILIZZATI NELLE VERIFICHE CON PHASE2	-
4	SEZIONE 7 STAGES UTILIZZATI NELLE VERIFICHE CON PHASE2	-
FIGURE E. 1 ÷ 18	ANALISI FEM	-
ALLEGATO F	Verifica della stabilità del versante Est della ex Cava Massimeno: stato attuale e con interventi di mitigazione del rischio	-
1	INTERVENTI Riempimento sino a quota 865 con pendenza di 20° e fianco sud a 30°	1:2.000

RELAZIONE DI SINTESI

2	INTERVENTI Riempimento sino a quota 865 con pendenza di 20°	1:2.000
3	INTERVENTI Riempimento sino a quota 885-865 con pendenza di 20°	1:2.000
4	INTERVENTI Sbancamento con inclinazione del fronte di 30°	1:2.000
5	INTERVENTI Sbancamento fino quota 980 m	1:2.000
6	SEZIONE 1	1:2.000
7	SEZIONE 2	1:2.000
8	SEZIONE 3	1:2.000
9	SEZIONE 4	1:2.000
10	SEZIONE 5	1:2.000
11	SEZIONE 6	1:2.000
12	SEZIONE 7	1:2.000
FIGURE F. 1 ÷ 31	VERIFICHE DI STABILITA'	-
ALLEGATO G	Verifica della stabilità del canale posto a Nord del versante Est della ex Cava Massimeno ed incombente sul Rio Flangineck: stato attuale e con interventi di mitigazione del rischio	-
1	INTERVENTI LATO RIO FLANGINECK	1:2.000
2	INTERVENTI LATO RIO FLANGINECK	1:1.000
3	SEZIONE A	1:1.000
FIGURE G. 1 ÷ 7	VERIFICHE DI STABILITA'	

1. PREMESSA

La presente Relazione di sintesi è stata redatta per conto del Servizio Prevenzione Rischi della Provincia Autonoma di Trento, che nel febbraio 2012 ha affidato un incarico di consulenza allo scrivente Eugenio Castelli, docente di Ingegneria e sicurezza degli scavi presso l'Università degli Studi di Trieste, finalizzato allo "Studio per la verifica della stabilità del versante a monte della ex cava Maffei a Giustino", più specificatamente del versante orientale della Cava Massimeno sita nei Comuni di Giustino e Massimeno.

Lo studio è stato svolto tenendo conto delle informazioni geologiche e della caratterizzazione geotecnica riportate nella documentazione tecnica ad oggi depositata presso gli Uffici della P.A.T. e utilizza le informazioni topografiche desumibili dai rilievi LiDAR presso gli stessi disponibili.

Il programma seguito per lo studio è stato il seguente:

1. Esame della situazione pregressa e dello stato di fatto con inquadramento geologico, geomorfologico e geomeccanico dell'area di studio.
2. Elaborazioni topografiche, su dati LiDAR, finalizzate alla definizione del DTM, ed estrazione di sezioni topografiche / geomeccaniche significative nell'area di studio.
3. Analisi di stabilità eseguite con il Metodo dell'Equilibrio Limite; per il calcolo è stato utilizzato il codice di calcolo SLIDE (ver.6.016 di Rocscience, 2012).
4. Analisi tensio-deformative eseguite con il Metodo agli Elementi Finiti 2D; per il calcolo è stato utilizzato il codice di calcolo PHASE2 (ver.8.009 di Rocscience, 2012) assumendo le seguenti ipotesi: deformazione piana in campo bidimensionale e materiali costituenti il pendio continui, omogenei ed isotropi aventi comportamento elasto-plastico ideale.
5. Valutazione del livello di sicurezza attuale.
6. Valutazione dei possibili miglioramenti della sicurezza ottenibili con la rimodellazione del versante o l'applicazione di sistemi locali di rinforzo, su schemi da individuare di concerto con i Servizi PAT;
7. Redazione della relazione tecnica di sintesi corredata da figure e tavole utili ad evidenziare i risultati ottenuti dalle analisi effettuate.

2. ESAME DELLA SITUAZIONE PREGRESSA E DELLO STATO DI FATTO

2.1 DOCUMENTAZIONE CONSULTATA

L'esame della situazione pregressa si basa sulla documentazione tecnica depositata presso il Servizio Minerario della P.A.T. (Tabella 1, Tabella 2 e Tabella 3).

Tabella 1 Elenco delle Relazioni di GEOANALYSIS S.r.l.

Giugno 1990	R.L. 104/1993a/02	Studio geotecnico-geomeccanico delle condizioni di stabilità del fronte della miniera Giustino della Maffei S.p.A. - Rapporto conclusivo (Volume 1)
Dicembre 1990	R.L. 104/2198/02	Studio geotecnico-geomeccanico delle condizioni di stabilità del fronte della miniera Giustino della Maffei S.p.A. - Rapporto finale

Tabella 2 Relazioni di GEODES S.r.l.

Marzo 1999	RL. 0249	Variazione del progetto di coltivazione del fronte orientale. Volume primo. Relazione – Tabelle – Figure Volume secondo. Appendici – Tavole
Luglio 2000	RL. 0330	Variazione del progetto di coltivazione del fronte orientale. Seconda campagna di indagine sismica. Relazione di commento
Aprile 2003	RL. 0530	Rinnovo della concessione mineraria. Progetto di coltivazione. Relazione geologico-geotecnica
Ottobre 2004	RL.0625	Rinnovo della concessione mineraria. Piano di chiusura del sito minerario. Relazione geologico-geotecnica

Una serie di "Note tecniche di aggiornamento delle misure del sistema di monitoraggio" aventi cadenza mensile dal 01/10/2007 al 12/01/2012 di GEODES S.r.l., disponibili in formato digitale.

I "Piani di coltivazione mineraria" annuali al 31 marzo 1963 ed al 31 marzo 1965, presentati dalla Maffei S.p.A. al Servizio Minerario.

Il "Progetto di riprofilatura della parte sommitale del versante est della Cava Massimeno" redatto nel giugno 2011 dalla INGEON S.a.s. e dalla GEODES S.r.l. per conto della Ditta Cunaccia Bruno S.r.l. (RL.1118, 2011).

La base topografica, fornita dal Servizio Geologico della PAT, risulta aggiornata al 2011 per la parte interna alla cava e per i punti di monitoraggio posti lungo il versante in studio; esso è stato collegato al rilievo LiDAR - ALS disponibile, al fine di collocare l'area di studio nell'effettivo contesto morfologico su area vasta.

Tabella 3 Rapporti inerenti le misure nella Galleria ENEL e sul versante est

Aprile 1997	RL. 0084	Controllo dello stato deformativo del fronte Est durante la coltivazione Nuovo piano di monitoraggio. Prima fase. Rapporto di installazione
Marzo 2005	RL. 0695	Commento ai dati di misure
Settembre 2005	RL. 0715	Intervento del 5-8/09/2005 e aggiornamento delle misure al 14/09/2005
Dicembre 2005	RL. 0729	Analisi delle misure strumentali e dei risultati interferometrici. Interferometria Terrestre SARS. Misura dello zero: aprile 2005 + 2 serie di misure: luglio 2005 + ottobre 2005.
Luglio 2006	RL. 0755	Analisi delle misure strumentali e dei risultati interferometrici (misure interferometriche: maggio 2006). Rapporto semestrale
Gennaio 2007	RL.0792	Analisi delle misure strumentali e dei risultati interferometrici (misure interferometriche: novembre 2006) Rapporto semestrale (01/07/2006 → 08/01/2007)
Luglio 2007	RL. 0834	Esame dello stato di consistenza della galleria ENEL con proposte per la messa in sicurezza con centinatura
Luglio 2007	RL. 0843	Analisi delle misure strumentali – Rapporto semestrale
Febbraio 2008	RL. 0877	Analisi delle misure strumentali – Rapporto semestrale
Luglio 2008	RL. 0906	Analisi delle misure strumentali – Rapporto semestrale
Aprile 2009	RL. 0968	Analisi delle misure strumentali – Rapporto semestrale
Giugno 2009	LiSALab	Report finale Rilievo con tecnologia GBInSARLiSA per il controllo della stabilità della parete Est della cava di Giustino (periodo 27 Maggio - 10 giugno 2009)
Novembre 2009	RL.1021	Rapporto sugli interventi di manutenzione di luglio – novembre 2009
Aprile 2010	RL.1036	Misure interferometriche – Analisi delle misure strumentali. Rapporto di sintesi
Aprile 2010	RL. 1046	Rapporto sull'intervento di manutenzione del 30/03/2010 ed aggiornamento delle misure al 06/04/2010
Gennaio 2011	RL. 1107	Analisi delle misure strumentali – Rapporto di sintesi
Agosto 2011	RL. 1122	Analisi delle misure strumentali – Rapporto di sintesi
Gennaio 2012	RL. 1145	Analisi delle misure strumentali – Rapporto di sintesi

La Tabella 4 riporta la cronologia delle problematiche avvenute tra gli anni 1980 e 2011 ripresa dalla documentazione sopra elencata.

La Figura 1 sintetizza la produzione annuale ed i principali eventi manifestatisi.

La Tabella 5 riporta la cronologia di installazione del sistema di monitoraggio del versante Est.

La Tabella 6 riporta il sistema di monitoraggio degli spostamenti all'interno del versante al gennaio 2012.

Tabella 4 Cronologia degli eventi che hanno interessato il versante Est

1983	Vengono scoperte una serie di gravi lesioni nel rivestimento della galleria idraulica dell'impianto Val Genova-Nembia, gestito dall'ENEL, in corrispondenza delle progressive 7500 ÷ 7650 m, poco a valle della finestra Giustino, nella zona del versante interessata dagli scavi minerari nella Cava Massimeno della Maffei S.p.A.
1985	A seguito della scoperta di nuove lesioni (novembre 1984), viene eseguito un nuovo intervento di consolidamento in galleria e viene installato un sistema di monitoraggio automatico con estensimetri a punti multipli, celle di pressione, misuratori di livello d'acqua e termistori. Viene affidato al Prof. G. Barla l'incarico di consulenza in merito alla stabilità ed alla messa in sicurezza del versante oggetto della coltivazione ed all'interno del quale corre la galleria ENEL.
1986	Viene eseguita una perforazione verticale a giorno sul fronte Est per l'installazione di un tubo inclinometrico. La sospensione delle attività estrattive sul fronte Est avviene nel luglio 1986.
1989	Viene iniziato l'intervento di ripristino ambientale della coltre morenica, nella zona sovrastante il fronte Est della coltivazione. I lavori verranno completati nel 1993. La Maffei S.p.A. presenta il nuovo piano di coltivazione, che viene esaminato sotto il profilo della stabilità dei fronti di scavo dal Prof. G. Barla nella RL. 104/1993a/02.
1993	Riprendono i lavori di abbassamento del piano di fondo scavo dalla quota 821 m a scendere, procedendo da Ovest verso Est e da Sud verso Nord. Il fondo scavo a quota 770 m è stato raggiunto nel marzo 2000
1997	Nei mesi di giugno e luglio 1997 un evento franoso ha interessato in più riprese il ciglio superiore (copertura morenica) del fronte Sud della miniera, dove l'estrazione era terminata già da tempo. I lavori sono stati subito iniziati per la risistemazione della parte bassa del versante, mentre la risistemazione della porzione alta (riprofilatura e regimazione delle acque) sono stati completati nel 2000.
1998	È ripresa la riprofilatura del fronte Est secondo una pendenza media di 49° tra le quote 930 e 887 m. Durante questi lavori si sono evidenziati fenomeni di detensionamento del fronte legati alla presenza di vecchie strutture minerarie sotterranee, che gli scavi hanno parzialmente portato a giorno. Al fine di delimitare l'impronta delle coltivazioni sotterranee sono state eseguite nel novembre 1998 indagini geofisiche con il metodo della sismica a rifrazione, a seguito delle quali si è resa necessaria una revisione della geometria di coltivazione del fronte Est. Il nuovo progetto ha previsto l'arretramento del fronte Est tra le quote 955 e 885 m nella zona settentrionale dello scavo, con una modesta riprofilatura del fronte in morena, per ridurre le pendenze del fronte stesso in corrispondenza delle coltivazioni sotterranee venute a giorno.
1999 ÷ 2000	I lavori sul fronte Est sono iniziati nell'ottobre 1999 e nel mese di maggio 2000 sono giunti alla quota 900 m, dove è stata eseguita la seconda campagna di misure geofisiche in base alla quale si è stabilita la geometria finale di scavo del fronte Est: – porzione Sud del fronte prosecuzione fino al fondo scavo (quota 770 m) con una pendenza costante pari a 49°; – porzione Nord, interessata dalle coltivazioni sotterranee, lasciare a quota 900 m un gradone di 2 m di pedata, portando la pendenza a 35°; a quota 895 m è stato lasciato un gradone di 4 m, con lo scopo di mantenere sempre almeno 15 m di copertura sulla calotta dei cameroni, e si è proseguito lo scavo mantenendo i 35° fino a quota 863 m per poi passare a 49°, pendenza mantenuta fino al fondo scavo (770 m s.l.m.).
2000	In previsione dell'interruzione delle lavorazioni sulla parte alta del fronte Est per l'esecuzione delle indagini sismiche di seconda fase, nel gennaio 2000 viene richiesta l'autorizzazione a procedere con i lavori in fondo scavo fino alla quota 750 m s.l.m. anziché 770.
2004	Sono state condotte una serie di indagini di approfondimento delle conoscenze geologiche (perforazione di un foro orizzontale a partire dalla galleria di carreggio a quota 820 m sul fronte Est) e idrogeologiche, con analisi chimiche ed isotopiche di alcuni campioni di acque prelevati in miniera: I lavori sul fronte Nord erano ancora in corso nel 2004 con termine previsto per il 31.12.2004. I lavori sul fronte Est sono stati ridotti al minimo, per realizzare la pista che consente l'accesso al fronte Nord basso, necessaria anche per il posizionamento di 2 mire ottiche per il controllo topografico esterno. Il riempimento del fondo scavo è giunto alla quota 790 m s.l.m..
2011	Nel mese di marzo 2011 sono stati osservati evidenti segni di movimento nella parte superiore del versante Est ad una quota superiore a quella monitorata. La posizione planimetrica delle fessure di trazione rilevate è riportata nelle planimetrie (Allegati A.1 – C.1 – C.2) e nel modello tridimensionale dell'area (Allegati C.11 – C.13 ÷ 15).

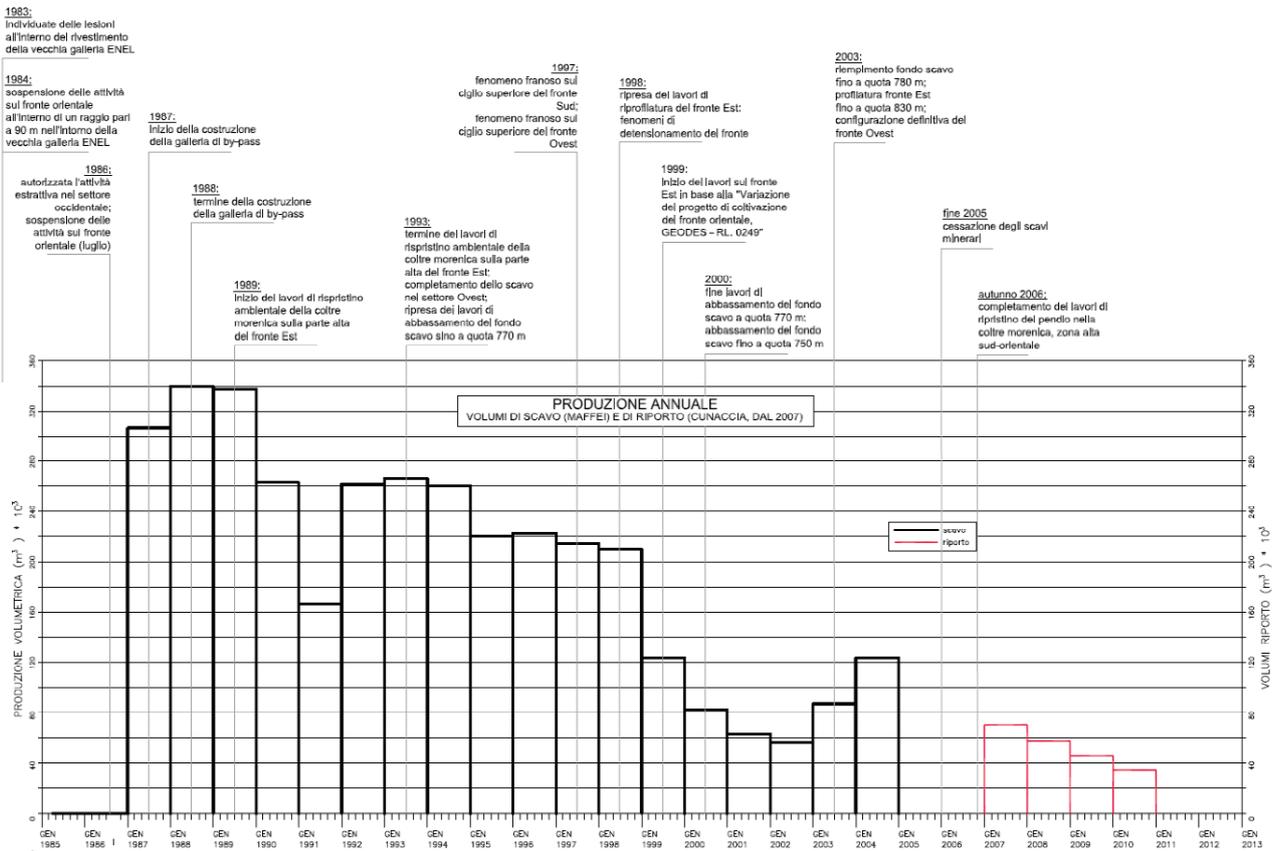


Figura 1 Produzione annuale e principali eventi nella ex Cava Maffei (RL 1145, 2012)

Tabella 5 Cronologia di installazione del sistema di monitoraggio del versante Est

1985	Viene installato un sistema di monitoraggio automatico con estensimetri a punti multipli, celle di pressione, misuratori di livello d'acqua e termistori.
1986	Viene eseguita una perforazione verticale a giorno sul fronte Est per l'installazione di un tubo inclinometrico (S1V? - I1?).
1987	Vengono eseguite tre perforazioni allo scopo di installare nuova strumentazione di controllo nella galleria ENEL alla progressiva 7575, si predispongono 4 misuratori di convergenza e si predispongono una rete di controllo topografico di una serie di pilastrini posti sul fronte di coltivazione Est.
1993 + 1994	Installazione di una nuova strumentazione geotecnica all'interno della galleria ENEL alla progressiva 7650, dotata di un sistema di acquisizione automatica dei dati, al quale vengono connessi anche parte degli strumenti installati a cura dell'ENEL, che non si fa più carico della loro lettura.
1998	Installazione di una nuova strumentazione geotecnica all'interno della galleria ENEL: alla progressiva 7536 costituita da estensimetri a punti multipli (3 verso monte e 3 verso valle) e da un estensimetro a punti multipli inclinato a 45° verso valle; alla progressiva 7575 un inclinometro verticale dalla galleria verso il basso (I1).
2004	Installazione di 5 mire ottiche in superficie e se ne è avviato il monitoraggio. Misurazioni periodiche di portata in uscita dalla galleria ENEL. Prova con traccianti, al fine di evidenziare potenziali vie di drenaggio dalla galleria ENEL dismessa verso il fronte Est della miniera. Cessano le misure topografiche nella galleria ENEL.
2005	Installazione di un sistema di monitoraggio automatico con estensimetri a punti multipli nella galleria mineraria a quota 820 m (settembre 2005).
2005 + 2006	Esecuzione di 3 (aprile -luglio - ottobre 2005) + 2 campagne di misura interferometrica (maggio - novembre 2006).
2009	Da settembre 2009 un sistema di monitoraggio degli spostamenti superficiali comprende 23 mire ottiche, di cui 21 installate sul fronte Est nella zona in movimento e 2 mire fisse installate una all'imbocco della finestra ENEL e una sulla strada a quota 913 m sul fronte Sud. Le mire sono collimate mediante stazione totale collocata sul fronte di S. Giovanni e le misure hanno cadenza quindicinale. Campagna di misure interferometriche del maggio - giugno 2009.

2.2 SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA MINIERA

La RL.1145 del gennaio 2012 indica che il sistema di monitoraggio della miniera si compone di 4 macro elementi:

- 1) un sistema di monitoraggio degli spostamenti all'interno del versante, costituito da tutta la strumentazione installata nella galleria ENEL dismessa e nella galleria mineraria a quota 820 m e collegata ad un acquisitore automatico di dati;
- 2) 2 stazioni pluviometriche, appartenenti una alla rete di stazioni meteorologiche provinciali e una alla rete delle stazioni della Fondazione Edmund Mach - Istituto Agrario S. Michele all'Adige, i cui dati sono resi disponibili sui rispettivi siti Internet dei gestori;
- 3) un sistema di monitoraggio di tipo topografico degli spostamenti di superficie;
- 4) un sistema automatico di misura della portata uscente dal ramo Sud della galleria ENEL dismessa, installato nell'aprile del 2011 in sostituzione della misura della portata che veniva eseguita manualmente con cadenza mensile, non più possibile in quanto dal gennaio 2010 l'ENEL ha interdetto l'entrata in galleria a causa del grave stato fessurativo del rivestimento della galleria stessa.

2.2.1 Sistema di monitoraggio degli spostamenti interni

Il sistema di monitoraggio degli spostamenti interni al versante comprende teoricamente:

- 3 coppie di estensimetri multibase in fori orizzontali, perforati dalla galleria ENEL dismessa sia verso valle, sia verso monte;
- 4 misuratori di convergenza nella galleria ENEL;
- 1 estensimetro multibase in foro orizzontale, installato sul fronte della galleria di miniera, alla quota 820 m;
- un sistema automatico di acquisizione dei dati programmabile, cui sono collegati i trasduttori elettrici degli estensimetri multibase e dei misuratori di convergenza, ubicato all'esterno della galleria di finestra e controllato a distanza mediante collegamento via modem telefonico.

Gli strumenti sono gestiti: nella galleria ENEL dal multiplexer MUX1, nella galleria di carreggio a quota 820 dal multiplexer MUX2.

In passato (RL.349, 1999) il sistema comprendeva anche un estensimetro multibase in foro inclinato a 45° dalla galleria verso valle a progr. 7536 lungo 58 m, un inclinometro verticale dalla galleria verso il basso a progr. 7575 lungo 64 m, ed un sistema di controllo topografico di 5 mire disposte lungo l'asse della galleria ENEL dismessa.

Lo stato di funzionamento dei trasduttori elettrici collegati al sistema di acquisizione automatico, a gennaio 2012, è riepilogato nella Tabella 6, con l'indicazione dell'anno di installazione di ciascuno strumento. Molti strumenti, pur funzionando dal punto di vista elettrico, risultano ormai inutilizzabili in quanto le basi profonde e/o le loro aste di collegamento si sono scollegate dal trasduttore.

In merito all'affidabilità della strumentazione (RL.1122, 2011), si rileva che già nel luglio 2007 (RL.0834) si proponeva un intervento di manutenzione al fine di [...] *“eliminare qualsiasi dubbio sull'affidabilità della strumentazione a disposizione”* [...].

In merito al sistema di monitoraggio esistente nel 2009 (RL.0968), se ne segnala la crescente fragilità, legata sia all'età dei diversi componenti che lo formano, la cui necessità di manutenzione sta progressivamente aumentando, sia alle condizioni statiche della galleria ENEL dismessa, che progrediscono in senso peggiorativo nel tempo. Pur compiendo il massimo sforzo per mantenere integra ed efficiente la strumentazione esistente in galleria, eseguendo la normale manutenzione dei trasduttori e dei sistemi di acquisizione dei dati, si evidenzia che parte delle basi estensimetriche risultano ormai al limite dell'operatività o quasi.

Tabella 6 Sistema di monitoraggio degli spostamenti all'interno del versante al gennaio 2012 (RL.1145, 2012)

Galleria ENEL dismessa				
Prog. (m)	Data install.	Strumento		Stato funzionamento
7536	27/02/1998	Estensimetro multibase di valle	20 m	In uso
			40 m	Fuori uso dal 29/03/2010
			68 m	Fuori uso dal 29/03/2010
		Estensimetro multibase di monte	10 m	In uso
			20 m	In uso
			40 m	In uso
7536	27/02/1998	Misuratore di convergenza	-	In uso
7575	16/04/1987	Estensimetro multibase di valle	9 m	In uso
			39 m	Fuori uso dal 28/03/2011
			69 m	In uso
		Estensimetro multibase di monte	10 m	Fuori uso dal 09/10/2011
			30 m	In uso
			50 m	In uso
7575	16/04/1987	Misuratore di convergenza	-	In uso
7612	16/04/1987	Misuratore di convergenza	-	In uso
7650	15/07/1993	Estensimetro multibase di valle	10 m	In uso
			40 m	In uso
			70 m	In uso
		Estensimetro multibase di monte	10 m	In uso
			20 m	In uso
			35 m	In uso
7650	15/07/1993	Misuratore di convergenza	-	In uso
Galleria mineraria a quota 820 m				
-	08/09/2005	Estensimetro multibase	20 m	In uso
			50 m	In uso
			70 m	In uso
			85 m	In uso

Nel novembre 2009 la RL.1021 riporta che [...] *“La sostituzione del cavo ha quindi risolto i problemi di stabilità e continuità delle letture che hanno contraddistinto l'ultimo anno di misure; tuttavia si sono osservati nuovi problemi sui trasduttori degli estensimetri, in particolare:*

- *il trasduttore della base a 30 m di profondità dell'estensimetro di monte e quello della base a 9 m dell'estensimetro di valle, alla progressiva 7575 m, sono risultati pieni d'acqua e, nonostante l'intervento di svuotamento, pulizia ed asciugatura e la realizzazione di un foro per il drenaggio dell'acqua, continuano a rimanere illeggibili;*
- *il trasduttore della base a 10 m dell'estensimetro di monte della progressiva 7575 m e quello della base a 40 m dell'estensimetro di valle della progressiva 7536 m si sono completamente impaccati, presumibilmente per il distacco delle astine metalliche, anche se dopo l'intervento di ritaratura erano stati letti correttamente e non presentavano tale situazione.”* [...]

[...] *“Per ripristinare la funzionalità completa del sistema occorre intervenire ancora una volta per:*

- *sostituire i trasduttori della base a 30 m di profondità dell'estensimetro di monte e quello della base a 9 m dell'estensimetro di valle, alla progressiva 7575 m, con nuovi sensori;*
- *provare a ricollegare ai trasduttori le astine metalliche della base a 10 m dell'estensimetro di monte della progressiva 7575 m e quello della base a 40 m dell'estensimetro di valle della progressiva 7536 m.*

Le difficoltà di intervento sulle teste estensimetriche stanno crescendo nel tempo, considerato che le astine metalliche sono state più volte prolungate ed ogni successivo intervento diviene sempre più complesso per l'incrementarsi proprio del numero di giunzioni. A questo si deve aggiungere il

fatto che lo stato della galleria sta progressivamente peggiorando, con un incremento delle condizioni di fessurazione del rivestimento della galleria e con numerosi distacchi di pezzi di gunita dalla calotta e dalle reni della galleria. Questo ulteriore intervento di sostituzione dei trasduttori e ricollegamento delle astine va eseguito, se concordato, nel più breve tempo possibile dal momento che riteniamo costituisca ormai uno degli ultimi interventi possibili, se non proprio l'ultimo, sulla strumentazione presente nella galleria ENEL dismessa.”

A novembre 2009 la strumentazione presentava lo stato di funzionamento della Tabella 7.

Tabella 7 Sistema di monitoraggio degli spostamenti all'interno del versante al novembre 2009 (RL. 1021, 2009)

Galleria ENEL dismessa				
Prog. (m)	Data install.	Strumento		Stato funzionamento
7536	27/02/1998	Estensimetro multibase di valle	20 m	in uso
			40 m	fuori uso
			68 m	in uso
		Estensimetro multibase di monte	10 m	in uso
			20 m	in uso
40 m	in uso			
7536	27/02/1998	Misuratore di convergenza	-	in uso
7575	16/04/1987	Estensimetro multibase di valle	9 m	fuori uso
			39 m	in uso
			69 m	in uso
		Estensimetro multibase di monte	10 m	fuori uso
			30 m	fuori uso
50 m	in uso			
7575	16/04/1987	Misuratore di convergenza	-	in uso
7612	16/04/1987	Misuratore di convergenza	-	in uso

Alla luce delle crescenti difficoltà operative e della riduzione di significatività delle misure ottenibili con gli strumenti posti entro la galleria, nella RL.0968 (2009) si propone che [...] “*mentre ancora risulta ancora funzionante gran parte della strumentazione presente in galleria, sia necessario implementare un sistema di misure indipendente dalla galleria ENEL, costituito da una rete di capisaldi e mire ottiche con misure topografiche, plano-altimetriche, di precisione. L'affiancamento dei due sistemi (di superficie e profondo) è indispensabile per permettere la raccolta di un congruo numero di dati in parallelo, in grado di permettere la comprensione dell'andamento dei fenomeni deformativi superficiali e profondi, secondo l'esperienza già avviata durante l'ultima fase della gestione Maffei della miniera, sospesa a causa dell'avvio dei lavori di sistemazione della coltre morenica sulla parte alta degli scavi minerari. L'esecuzione di nuove campagne di misure interferometriche a terra, svolte in maniera sistematica almeno 1-2 volte l'anno, costituisce un ulteriore elemento di controllo che può essere messo in atto per verificare l'estensione dell'area soggetta a deformazioni, sulla base dell'esperienza già svolta nel 2005 e nel 2006.*” [...]

Nell'aprile 2010 (RL.1046) Geodes comunica che non intende più inviare personale in galleria per l'effettuazione della manutenzione della strumentazione, alla luce delle condizioni statiche del rivestimento della stessa. L'intervento di manutenzione del 30/03/2010 [...] “è stato finalizzato alla verifica dello stato di funzionamento di alcuni trasduttori che, sulla base delle letture acquisite esibivano, nell'ultimo periodo, dati anomali. Viste le condizioni della galleria, si è cercato di allungare il più possibile la vita di tutti gli strumenti, riposizionando i trasduttori, che si trovavano a metà corsa all'inizio della stessa.[...] C'è stata una progressione dei fenomeni di lesionamento della struttura del rivestimento della galleria con un peggioramento più evidente delle zone di “cerniera”, prossimità delle progressive 7520 e 7630 m.” [...]

2.2.1.1 Misure di deformazione profonda

In base a quanto riportato nelle numerose relazioni susseguitesì, gli estensimetri in galleria non hanno evidenziato spostamenti nell'ammasso roccioso sino al novembre 2000, quando è iniziata una fase deformativa che è proseguita per oltre un anno. In corrispondenza di tale data, in Trentino si sono avute piogge particolarmente intense che hanno provocato frane in varie parti della provincia, e anche l'area di Giustino è stata investita da questi eventi meteorici eccezionali.

Al riguardo si evidenzia che le misure estensimetriche sono soggette alla seguente interpretazione differenziata tra galleria ENEL e galleria mineraria di base:

- Per ciascun estensimetro multibase installato nella galleria ENEL dismessa, le misure sono state elaborate rispetto alla testa del singolo strumento, e valori positivi di spostamento indicano un allontanamento tra la singola base e la testa stessa, ovvero una distensione dell'ammasso roccioso compreso tra questi due punti.
- Per l'estensimetro multibase installato al fondo della galleria mineraria a quota 820 m, le misure vengono invece riferite alla base più profonda (85 m), che viene quindi presa come riferimento fisso per il calcolo degli spostamenti.

Misure estensimetri alla progressiva 7536 m

Gli estensimetri presenti alla progressiva 7536 m sono stati installati nel febbraio 1998; a partire da tale data e sino al gennaio 2000, lo strumento risulta pressoché fermo (Figura 2). Successivamente gli strumenti esibiscono spostamenti assai ridotti, pari a 1 mm/anno, nel periodo di osservazione compreso tra gennaio e settembre 2000, cui segue una fase di brusca accelerazione, correlata agli eventi pluviometrici 4 e 5, verificatisi in stretta successione. In occasione dell'evento 8, tutte le basi di valle, comprese le teste dei due estensimetri, hanno esibito la massima accelerazione registrata durante tutta l'attività di monitoraggio del fronte Est, con un incremento di spostamento di oltre 50 mm in soli 11 mesi. Come per gli estensimetri alla progressiva 7575 m, anche in questo caso la base più vicina alla superficie del pendio, installata a 68 m in direzione di valle, rappresenta un'anomalia, dal momento che registra spostamenti inferiori rispetto a quella immediatamente più interna (40 m) e, nell'ultimo periodo (metà aprile 2009 circa - fine marzo 2010), anche rispetto a quella a 20 m di profondità.

La Figura 2 riporta¹, correlati agli eventi meteorici principali, i diagrammi spostamento-tempo relativi alle misure estensimetriche, ottenuti riferendo le letture di ciascuna base a quella più profonda dell'estensimetro di monte, ipotizzando quest'ultima ancorata in una porzione di versante non soggetta a deformazioni; gli spostamenti degli estensimetri di valle sono stati inoltre legati a quelli di monte imponendo un equal spostamento alle teste di ciascuna coppia di strumenti. I diagrammi così ottenuti forniscono un'idea immediata del livello di deformazione del fronte Est.

La strumentazione, continuando a restituire dei valori anomali di spostamento se confrontati con quelli registrati dagli estensimetri alla progressiva 7575 m, è stata considerata non più affidabile, e l'interpretazione delle sue misure è stata interrotta; tuttavia è stato deciso di continuare ad aggiornarne le letture riferite alle teste e a rappresentarle graficamente. La Figura 3 riporta gli spostamenti nel tempo, riferiti alle teste, delle 4 basi leggibili dei 2 estensimetri installati alla progressiva 7536 m della galleria ENEL dismessa.

¹ Si noti che l'aggiornamento delle misure riferite alla base più profonda per gli estensimetri alla progressiva 7536 m è stato interrotto in quanto, come esplicitato in precedenza, tale strumentazione è stata considerata non più affidabile. Le misure riportate nella Tavola 1 sono aggiornate al luglio 2011.

STUDIO DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE
A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO

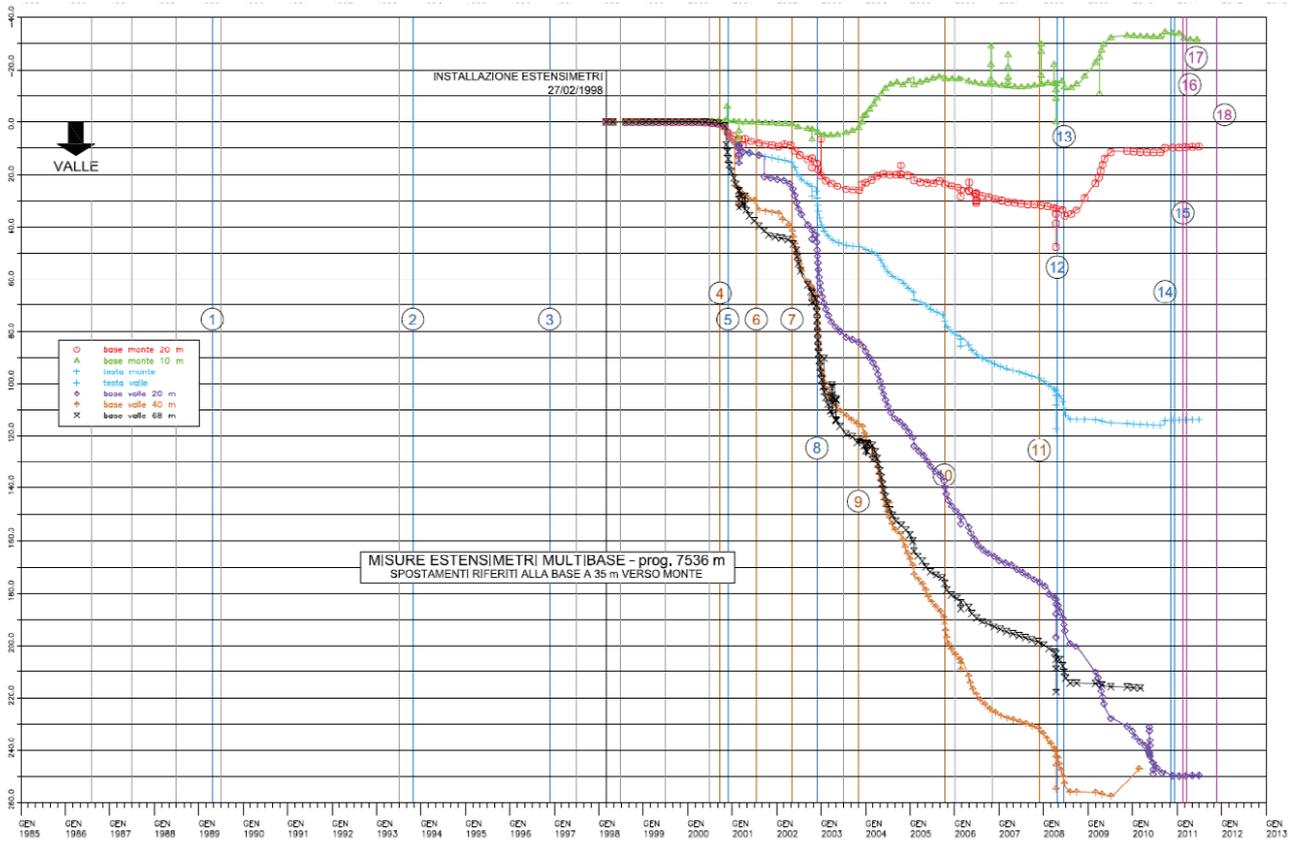


Figura 2 Misure estensimetriche a progr.7536 (RL.1145, 2012)

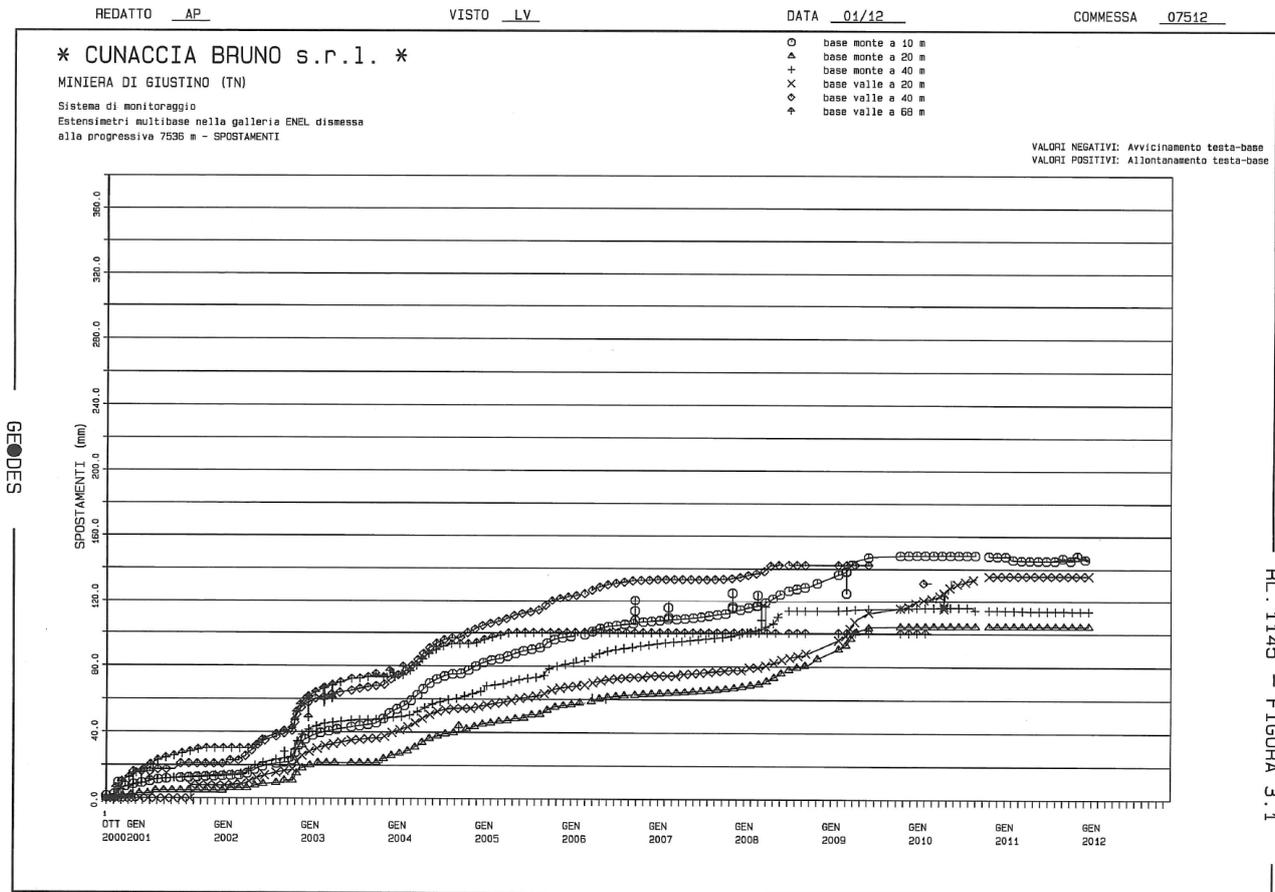


Figura 3 Estensimetri multibase galleria ex ENEL alla progr.7536: spostamenti (RL.1145, 2012)

Nel gennaio 2011 la RL.1107 riportava quanto segue per gli estensimetri a progr.7536.

[...] “L’insieme dei dati di misura di questa sezione strumentata porterebbe ad anticipare un arresto dei fenomeni deformativi in atto in questa tratta di galleria che risulta ubicata quasi al limite settentrionale della zona coinvolta nei fenomeni deformativi. Il limite settentrionale si colloca intorno alla progressiva 7520 m, dove si riscontra un elevato stato di fessurazione del rivestimento che identifica quella progressiva come punto di “cerniera” della struttura, che nel tempo si è deformata sia verso il basso sia orizzontalmente verso valle. Tuttavia, questa possibile interpretazione dei dati non è in linea con le evidenze che derivano dal resto della strumentazione installata, dalle quali risulta molto chiaramente che il fenomeno deformativo del versante Est della miniera è tuttora in corso, con velocità non trascurabili. Pur essendo il dato di misura elettrico affidabile, permangono quindi seri dubbi sulla validità degli spostamenti calcolati, legati alla ormai lunga vita di questa strumentazione, che ha richiesto numerose ricalibrature delle basi estensimetriche con l’aggiunta di prolunghe che possono far temere un distacco delle astine di misura dai trasduttori o un distacco delle basi ancorate alla roccia. Una di queste eventualità, che non è possibile escludere, renderebbe ovviamente del tutto inutilizzabile la strumentazione e le relative misure.” [...]

Persiste quanto già evidenziato nella RL. 1122, agosto 2011: *[...] “le velocità di spostamento di tutte le basi estensimetriche misurabili continuano ad essere nulle o negative ed appaiono prive di significato, se confrontate con le misure registrate dagli estensimetri alla progressiva 7575 m della galleria. L’assenza di spostamenti è da imputare, più probabilmente, ad un distacco delle basi dalla roccia, a causa della deformazione ormai accumulata, anche se non si può escludere un possibile distacco delle astine dal trasduttore elettrico, dovuto ai numerosi interventi di ritaratura eseguiti sugli strumenti nel corso degli anni. Sebbene sia stata constatata con certezza l’inaffidabilità delle misure restituite da questa strumentazione, è stato deciso di operarne comunque l’aggiornamento un’ultima volta, per poi sospenderlo definitivamente nelle prossime relazioni.” [...]*

In tutti gli intervalli temporali considerati si notano velocità di spostamento inferiori per la base dell’estensimetro di valle più lontana dalla galleria (68 m), rispetto a tutte le altre basi, probabilmente perché questa base, per prima, ha subito un distacco dalla roccia per effetto della deformazione cumulata.

Estensimetri alla progressiva 7575 m

In Figura 4 si riporta l’andamento nel tempo degli spostamenti registrati dagli estensimetri installati alla progressiva 7575 m, la cui messa in opera risale al 1987. Le velocità di spostamento calcolate su base annuale dei periodi 2005-2006, 2006-2007, 2007- 2008, 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011 e 2011-2012, riferiti al 20/01 di ogni anno, o a giorni vicini in caso di mancanza di dati, sono riportate nella Tabella 8. La base a 39 m di valle, da sempre ritenuta particolarmente significativa in quanto ha sempre registrato velocità di spostamento superiori rispetto a quella più prossima alla superficie, a 69 m di distanza dalla testa, non risulta più leggibile dal 28/03/2011. Ad essa si è aggiunta la base a 10 m di monte, non più leggibile dal 09/10/2011².

La particolare importanza che riveste la sezione strumentata alla progressiva 7575 m è legata al suo lungo periodo di attività ed al fatto che è stata la prima a essere dotata di estensimetri di lunghezza tale da poter cogliere in profondità lo sviluppo delle deformazioni del versante. Anche questi estensimetri non hanno esibito spostamenti significativi sino al settembre³ 2000; a partire da allora, si sono manifestate periodicamente brusche accelerazioni di spostamento, correlabili ad eventi meteorici particolarmente importanti. Il diagramma degli spostamenti delle diverse basi, riferiti alla base a 50 m di profondità dell’estensimetro di monte (Figura 5), mette in luce la chiara influenza degli eventi meteorici sullo stato deformativo del versante, con intensità crescente sulle basi via

² Stessa situazione nel 2001

³ Gli altri a novembre

via più prossime alla superficie del pendio. A tale proposito si osserva che la base più superficiale, installata a 69 m in direzione di valle, rappresenta un'anomalia, risultando i suoi spostamenti inferiori rispetto a quelli delle basi più interne (9 m e 39 m di distanza dalla galleria). Tale condizione è tuttavia dettata anche dall'assenza di misure di questa base per un lungo periodo, tra il 1993 e il 1998, che ha impedito di ottenere l'effettiva entità dello spostamento subito dal punto di misura.

Dopo il novembre 2001 il comportamento degli estensimetri alla progressiva 7575 m si differenzia da quanto osservato nella sezione precedente, ed anche tra le diverse basi di questi estensimetri si evidenziano sostanziali differenze di comportamento:

- la base profonda (50 m) di monte continua ad allontanarsi dalla testa (vi è cioè una distensione tra testa dello strumento e base), con velocità quasi costante, il cui valore medio tra oggi ed il novembre 1998 è di 1,3 mm/anno;
- la base a 30 m di monte, dopo un periodo di spostamenti di contrazione (luglio 2001-dicembre 2002), sta manifestando una distensione tra base e testa dello strumento, con velocità che nell'ultimo periodo hanno raggiunto valori oscillanti tra 20 e 40 mm/anno;
- le basi a 10 m di monte ed a 69 m di valle non sono più leggibili da metà 2001 circa;
- la base a 9 m di profondità verso valle ha registrato alcune brusche variazioni di lettura, con una tendenza alla contrazione rispetto alla testa tra il novembre 2001 ed il luglio 2002; successivamente le misure sono rimaste stazionarie;
- la base a 39 m verso valle dopo il novembre 2001 ha sempre registrato una contrazione dello spostamento che ha portato la misura da un valore massimo di 30 mm a - 15 mm, mandando lo strumento a fondo scala; il picco massimo di velocità (valutata in un giorno) raggiunto in questo periodo è di 438 mm/anno (0,95 mm/giorno), con un valore medio di 101 mm/anno.

Nel gennaio 2011 la RL.1107 riportava quanto segue per gli estensimetri a progr. 7575:

[...] “I due estensimetri di questa sezione evidenziano maggiori incrementi di spostamento, che raggiungono il valore massimo in corrispondenza della base dello strumento di valle posta a 39 m di profondità. [...] In generale questi estensimetri mostrano velocità di spostamento che sono sempre superiori per le basi di valle rispetto a quelle di monte. Tuttavia, anche in questo caso la base di valle più lontana dalla galleria, ovvero più prossima alla superficie del versante presenta velocità di spostamento inferiori rispetto a quelle più interne e vicine alla galleria stessa. Si osserva anche un deciso incremento di velocità nel breve periodo, con velocità ancora in aumento rispetto ad una velocità annuale già ampiamente superiore a quella degli ultimi 6 anni. Questa sezione mostra dunque una ripresa dei movimenti del versante, in netto contrasto con i risultati della precedente sezione strumentata.” [...]

Tabella 8 Progr.7575: valori delle velocità di spostamento calcolati su base annuale riferiti alla testa dell'estensimetro (RL.1145, 2012)

Base	M50	M30	M10	V9	V39	V69
V ₂₀₁₁₋₂₀₁₂ (mm/anno)	2.72	0.07	-	23.17	-	20.58
V ₂₀₁₀₋₂₀₁₁ (mm/anno)	4.58	-	-	-	76.45	36.02
V ₂₀₀₉₋₂₀₁₀ (mm/anno)	-	-	-	-	-	-
V ₂₀₀₈₋₂₀₀₉ (mm/anno)	-	-	-	-	-	-
V ₂₀₀₇₋₂₀₀₈ (mm/anno)	0.75	9.22	8.74	8.53	8.11	5.04
V ₂₀₀₆₋₂₀₀₇ (mm/anno)	1.09	14.20	7.87	12.33	0.14	7.87
V ₂₀₀₅₋₂₀₀₆ (mm/anno)	1.79	11.96	20.86	20.31	-	12.68

(N.B. Nel mese di gennaio 2005, per la base posta a 39 m di profondità dell'estensimetro di valle, non è disponibile alcun dato di lettura. Nel mese di gennaio 2009, per tutte le basi, non è disponibile alcun dato di lettura. Nel mese di gennaio 2010, per le basi poste a 10 m e a 30 m di profondità dell'estensimetro di monte e per la base posta a 9 m di profondità dell'estensimetro di valle, non è disponibile alcun dato di lettura. Nel mese di gennaio 2012, per la base posta a 10 m di profondità dell'estensimetro di monte e per la base posta a 39 m di profondità dell'estensimetro di valle, non è disponibile alcun dato di lettura).

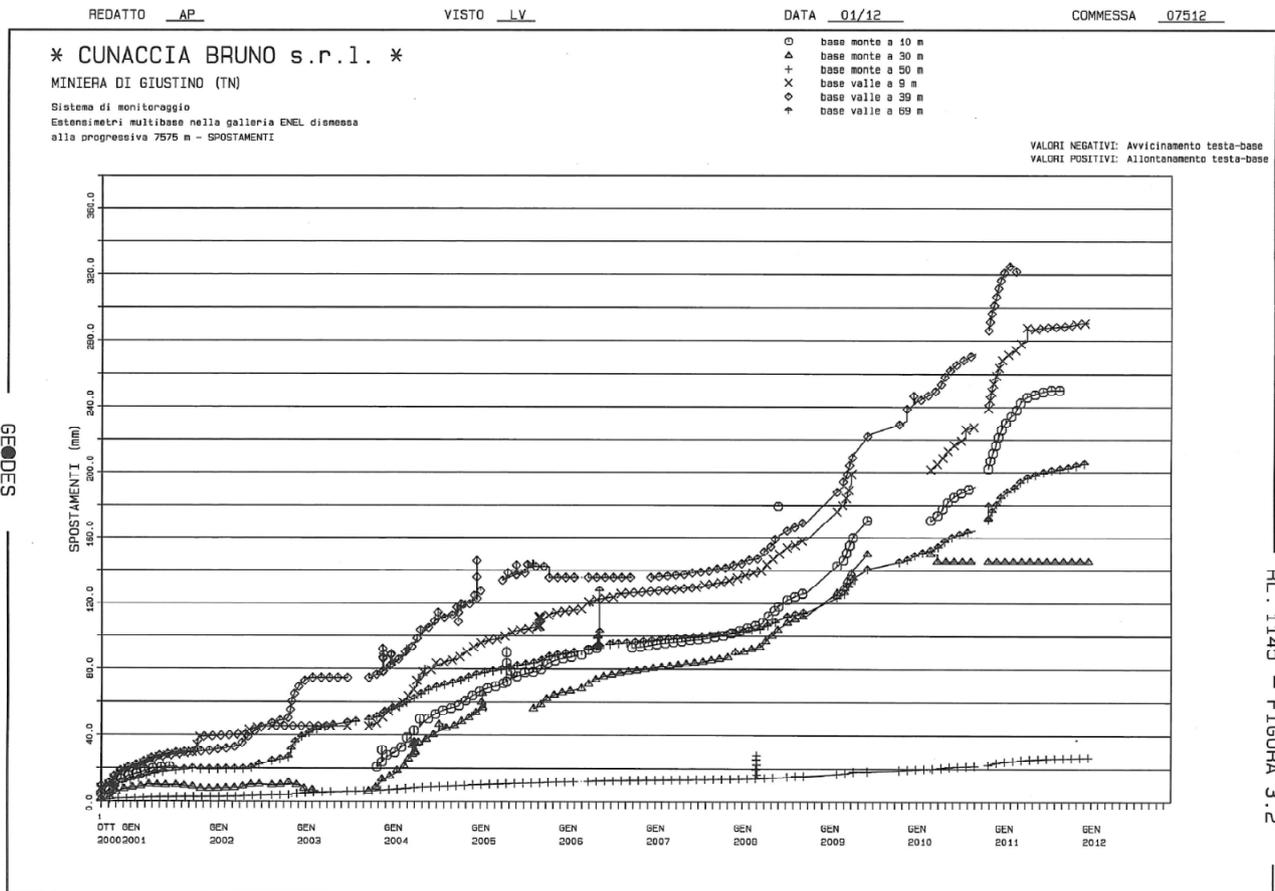


Figura 4 Estensimetri multibase galleria ex ENEL alla progr.7575: spostamenti (RL.1145, 2012)

STUDIO DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE
A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO

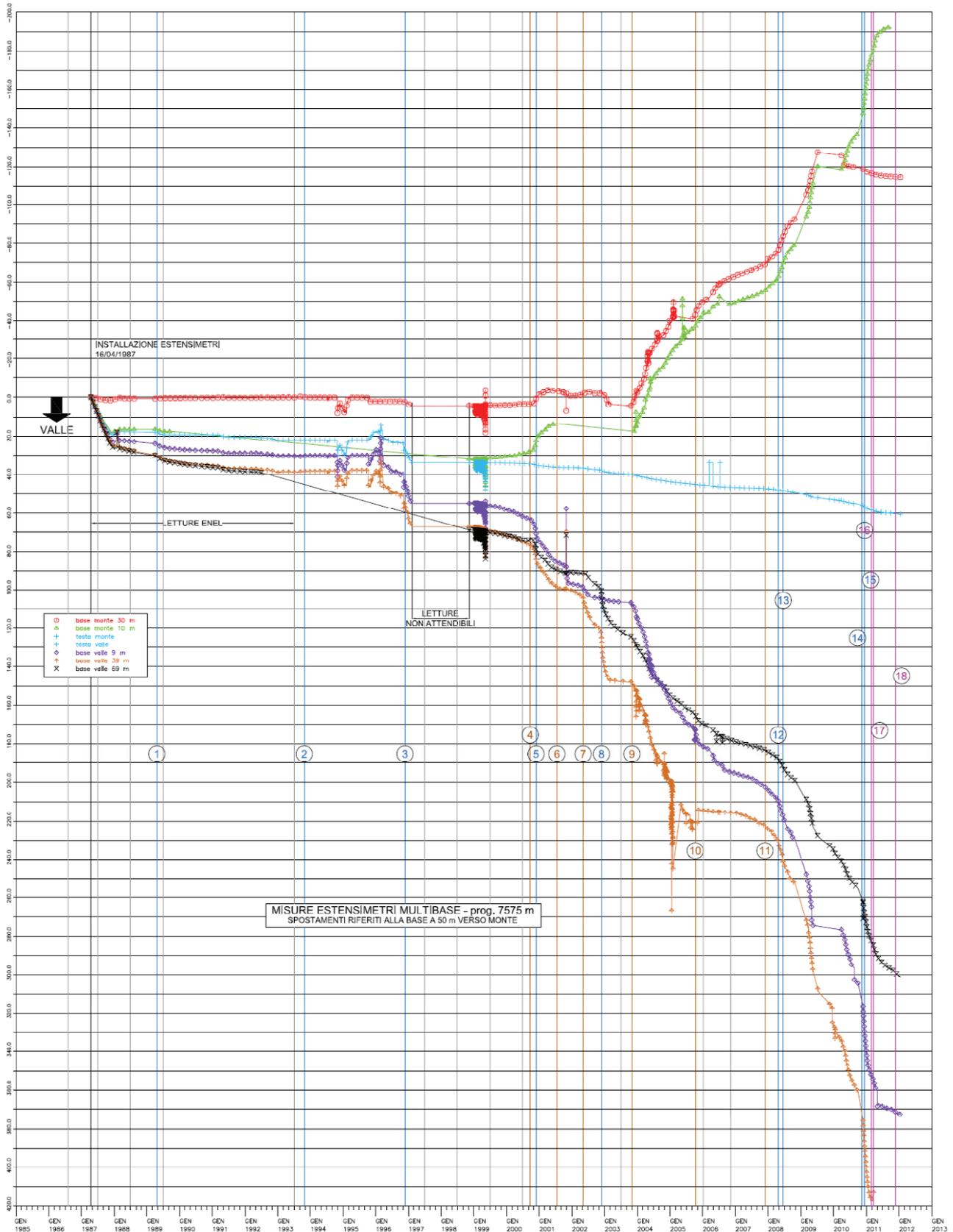


Figura 5 Misure estensimetriche a progr.7575 (RL.1145, 2012)

Estensimetri alla progressiva 7650 m

Fin dall'installazione nel 1993, solo la base più esterna dell'estensimetro di valle ha misurato spostamenti in questa sezione della galleria, e la storia di tali spostamenti ripercorre quanto si è osservato per la sezione precedente. Tra il gennaio 1998 (nuovo zero considerato) e la metà di ottobre 2000 gli spostamenti crescono con velocità media intorno ai 3,6 mm/anno; si assiste poi ad un incremento degli stessi spostamenti sino al novembre 2001 (massima velocità giornaliera di 208 mm/anno) e quindi a un rapido decremento, caratterizzato da brusche variazioni di misura che si sono esaurite in una fase stazionaria. Questi estensimetri non mostrano spostamenti significativi già da lungo tempo (Figura 6).

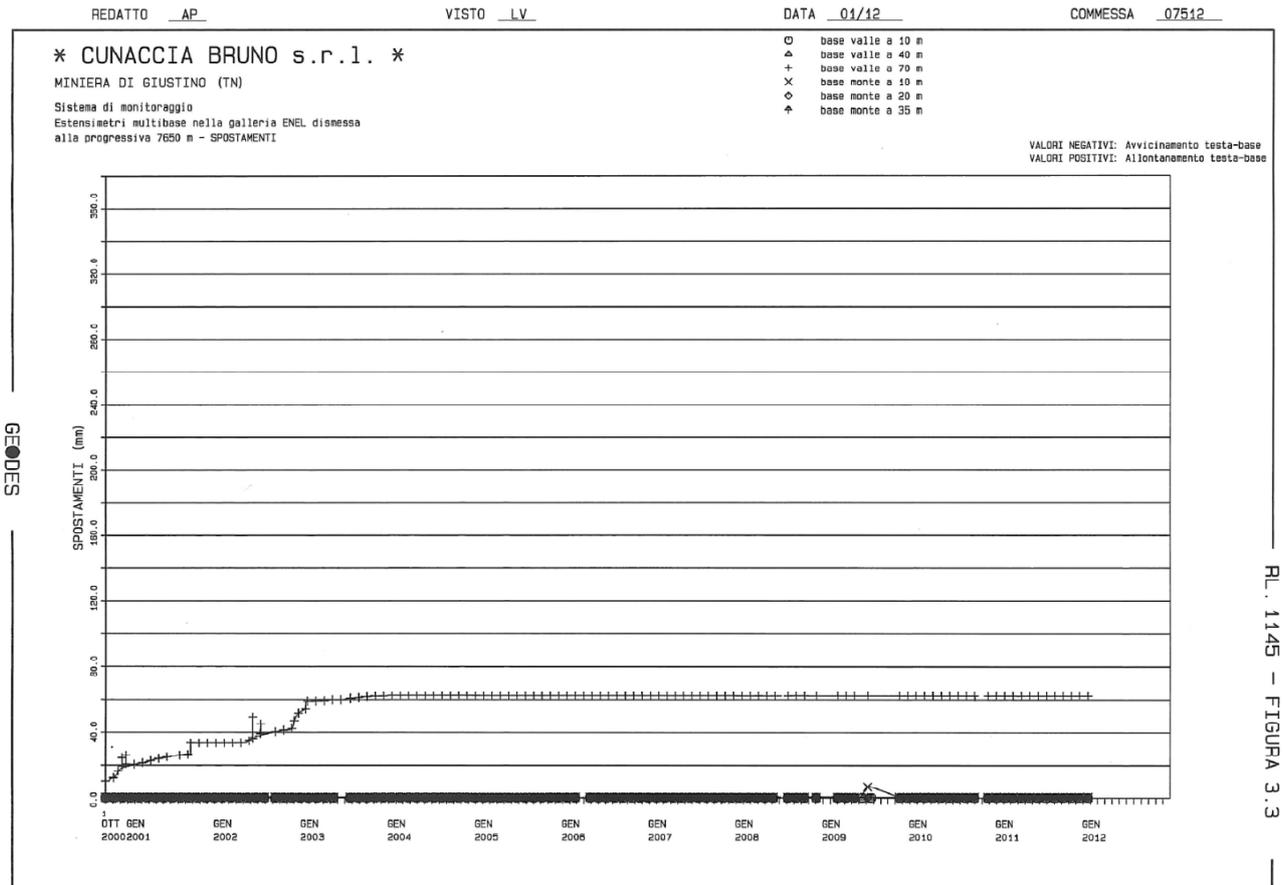


Figura 6 Estensimetri multibase galleria ex ENEL alla progr.7650: spostamenti (RL.1145, 2012)

Estensimetro multibase galleria di carreggio a quota 820 m

Le misure dell'estensimetro a quota 820 m sono riferite alla base più profonda, installata a 85 m di profondità. Le misure hanno mostrato spostamenti di entità massima dell'ordine di 26 mm (26,12 mm) di segno positivo (Figura 7), con un allontanamento delle basi di misura dall'ancoretta più profonda. Anche questo strumento, come gli estensimetri alla progressiva 7575 m della galleria ENEL, evidenzia un incremento della velocità di spostamento nell'annualità (2010 ÷ 2011).

pertura) della cavità, il segno negativo convergenza. Mentre lo strumento alla progressiva 7536 m presenta valori di spostamento pressoché uguali negli ultimi tre anni, il misuratore alla progressiva 7612 m continua ad esibire dei valori positivi di velocità di spostamento, seppur di modesta entità. Questi due misuratori si trovano entrambi in prossimità dei punti di “cerniera” della galleria dismessa (rispettivamente localizzati in prossimità delle progressive 7520 m e 7630 m), tra la zona ferma di inizio e di fondo del ramo Sud e quella centrale, che già dal 1984 si sposta verso valle e verso il basso e che presenta il punto di massimo abbassamento e spanciamento intorno alla progressiva 7575 m.

Tabella 10 Misure di convergenza nella galleria ex ENEL (RL.1145, 2012)

Progressiva (m)	7612	7536
V_{7gg} (mm/anno)	1.04	0.00
V_{30gg} (mm/anno)	0.94	0.12
$V_{2011-2012}$ (mm/anno)	0.51	-0.18
$V_{2010-2011}$ (mm/anno)	4.44	-0.01
$V_{2009-2010}$ (mm/anno)	-	-
$V_{2008-2009}$ (mm/anno)	-	-
$V_{2007-2008}$ (mm/anno)	0.12	0.77
$V_{2006-2007}$ (mm/anno)	-0.51	1.34
$V_{2005-2006}$ (mm/anno)	2.97	1.88

(Nel mese di gennaio 2009, per entrambi i misuratori non è disponibile alcun dato di lettura).

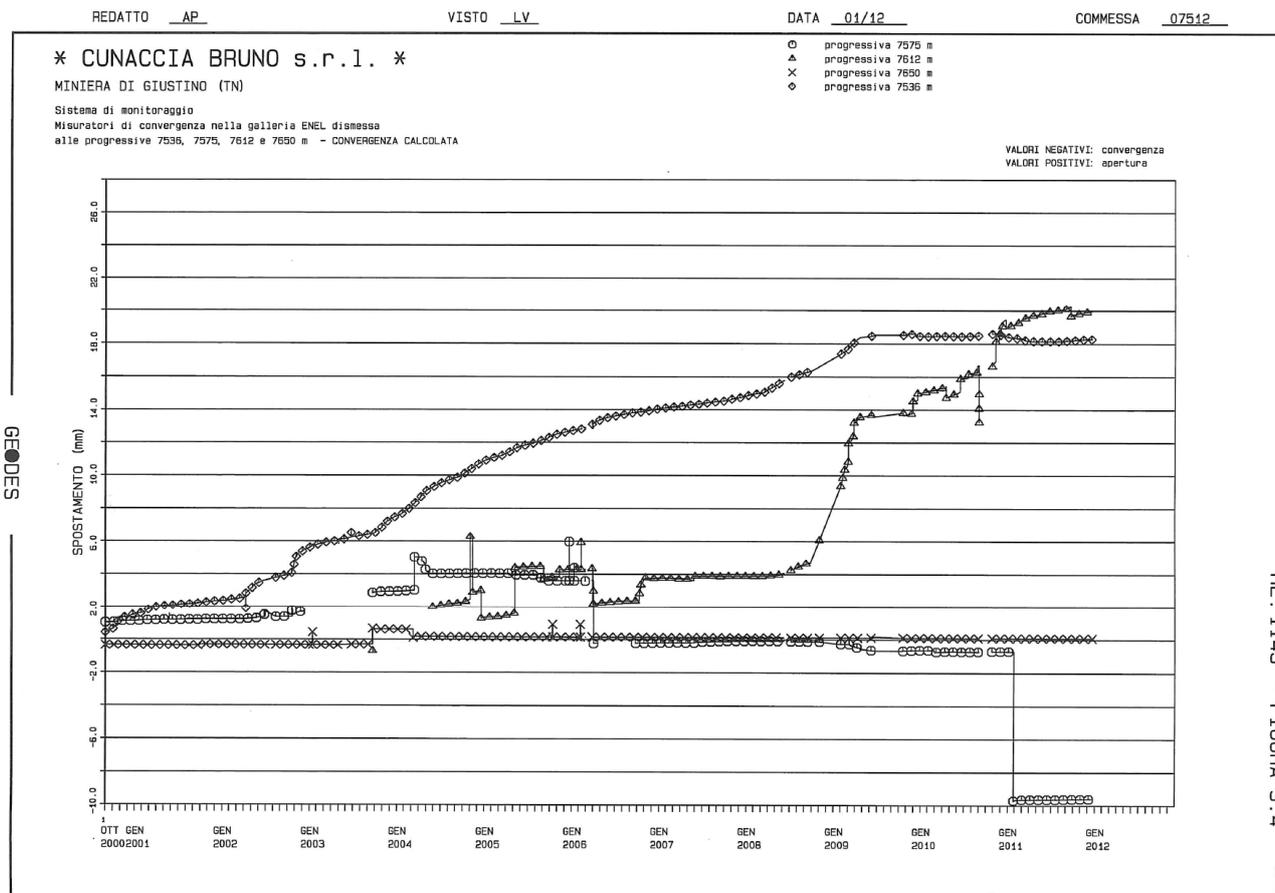


Figura 8 Misure di convergenza nella galleria ex ENEL (RL.1145, 2012)

Misure topografiche in galleria (RL.0834, 2007)

[...] Le misure topografiche in galleria avevano messo in luce una significativa flessione, verso valle e verso il basso, del tratto di galleria compreso tra le progr. 7500 m e 7650 m; in prossimità delle progr. 7520 m e 7630 m, sono state individuate le sezioni caratterizzate dal maggiore grado di dissesto: è intuitivo far corrispondere a tali sezioni i punti di flesso (cerniere) che delimitano la deformata della canna della galleria. In corrispondenza dei punti di flesso il fenomeno deformativo è estremamente complesso, e fortemente tridimensionale: è appurato infatti che l'asse della galleria è deviato verso valle e verso il basso; contemporaneamente la sezione trasversale è soggetta ad uno stato di forte compressione, orientato secondo la congiungente rene di monte – muretta di valle. Ne consegue che in corrispondenza dei punti di flesso si sovrappongono gli effetti dei fenomeni di convergenza, di taglio, di torsione e di flessione su un piano inclinato parallelo all'asse della galleria. Entrambi i punti di flesso sono caratterizzati da un'estesa frattura sub-verticale, generata da forti sforzi di taglio, che in calotta si evolve in una serie di lesioni ravvicinate e sub-parallele, inclinate di 20 – 30° rispetto all'asse della galleria, la cui interazione genera splaccaggi più o meno profondi. Lo stato di compressione monte-valle, cui è sottoposta la sezione trasversale, è indicato dai seguenti fattori: l'attacco piedritto - arco rovescio è segnato da lesioni continue e orizzontali, sia a monte che a valle in corrispondenza delle lesioni orizzontali, si è osservata la convergenza del lembo superiore, se la lesione è sul lato di monte, del lembo inferiore, se la lesione è sul lato di valle. Il tratto di galleria coinvolto nella deformazione progressiva del versante, come detto, era stato individuato anche dalle misure topografiche in galleria, oggi sospese, grazie alle quali era stata definita l'entità dell'abbassamento dell'asse della galleria. In Figura 12 si riporta la deformata, su un piano verticale, dell'asse della galleria all'ultima lettura disponibile (marzo 2003), a cui vengono sovrapposte le letture dell'altezza d'acqua prese nella mezzeria dell'arco rovescio in occasione del rilievo recentemente condotto.” [...]

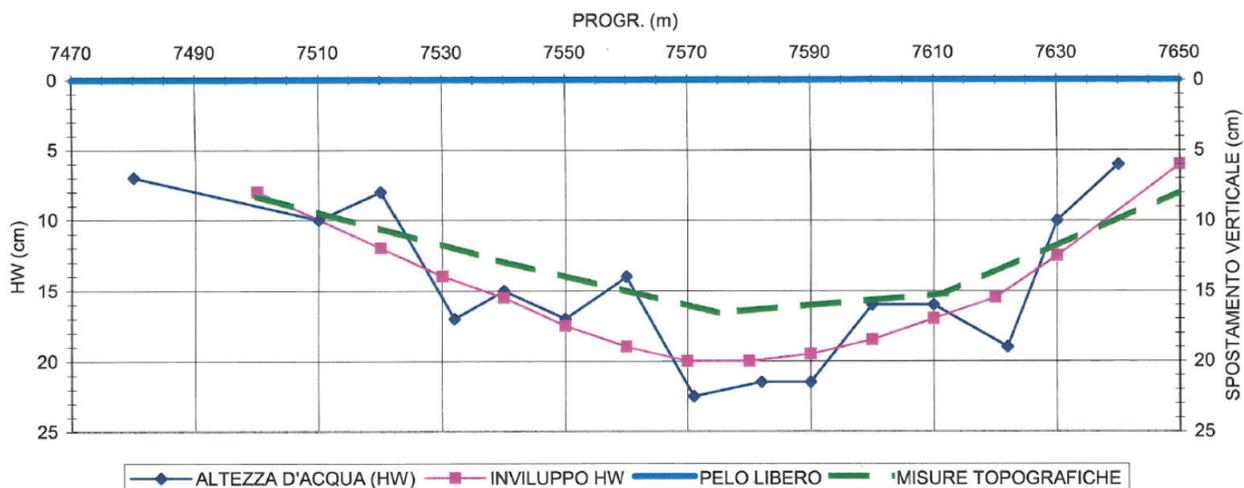


Figura 9 Deformata, su un piano verticale, dell'asse della galleria all'ultima lettura disponibile (marzo 2003) (RL. 0834, 2007)

Misure inclinometriche

Nel tempo sono stati installati due inclinometri: uno all'interno della galleria (S1V) alla progressiva 7575 e l'altro all'aperto (I1) sul gradone a quota 913 m.

La Figura 10 riporta l'elaborazione in termini di deformata del tubo inclinometrico S1V: sino alla misura del settembre 2002 la deformata dell'inclinometro non aveva mai evidenziato nette variazioni di andamento degli spostamenti, ma piuttosto una variazione graduale degli stessi dal piede verso

la testa del tubo. La direzione di questi spostamenti era in una prima fase piuttosto netta e rivolta ad Est (ovvero verso monte). A partire dal settembre 2002 ha incominciato a manifestarsi una chiara rotazione degli spostamenti, con direzione da W a NW, insieme alla comparsa di due anomalie della deformata intorno ai 18 m ed ai 46 m di profondità dalla testa del tubo. Il tubo inclinometrico in galleria ha quindi mostrato la tendenza nel tempo a spostarsi in direzione dei vuoti di coltivazione. La Figura 11 riporta, oltre alle principali misure dell'inclinometro S1V, anche quelle dell'inclinometro I1.

2.2.2 Sistema di monitoraggio degli spostamenti esterni

Misure interferometriche

Le prime misure interferometriche (RL.0729, 2005) hanno strumentalmente confermato che le aree soggette ai maggiori spostamenti superficiali si trovavano nella zona del fronte Est, a tergo dei vecchi vuoti minerari. Inoltre, in base alle misure interferometriche “[...] Si evidenzia che le velocità maggiori di spostamento si rilevano nel tratto di pendio a monte dei vuoti sotterranei e che la parte basale non è coinvolta nella deformazione [...] Gli spostamenti superficiali risultano superiori a quelli misurati all'interno del versante ed in particolare la zona di massima deformazione del versante (spostata a nord-est e a maggior quota rispetto alla strumentazione in galleria) presenta spostamenti 25 volte superiori a quelli misurati in sottoterraneo [...]” (RL.0792, 2007).

Nel 2009 è stata condotta una nuova campagna di misure interferometriche a partire da un punto di stazione ubicato sul fronte Ovest di San Giovanni, alla quota 855 m circa, in prossimità del punto di stazione topografico utilizzato per la misura delle mire ottiche. Le mappe degli spostamenti (vista tridimensionale e vista in pianta) riportano gli spostamenti misurati tra il 27/05/2009 e il 03/06/2009, coprendo quindi un intervallo di osservazione di 6 giorni e 20 ore circa; nella Figura 12 e nella Figura 13 si individuano [...] “le aree stabili, la piccola regione centrale caratterizzata da movimenti superficiali dovuti all'intervento dei mezzi di cantiere per lo scarico del materiale e la regione stabile sulla destra, interessata però da una forte decorrelazione; le aree in movimento si trovano nella parte centro-settentrionale del fronte Est. [...] dall'analisi della mappa degli spostamenti cumulati è possibile osservare che:

- la regione in movimento risulta spazialmente ben definita e, in Figura 13, essa è delimitata dalle due linee bianche che la separano dalle regioni stabili;
- la distribuzione spaziale degli spostamenti misurati all'interno della regione in movimento, mostra che gli spostamenti maggiori (pari a circa 6-7 mm in 6 giorni) si trovano nella sua parte centrale e decrescono man mano che si scende verso le regioni stabili sottostanti.

Per analizzare e visualizzare meglio il comportamento del versante è stata effettuata un'analisi di "zonazione" dei movimenti rilevati. La differenza tra le mappe di spostamento e quelle di zonazione sta nel fatto che nelle prime ogni colore rappresenta un corrispondente valore di spostamento, mentre nelle seconde ogni colore raggruppa insieme diversi valori nell'intervallo specificato dal colore stesso. Utilizzando gruppi appropriati di spostamento è quindi più semplice identificare e delimitare le aree affette da movimento. L'intervallo considerato da questa analisi è lo stesso utilizzato per la mappa degli spostamenti cumulati.” [...]

STUDIO DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE
A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO

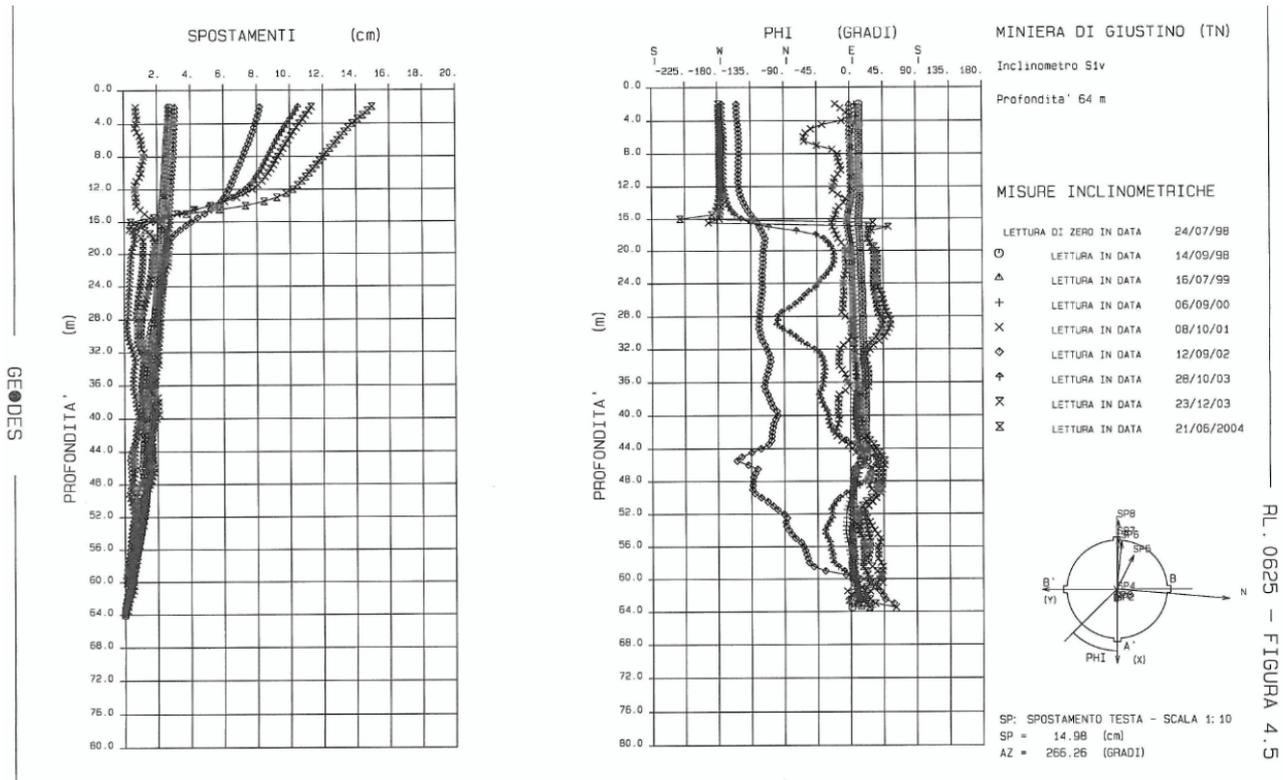


Figura 10 Misure inclinometriche in galleria alla progr. 7575: S1V anni 1998÷2004 (RL.0625, 2004)

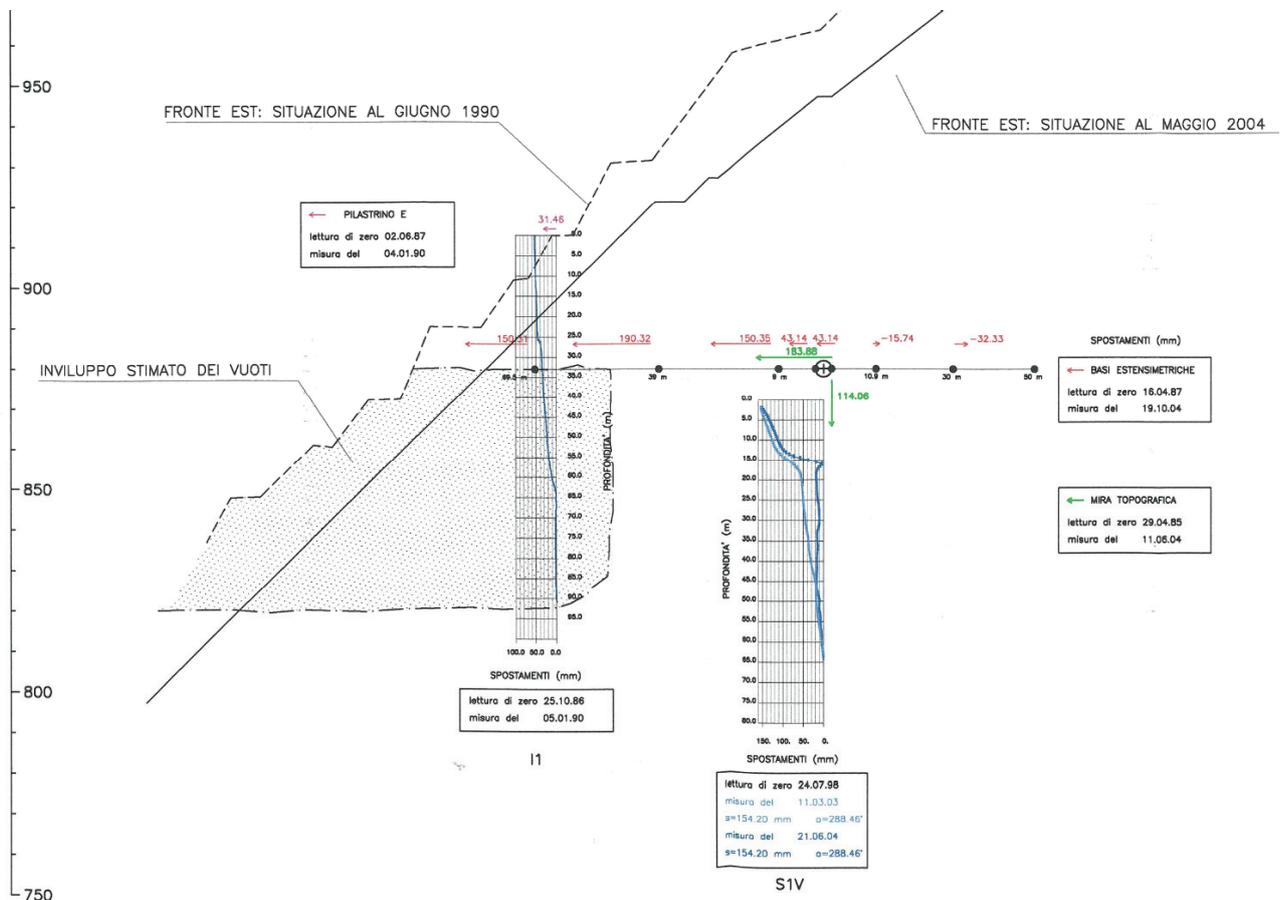


Figura 11 Misure inclinometriche S1V e I1 (RL.0625, 2004)

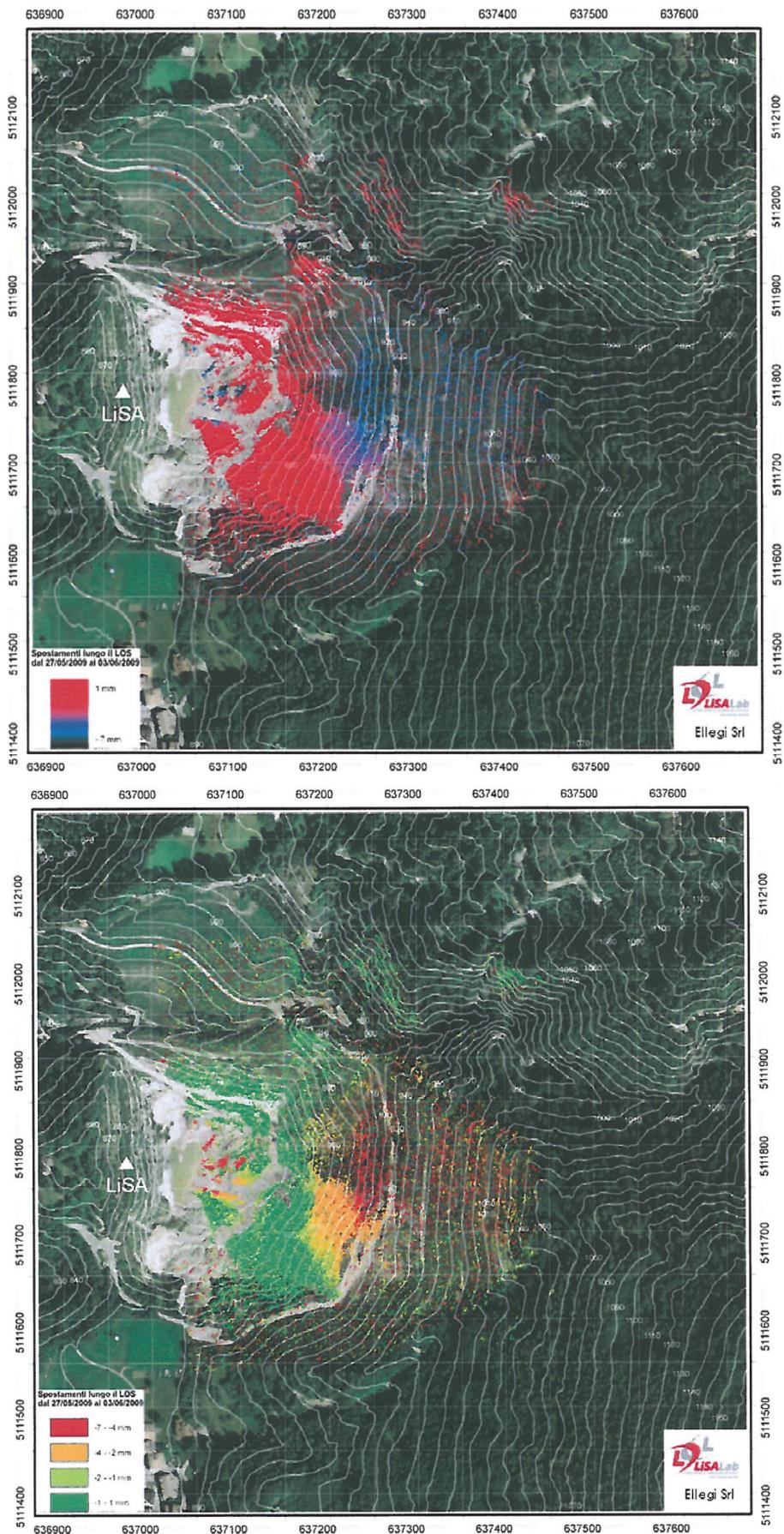


Figura 12 Mappa degli spostamenti cumulati (sopra) e “zonati” della miniera in pianta (RL.1036, 2010)

STUDIO DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE
A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO

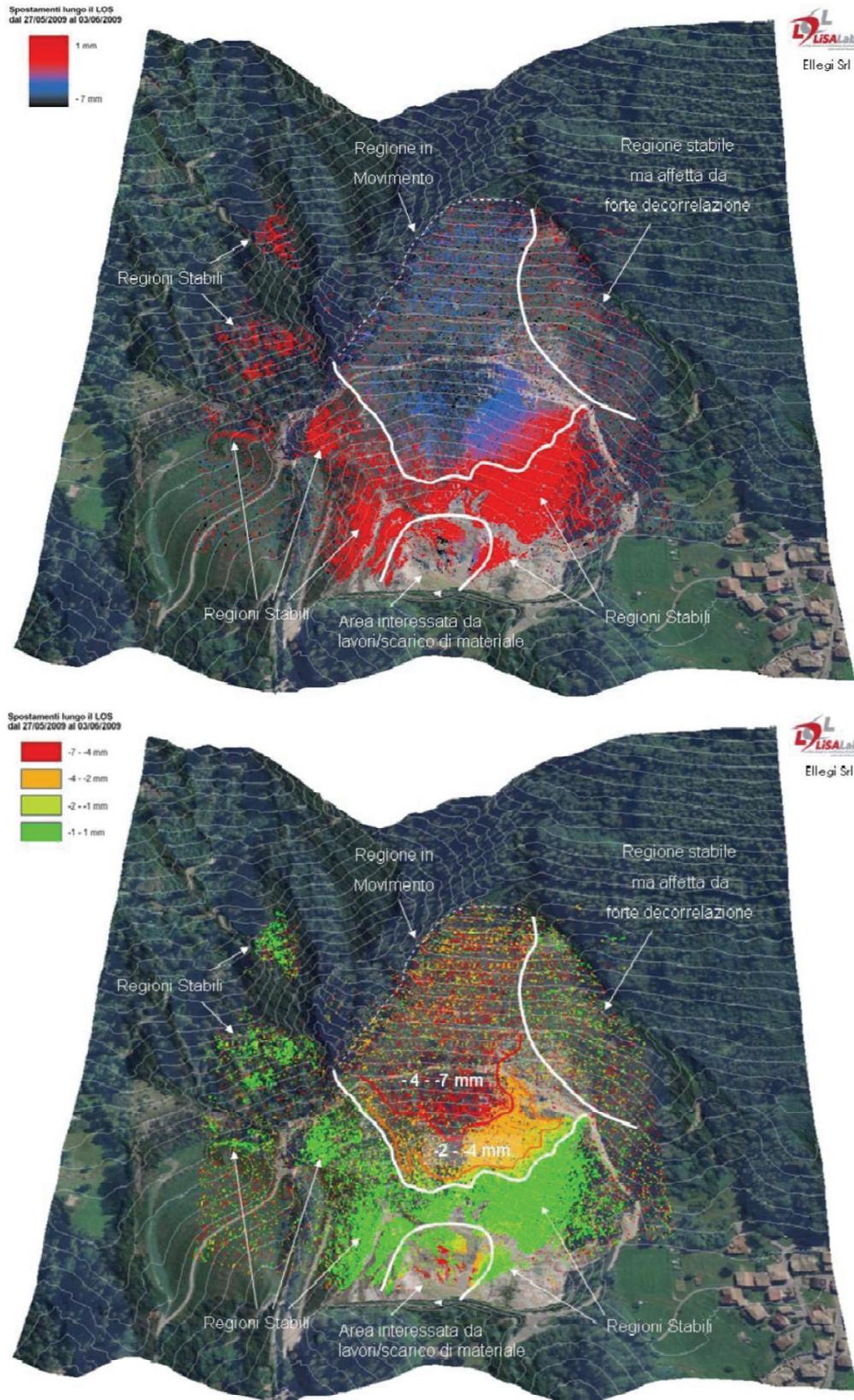


Figura 13 Mappa degli spostamenti cumulati (sopra) e “zonati” della miniera in 3D sul DEM (RL.1036, 2010)

Misure topografiche di superficie

Sul fronte Est della miniera sono state ubicate, nel settembre 2009, 23 mire topografiche di superficie, cui si sono aggiunte ulteriori 7 mire messe in opera tra il maggio e il giugno 2011 (Figura 14), 28 installate sul fronte Est nella zona in movimento e 2 mire fisse installate una all'imbocco della finestra ENEL e una sulla strada a quota 913 m sul fronte Sud. La loro posizione e quella dei capisaldi utilizzati per le letture, come pure i vettori spostamento cumulati, sono visibili nella planimetria riportata negli allegati. Le mire 11, 14, 15 e 21 sono quelle soggette ai massimi spostamenti di segno negativo lungo l'asse Est-Ovest; si spostano cioè verso Ovest, ovvero verso valle. Lungo la direzione Nord-Sud gli incrementi sono più modesti: il valore maggiore si ha per la mira 21 e risulta pari a 90,94 mm, verso Nord. Si può quindi individuare un progressivo "scivolamento" delle mire verso valle, specialmente nella parte più alta del fronte Est, dove, in corrispondenza delle mire 10, 12, 14, 15, 16 e 21, si hanno gli spostamenti maggiori. Nelle zone più basse invece, i fenomeni deformativi sono meno evidenti, se non del tutto assenti. Pur considerando il limitato periodo di misura, Geodes afferma essere evidente che le mire topografiche si spostano con un gradiente molto simile a quello delle basi estensimetriche della progressiva 7575 m.



Figura 14 Sistema di monitoraggio: posizione delle mire topografiche di superficie illustrata sulla foto panoramica del sito (RL.1145, 2012)

Parimenti si indica come [...] la messa in funzione del sistema di monitoraggio topografico di superficie [...] sta avendo un positivo riscontro [...] Risulta evidente come l'andamento degli spostamenti delle mire in superficie rifletta quello delle basi estensimetriche all'interno del versante, seguendo anche i diversi gradienti di crescita che si osservano nel periodo di misura esaminato.

Si conferma pertanto che le misure di superficie permettono di seguire l'evoluzione della deformazione del versante allo stesso modo delle misure estensimetriche, fermo restando un minore dettaglio di tale andamento, data la minor frequenza delle letture. Venendo meno la possibilità di manutenzione del sistema di misure automatico, a causa del deterioramento sia degli strumenti, sia della galleria, il monitoraggio esterno può quindi assolvere alla funzione di controllare lo stato deformativo del fronte Est della miniera, potendo anche essere reso più efficiente con un controllo in "continuo", in analogia con il sistema automatico oggi esistente. I dati che verrebbero ovviamente a mancare, in caso di cessazione del funzionamento del sistema automatico di misura, sarebbero quelli legati all'evoluzione delle deformazioni all'interno del versante, retrostante il fronte Est della

miniera. Tali dati sono certamente utili, **ma ormai non sono più indispensabili**⁴ per la comprensione dei fenomeni deformativi in atto. [...] Le zone che si deformano sono più ampie in superficie e tendono a chiudersi in profondità, come dimostra l'estensimetro alla progressiva 7650 m, che è sempre rimasto al di fuori della zona soggetta a deformazioni, ad eccezione della sua base di valle più distante dalla galleria.

Si osserva inoltre che [...]:

- la parete Nord della miniera è sostanzialmente ferma (mire M17, M19 e M20);
- le mire al piede del versante Est (mire M1, M2, M3, M5) presentano spostamenti molto modesti, che tendono tuttavia ad incrementarsi lentamente spostandosi da Nord verso il centro del fronte Est;
- gli spostamenti massimi si registrano sulle mire 6, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 16 e 21, ovvero al di sopra e davanti alle vecchie coltivazioni minerarie, in corrispondenza degli estensimetri alle progressive 7536 e 7575 m della galleria ENEL, anch'essi soggetti alle massime deformazioni;
- come già sottolineato in precedenza, i valori assoluti degli spostamenti calcolati devono essere considerati con prudenza, in quanto si è riscontrato che anche sui capisaldi fissi si calcolano spostamenti dell'ordine di qualche millimetro; tuttavia la zona soggetta a deformazione è già ben delineata e concorda con quanto rilevato in occasione delle misure interferometriche; è altrettanto evidente la prevalenza degli spostamenti in direzione W, coerentemente con quanto già osservato negli anni precedenti. [...]

[...] È interessante osservare il rapporto tra componente verticale dello spostamento e componente orizzontale, espresso in termini di angolo di inclinazione del vettore spostamento. La variazione nel tempo di tale rapporto, calcolato solo per le mire che mostrano spostamenti effettivi⁵, [...] valori positivi dell'angolo di inclinazione indicano spostamenti verticali diretti verso l'alto, mentre valori negativi corrispondono a spostamenti verso il basso. Dopo una fase iniziale di estrema variabilità dell'angolo di inclinazione, dovuta ai piccoli valori di spostamento disturbati dall'errore di misura, tutte le mire presentano variazioni sincrone dell'angolo di inclinazione ed una tendenza a concentrarsi nel campo di valori tra -15 e 0°, con le seguenti eccezioni:

- le mire 3, 4 e 13 hanno sempre mostrato valori positivi dell'angolo di inclinazione, con una variabilità più accentuata, soprattutto per le mire 3 e 4 che sono passate nel tempo da 45-60° a 10-20°;
- la mira 16 presenta un angolo di inclinazione (verso il basso) un poco più elevato rispetto alle restanti mire e pari a 25°.

Gli spostamenti sono quindi prevalentemente orizzontali e la componente verticale è rivolta verso l'alto nelle zone perimetrali, mentre è rivolta verso il basso nella zona centrale in movimento.

Nel periodo di tempo compreso tra l'08/09/2009 e il 09/01/2012, gli spostamenti planimetrici maggiori avvengono in direzione Ovest (segno negativo), ovvero verso valle, ed il valore massimo si ha in corrispondenza della mira 15 e risulta pari a 437,74 mm, con un rallentamento dei fenomeni deformativi. In base alle mappe a isolinee degli spostamenti planimetrici, di quelli verticali e degli spostamenti totali, ottenute prendendo in considerazione esclusivamente le mire installate nel 2009, emerge che gli spostamenti si concentrano immediatamente a tergo delle vecchie coltivazioni sotterranee e sopra le stesse. Gli spostamenti massimi si hanno sulle mire 11, 14, 15 e 21, in corrispondenza proprio della progressiva 7575 m della galleria ENEL dismessa (Figura 15).

⁴ **Lo scrivente non è d'accordo con questa conclusione!**

⁵ Sono state escluse dal calcolo le mire: 1, 2, 17, 18, 19 e 20 che risultano sostanzialmente ferme

RELAZIONE DI SINTESI

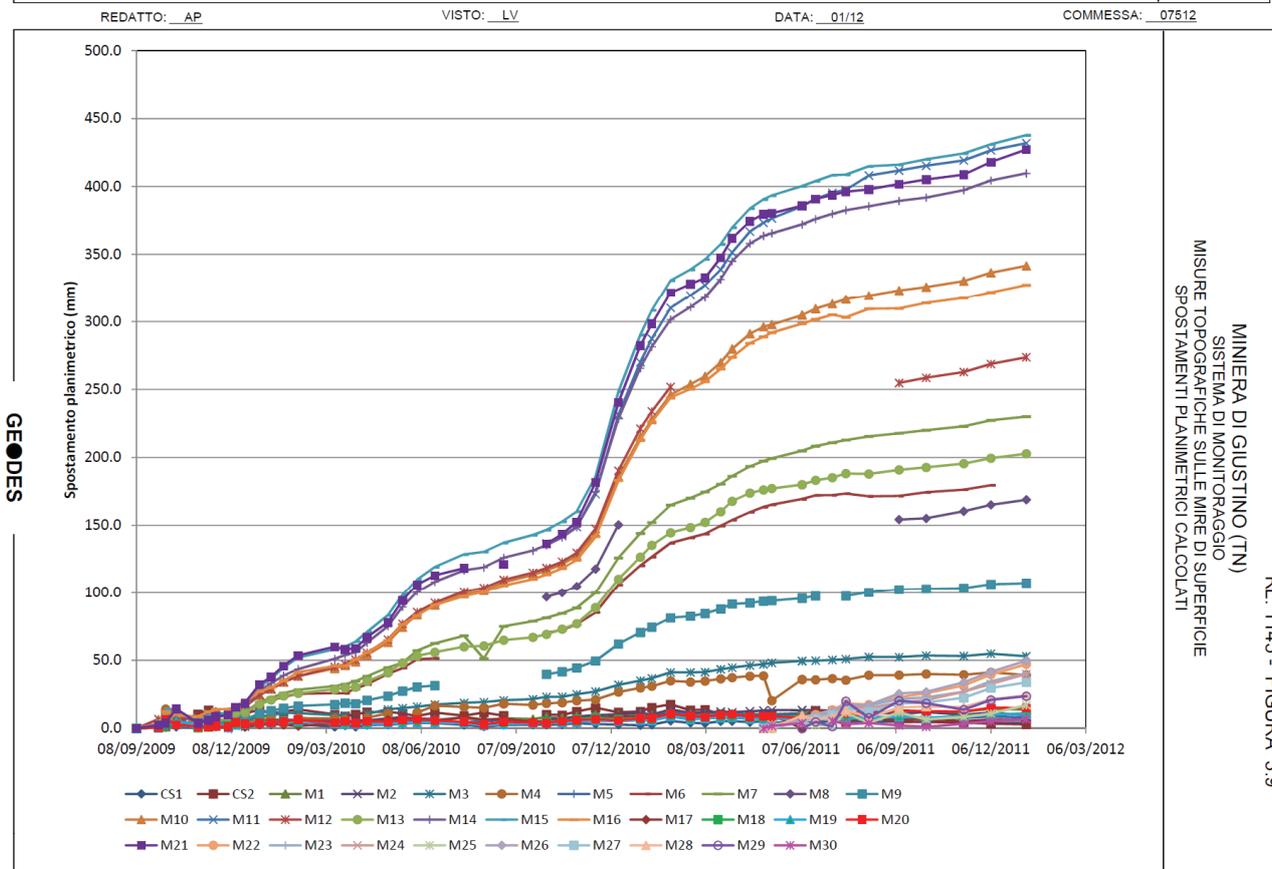
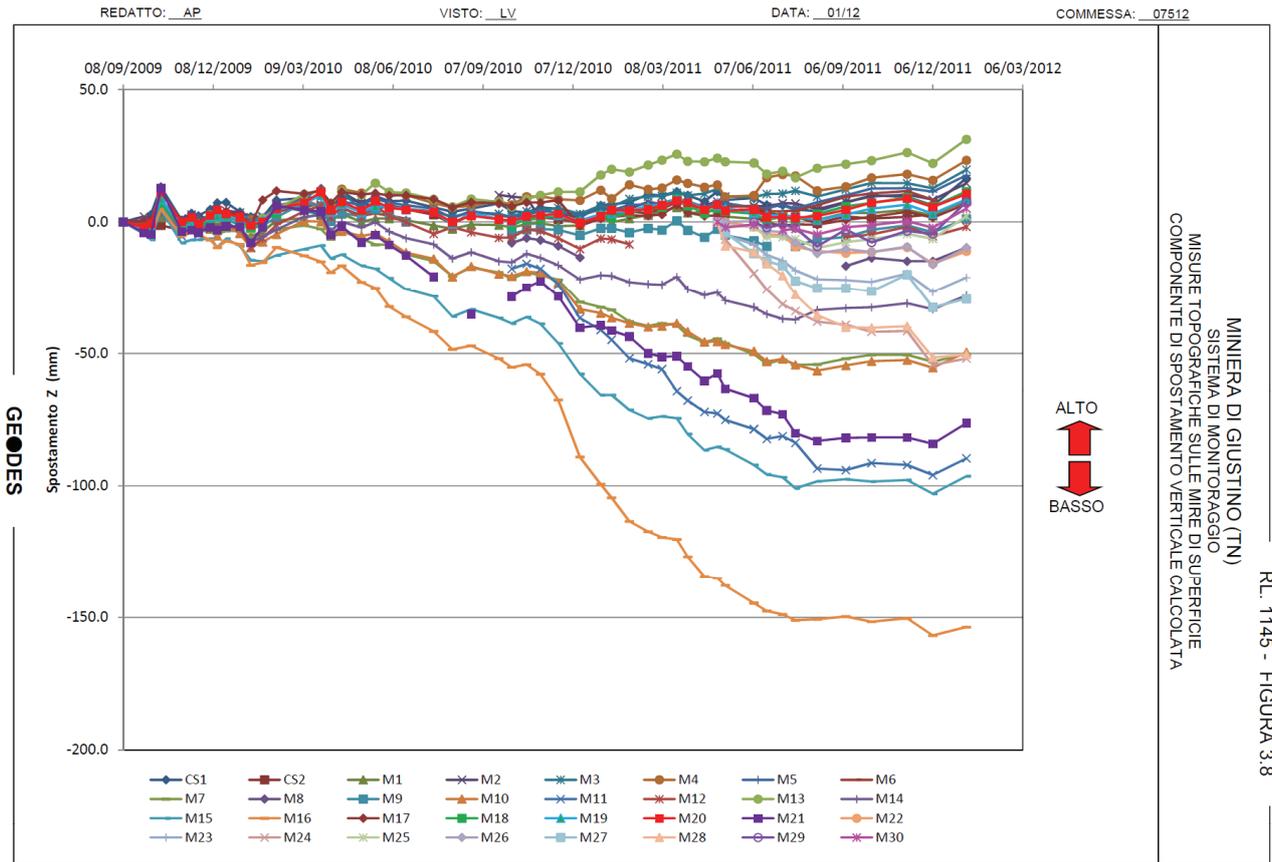


Figura 15 Spostamenti rilevati nelle mire topografiche: verticali (sopra) e planimetrici (sotto) (RL.1145, 2012)

2.2.3 Considerazioni sulla risposta deformativa del versante Est

Al fine di sintetizzare le misurazioni effettuate negli anni recenti, dall'ultimo Rapporto di sintesi (RL.1145, Geodes 2012) del sistema di monitoraggio della miniera si è estratta la Figura 16, nella quale sono stati sovrapposti:

- l'andamento della deformata di superficie, ricavata dagli spostamenti planimetrici calcolati sulla base delle misure topografiche delle mire, nel periodo compreso tra l'8/09/2009 e il 09/01/2012;
- la deformata planimetrica della galleria ENEL dismessa, ottenuta dalle misure topografiche eseguite in sotterraneo tra il 29/04/1985 e l'11/06/2004;
- il vettore di spostamento della testa dell'inclinometro verticale installato nella galleria ENEL dismessa alla progressiva 7575 m, ottenuto nel periodo 24/07/1998 -21/06/2004;
- i vettori di spostamento delle basi estensimetriche nella galleria ENEL dismessa, ottenuti imponendo fissa la base di monte più interna al versante di ciascuna coppia estensimetrica e calcolati nei seguenti periodi:
 - o estensimetri alla progressiva 7536, 27/02/1998 - 11/07/2011,
 - o estensimetri alla progressiva 7575, 16/04/1987 - 20/01/2012,
 - o estensimetri alla progressiva 7650, 15/07/1993 - 20/01/2012;
- i vettori di spostamento delle basi estensimetriche nella galleria mineraria a quota 820 m, ottenuti imponendo fissa la base a 85 m di profondità e calcolati nel periodo 08/09/2005 - 20/01/2012.

L'insieme dei dati, pur non omogeneo come periodo di misura, fornisce un quadro dello stato deformativo del versante Est della miniera, che mette in luce come gli spostamenti siano concentrati nell'intorno delle vecchie coltivazioni sotterranee e nella zona di monte e di tetto richiamata dai vuoti minerari. Il punto di massima deformata planimetrica della galleria ENEL corrisponde circa alla zona di massimo spostamento planimetrico di superficie; la direzione di spostamento della testa dell'inclinometro S1V alla progressiva 7575 m è coerente con la direzione degli spostamenti planimetrici delle mire di superficie, presenti sul versante prospiciente la galleria.

La Relazione riporta poi il rapporto tra componente verticale dello spostamento e componente orizzontale, espresso in termini di angolo di inclinazione del vettore spostamento totale; valori positivi dell'angolo di inclinazione indicano spostamenti verticali diretti verso l'alto, mentre valori negativi corrispondono a spostamenti verso il basso. Dopo una fase iniziale di estrema variabilità dell'angolo di inclinazione, dovuta ai piccoli valori di spostamento disturbati dall'errore di misura, tutte le mire installate nel 2009 esibiscono variazioni sincrone dell'angolo di inclinazione, ed ognuna di esse tende ad assestarsi su un determinato valore di angolo, rivelando una ormai raggiunta stabilizzazione della direzione di spostamento sul piano verticale. In particolare le mire 3, 4, 9 e 13 presentano un angolo positivo, ad indicare un innalzamento in senso verticale, mentre le restanti basi hanno valori negativi, compresi tra 0 e -15°, ad eccezione della mira 16 che presenta un'inclinazione del vettore di circa -25°. Le mire installate nel 2011, essendo in opera da poco tempo, presentano inizialmente una marcata variazione dell'angolo di inclinazione del vettore di spostamento totale, dovuta alla forte incidenza su di esse dell'errore di misura in cui sono rappresentati esclusivamente gli andamenti dell'angolo di inclinazione delle mire nuove. Successivamente, si presenta una fase in cui alcune mire (le mire 23, 24, 27 e 28) mostrano una tendenza all'assestamento dell'angolo, seguita da un'altra, ancora in corso, in cui i vettori di spostamento totale tendono ad alzarsi esibendo valori di angolo progressivamente più bassi. Per queste mire, tuttavia, non è ancora possibile delineare una legge di comportamento definitiva, essendo esse in opera da un tempo relativamente breve.

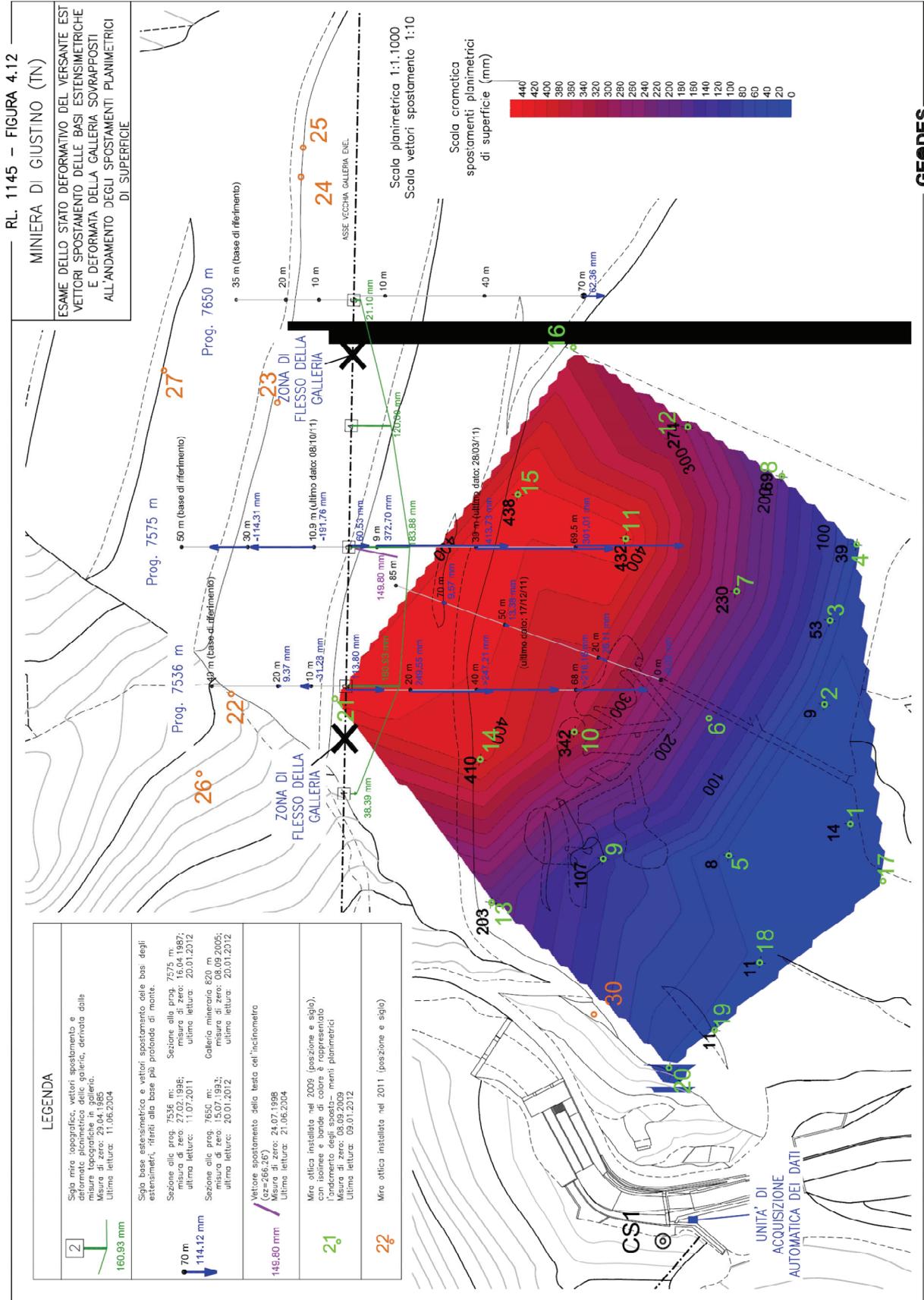


Figura 16 Mire topografiche: stato deformativo del fronte Est (RL.1145, 2012)

STUDIO DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO

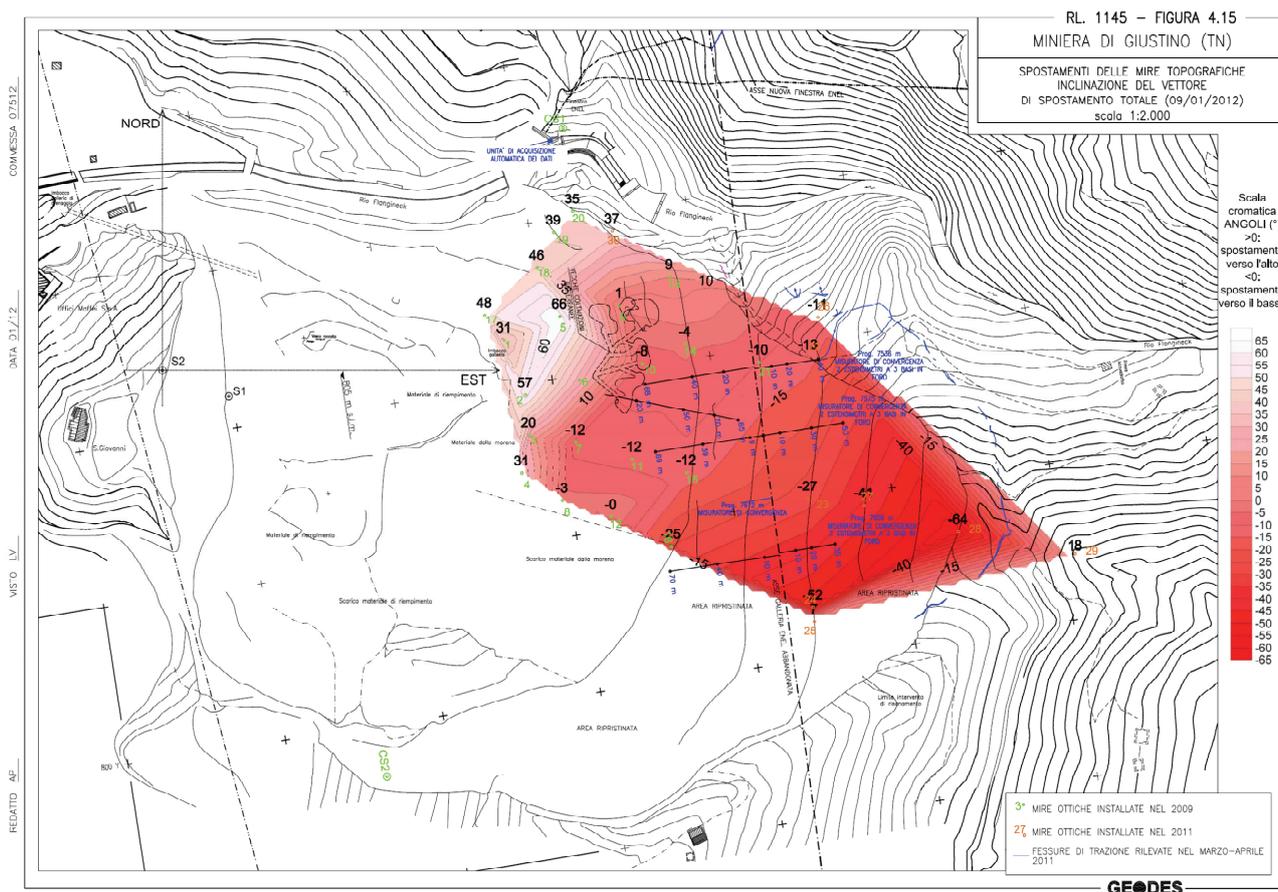


Figura 17 Mire topografiche: inclinazione del vettore spostamento (RL.1145, 2012)

Nella Figura 17 è riportata la mappa a isolinee dell'inclinazione del vettore spostamento totale, ottenuta prendendo in considerazione tutte le mire a disposizione, comprese quelle installate nel 2011, al fine di non escludere zone del versante potenzialmente in movimento. Lo spostamento verticale del versante appare ancora molto più contenuto rispetto a quello planimetrico, e solo due delle mire installate nel 2011 (le mire 24 e 28), collocate a quote elevate sul versante in movimento, mostrano un valore inferiore all'unità, segno della prevalenza della componente di spostamento verticale rispetto a quella di spostamento orizzontale. Questa mappa permette di delineare la zona del versante in movimento, che risulta infatti contenuta entro le fessurazioni rilevate tra il marzo e l'aprile 2011 e mostrate nella stessa figura, con l'eccezione rappresentata dall'area compresa tra le mire 28 e 29, di dubbia affidabilità data la marcata variazione nel tempo dell'angolo di inclinazione del vettore spostamento totale per la mira 29. La stessa mappa mostra una variazione progressiva dell'angolo di inclinazione dello spostamento da elevati valori negativi registrati nei punti più alti del versante, a bassi valori positivi riscontrati in corrispondenza del piede, ovvero una variazione planimetrica dello spostamento verticale da zone di abbassamento a zone di innalzamento, da monte verso valle e lungo la direzione di deformazione osservata, e permette di dare ulteriore conferma all'ipotesi, già avanzata sulla base delle osservazioni sul posto e delle misure fornite dal sistema di monitoraggio nel corso del tempo, che il fenomeno deformativo in atto sta evolvendo verso un potenziale scivolamento rotazionale e che lo stesso non risente del riempimento della miniera in corso, nonostante ormai risulti prossimo alla configurazione finale prevista dal progetto di chiusura del sito minerario autorizzato. Si ritiene opportuno porre in luce che ciò è conseguenza del fatto che tale riempimento riguarda quote inferiori (818-819 m

s.l.m.: quota prevista dal progetto di ripristino) rispetto a quelle della zona che mostra evidenze di deformazione.

In passato il fenomeno deformativo è stato correlato agli eventi meteorici, alla loro distribuzione nel tempo e alla sovrapposizione dei loro effetti con un approccio di tipo empirico, senza riuscire a stabilire correlazioni univoche tra loro, individuando leggi di variazione dello spostamento in funzione delle precipitazioni. La difficoltà riscontrata in tal senso è stata legata al sovrapporsi dei diversi meccanismi di alimentazione dell'acquifero sotterraneo ed alla complessità del modello idrogeologico del versante in esame, sostanzialmente poco noto. Geodes nel tempo ha comunque proposto delle correlazioni matematiche tra le grandezze che caratterizzano un evento meteorico (durata, precipitazione cumulata e precipitazione media giornaliera) e l'elemento di controllo della situazione in tempo reale (ovvero durante le normali operazioni di monitoraggio); esse non vengono proposte peraltro come uno strumento di previsione del futuro comportamento deformativo del versante e della sua evoluzione nel tempo, ma solo come uno strumento per valutare il grado di attenzione da prestare al fenomeno, in caso di allarme meteo diramato dalla Protezione Civile della Provincia di Trento. La Figura 18 riporta il rapporto tra pluviometria e deformazioni, unitamente ai limiti tra le 3 zone di attenzione e di allarme.

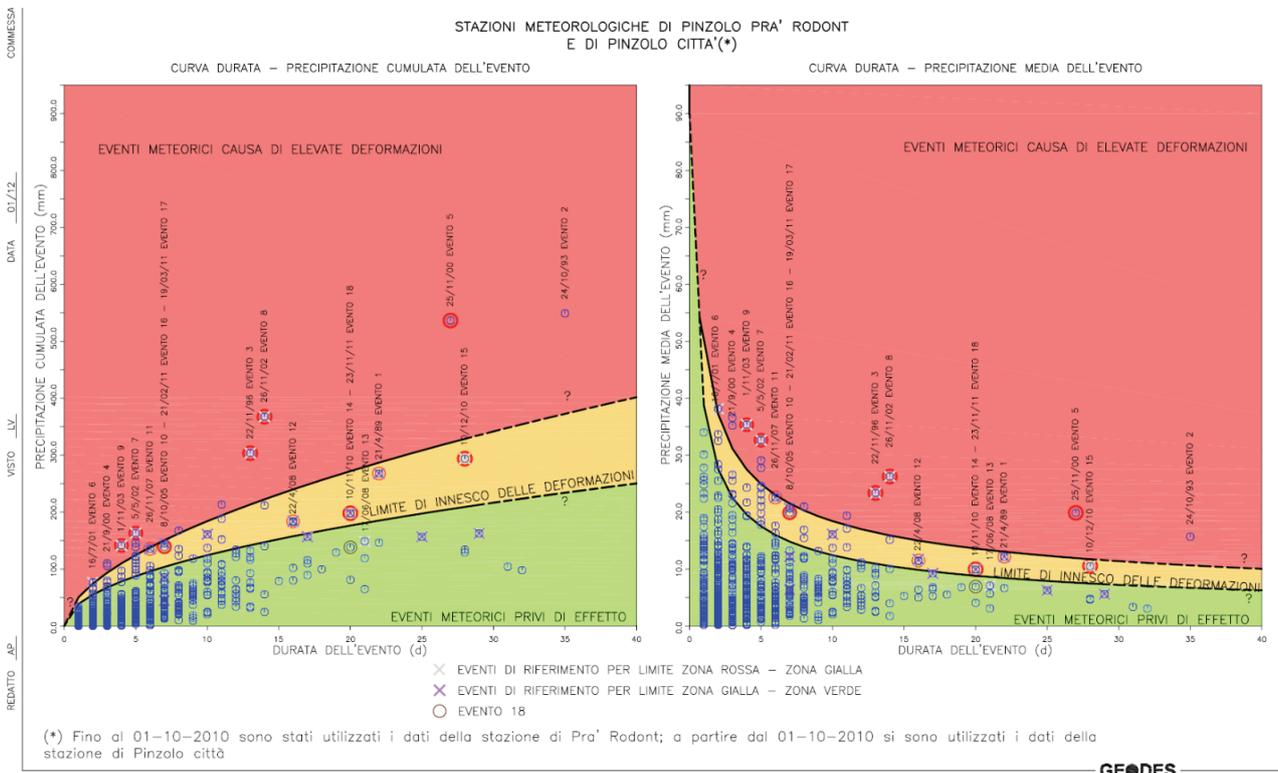


Figura 18 Rapporto tra pluviometria e deformazioni (RL.1145, 2012)

2.2.4 Osservazioni conclusive relative allo stato deformativo ed interpretazione del modello geomeccanico

Si riscontra che, rispetto al lungo periodo delle misure effettuate, il fenomeno deformativo che interessa il fronte Est della miniera, dopo una riduzione progressiva della velocità di spostamento iniziata nei primi mesi dell'anno 2006 e terminata nel marzo 2008 (quando i valori delle velocità di deformazione hanno raggiunto il livello minimo degli ultimi 7 anni), si è nuovamente innescato ed appare in pieno sviluppo una nuova fase di crescita delle deformazioni. Si sono riscontrati cicli deformativi via via più significativi, sia per l'intensità degli spostamenti, sia per la durata del fenomeno deformativo dopo il cessare della causa scatenante. Si deve pertanto rilevare un incremento della sensibilità del versante in termini di deformazioni in linea con una non linearità di comportamento meccanico dei materiali coinvolti, a causa di un probabile progressivo decadimento dei parametri geotecnici. **Attualmente risulta perciò una diversa sensibilità del versante, rispetto al passato, in termini di deformazione nei confronti degli eventi piovosi 16 e 17, del febbraio e del marzo 2011, che, ancorché non certo rilevanti per quantità totale di pioggia caduta o per intensità ma successivi ad un periodo di intensa piovosità, hanno comportato l'esteso quadro fessurativo della parte sommitale del versante, con formazione di fessure di trazione planimetricamente continue, con aperture decimetriche apparentemente profonde da vari decimetri a metri.**

Lo scrivente ritiene di poter affermare, in base alle informazioni riportate nella documentazione disponibile, che le modalità evolutive sia temporali che deformative del versante Est seguono oggi un modello diverso da quanto avvenuto in passato. È plausibile infatti che il versante segua ora un modello di rottura progressiva noto come "Baczynski's step path model" (Figura 19). In base a questo modello, entro l'ammasso roccioso compreso tra la "struttura naturale - faglia" di monte e la "struttura artificiale – zona dei vuoti" di valle, si viene a formare una struttura di collegamento lungo la quale il versante mostra una tendenza a scivolare seguendo uno schema analogo a quello riportato nella Figura 19, ripreso da varie esperienze di crolli in attività minerarie simili a quelli della ex Cava Maffei caratterizzate da elevate altezze del fronte.

Nel caso in esame:

- **ZONA A:** la "major structure controlled" può essere associata alla faglia di monte disposta circa a 45° sull'orizzontale;
- **ZONA B:** la "minor structure controlled" può essere associata alla zona dei vuoti minerari, dove la roccia lasciata in posto tra i fornelli di coltivazione costituisce i "rock bridge";
- **ZONA C:** la "rock mass controlled" può essere associata alla fascia, non nota allo stato attuale se non localmente attraverso le misure inclinometriche, dove la concentrazione di tensioni e deformazioni connessa allo sviluppo dello scavo minerario, unitamente al probabile progressivo decadimento dei parametri geotecnici dovuto al regime idrogeologico del versante, ancora oggi poco noto ma di certo molto complesso e significativamente presente nell'area di studio, ha portato al probabile superamento delle condizioni originarie di resistenza e deformabilità con passaggio a condizioni di tipo plastico dall'evoluzione temporale, spaziale e cinetica ignota.

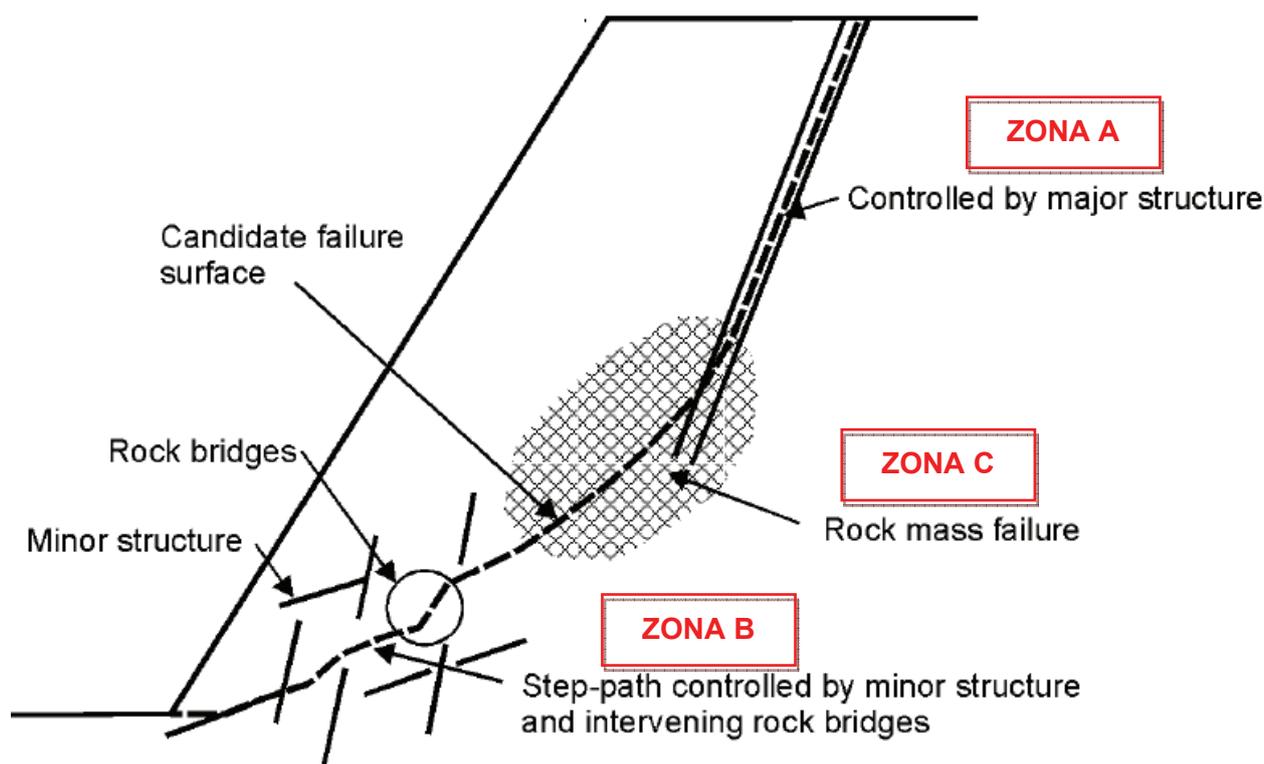


Figura 19 Step path surface failure (Baczynski⁶, 2000 e Hoek E.⁷, 2000)

Alla luce di quanto sopra risulta evidente:

- 1) il ruolo fondamentale, nel determinare modalità ed evoluzione del fenomeno, delle coltivazioni in sotterraneo, e l'influenza degli scavi a giorno;
- 2) l'esistenza di fenomeni deformativi estesi anche a notevole profondità nel versante, visto che gli estensimetri hanno indicato come tutta la formazione metamorfica, fino al contatto tettonico con le arenarie, sia sede di movimenti, quantomeno nello spazio compreso tra le progr.7510 e 7650.
- 3) la deformazione non è regolare all'interno dell'ammasso, ma varia con la profondità, risultando apparentemente massima in corrispondenza dei vuoti minerari;
- 4) la presenza di zone ubicate nell'intorno dei vuoti soggette a stati tensionali tali da giungere alla plasticizzazione, che ha comportato l'induzione di variazioni tensionali e deformative in aree via via più distanti, non note né nella loro estensione né nella loro ubicazione;
- 5) la sostanziale assenza di significative ricadute sulla stabilizzazione del fenomeno del riempimento di fondo scavo sinora effettuato, in linea con la configurazione geometrica prevista per la sistemazione finale della miniera, risultando l'inviluppo delle superfici di potenziale scorrimento poste tra il letto (820 m circa) ed il tetto (865 m circa) delle coltivazioni in sotterraneo;
- 6) la necessità di individuare la posizione, la potenza e la direzione nello spazio della fascia di collegamento mediante indagini dirette in grado di indicare anche il regime idrogeologico entro l'ammasso roccioso.

⁶ Baczynski N.R.P.. "STEPSIM4 "step-path" method for slope risks". GeoEng 2000, International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, 2000.

⁷ Hoek E., Read J., Karzulovic A. "Rock slopes in Civil and Mining Engineering". GeoEng 2000, International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, 2000.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO E GEOSTRUTTURALE

L'inquadramento geologico, geomorfologico e geostrutturale si basa sui citati numerosi studi condotti nell'area tra il 1990 ed il 2011, che di seguito si riportano nelle loro principali conclusioni.

L'ex miniera a cielo aperto di Giustino è ubicata sul versante sinistro orografico della Val Rendena, immediatamente a monte degli abitati e, allo stato attuale, si presenta come un'ampia fossa tondeggiante parzialmente riempita da materiale inerte fino ad una quota di circa 820 m. Sul versante verso monte (ad Est) il ciglio del cavo raggiunge i 1030 m di quota, mentre il ciglio di valle (ad Ovest) si chiude a quota 895 m. Il lato Nord del cavo di coltivazione è costituito dal versante orografico sinistro della valle Flangineck, una valle laterale sinistra della val Rendena, che in quel tratto si sviluppa in direzione circa E-W. Il lato Sud è chiuso dal versante sinistro della valle principale, che nella parte immediatamente a Nord di Massimeno è costituito da un fondovalle glaciale sospeso.

Il settore monitorato in superficie, che ha fatto registrare movimenti significativi (circa 300 mm dall'inizio del monitoraggio a settembre 2009), è costituito da una porzione del versante NE tra quota 820 e 950 m. Gli spostamenti registrati dal sistema di monitoraggio del versante presentano un'accelerazione nei periodi di pioggia e mostrano una tendenza ad incrementare in occasione di ogni evento pluviometrico significativo, comportamento tipico di ammassi rocciosi che mostrano un progressivo decadimento dei parametri geotecnici con l'evoluzione della deformazione interna.

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area ricade nel Foglio Geologico n. 59 "Tione di Trento" della carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Tale area è ubicata in alta Val Rendena, nel dominio Sudalpino, qui costituito da un basamento metamorfico pre-Alpino e da successioni Mesozoiche.

La serie stratigrafica presente nell'area della miniera è rappresentata da:

- basamento cristallino, costituito da micascisti e gneiss di età pre-ercinica (Scisti di Rendena);
- intrusioni post-erciniche, costituite da granodioriti a grana grossa (Graniti e Leucograniti di Madonna di Campiglio) e da granodioriti a grana fine con differenziazioni aplitiche (Leucogranodiorite del Doss del Sabion e Caderzone). Il feldspato albitico, affiorante all'interno della Miniera di Giustino, è il risultato di queste mineralizzazioni di età tardoercinica, che si presentano sotto forma di sistemi filoniani incassati nel basamento cristallino.

Il complesso cristallino pre-ercinico risulta in contatto tettonico (per faglia inversa) verso Sud-Est con una successione permiana di vulcaniti intervallate da depositi terrigeni (Sintema di Spiazzo).

Il sondaggio orizzontale S1 realizzato alla progressiva 7575 ha incontrato il contatto tra formazione metamorfico-cristallina e vulcanico-sedimentaria permiana a 30,5 metri di profondità, dove è indicata una fascia di circa 4 metri di potenza (RL. 104/1993°/02 del 1990). L'alterazione della roccia è maggiore rispetto al sondaggio verticale e più volte negli scisti sono presenti patine di talco lungo i giunti (Allegato A.8).

Il contatto è stato presumibilmente incontrato a circa 63 metri in avanzamento dal sondaggio orizzontale, eseguito in avanzamento dalla galleria di carreggio posta a quota 820 m, dove si è rinvenuto un riempimento argilloso di circa 2 metri.

In epoca quaternaria la zona è stata ricoperta dal ghiacciaio del Sarca i cui depositi, geometricamente superiori a tutte le altre formazioni affioranti, sono rappresentati da una coltre morenica dello spessore medio di 20 ÷ 25 metri, che si ritrova sulla parte superiore del fronte Est della miniera; la parte inferiore, al contatto con la roccia, è più fine della parte superiore, per un maggior contenuto della frazione limoso-sabbiosa. La superficie del contatto roccia-morena è erosiva ed è lievemente ondulata, con inclinazione generale di 20° verso Ovest, cioè verso il fondovalle.

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La zona è interessata da importanti strutture tettoniche, che ne hanno determinato l'attuale assetto; i principali lineamenti tettonici presenti nell'area sono rappresentati dalla Linea del Monte Sabin ad Est e dalla Linea delle Giudicarie Sud ad Ovest. Entrambi i lineamenti hanno direzione NNE-SSW, come le analoghe Linee di Ballino e del Garda, affioranti più a Sud, che hanno permesso la separazione tra due domini dai caratteri completamente differenti: la Piattaforma Veneta verso Est ed il Bacino Lombardo verso Ovest.

Le strutture presenti nell'area della miniera di Giustino si possono raggruppare in 4 famiglie principali: una famiglia avente direzione circa NNE-SSW, una avente direzione NNW-SSE, una famiglia con direzione NE-SW, tra cui si osserva una struttura in corrispondenza della valle del Rio Flangineck al di sopra della quota di 1100 m s.l.m. circa, ed infine una famiglia con direzione circa E-W. Non sembra esistere una singola e ben definita struttura tettonica in corrispondenza della valle del Rio Flangineck con andamento E-W; sembrerebbe più plausibile che il rio possa essersi impostato in una zona risultante dall'azione delle differenti strutture tettoniche individuate, in un settore in cui l'intensa fratturazione possa aver favorito l'erosione e l'approfondimento della valle a opera delle acque superficiali. In particolare si può osservare come la parte inferiore della valle del Rio Flangineck, dal fondovalle fino a quota 1100 m s.l.m. circa, abbia subito delle dislocazioni da parte di strutture tettoniche orientate NNE-SSW, con componente di movimento trascorrente sinistro.

3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il rilievo degli elementi morfologici presenti nell'area interessata dal fenomeno deformativo sul versante Est della miniera, calato sulla cartografia, permette di individuare numerosi indizi che evidenziano la presenza di una nicchia di distacco, ormai sviluppata (Allegato C.2). Gli elementi cartografati consistono in fessure e depressioni nei depositi glaciali (Figura 20) e in una depressione con scarpate in roccia, che può essere considerata a tutti gli effetti una trincea, al cui interno sono presenti depositi glaciali (Figura 21). Tale trincea presenta direzione NW-SE ed è presumibilmente correlabile con la sottostante faglia. Inoltre la spalla NE del fronte, che separa il Rio Flangineck dal fronte stesso, consiste in un ammasso roccioso detensionato che presenta fratture aperte.

Gli interventi di taglio del bosco, eseguiti in corrispondenza dei due impluvi (Figura 20 e Figura 21) a NE del fronte di cava, possono accelerare l'erosione superficiale dei depositi morenici, che sono costituiti prevalentemente da matrice fine con blocchi anche plurimetrici. L'attuale assenza della coltre vegetale è predisponente per un'erosione diffusa che, data l'elevata pendenza degli impluvi ($35 \div 50^\circ$) e date le caratteristiche locali di scarso addensamento dei depositi glaciali, può causare l'innescare di debris flows verso il Rio Flangineck. Tali fenomeni di erosione sono già evidenti nella parte alta del settore disboscato e nella parte inferiore dell'impluvio a NE, come dimostrato dalla Figura 21 dove sono visibili depositi glaciali privi della copertura eluvio-colluviale. Infine, la presenza dei residui di taglio del bosco lungo il pendio, nel caso di mobilitazione della coltre quaternaria, potrebbe causare l'ostruzione parziale o totale del rio stesso (RL.1118,2011).

MINIERA DI GIUSTINO (TN)

a) fessure con profondità metrica nei depositi glaciali di ablazione, b) depressione morfologica con andamento arcuato nei depositi glaciali di ablazione

COMMESSA 07512

DATA 06/11

VISTO LV

REDATTO IG



GEODES

Figura 20 Estratta da RL.1118 del 2011

RL. 1118 – FIGURA 3.4

MINIERA DI GIUSTINO (TN)

a) trincea con direzione NE-SW nella cui depressione sono presenti depositi glaciali, b) evidenze di erosione della parte sommitale del versante disboscato

COMMESSA 07512

DATA 06/11

VISTO LV

REDATTO IG



GEODES

Figura 21 Estratta da RL.1118 del 2011

3.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La maggior parte delle sorgenti della zona sembra controllata dall'assetto strutturale delle formazioni presenti. Gli acquiferi delle rocce carbonatiche, a Est dell'area in esame, vengono a giorno nei pressi della Linea del Monte Sabion, lungo il contatto con il complesso cristallino-metamorfico mineralizzato, praticamente impermeabile. Queste sorgenti di contatto si trovano assai più in alto rispetto alle coltivazioni e vengono captate o alimentano il Rio Flanginek, l'unico drenaggio naturale importante dell'area.

Una modesta falda emerge al contatto morena-roccia e soprattutto al contatto morena più fine e strato più grossolano.

Le strutture sembrano poter fungere da vie preferenziali per la circolazione delle acque che sono state intercettate all'interno della galleria ENEL dismessa, in corrispondenza di fratture riconducibili alle strutture tettoniche principali in ambito locale. Osservando infatti la localizzazione delle venute d'acqua rispetto alle faglie, si è ipotizzata una diretta correlazione tra la circolazione all'interno del massiccio roccioso e le zone di ricarica superficiali.

In occasione della perforazione di un sondaggio orizzontale all'interno della galleria mineraria di carreggio alla quota 820 m (giugno 2004), a circa 30 metri da bocca foro si è intercettata una venuta d'acqua.

Alla progressiva 7575 m nella galleria ENEL, durante la perforazione del tubo inclinometrico l'acqua è stata intercettata a circa 32 metri da bocca foro; allo stato attuale l'acqua fuoriesce dal citato tubo inclinometrico, a debole pressione, ad una altezza di circa 100 centimetri dal fondo galleria.

Nel 2004 sono state eseguite delle indagini chimiche ed isotopiche su acque campionate a varie progressive nella galleria ENEL ed in quella di carreggio a quota 820; il fine era quello di raccogliere informazioni sulle quote delle zone di alimentazione e sui percorsi delle acque sotterranee.

I risultati indicano che per le acque dei campioni galleria 820 e progressiva 7897 risultano compatibili quote di infiltrazione comprese tra 800 e 820 m, corrispondenti alle zone immediatamente soprastanti le stesse venute d'acqua. La diversa mineralizzazione è legata al fatto che l'acqua del campione galleria 820 attraversa le albiti, mentre il campione progressiva 7897 ha un circuito al di fuori della zona di mineralizzazione.

Per il campione progressiva 7932 risulta compatibile una quota di infiltrazione di 940 m circa, cioè di poco superiore alla zona di Massimeno, mentre per quello progressiva 7575, che presenta i valori isotopici minori, risulta compatibile una quota di infiltrazione di 1300 m circa, cioè decisamente superiore a tutte le precedenti e corrispondente all'area di Mezzana, dove esistevano in passato siti minerari che si trovano allineati sulle strutture tettoniche in connessione con la faglia che definisce il tratto intermedio della valle del Rio Flangineck. Questo risultato conferma che queste acque hanno compiuto il percorso più lungo tra quelle analizzate, giustificando in tal modo anche la maggiore mineralizzazione.

Nel 2004 sono state effettuate delle prove con traccianti al fine di valutare la tenuta o meno del rivestimento della galleria ENEL dismessa. In base all'esito delle prove, che non hanno riscontrato presenza del tracciante immesso nelle acque della galleria nelle acque raccolte nel bacino di decantazione a fondo scavo, si è valutato che la galleria ENEL dismessa non alimenta il circuito delle acque profonde all'interno del versante Est, ma al contrario rappresenta un elemento drenante, che convoglia le acque raccolte nel Rio Flangineck.

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dal punto di vista litologico-stratigrafico, il versante Est è suddivisibile in due unità principali: il basamento roccioso e la copertura morenica. Il basamento roccioso presenta in un'area significativa del versante estesi vuoti sotterranei oggetto di coltivazione, dei quali forma, dimensione e condizione statica non sono note. All'interno del basamento roccioso sono poi presenti alcune strutture tettoniche principali (faglie) altamente persistenti.

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La caratterizzazione geotecnica dei litotipi presenti lungo il versante Est è stata condotta sulla base dei rilievi e dei dati riportati nelle Relazioni geologico-geotecniche elencate nella Tabella 1 e nella Tabella 2.

4.1.1 Analisi geostrutturale e caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità

Nell'area sono state individuate e definite le principali famiglie di discontinuità che interessano l'ammasso roccioso, i cui valori medi di giacitura sono riportati nella Tabella 11.

Tabella 11 Principali sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso (RL. 0530, 2003)

	Famiglia	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Inclinazione (°)
	Rilievi 1990		Rilievi 1998		Rilievi 2000		
	Scistosità	101	63	124	17	-	-
J1	151	72	191	69	196	72	
J2	355	63	329	71	352	68	
J3	111	70	102	46	97	49	
J4	215	64	241	56	242	39	
J5	-	-	295	55	309	66	

Scistosità	La scistosità, immergente mediamente verso ESE, interessa l'ammasso roccioso con una serie di discontinuità disposte circa a reggipoggio rispetto al versante Est. La differenza riscontrata nei dati di giacitura tra il rilievo del 1990 e quello del 1998 è riconducibile ad una serie di strutture che ne causano la verticalizzazione nel settore occidentale della miniera, rispetto al medio-basso angolo di inclinazione rilevato sul fronte orientale. L'elaborazione statistica dei dati fornisce un valore medio della persistenza di 2,43 m; la spaziatura è fortemente variabile con valori che oscillano da un minimo di 0,1 m ad un massimo di 14,7 m, con un valore medio di 1,2 m. I piani di discontinuità si presentano ondulati lisci e le fratture sono generalmente chiuse (in alcuni casi si osservano aperture di qualche millimetro) con assenza di riempimento.
Famiglia J1	Questa famiglia, immergente verso SSE, è caratterizzata da valori di persistenza molto variabili, compresi tra 0,2 m e 18 m (valore medio 2,55 m); la spaziatura risulta assai variabile e ben distribuita in tutte le classi di frequenza e viene ad assumere un valore medio di 0,67 m. I piani di discontinuità si presentano ondulati mediamente lisci con fratture generalmente chiuse, in qualche caso aperte fino ad 1 cm con riempimento costituito da materiale milonitico.
Famiglia J2	Questa famiglia, immergente verso NNW con elevata inclinazione, presenta caratteristiche molto simili alla famiglia J1 e con tutta probabilità ne è coniugata. I valori di persistenza variano da 0,5 a 3 m (valore medio 2,59 m); la spaziatura varia da pochi centimetri a 2 e più metri, con valore medio di 0,6 m. I piani di discontinuità si presentano ondulati perlomeno lisci con fratture generalmente chiuse, in qualche caso aperte fino ad 1 cm con riempimento di materiale milonitico e quarzo.
Famiglia J3	Questa famiglia immerge verso Est e presenta valori di persistenza compresi tra 0,5 e 3 m (valore medio 2,3 m). La spaziatura varia da pochi centimetri a 2 e più metri, con valore medio di 0,63 m. I piani di discontinuità si presentano prevalentemente ondulati lisci e le fratture sono generalmente chiuse, in qualche caso aperte fino ad 1 cm con riempimento costituito da materiale milonitico, quarzo e limo di colore verde chiaro.
Famiglia J4	Questa famiglia, immergente verso SW, presenta valori di persistenza compresi tra pochi centimetri e 3 m (valore medio 2,22 m) e una spaziatura compresa tra pochi centimetri e qualche metro (valore medio 0,58 m). I piani di discontinuità si presentano prevalentemente ondulati lisci e le fratture sono da chiuse ad aperte fino a 1 cm e in tal caso riempite prevalentemente da materiale milonitico.
Famiglia J5	Questa famiglia, immergente verso W con elevata inclinazione, presenta valori di persistenza molto variabili, compresi tra 0,1 m e 9,9 m (valore medio 1,81 m) e una spaziatura compresa tra 0,01 e 14,54 m (valore medio 0,97 m). I piani di discontinuità si presentano prevalentemente ondulati lisci e le fratture sono da chiuse ad aperte fino a 1 cm, in tal caso riempite prevalentemente da limo e quarzo.

I parametri di resistenza al taglio delle discontinuità sono stati stimati, con riferimento al criterio di resistenza di Barton, dalle risultanze di prove di taglio diretto in laboratorio e, tenendo conto dell'effetto scala, si sono ottenuti i seguenti valori caratteristici:

- Joint Compressive Strength, $JCS_o = 45$ (MPa)
- Joint Roughness Coefficient, $JRC_o = 11$
- Angolo di attrito residuo, $\phi_r = 32$ (°)
- Lunghezza caratteristica della discontinuità alla scala del problema in esame, $L_n = 2,5$ (m)

4.1.2 Indici di qualità dell'ammasso roccioso RMR, Q e GSI

La qualità intrinseca dell'ammasso roccioso è stata definita attraverso la determinazione degli indici RMR (Bieniawski, 1989) e Q (Barton, 1974), ed è riportata nelle Tabelle 6.3÷ 6.7 della RL. 0530 di Geodes sintetizzate nella Tabella 12.

Tabella 12

SCISTI E ALBITI	RMR ⁸	Q	RMR = 50+15 Log Q	RMR = 44+9 Ln Q
Traverse	63	1,78	54	49
Zona A alta (quota 930 ÷ 887 m)	56	1,70	53	49
Zona A bassa (quota 800 ÷ fondo scavo)	59	2,00	55	50
Zona B alta (quota 930 ÷ 887 m)	56	1,86	54	50
Zona B bassa (quota 800 ÷ fondo scavo)	59	1,89	54	50
ARENARIE E METAVULCANITI (da sondaggio S1 alla progr. 7575 in galleria)	52 ± 7	0,2 ÷ 5,0	40 ÷ 60	30 ÷ 58

La qualità intrinseca dell'ammasso roccioso, necessaria per valutarne le condizioni di resistenza e deformabilità, è stata definita attraverso il G.S.I., Geological Strength Index (Hoek et al. 1995÷ 2006). In passato questo indice, con opportune cautele, veniva derivato dall'indice RMR; in tal modo Geodes ha assegnato un valore di GSI pari a:

- 58 a scisti e albiti;
- 52 ad arenarie e metavulcaniti.

Recentemente si sono rese disponibili metodologie quali-quantitative che permettono di definire il G.S.I. sulla base della struttura (SR) dell'ammasso roccioso e della condizione dei giunti (SCR) (Sonmez, 2004). Il parametro SR viene definito attraverso l'indice volumetrico J_v che, a differenza di spaziatura, persistenza e numero di discontinuità, permette di indicare con un unico valore la dimensione dei blocchi stessi. Il parametro SCR viene definito attraverso la scabrezza, l'alterazione ed il riempimento delle discontinuità, in maniera analoga a RMR.

Nell'ambito del presente Studio, in base alle schede classificative riportate nelle varie relazioni geologico-geotecniche si sono definiti i valori significativi di SR e SCR per gli scisti, che sono risultati essere:

- scistosità:
 - o SR = 80÷90, spaziatura caratteristica di 1,0 ÷ 2,0 metri, cui corrisponde un $J_v = 1 \div 0,5$;
 - o SCR = 3 + 6 + 6 =15, da rilievi sulle traverse;
- discontinuità:
 - o SR = 40÷50, spaziatura caratteristica media di 0,5 ÷ 0,6 metri di quattro famiglie e 1,0 metri per la quinta; si può desumere indicativamente un $J_v = 5 (+1) \div 9 (+1)$;
 - o SCR = 1 + 4 + 5 =10, da rilievi 1999 e 2003.

⁸Può essere assunto come il valore basico di RMR in quanto ottenuto trascurando il coefficiente relativo all'orientazione dei giunti ed in condizioni asciutte.

Considerando anche la scistosità si può ipotizzare che J_v assuma valori compresi tra 6 e 10 (joint/m³), cui corrisponde un SR compreso tra 40 e 50.

La Figura 22 mostra come il valore di GSI caratteristico per gli scisti risulti compreso tra 45 e 55; in base alle condizioni attuali dell'ammasso roccioso si ritiene di poter cautelativamente assumere il valore di 45 come significativo per la porzione di scisti più esterna, e di 50 e 55 rispettivamente andando più in profondità.

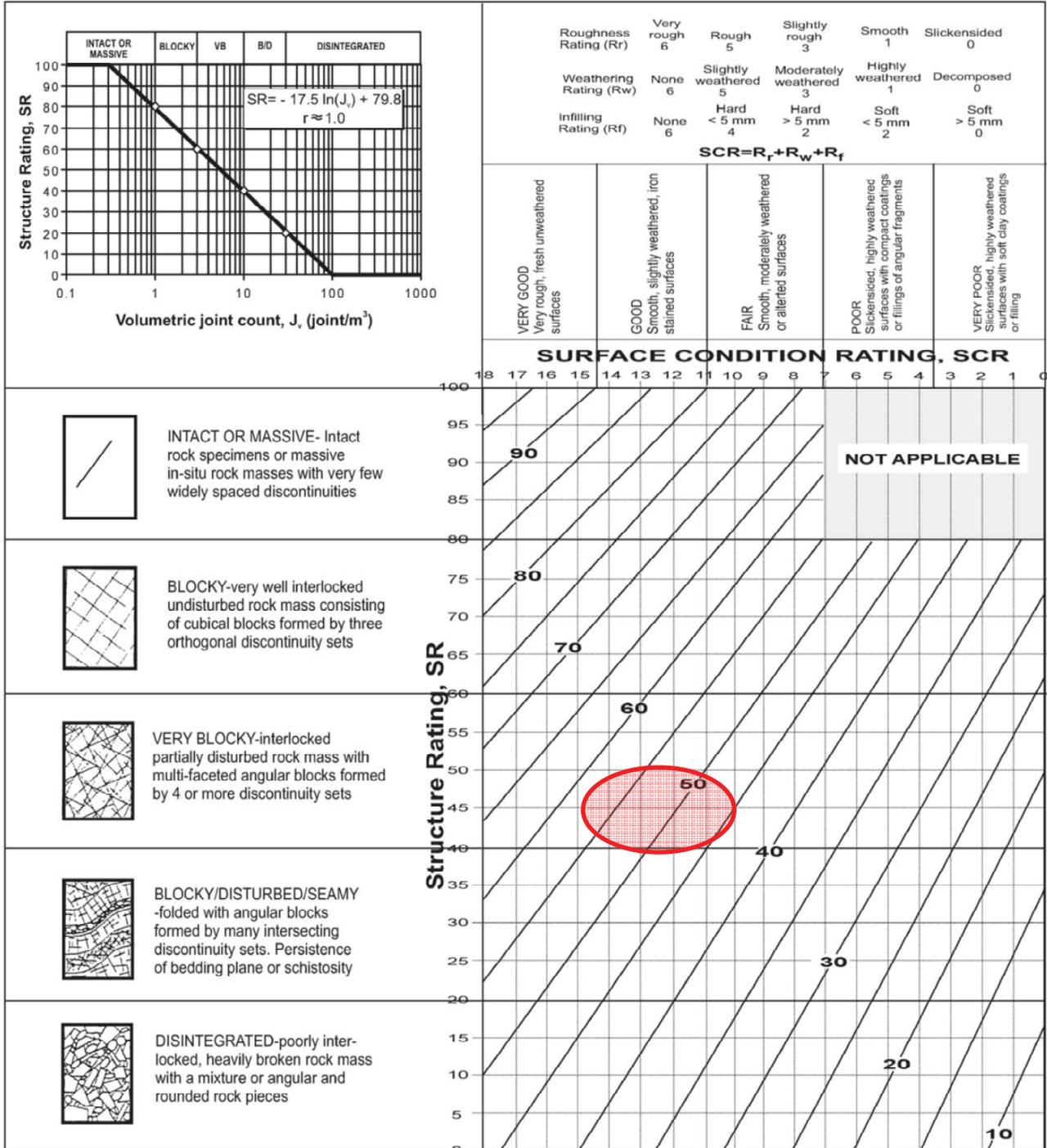


Figura 22 Determinazione quantitativa di GSI per gli scisti (Sonmez, 2004)

4.1.3 Caratterizzazione della roccia intatta

Il peso di volume delle rocce è stato desunto da alcune prove condotte su campioni di scisto e di albitite che hanno permesso di determinare un valore compreso tra 26 e 27 kN/m³. Per una valuta-

zione a grande scala si è poi ritenuto di adottare un valore di peso di volume unitario pari a 26 kN/m³. In merito alla formazione permiana, in assenza di dati di laboratorio, a suo tempo si è ritenuto adeguato adottare lo stesso peso di volume delle metamorfiti.

La resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, σ_{ci} , è stata determinata sulla base dei valori dell'indice di resistenza I_s (50), ricavati dalle prove di Point Load, applicando la nota relazione:

$$\sigma_{ci} = 20 \div 24 I_s(50)$$

Tabella 13 Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta (RL.0530,2003)

Rocce	I_s (50)	σ_{ci} (MPa)	σ_{ci} (MPa) caratteristico
Scisti e albititi	2,30 ± 1,44	46 ⁹ ± 29	45 (22,5)
Sedimentarie	3,37 ± 1,71	81 ± 41	80

Si ritiene che l'area entro cui si possono essere impostate le superfici di scivolamento possa essere caratterizzata dai valori al limite estremo minore di resistenza; si è pertanto assunto un valore di resistenza a compressione monoassiale pari a 22,5 MPa per l'ammasso roccioso in corrispondenza delle potenziali superfici di rottura entro gli scisti.

Da un confronto con i valori caratteristici di resistenza a compressione monoassiale riportati nella Figura 23 si possono classificare le rocce "Scisti e albititi" come "Schist".

Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	> 250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100 - 250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone

Figura 23 Valutazione speditiva della resistenza a compressione monoassiale (Hoek, 2009)

Nel presente Studio il parametro caratteristico del criterio di resistenza di Hoek & Brown, m_i , è stato assunto in base alla più recente letteratura sintetizzata nella Figura 24:

- Scisti e albititi: $m_i = 12$;
- Arenaria e meta vulcaniti: $m_i = 17$.

In assenza di dati certi di laboratorio il modulo di deformabilità della roccia intatta è stato ricavato con la relazione:

$$E_i = MR \cdot \sigma_{ci}$$

dove: MR = Modulus Ratio (Figura 25) e σ_{ci} = unconfined compressive strength.

⁹Per le rocce scistose si è utilizzato il rapporto 20 tra indice I_s (50) e σ_{ci} .

Il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso, E_d o E_{rm} , nella RL. 0530 (2003) è stato calcolato in base al GSI utilizzando le espressioni empiriche di Hoek e Brown (1997), assegnando un valore di 10 GPa sia alla Formazione Metamorfica (Scisti e albiti) sia alla Formazione Sedimentaria (Arenarie e metavulcaniti), ed incrementandolo prima a 30 e poi a 50 GPa ad una profondità rispettivamente di 200 e 270 m dal piano campagna originario, per tener conto del presumibile minor grado di fratturazione.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated*		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

* These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Figura 24 Valori caratteristici della costante m_i (Hoek, 2007)

Nel presente Studio si è fatto invece uso della relazione di Hoek & Diederichs (2006)

$$E_{rm}(MPa) = E_i \left(0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

dove: E_{rm} = Rock Mass Modulus; E_i = Intact Rock Modulus; D = Disturbance Factor; GSI = Geological Strength Index; MR = Modulus Ratio e σ_{ci} = unconfined compressive strength.

Per il rapporto di Poisson, ν , dell'ammasso roccioso, in assenza di dati di laboratorio nel presente Studio si è considerato un valore cautelativo di 0,3, come indicato anche nella RL. 104/1993a/02 del 1990.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
Sedimentary	Clastic		Conglomerates 300-400 Breccias 230-350	Sandstones 200-350	Siltstones 350-400 Greywackes 350	Claystones 200-300 Shales 150-250 ^a Marls 150-200
		Non-clastic	Carbonates	Crystalline limestones 400-600	Spartic limestones 600-800	Micritic Limestones 800-1000
		Evaporites		Gypsum (350) ^b	Anhydrite (350) ^b	
		Organic				Chalk 1000+
Metamorphic	Non-foliated		Marble 700-1000	Hornfels 400-700 Metasandstone 200-300	Quartzites 300-450	
	Slightly foliated		Migmatite 350-400	Amphibolites 400-500	Gneiss 300-750 ^a	
	Foliated ^a			Schists 250-1100 ^b	Phyllites/Mica Schist 300-800 ^a	Slates 400-600 ^a
Igneous	Plutonic	Light	Granite ^c 300-550 Granodiorite ^c 400-450	Diorite ^c 300-350		
		Dark	Gabbro 400-500 Norite 350-400	Dolerite 300-400		
	Hypabyssal			Porphyries (400) ^b	Diabase 300-350	Peridotite 250-300
	Volcanic	Lava		Rhyolite 300-500 Andesite 300-500	Dacite 350-450 Basalt 250-450	
		Pyroclastic		Agglomerate 400-600	Volcanic breccia (500) ^b	Tuff 200-400

^aHighly anisotropic rocks: the value of MR will be significantly different if normal strain and/or loading occurs parallel (high MR) or perpendicular (low MR) to a weakness plane. Uniaxial test loading direction should be equivalent to field application.

^bNo data available, estimated on the basis of geological logic.

^cFelsic Granitoids: coarse grained or altered (high MR), fined grained (low MR).

Figura 25 Linee guida per la determinazione del “modulus ratio MR” (Hoek et al., 2006)

4.1.4 Caratteristiche di resistenza

Il criterio di resistenza dell'ammasso roccioso, inteso come mezzo continuo o pseudo continuo, utilizzato è quello di tipo non lineare di Hoek & Brown, che risulta essere tra i criteri più accreditati di caratterizzazione dell'ammasso roccioso e che definisce il seguente legame tra le sollecitazioni

$$\text{principali: } \sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove: m_b è il fattore riduttivo della costante del litotipo m in funzione della qualità dell'ammasso

$$\text{roccioso, attraverso: } m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

- s ed a sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso, attraverso:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

- σ_{ci} , è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta ed è stata definita attraverso le prove PLT a suo tempo effettuate;

- σ'_1 e σ'_3 sono rispettivamente la tensione efficace principale massima e minima;

- D è il “fattore di disturbo” correlato al grado di disturbo conseguente alla metodologia di scavo e al grado di rilassamento dell'ammasso roccioso.

Tabella 14 Valori caratteristici del modello geotecnico adottato per l'ammasso roccioso non disturbato

			SCISTI			ARENARIE		
			A	B	C	A	B	C
Peso di volume, γ	kN/m ³		26	26	26	26	26	26
Coeff. Poisson, ν	-		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Parametro MR	-		675	675	250	275	275	275
Res. Compressione monoassiale, σ_{ci}	MPa		45	45	45	80	80	80
Parametro di H & B del litotipo, m_i	-		12	12	12	17	17	17
G.S.I.	-		55	50	45	55	50	45
G.S.I. _{residuale}	-		55	50	45	55	50	45
Parametro di H & B a.r. m_b	-		2,406	2,012	1,683	3,408	2,851	2,384
m_b residuale	-		2,406	2,012	1,683	3,408	2,851	2,384
Parametro di H & B a.r. s	-		0,0067	0,0039	0,002	0,0067	0,0039	0,002
s residuale	-		0,0067	0,0039	0,002	0,0067	0,0039	0,002
Parametro di H & B a.r. a	-		0,0504	0,506	0,508	0,504	0,506	0,508
a residuale	-		0,0504	0,506	0,508	0,504	0,506	0,508
Mod. deformabilità a.r. E_d	MPa		12.401	9.330	2.516	8.982	6.758	4.920
E_d residuale	MPa		12.401	9.330	2.516	8.982	6.758	4.920

(A)AMMASSO ROCCIOSO PIU' PROFONDO; (B)AMMASSO ROCCIOSO INTERMEDIO; (C)AMMASSO ROCCIOSO ESTERNO

4.1.5 Spazio oggetto di coltivazione sotterranea

La necessità di definire i parametri di resistenza e deformabilità nella Zona dei vuoti, oggetto in passato di coltivazione sotterranea, ha comportato la stima dei parametri di resistenza da assumere in corrispondenza della zona delle vecchie coltivazioni sotterranee. Tale stima è stata basata su apprezzamenti di carattere empirico, tenendo conto che le caratteristiche di resistenza sono determinate da una media fatta su una successione di vuoti (o vuoti riempiti) e pieni.

Nello Studio i parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso posto in corrispondenza dei vuoti sotterranei sono stati assunti in base ad un'analisi di "equivalenza della resistenza globale" dell'ammasso roccioso e di "equivalenza della resistenza lungo la potenziale superficie di scivolamento significativa" che attraversa l'area dei vuoti. La Tabella 15 riporta il dettaglio dell'analisi di equivalenza condotta. In base alle ricostruzioni effettuate dei vuoti nell'area della Sezione 7, si ritiene plausibile ipotizzare un'estrazione di materiale del 70%; la resistenza globale equivalente dell'ammasso roccioso costituente lo spazio dei vuoti sarà presumibilmente pari al 30% della resistenza globale originaria. Si può quindi immaginare che lungo una superficie generica di rottura sia presente il 30% di ammasso roccioso originario ed il 70 % di vuoti e materiale decompresso conseguente al franamento entro gli stessi; in base alle simulazioni di resistenza effettuate, sintetizzate nella Tabella 15, si può empiricamente affermare che l'ammasso roccioso costituente lo spazio oggetto di coltivazione sotterranea possa essere assimilabile ad un ammasso roccioso avente GSI pari a 15 ed un fattore di disturbo di 0,7.

Facendo riferimento al modello di Figura 19 tale ammasso roccioso è relativo alla Zona B.

4.1.6 Fascia di scivolamento

Si intende quella porzione di ammasso roccioso, collocata tra la zona di contatto tra gli scisti e l'arenaria ed i vuoti della coltivazione sotterranea, lungo la quale si ipotizza si stia sviluppando una rottura progressiva con deformazione e scivolamento.

Facendo riferimento al modello di Figura 19 è relativa alla Zona C.

L'ubicazione e la potenza di questa fascia non è nota; nei modelli numerici essa è stata ricostruita in base all'informazione desumibile dall'inclinometro S1V di progr. 7575 secondo lo schema riportato nell'Allegato E.2. La fascia congiunge la faglia con la zona dei vuoti con andamento ed inclinazione non noti. In via ipotetica si sono considerate le due condizioni limite:

- venuta a giorno nella parte basale dell'area dei vuoti, indicata negli elaborati come "superficie di scivolamento bassa" (SSB);
- venuta a giorno nella parte apicale dell'area dei vuoti, indicata negli elaborati come "superficie di scivolamento alta" (SSA).

I valori caratteristici di resistenza sono stati definiti attraverso back analysis lungo superfici di scivolamento non circolari mediante analisi di stabilità LEM. La back analysis ha ricercato, mediante analisi di sensitività (Figura 26), il valore di GSI per il quale all'interno degli scisti si ottiene un valore unitario del fattore di sicurezza; si veda a proposito la Figura F.5 degli Allegati. La potenza della fascia di scivolamento, non nota, si ipotizza essere attualmente compresa tra 1 e 2 metri, in estensione con il progredire del fenomeno.

Tabella 15 Valori caratteristici per l'ammasso roccioso in corrispondenza dei vuoti

PROFONDITA' eq	(m)	65				
GSI		45	30	25	20	15
D		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
mi		12	12	12	12	12
GLOBAL STRENGTH	(MPa)	4,443	2,672	2,188	1,743	1,333
	%	100%	60%	49%	39%	30%
COHESION	(MPa)	0,378	0,243	0,204	0,165	0,128
FRICITION ANGLE	(°)	39,21	31,58	28,72	25,62	22,21
TAU eq	(MPa)	1,07149	0,765515	0,669747	0,572617	0,475052
	%	100%	71%	63%	53%	44%

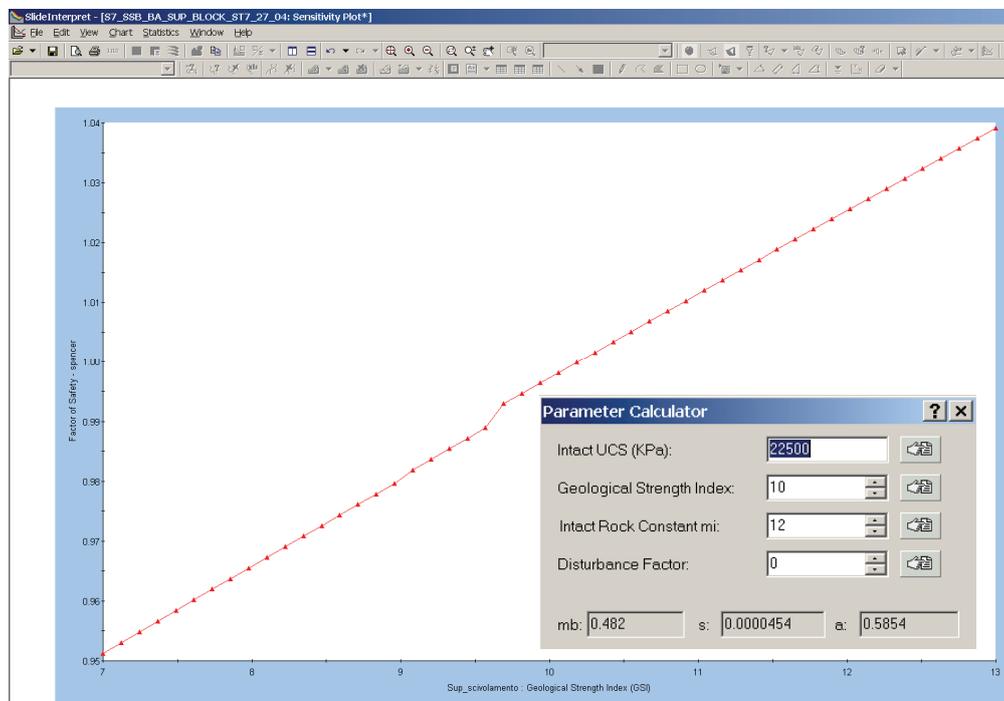


Figura 26 Analisi di sensitività su GSI e valori caratteristici identificati per la fascia di scivolamento

4.1.7 Zona di contatto (faglia)

Facendo riferimento al modello di Figura 19 è relativa alla Zona A.

Per quanto riguarda la zona di contatto / superficie di separazione tra le formazioni metamorfica e sedimentaria, non sono disponibili risultati di determinazioni sperimentali. Per la valutazione dei parametri da utilizzare nelle analisi si sono adottati i seguenti criteri:

- al modulo di deformabilità è stato attribuito un valore di 0,17 GPa ottenuto da considerazioni relative alla deformabilità della fascia di scivolamento;
- ai parametri di resistenza sono stati assegnati i valori riportati nella RL. 0530 del 2003, ritenuti sufficientemente cautelativi in considerazione delle caratteristiche scadenti della fascia di roccia fratturata che accompagna il lineamento tettonico da 2 a 5 metri: coesione pari a 0 ed angolo di attrito pari a 25°.

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEL MATERIALE GRANULARE

4.2.1 Copertura morenica

La copertura morenica è stata suddivisa in due unità caratterizzate dalla differente granulometria prevalente; la superiore più grossolana, l'inferiore più fine. Le prove di laboratorio eseguite mostrano che i livelli superiori possono essere definiti come ghiaie con sabbia, mentre i livelli inferiori sono delle sabbie ghiaioso-limose. I limiti di consistenza della frazione fine indicano che questa ha un comportamento non plastico o poco plastico. L'eterogeneità di questi depositi non ha permesso di definire le caratteristiche di resistenza su prove di laboratorio, essendo influenzata essenzialmente dal comportamento della frazione fine; nel passato si è pertanto caratterizzata la resistenza della copertura morenica sulla base delle osservazioni in sito (pendenza naturale, pendenza e stabilità degli scavi eseguiti) e da dati di letteratura.

Nel corso del rilevamento effettuato nel 1990 sono state segnalate alcune modeste emergenze idriche, localizzate al contatto tra depositi morenici e basamento. La falda che alimenta tali emergenze è comunque modesta ed essenzialmente legata ad eventi meteorici.

4.2.2 Materiale di riempimento

Il materiale di riempimento dovrà essere scelto in modo da assicurare i valori caratteristici riportati nella Tabella 16; si rileva l'opportunità di prevedere un'adeguata costipazione in modo da poter ottenere un peso di volume di almeno 20 kN/m³.

Tabella 16 Valori caratteristici del modello geotecnico adottato per i materiali granulari

		Copertura morenica	Materiale di riempimento
Peso di volume, γ	kN/m ³	20	20
Mod. di Young, E_i	GPa	0,2	0,2
Coeff. Poisson, ν	-	0,35	0,35
Angolo di attrito: φ_p	°	40	40
φ_{res}		28 ÷ 32	30 ÷ 34
Coesione : c_p	kPa	20	0
c_{res}	kPa	0	0

4.3 CARATTERIZZAZIONE DEL REGIME IDROGEOLOGICO

Il regime idrogeologico assunto nella modellazione FEM e nelle verifiche di stabilità LEM ha considerato la presenza di una falda freatica.

L'andamento di questa falda è stato stimato sulla base delle risultanze delle perforazioni eseguite nella galleria ENEL, dove in particolare nel foro S1V, alla progressiva 7575 m, si rinviene dell'acqua che fuoriesce dal tubo ad una quota di circa 0,5 m dal fondo della galleria stessa. Si è pertanto imposto il passaggio della superficie piezometrica nel nodo del modello corrispondente alla posizione della galleria, per poi prolungarla all'incirca parallelamente alla superficie del versante. Al fine di valutare l'influenza dell'innalzamento del livello di falda sulla stabilità del versante si

sono ipotizzate due condizioni: normale (Stage 7) e speciale (Stage 8) legata ad eventi meteorici particolarmente intensi. Nel primo caso la falda ha l'andamento prima descritto, nel secondo caso si ipotizza che la falda venga ad essere saturata causando l'innalzamento della piezometrica. Le due condizioni sono graficamente illustrate nell'Allegato E.1 cui si rimanda. In base ad un'informazione avuta da personale operante nella Cava all'epoca della valorizzazione della risorsa mineraria, non si sono mai avute venute d'acqua rilevanti, né nelle zone dei vuoti sotterranei, né nella galleria di base a quota 820 m s.l.m..

4.4 STATO TENSIONALE ORIGINARIO

La definizione dello stato tensionale originario è uno dei punti fondamentali dell'analisi con il metodo degli elementi finiti. Nel caso in esame gli studi condotti non riportano specifiche informazioni sull'entità delle tensioni orizzontali e verticali originarie agenti nell'ammasso roccioso, né sul loro rapporto. In analogia con quanto fatto in passato, per il presente Studio si assumerà lo stato tensionale iniziale avente componente verticale, σ_v , pari al carico litostatico: $\sigma_v = \gamma \cdot h$; e componente orizzontale minore, $\sigma_h = k_o \cdot \sigma_v$, in cui k_o assume valori che, in base alle osservazioni delle deformazioni nella galleria ed alla ricostruzione geologica e geostrutturale dell'area, si possono ipotizzare compresi tra 0,5 e 1,0. Questo intervallo sembrerebbe contenere il valore assunto da Geodes nelle analisi condotte in passato.

4.5 MODELLAZIONE SISMICA

Per determinare l'accelerazione orizzontale massima e le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica, si sono utilizzate, ritenendole le più significative a tal fine, le coordinate del punto mediano del tracciato, desumibili dalla cartografia a disposizione e la classificazione del sito in base alle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14.01.2008) riportate nella Tabella 18.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Le categorie di suolo sottosuolo specifiche del sito di interesse, dedotte dai dati bibliografici e dalle indagini in sito (Tabella 3.2. Il delle NTC 2008) e rappresentative del volume di terreno significativo, sono la A e la E, e le loro caratteristiche sono riportate nella Tabella 17.

Tabella 17 Categorie di sottosuolo

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale. I valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL sono riportati nella Tabella 19. L'accelerazione orizzontale massima nel sito risulta per lo Stato limite di prevenzione del collasso SLC pari a: $a_g = 0,067 \cdot g$. La Tabella 19 riporta la modellazione sismica dell'area di progetto rispettivamente per il sottosuolo di categoria A e E.

Tabella 18 Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. ° Long. °

(1)* Coordinate ED50
 Lat. ° Long. °

Classe dell'edificio

Vita nominale
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50,
 Grandi opere >=100)

46.145588, 10.775184

Tabella 19 Modellazione sismica dell'area di progetto: categorie di suolo A (sx) ed E (dx)

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,025	2,489	0,187
Danno (SLD)	35	0,027	2,504	0,192
Salvaguardia vita (SLV)	332	0,055	2,640	0,306
Prevenzione collasso (SLC)	682	0,067	2,724	0,329
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,025	2,489	0,187
Danno (SLD)	35	0,027	2,504	0,192
Salvaguardia vita (SLV)	332	0,055	2,640	0,306
Prevenzione collasso (SLC)	682	0,067	2,724	0,329
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie
 Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)
 us (m)
 Categoria sottosuolo
 Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>
Cc* Coeff. funz categoria	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>
St* Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
<input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	<input type="text" value="0.6"/>			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,006	0,006	0,013	0,016
kv	0,003	0,003	0,007	0,008
Amax [m/s ²]	0,296	0,315	0,643	0,786
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie
 Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)
 us (m)
 Categoria sottosuolo
 Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss* Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,60"/>	<input type="text" value="1,60"/>	<input type="text" value="1,60"/>	<input type="text" value="1,60"/>
Cc* Coeff. funz categoria	<input type="text" value="2,25"/>	<input type="text" value="2,23"/>	<input type="text" value="1,85"/>	<input type="text" value="1,79"/>
St* Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
<input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	<input type="text" value="0.6"/>			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,010	0,010	0,021	0,026
kv	0,005	0,005	0,010	0,013
Amax [m/s ²]	0,474	0,504	1,028	1,257
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

5. ANALISI TENSIO-DEFORMATIVE

In base alle informazioni ricavate nel precedente capitolo è stato predisposto un modello geologico-geomeccanico del versante Est con il quale si sono eseguite delle analisi numeriche adottando il metodo degli Elementi Finiti sviluppato nel codice di calcolo PHASE2¹⁰.

Il modello prende in considerazione:

- la presenza di tre formazioni geologiche: gli scisti, le arenarie e la copertura morenica;
- i rapporti geometrici relativi tra le stesse formazioni;
- la natura dei relativi contatti per quanto desumibile dalle indagini geognostiche e dalle misure strumentali (estensimetri ed inclinometri);
- la topografia dello stato attuale desumibile dal rilievo LiDAR della PAT (Allegato C.2);
- la presenza e l'influenza dei vuoti ricostruiti in base ai piani di coltivazione (Allegato D).

Le analisi sono state condotte con riferimento alla sezione trasversale denominata Sezione 7 (Allegato C.9) (Tavola 1), tracciata lungo le direzioni di massima pendenza del versante e passante per la progr.7575 della galleria ENEL dismessa.

Si sono assunte le seguente ipotesi:

- deformazione piana in campo bidimensionale (si trascura l'effetto tridimensionale legato alla modesta estensione dei vuoti in direzione trasversale al versante ed alla forma emiciclica del fronte);
- materiali costituenti il pendio continui, omogenei ed isotropi aventi comportamento elastoplastico ideale.

L'Allegato E.1 riporta il dettaglio del modello geologico-geomeccanico. Il modello messo a punto per rappresentare il versante Est è costituito da elementi triangolari a sei nodi, in numero variabile intorno a 20.000 per ciascuno degli 8 stages di calcolo. La Figura 27 riporta un particolare della griglia utilizzata per analizzare la condizione SSB, della zona involucro dei vuoti e delle due zone a diverso grado di disturbo poste in prossimità degli stessi.

Ai bordi del modello sono state imposte le seguenti condizioni di vincolo: superficie superiore: libera; superfici laterali: spostamenti in direzione orizzontale impediti; superficie inferiore: spostamenti in direzione verticale impediti (carrelli) ed orizzontale impediti al bordo (cerniere). Il modello è stato sufficientemente esteso in profondità e lateralmente, in modo da poter ritenere trascurabili, nella zona di pendio di interesse, gli effetti di disturbo delle condizioni di vincolo introdotte.

Le analisi sono state condotte in sequenza considerando gli 8 stages illustrati negli allegati E.3 e E.4; in particolare: nello stage 6 si genera la fascia di collegamento tra la faglia e la zona dei vuoti; nello stage 7 si considera l'influenza della falda in condizione "normale"; nello stage 8 si considera l'influenza della falda in condizione "di eventi meteorici consistenti".

Le Figure E.3 e 4 illustrano i risultati ottenuti con la tecnica dello "Strength Reduction Factor" per individuare la fascia critica per instabilità; come si può apprezzare, la stessa è congruente con il modello assunto con valori prossimi a 1, ad indicare la bontà dei parametri geomeccanici alla luce dei fenomeni di instabilità manifestatisi nel 2011.

Le Figure E.5 ÷ 20 illustrano i risultati delle analisi tensio-deformative per la parte relativa ai "total displacement" incrementali; essi, pur nella approssimazione dovuta all'assenza di dati certi di laboratorio e di campagna, paiono congruenti con i valori strumentali interni ed esterni al versante.

L'analisi FEM sembra avvicinarsi al fenomeno realmente in atto nell'area, riconducibile come noto ad uno scivolamento rotazionale in roccia; da notare che si sono ipotizzate due situazioni di stress originario in quanto pare poco probabile che lo stesso sia stato idrostatico, viste le strutture presenti e la storia geologica dell'area.

¹⁰ PHASE2 ver.8.010 di Rocscience, 2012.

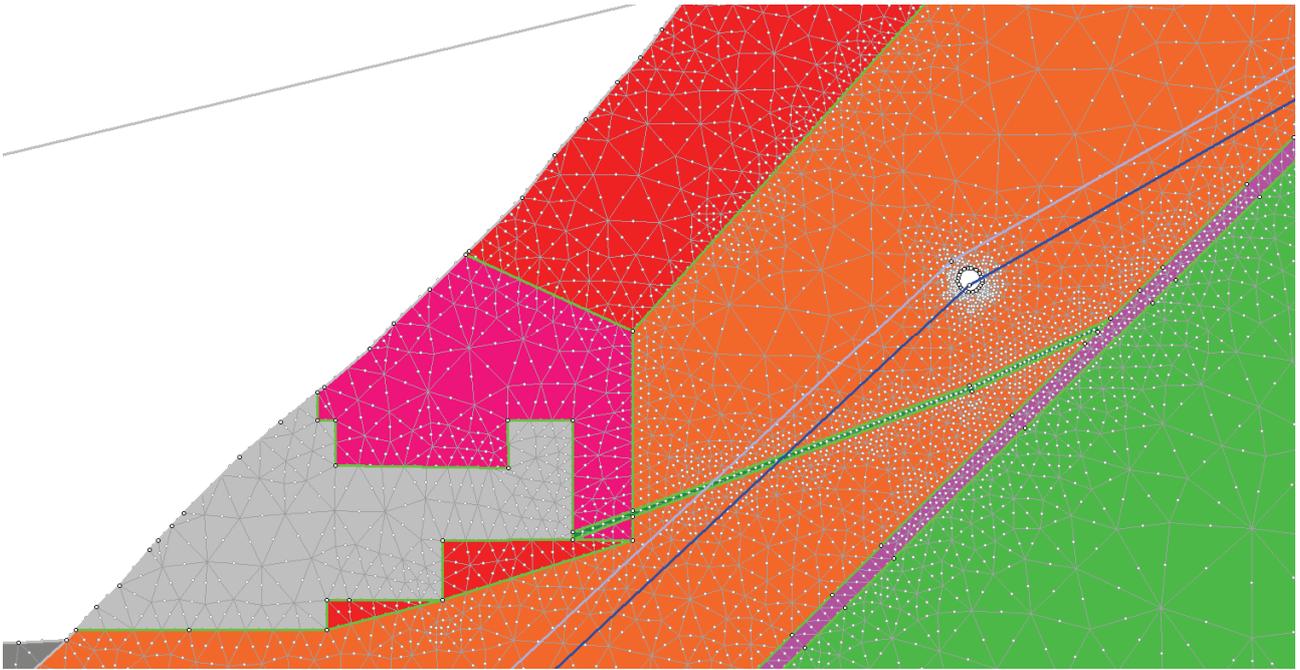


Figura 27 Griglia FEM utilizzata con indicate le due ipotesi piezometriche e la fascia di scioglimento bassa ipotizzata (SSB)

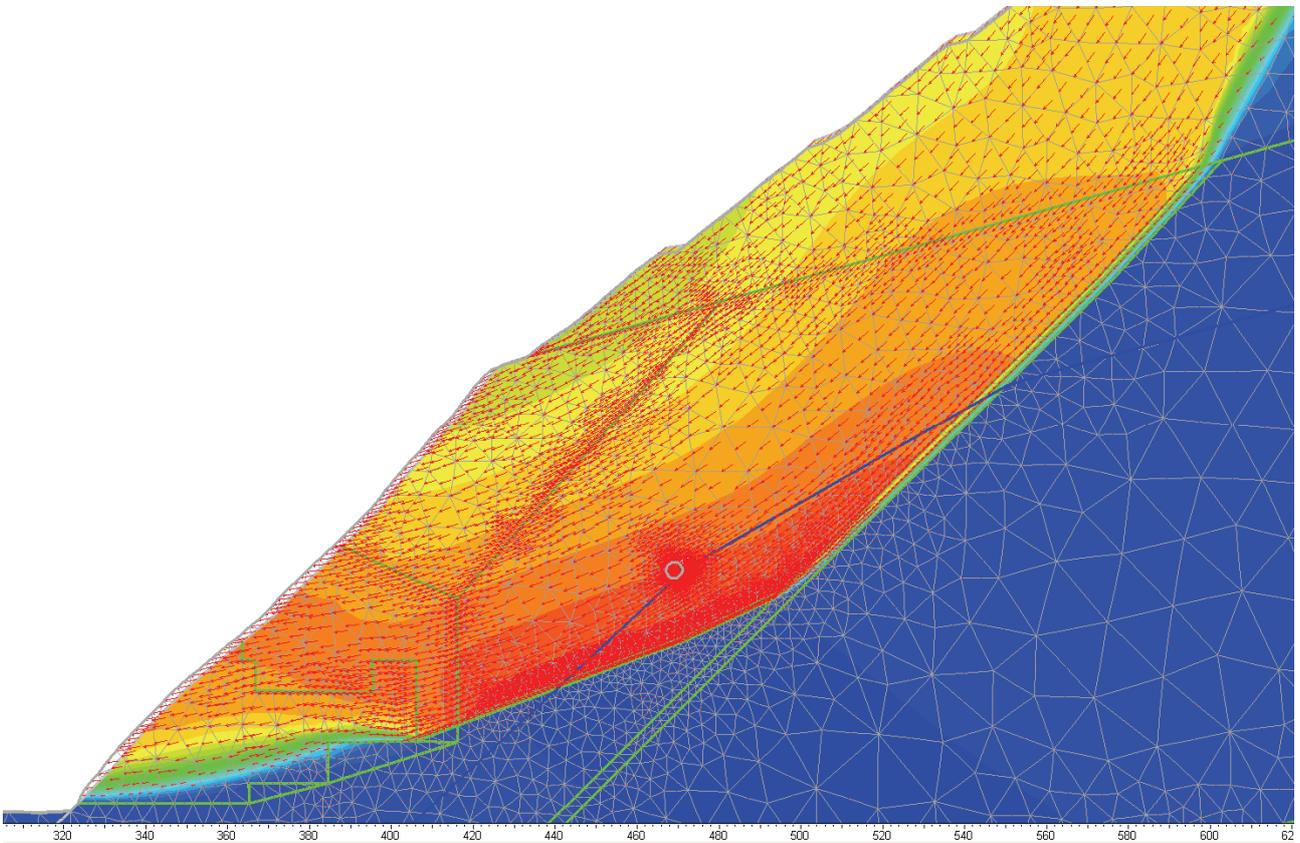


Figura 28 Vettori spostamento totale. Stage 6 – 7 (Caso SSB $k_h = 0,5$)

STUDIO DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DEL VERSANTE
A MONTE DELLA EX CAVA MAFFEI A GIUSTINO

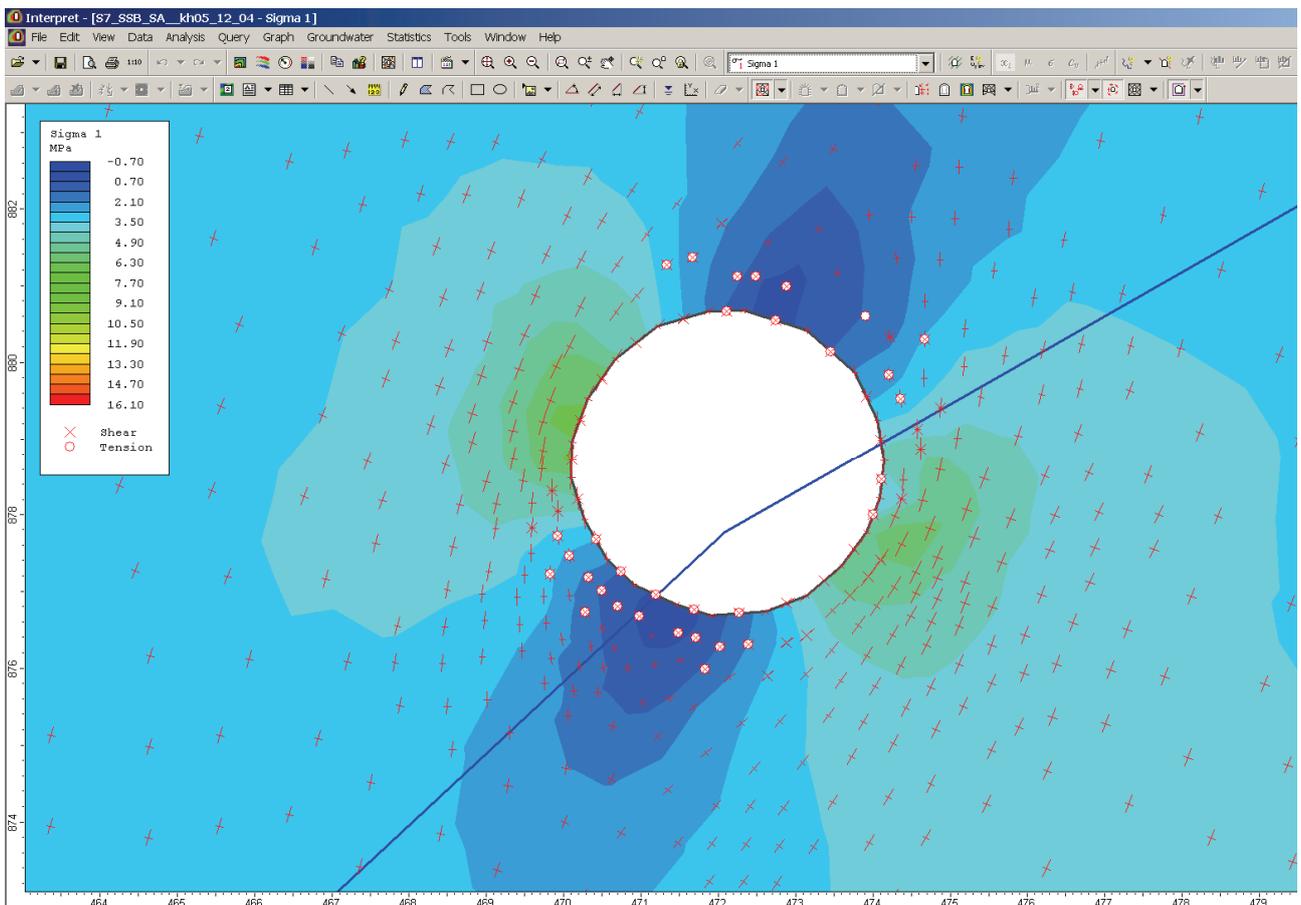
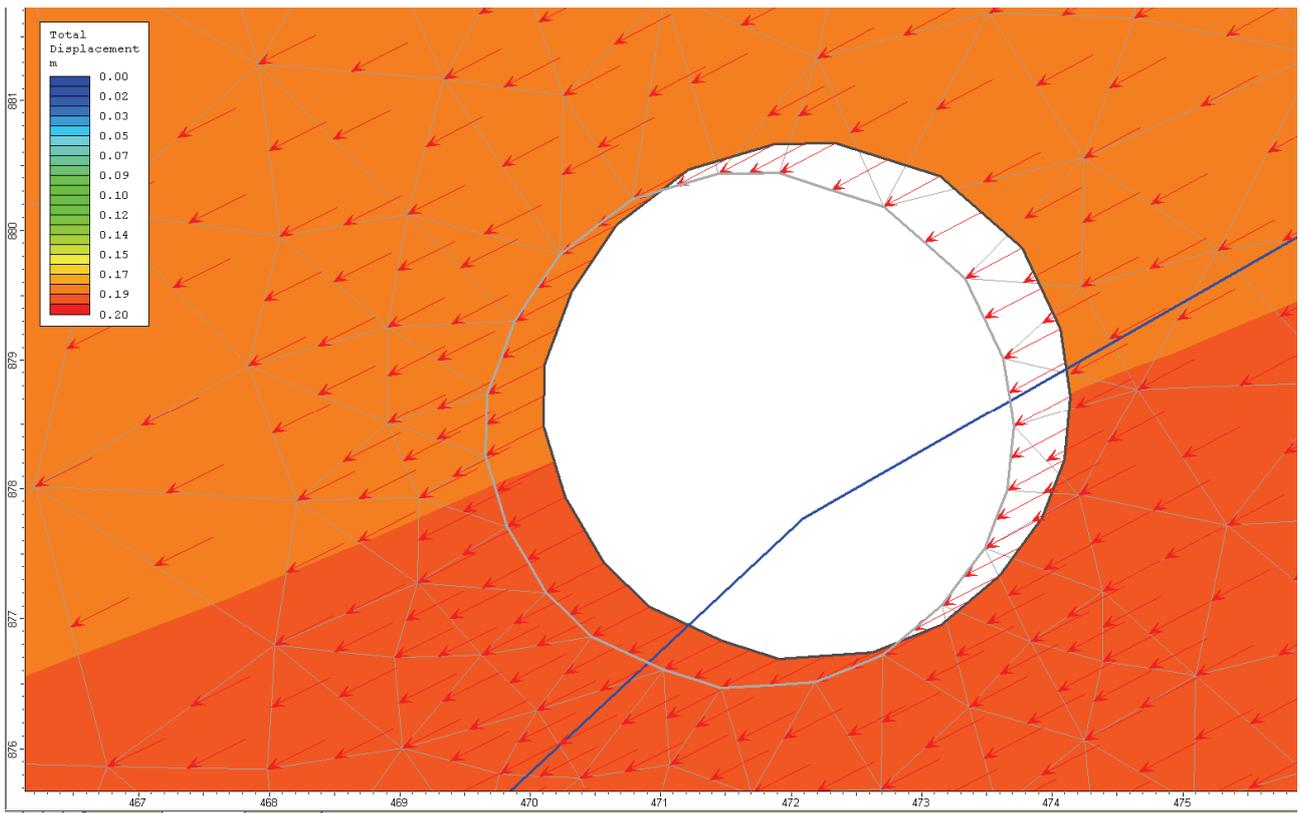


Figura 29 Stage 6 – 7 (Caso SSB $k_h = 0, 5$): particolare della sezione di galleria. Vettori spostamento totale e deformata (sopra). Andamento della tensione principale sigma1 (sotto).

6. VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI SICUREZZA

Al fine di valutare il livello di sicurezza dell'area di studio, una volta validato il modello geologico geomeccanico attraverso l'analisi tensio-deformativa, si sono condotte un numero opportuno di verifiche di stabilità con il Metodo dell'Equilibrio Limite (LEM).

6.1 VERSANTE EST

6.1.1 Situazione attuale del versante Est

Le verifiche di stabilità sono state condotte con il metodo all'equilibrio limite sulla sezione 7 ritenuta significativa tra quelle ricostruite dal LIDAR dello stato attuale, utilizzando il programma di calcolo geotecnico denominato SLIDE® (Ver. 6.015, 2012) della Rocscience (Canada), che risulta di comprovata affidabilità tanto da essere prodotto da diversi anni ed essere largamente utilizzato presso numerosi studi di ingegneria geotecnica. Il programma analizza l'equilibrio limite del versante verificandone la stabilità e determinando il valore del fattore di sicurezza secondo le più accreditate metodologie di modellazione. Per il presente Studio, in ragione della forma anche non circolare delle superfici di potenziale scivolamento, conformemente con quanto stabilito dall'American Society of Civil Engineering¹¹, si è considerato il Metodo di Spencer come quello da utilizzare sia per la back analysis sullo stato di fatto che, successivamente, per valutare l'efficacia degli interventi.

Se si accetta che il versante sia assimilabile ad un versante naturale, i valori caratteristici coincidono con quelli di progetto ed il fattore di sicurezza è coincidente con il rapporto R_d / E_d .

La valutazione del grado di sicurezza attuale e con gli interventi di mitigazione è stata condotta sulla sezione 7 (Allegato C2 e C9; Allegato E1) ricostruita in modo da risultare:

- circa perpendicolare alle curve di livello dell'attuale versante;
- passante per il sondaggio verticale S1V sede di un clinometro;
- passante per la progressiva 7575 della galleria ex ENEL, dove sono disponibili sia dati di monitoraggio, sia indagini geognostiche orizzontali e verticali.

Si sono analizzate le seguenti condizioni:

Ubicazione della potenziale fascia metrica di scivolamento in roccia congiungente la faglia e l'area dei vuoti:

- SSB: limite inferiore, più inclinato;
- SSA: limite superiore, meno inclinato.

Andamento della falda:

- ST7: falda in situazione standard passante per la galleria ex ENEL;
- ST8: falda in situazione di saturazione della faglia avente carico idraulico sulla galleria ex ENEL.

A favore di sicurezza si è ipotizzata anche la presenza di una fessura di trazione parzialmente saturata, 30%, in corrispondenza della fessura manifestatasi in superficie nel marzo 2011.

L'Allegato F riporta le "Verifiche della stabilità del versante Est della ex Cava Massimeno: stato attuale e con interventi di mitigazione del rischio.

La Tabella 21 riporta i valori calcolati per il Fattore di Sicurezza (Fs) con il Metodo di Spencer, sia in campo statico che in campo dinamico.

L'Allegato Figure F.1÷20 riporta i modelli di calcolo LEM e le analisi di stabilità del versante Est nelle condizioni attuali. Nelle varie figure si riportano le superfici di scivolamento con FS inferiore a 2 e la superficie con il valore di FS minore.

Le verifiche di sicurezza mostrano una condizione di precaria stabilità coerente con le assunzioni fatte e con le fessure di trazione manifestatesi nel 2011.

¹¹ "Guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California" (2002)

Un calcolo preliminare del volume potenzialmente instabile fornisce valori tra 2,5 e 3,5 milioni di metri cubi.

6.1.2 Possibili interventi sul versante Est

Si sono valutati i possibili miglioramenti della sicurezza ottenibili con la rimodellazione del versante o l'applicazione di sistemi locali di rinforzo, su schemi individuati di concerto con i funzionari della Provincia Autonoma di Trento (Tabella 20).

Tabella 20 Ipotesi di intervento per mitigare il rischio di franamento del versante Est

	IPOTESI	VOLUMI (m ³)
A.1)	Riporto di materiale fino a quota 865 m, copertura zona vuoti con scarpata a 20° circa, conformato a 30° a Sud fuori dall'area strettamente necessaria (Allegato F.1); stima su ipotesi PAT originaria 300.000 metri cubi circa.	270.000
A.2)	Riporto di materiale fino a quota 865 m, copertura zona vuoti con scarpata a 20° circa, esteso lateralmente fino al versante Sud della ex cava (Allegato F.2).	425.000
B.1)	Riporto di materiale fino a quota 885 m, copertura zona vuoti ed area decompressa sovrastante con scarpata a 20° circa; esteso lateralmente con andamento variabile tra 865 e 885 fuori dall'area strettamente necessaria (Allegato F.3 ocra); stima su ipotesi PAT originaria 620.000 metri cubi circa.	600.000
B.2)	Riporto di materiale fino a quota 885 m, copertura zona vuoti ed area decompressa sovrastante con scarpata a 20° circa; esteso lateralmente fino al versante Sud della ex cava (Allegato F.3 blu).	780.000
C)	Sbancamento a 30° dal contatto morena a salire (Allegato F.4).	340.000
D)	Sbancamento fino a quota 980 circa da fessure di trazione di testa frana (Allegato F.5).	160.000
E)	Interventi congiunti d: sbancamento a 30° dal contatto morena a salire (C) e riporto di materiale fino a quota 865 m circa(A).	

La Tabella 21 riporta i valori calcolati per il Fattore di Sicurezza (Fs) con il Metodo di Spencer, sia in campo statico che in campo dinamico) per le varie ipotesi di intervento. L'Allegato Figure F.21÷31 riporta le analisi di stabilità del versante Est con gli interventi sopra indicati.

In fase di progettazione esecutiva degli interventi si dovranno utilizzare ovviamente i valori di progetto (riduzione del 25% circa) invece di quelli caratteristici come previsto dalle NTC 2008.

Tabella 21 Rapporto R_d/E_d in campo statico e dinamico

	COND. STATICA		COND.DINAMICA: $k_{v\downarrow} + k_h$	
	ST7	ST8	ST7	ST8
SSB	1,000	0,975	0,950	0,926
SSA	1,038	1,019	0,898	0,976

INTERVENTI				
A. RIEMPIMENTO FINO A CIRCA 865 m	1,072	1,054		1,005
B. RIEMPIMENTO FINO A CIRCA 882 / 885 m	1,106	1,089		1,038
C. ASPORTAZIONE DELLA MORENA: CON PIANO A 30° DAL CONTATTO	1,052	1,031		0,981
D. ASPORTAZIONE DELLA MORENA: DA QUOTA 980 m CON PIANO A PARTIRE DALLE FESSURE DI TESTA	1,047	1,027		0,979
E. INTERVENTI CONGIUNTI A + C	1,162	1,113		1,061

6.2 IMPLUVIO POSTO TRA IL CIGLIO DI CAVA ED IL RIO FLANGINECK

6.2.1 Situazione attuale dell'impluvio

Nella primavera 2011 si sono rilevate numerose fessure nell'impluvio posto tra il ciglio sommitale del versante Est ed il Rio Flangineck; la Carta geologico - geomorfologica (Allegato C.2) riprende quanto riportato nella RL.1118 (2011). L'Allegato G riporta la planimetria, generale e di dettaglio, dell'area entro cui si colloca l'impluvio in questione, unitamente all'ubicazione delle principali fessure; l'Allegato G.3 riporta inoltre una sezione dell'area di interesse nella quale con i possibili interventi di mitigazione del rischio di franamento nel Rio Flangineck.

La Sezione A (Allegato G.3) è stata tracciata in modo da risultare significativa per l'area di studio sul DTM fornito; nella realtà la morfologia si presenta molto più irregolare di quanto rilevabile dalla topografia a disposizione, presentando parecchie zone subverticali in precario equilibrio, entro le quali si rinvencono anche trovanti granitici metrici. Numerose fessure aperte, estese sia planimetricamente che in profondità, sono evidenti entro tutto il corpo di frana.

Risalendo lungo l'impluvio, a quota 918 m s.l.m. circa si incontra un tubo piegato (acquedotto) per probabile carico di punta e flessione dello stesso causato dal movimento lungo l'asse dell'impluvio dal più esteso movimento del versante Est di cui l'impluvio rappresenta il margine esterno orientale. A quota 936 m s.l.m. circa si rinviene un tubo portato in superficie per probabile franamento del materiale di copertura; il tubo è visibile anche in altre zone come riportato nella planimetria dell'area.



Figura 30 Impluvio in sinistra idrografica del Rio Flangineck: tubo piegato a quota 918 m s.l.m. circa.

La spalla NE del versante Est che separa l'impluvio dal Rio Flangineck consiste in un ammasso roccioso detensionato soggetto nel tempo, oltre alle sollecitazioni tettoniche correlate alle varie strutture presenti, anche ad un diffuso disturbo legato allo scavo con esplosivo nella vicina cava e strutturalmente predisposto ad un diffuso fenomeno di "flexural toppling" (Figura 31) con superfici di scivolamento che hanno causato il formarsi di fratture aperte sia entro l'ammasso roccioso, che nella morena (depositi glaciali) a questo sovrapposta. Nei depositi glaciali sono presenti numerosi trovanti granitici in posizione instabile a causa della sottoescavazione correlata al franamento locale. Una precisa valutazione del volume che può mobilitarsi non è possibile in assenza di specifiche indagini geognostiche ed in considerazione del fatto che il potenziale fenomeno franoso verso il

Rio Flangineck è strettamente correlato all'evolversi del movimento del versante Est verso il cavo minerario con forze e deformazioni non note. Si può comunque stimare un volume di circa 70.000 metri cubi di materiale che tende a scivolare sul substrato roccioso, causando la deformazione e l'instabilità dello stesso secondo lo schema di Figura 31.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Name: Scisti_decompressi Colour: █</p> <p>Parameter Calculator ?</p> <p>Intact UCS (KPa): <input type="text" value="45000"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>Geological Strength Index: <input type="text" value="20"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>Intact Rock Constant <i>m</i>_i: <input type="text" value="12"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>Disturbance Factor: <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>mb: 0.040 s: 0.0000016 a: 0.5437</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Name: Scisti_legg_decompre Colour: █</p> <p>Parameter Calculator ?</p> <p>Intact UCS (KPa): <input type="text" value="45000"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>Geological Strength Index: <input type="text" value="30"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>Intact Rock Constant <i>m</i>_i: <input type="text" value="12"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>Disturbance Factor: <input type="text" value="0.7"/> <input type="button" value="↩"/></p> <p>mb: 0.256 s: 0.0000393 a: 0.5223</p> </div>
	
 <p>Block flexural toppling caratterizzante gli scisti decompressi (Hoek¹², 1981)</p>	
<p>SCISTI DECOMPRESSI (A)</p>	<p>(A) SCISTI DEBOLMENTE DECOMPRESSI</p>

Figura 31 Impluvio in sinistra idrografica del Rio Flangineck: condizioni dell'ammasso roccioso e sua caratterizzazione geomeccanica

¹² Hoek E. and Bray J.W. "Rock Slope Engineering". IMM, London (1981)



Fessure nell'ammasso roccioso di quota 910 ÷ 920 m s.l.m.



Trovanti granitici entro i depositi glaciali / la morena



Fessura nella morena di quota 1.000 m s.l.m.



Vista dell'impluvio da quota 1010 m s.l.m. circa



Opere di regimazione non più efficaci



Canaletta di smaltimento lungo un gradone priva di collettamento

Figura 32 Documentazione fotografica impluvio

6.2.2 Possibili interventi sull'impluvio

La mitigazione del rischio lungo l'impluvio si può sviluppare con le seguenti modalità:

- a) Regimazione delle acque meteoriche al fine di evitare l'erosione superficiale dei depositi morenici, la saturazione degli stessi e l'infiltrazione dell'acqua nel corpo di frana principale del versante Est. Deve comprendere anche il ripristino delle canalette di smaltimento delle acque superficiali lungo i gradoni del fronte Est ed il loro collettamento fino al Rio Flangineck, in modo da rendere plausibile l'ipotesi di assenza di saturazione nei terreni.
- b) Modificazione morfologica con asportazione di materiale della porzione sommitale dei depositi morenici, oggi si presentano molto irregolari e con parecchie nicchie di frana subverticali. La sezione A estratta dal DTM a disposizione non restituisce la reale condizione morfologica dell'area, sede di parecchi franamenti locali che hanno reso pensili anche blocchi granitici di notevoli dimensioni; si ipotizza l'asportazione del materiale sciolto posto tra le quote 1050 e 970 m s.l.m. circa, per una volumetria stimata di circa 50.000 metri cubi.
- c) Rafforzamento dell'ammasso roccioso di base, previo disaggio, mediante reticolo di chiodi auto perforanti tipo 30/11 da 320 kN e rete di contenimento con funi e rete al fine di limitarne la deformazione verso il Rio. La planimetria di intervento (Allegato G.2) individua preliminarmente quattro zone (A ÷ D), dove si ipotizza sia opportuno realizzare una "rete di rinforzo" costituita da:
 - un reticolo di ancoraggi autoperforanti, maglia 3 x 3 metri, tipo 30/11 con carico di snervamento di 200 kN, resistenza all'estrazione superiore a 100 kN/m, lunghezza 6 metri e comunque fino ad immorsarsi in Scisti non decompressi;
 - una rete di adeguata resistenza a punzonamento, sovrapposta ad una rete metallica DT e/o un reticolo di funi in trefolo d'acciaio di adeguata resistenza; il tutto per dare una resistenza di progetto superiore a 5 kN/m².

L'effetto atteso è quello di evitare i fenomeni di franamento verso il Rio attraverso l'alleggerimento della porzione sommitale costituita prevalentemente dai depositi morenici, ed il miglioramento delle condizioni di resistenza dell'ammasso roccioso nella porzione basale, costituita dagli scisti decompressi, deformati e con fessure beanti con persistenza plurimetrica

La planimetria degli interventi è riportata negli Allegati G.1 e G.2; la sezione significativa di analisi è riportata nell'Allegato G.3 (Sezione A).

L'Allegato Figure G.1÷3 riporta le analisi di stabilità dell'impluvio effettuate in back analysis allo stato attuale in tre condizioni diverse di regime idrogeologico; si vede come in particolari situazioni di saturazione si abbia un grado di sicurezza inferiore ad 1 lungo superfici correlabili alle attuali fessure visibili in superficie.

Le Figure G.4÷G.6 riportano i risultati dell'analisi di stabilità una volta realizzati gli interventi di mitigazione del rischio franamento.

Nelle figure G.1÷G.3 e G.4÷G.6 si riportano le superfici di scivolamento con FS inferiore a 1,5 e la superficie con il valore di FS minore.

L'analisi di stabilità condotta lungo la Sezione A non tiene ovviamente conto delle forze e delle deformazioni legate al movimento del versante Est, che risultano incognite sia nella loro entità che nella loro direzione.

6.3 COSTI E TEMPI INDICATIVI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

6.3.1 Interventi sul versante Est

In via preliminare si sono ricercate le modalità con le quali perseguire le ipotesi di intervento di cui alla Tabella 20.

Le attrezzature che si sono considerate necessarie per l'esecuzione dei lavori sono:

- 1) Scavo e caricamento: un escavatore da 36 o 50 tonnellate a sezione ristretta con benna rispettivamente da 2 o 3 metri cubi.

- 2) Trasporto: quattro dumper da 30 o 40 tonnellate.
- 3) Stesa e prima compattazione: un trattore cingolato da 16 tonnellate.
- 4) Compattazione: un rullo da 16 tonnellate.

Il trasporto da monte a valle può avvenire mediante:

- a) pista interna lungo il versante, da realizzare, con percorso avente una lunghezza di circa 1,5 km;
- b) pista sterrata esistente, da adeguare, che passa in prossimità dell'abitato di Massimeno, con percorso avente una lunghezza di circa 2,5 km; serve deroga all'utilizzo di mezzi privi di targa (dumper).

Per sbancare e riportare un volume di circa 350.000 metri cubi in banco, si possono ipotizzare gli scenari temporali e di costo (comprensivi degli oneri della sicurezza, delle spese generali al 13% e degli utili di impresa al 10%) riportati nella Tabella 22.

Tabella 22 Sintesi dei costi e dei tempi di realizzazione per uno sbancamento ed un riporto di 350.000 metri cubi (turno di lavoro 8 ore / giorno)

		Costo (€)	Tempi (mesi)
Pista interna alla cava		Lunghezza 1,5 km circa	
A	Escavatore da 36 t con benna da 2 m ³ e 4 dumper da 30 t	1.250.000	10
B	Escavatore da 50 t con benna da 3 m ³ e 4 dumper da 40 t	1.100.000	7
	Predisposizione della pista	50.000 ÷ 100.000	1÷2
Pista per Massimeno		Lunghezza 2,5 km circa	
A	Escavatore da 36 t con benna da 2 m ³ e 4 dumper da 30 t	1.750.000	13
B	Escavatore da 50 t con benna da 3 m ³ e 4 dumper da 40 t	1.450.000	9
	Adeguamento della pista	50.000 ÷ 100.000	1÷2

Si devono inoltre aggiungere i costi di:

- Sbancamento in roccia di trovanti: quantificabile in circa 50.000 ÷ 100.000 euro.
- Regimazione acque e recupero naturalistico quantificabili in circa 200.000 euro.

Tutti i costi sopra riportati sono al netto di IVA.

6.3.2 Interventi di mitigazione del rischio sul Rio Flangineck

I lavori di modificazione morfologica richiedono l'asportazione di circa 50.000 metri cubi di depositi morenici con una tempistica indicativa di 1 + 2 mesi. I lavori di rafforzamento dell'ammasso roccioso, circa 3.100 metri quadrati, possono richiedere indicativamente 5 mesi; i lavori accessori e di predisposizione del cantiere e delle piste di collegamento, ulteriori due mesi, per un totale di 10 mesi. La Tabella 23 riporta i costi preliminarmente stimati per gli interventi volti a mitigare i rischi di franamento nel Rio Flangineck del materiale presente nell'impluvio.

Tabella 23 Sintesi dei costi di realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio sul Rio Flangineck

A	REGIMAZIONE E CANALIZZAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE	€ 50.000,00
B	MODIFICAZIONE MORFOLOGICA CON ASPORTAZIONE DI MATERIALE	€ 200.000,00
C	RAFFORZAMENTO DELL'AMMASSO ROCCIOSO DI BASE	€ 300.000,00
D	PREDISPOSIZIONE VIABILITA' DI ACCESSO ALL'AREA DI CANTIERE DI TESTA	€ 50.000,00
E	RINATURALIZZAZIONE	€ 40.000,00
		€ 640.000,00

Tutti i costi sopra riportati sono al netto di IVA.

7. CONCLUSIONI

Lo “Studio di verifica della stabilità del versante a monte dell’Ex cava Maffei a Giustino” ha analizzato le condizioni geostatiche del versante Est della, un tempo, indicata come Cava Massimeno. Questo versante è sede, fin dal 1983, di un movimento dell’ammasso roccioso profondo che ha portato: dapprima, al danneggiamento di circa 150 metri della galleria idraulica posta a circa 100 metri di profondità, e successivamente, al manifestarsi di diffusi movimenti e fessurazioni della superficie topografica tra le quote 1.055 m s.l.m. (ciglio) e 850 m s.l.m. (zona dei vuoti minerari sotterranei) compatibili con l’instaurarsi di una nicchia di distacco principale e di altre a questa presumibilmente correlate.

Lo Studio ha comportato l’analisi della documentazione fornita dalla Provincia Autonoma di Trento e la predisposizione di un modello 3D in ambiente Autocad 2012 nel quale sono state raccolte, una volta opportunamente georiferite, le principali informazioni geologiche, geomeccaniche e topografiche.

Lo Studio è composto dalla presente Relazione di sintesi e da una serie di Allegati.

L’Allegato A sintetizza, attraverso planimetrie e sezioni, le principali informazioni geologiche e geomeccaniche riportate negli studi ed indagini dirette ed indirette condotti dal 1990 ad oggi; vi sono rappresentate anche le fessure di trazione, rilevate nel marzo 2011, planimetricamente continue, con aperture decimetriche apparentemente profonde da vari decimetri a metri.

L’Allegato B effettua il confronto tra lo stato morfologico rilevato al 2011 e sette ortofoto rese disponibili datate tra il 1973 ed il 2011.

L’Allegato C illustra, attraverso planimetrie e sezioni, la ricostruzione geologica, geostrutturale e morfologica dell’area di studio, indicando l’andamento dei vuoti sotterranei (gallerie di coltivazione, di base a quota 820 m s.l.m. circa ed ENEL dismessa) desunti dai piani minerari degli anni 1963 e 1965 ed i risultati del monitoraggio di superficie degli anni 2009 ÷ 2011.

L’Allegato D mostra alcuni punti vista del modello 3D nel quale si evidenziano, in relazione al versante, i vuoti minerari (ipotizzati come dei fornelli subcilindrici per tener conto delle modalità di coltivazione impiegate) e la galleria ENEL dismessa.

L’Allegato E sintetizza la modellazione tensio-deformativa agli elementi finiti effettuata su una sezione, Sezione 7, ricostruita in modo da risultare il più possibile significativa per i principali fenomeni in atto e supportata dal maggior numero di informazioni di monitoraggio e geomeccaniche. Il modello FEM è stato ricavato e tarato in modo da fornire andamenti delle deformazioni, totali, verticali ed orizzontali, coerenti con quanto indicato dal monitoraggio e permettere di individuare un plausibile modello di comportamento geostatico del versante caratterizzato da un SRF vicino all’unità.

L’Allegato F riporta gli interventi, planimetrie e sezioni, che si possono mettere in atto per la mitigazione del rischio di frana stante che la ricostruzione 3D, la modellazione FEM ed i risultati del monitoraggio hanno indicato la presenza di un’area in movimento del versante Est della Ex cava Maffei e la sua potenziale interconnessione con l’instabilità dell’impluvio sul Rio Flangineck. L’Allegato F contiene inoltre le verifiche di stabilità/sicurezza, effettuate mediante LEM, dello stato attuale (back analysis) e dei diversi stati di progetto sia in campo statico che dinamico.

L’Allegato G riporta la verifica della stabilità/sicurezza del canale posto a Nord del versante Est della Ex Cava Massimeno ed incombente sul Rio Flangineck, unitamente ad un’indicazione preliminare degli interventi opportuni per la mitigazione del rischio franamento sul Rio stesso.

Si evidenzia che, vista la natura dello studio, le verifiche di stabilità/sicurezza eseguite per i vari interventi di mitigazione del rischio hanno considerato i valori caratteristici dei parametri geotecnici; in sede di progettazione definitiva degli interventi, sicurezza a medio-lungo termine, si ritiene opportuno vengano utilizzati i valori di progetto dei parametri geotecnici, ottenibili dai caratteristici riducendoli come previsto dalle NTC2008.

Le analisi condotte mostrano un incremento della sensibilità del versante in termini di deformazioni correlabile con la non linearità del comportamento meccanico dei materiali coinvolti, probabilmente causata da:

- una variazione dello stato tensio-deformativo dell'ammasso roccioso correlata all'asportazione di materiale roccioso costituente il giacimento minerario;
- un progressivo decadimento dei parametri geotecnici correlato al regime idrogeologico che ha comportato la riduzione, entro una fascia la cui estensione spaziale non è nota, sia della qualità dell'ammasso roccioso, alterazione, sia della tensione efficace resistente.

Si ritiene infatti plausibile che le modalità evolutive sia temporali che deformative del versante Est seguano oggi un modello diverso da quanto avvenuto in passato a causa della formazione, entro l'ammasso roccioso compreso tra la "struttura naturale - faglia" di monte e la "struttura artificiale - zona dei vuoti" di valle, di una struttura di collegamento coerentemente ad un modello di rottura progressiva (Figura 19). Questo modello, ricostruito per l'area di studio mediante l'analisi FEM, sembra essere congruente con il fatto che si siano riscontrati: in sommità estesi segnali di movimento, fessure di trazione e lungo il tratto in morena diffusi spostamenti a prevalente componente verticale; mentre, per il momento, non si sono manifestate particolari spostamenti entro il sottostante ammasso roccioso affiorante vista la presenza dei vuoti sotterranei che presumibilmente contengono la deformazione dell'ammasso roccioso di monte, oramai presumibilmente plastica. Si ritiene plausibile che i fenomeni fessurativi ed i movimenti entro la morena e nell'ammasso roccioso fratturato presente nell'impluvio sul Rio Flangineck possano ulteriormente amplificarsi sino al distacco di porzioni anche consistenti materiale pur in assenza di analoghi spostamenti nella porzione litoide del versante Est.

Il modello evolutivo del fenomeno proposto permette, tra l'altro, di comprendere la sostanziale assenza di significative ricadute, sulla stabilizzazione del fenomeno franoso, del riempimento di fondo scavo sinora effettuato, in linea con la configurazione geometrica prevista per la sistemazione finale della miniera, risultando l'involuppo delle superfici di potenziale scorrimento poste tra il letto (820 m circa) ed il tetto (865 m circa) delle coltivazioni in sotterraneo. Le analisi condotte mostrano invece come sia opportuno prevedere un approccio combinato di asportazione del materiale sciolto e di deposito dello stesso, opportunamente costipato, rispettivamente in testa ed alla base del versante Est, al fine di mitigare in maniera sostanziale il rischio di frana su scala ampia. L'evoluzione del fenomeno franoso risulta peraltro condizionata dalla presenza dei vuoti minerari entro cui il volume in movimento tenderà comunque a muoversi anche in presenza di riempimenti a valle; quanto meno fintanto che non verrà asportata una opportuna volumetria della morena di testa.

La posizione, la potenza e la direzione nello spazio della fascia lungo la quale si presume si sia sviluppata una o più superfici di scivolamento risultano, allo stato attuale delle conoscenze, non note; la complessità ed estensione del fenomeno franoso in atto, un calcolo preliminare del volume potenzialmente instabile fornisce valori tra 2,5 e 3,5 milioni di metri cubi, consiglia un approfondimento investigativo mediante indagini dirette, presumibilmente inclinometri, estensimetri e piezometri, in grado di indicare anche il regime idrogeologico entro l'ammasso roccioso.

L'evoluzione delle deformazioni entro il versante è peraltro attualmente priva di un'efficace strumentazione di controllo in quanto gli estensimetri multibase in galleria che nel tempo sono stati allungati / resettati / aggiustati risultano, in base a quanto indicato da GEODES, poco affidabili e/o fuori uso. Si evidenzia, tra l'altro, che la strumentazione di monitoraggio predisposta a suo tempo nella galleria ENEL dismessa era essenzialmente finalizzata a controllare lo stato della stessa più che ad investigare l'evoluzione deformativa del versante come la referenziazione delle teste delle basi estensimetriche al rivestimento della galleria fa intuire. A tale proposito si rileva l'opportunità di mantenere l'accesso alla galleria mineraria di quota 820 m s.l.m. per monitorare l'evoluzione delle condizioni deformative di base ed assicurare un'eventuale smaltimento delle acque.

Il monitoraggio dovrebbe iniziare nel più breve tempo possibile e prevedere dei punti di controllo anche nell'impluvio sul Rio Flangineck in grado di valutare l'estensione e la direzione degli spostamenti sia entro la morena che entro l'ammasso roccioso molto fratturato di base.

L'effetto dell'acqua sull'evoluzione geostatica del versante Est, compreso l'impluvio di monte sul Rio Flangineck, è evidente ed importante: riduce la tensione efficace, causa una consistente spinta idraulica lungo le numerose strutture principali / fessurazioni presenti nell'ammasso roccioso e, nel tempo, altera, riducendola, la qualità dell'ammasso roccioso. È pertanto essenziale limitarne / controllarne la presenza eventualmente cercando di intercettare il potenziale flusso legato al Rio Flangineck e comunque mantenendo o, meglio, potenziando l'allontanamento dell'acqua attraverso la galleria Ex ENEL.

Il controllo dell'acqua entro l'ammasso roccioso del versante Est si consiglia comunque venga considerato un fattore di ulteriore mitigazione del rischio senza però farne esplicito affidamento nella verifica della progettazione degli interventi, questo risultando di difficile valutazione l'effettivo ottenimento dell'abbassamento del livello della falda ed il suo mantenimento nel tempo.

Gli interventi di mitigazione del rischio di franamento del versante Est individuati come maggiormente efficaci e cantierabili comportano l'asportazione, il trasporto ed il deposito, con costipazione, di una porzione consistente della morena di testa nell'invaso. Si possono differenziare due condizioni di sicurezza:

- a breve termine (18 ÷ 24 mesi), una volta completati l'asportazione della morena ed il deposito del materiale, debitamente costipato, fino almeno a quota 865 m s.l.m.;
- a medio lungo termine, una volta completato il riempimento dell'invaso.

Gli interventi di mitigazione del rischio di franamento sul Rio Flangineck individuati come maggiormente efficaci e cantierabili prevedono: l'asportazione della porzione di morena entro cui si sono già manifestate diffuse nicchie di distacco e fessure di trazione il rinforzo, la regimazione ed il collettamento delle acque meteoriche (comprese quelle provenienti dalle canalette del versante Est) ed il contenimento dell'ammasso roccioso molto fratturato di base con un reticolo di chiodi auto perforanti, funi e reti.

La mitigazione del rischio sul Rio Flangineck avviene rinforzando l'ammasso roccioso molto fratturato di base ed asportando il materiale morenico regolarizzandolo secondo un angolo di maggior sicurezza. La scelta di proporre un rinforzo dell'ammasso roccioso piuttosto che un contenimento attivo mediante tiranti e trave in cemento armato è conseguente al fatto che: la potenziale instabilità dell'impluvio è strettamente correlata all'evoluzione dello scivolamento del versante Est della cava verso l'invaso della stessa, con direzione prevalente comandata dai vuoti di coltivazione, l'impluvio è inoltre collocato lateralmente al corpo di frana risultando pertanto difficile se non impossibile individuare l'area stabile entro impostare le fondazioni dei tiranti.

Preventivamente all'inizio dei lavori di mitigazione del rischio si dovrà prevedere l'installazione di una strumentazione di monitoraggio dell'evoluzione del fenomeno franoso mediante inclinometri e piezometri. Questa strumentazione permetterà di tenere sotto controllo l'area di cantiere assicurando le necessarie condizioni di sicurezza alle maestranze.