COMUNE DI FINALE LIGURE

Provincia di Savona



Riformulazione del progetto di P.U.O. del sub distretto di trasformazione DT1A - aree ex cava ghigliazza a seguito del parere del Comitato VIA n.° 269/11

integrazione - aprile 2014

committente

CAVA ARENE CANDIDE SRL

Sede legale: Via Ferruccio Ferrari 4 - 42100 Reggio Emilia *Sede operativa:* Via Clementi 16 - 42100 Reggio Emilia
Tel. 0522.306086 Fax. 0522.935164 E.mail: melioli@intertechsrl.com
Presidente e legale rappresentante Giovanni MELIOLI

responsabile progettazione:

arch. PierGiorgio CASTELLARI
Piazza del Popolo 3/8, 17100 Savona
tel 019 812807 - fax 019 8486939
e-mail: archet@archet.it

arch. Valter CATTANEO
Via Garibaldi 17, 17027 Pietra Ligure (SV)
tel - fax 019 625320
e-mail: info@architettocattaneo.it

consulenza per le tematiche geologico-geotecniche:

CeAS
CENTRO DI ANALISI STRUTTURALE S.r.l.
V.le Giustiniano 10, 20129 - MILANO
tel +39 02 2020 221 - fax +39 02 2951 2533 - e-mail: ceas@finzi-ceas.it
ing. Giovanni CANETTA

geol. Umberto GUERRA
Via Magenta 20, 26900 Lodi
tel 333 9429215 - fax 0371 425739
e-mail: umbeto.guerra@alice.it

oggetto RELAZIONE INTEGRATIVA GEOTECNICA E STATICA

data aprile 2014

elaborato
14011
PGR-PA-002

revisioni	motivo	redatto	corretto	approvato
rev0	Integrazione di progetto	Canetta	Canetta	Canetta
rev1				
rev2				
rev3				
rev4				

INDICE

1. SCOPO 5

2. RIFERIMENTI 6

3. APPROCCIO METODOLOGICO AL PROBLEMA GEOTECNICO E STATICO 7

3.1 Premessa 7

3.2 Caratterizzazione geotecnica 7

3.3 Analisi delle criticità 8

3.4 Progetto e verifica statica, specifiche esecutive 8

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI SCIOLTI 9

5. RAFFRONTO STATO DI FATTO – PROGETTO ARCHITETTONICO E CLASSIFICAZIONE DELLE CRITICITÀ PROGETTUALI 11

5.1 Criticità poste dalla presenza di strati di terreno limoso, di scadenti proprietà meccaniche 11

5.1.1 Criticità 1 – materiali limosi in corrispondenza del versante e di aree edificate sullo stesso 11

5.1.2 Criticità 2 – materiali limosi in fondazione di aree edificate 11

5.1.3 Criticità 3 – materiali limosi in profondità, in aree non edificate 11

5.2 Criticità poste dall'acclività dei luoghi 11

5.2.1 Criticità 4 – formazione di versanti a "fasce" di notevole acclività 11

5.2.2 Criticità 5 – Spinte dei versanti a tergo dei fabbricati 12

5.2.3 Criticità 6 – Falesie rocciose 12

5.3 Criticità poste dell'esigenza di contenere i cedimenti in fondazione 12

5.3.1 Criticità 7 – edificazioni su materiali di riporto 12

5.3.2 Criticità 8 – edificazioni su terreni di fondazione eterogenei 12

6. PROGETTO E VERIFICHE STATICHE PER LE SEZIONI TIPOLOGICHE 13

6.1 Sezione 14 – 14 13

6.1.1 Criteri di progetto 13

6.1.2 Modellazione numerica - generalità 14

6.1.3 Sezioni di calcolo 15

6.1.4 Modello globale del versante 15
6.1.5 Azione sismica 22
6.1.6 Verifica di stabilità globale nelle condizioni di progetto 25
6.1.7 Modello di dettaglio del versante 27
6.1.8 Studio delle condizioni di progetto 31

6.2 Sezione 2-2' 33
6.2.1 Criteri di progetto 33

6.3 Sezione 5-5' 35
6.3.1 Criteri di progetto 35

7. SPECIFICHE TECNICHE 36

7.1 Formazione dei rilevati in terra 36

7.2 Tiranti a trefoli 36

7.3 Ancoraggi a barra 36

7.4 Miscela di iniezione ancoraggi 37

7.5 Funi di acciaio zincato di rivestimento delle scarpate 37

7.6 Reti di acciaio zincato di rivestimento delle scarpate 37

7.7 Betoncino proiettato 37

7.8 Calcestruzzo e acciaio da c.a. 37

1. Scopo

Scopo del presente documento è l'aggiornamento e l'integrazione della documentazione già presentata nell'ambito della richiesta di Valutazione di Impatto Ambientale, con particolare riferimento alle osservazioni e richieste avanzate dalla Regione Liguria (doc. 3.]) nel luglio 2013, e specificamente con riguardo ai temi geotecnici e statici.

Il documento ripropone l'iter progettuale nei suoi momenti salienti, affrontando i temi principali con riferimento alle maggiori criticità emerse e fornendo specifiche indicazioni e soluzioni tecniche tipologiche per lo sviluppo del progetto esecutivo.

L'articolazione del documento è la seguente:

1) Approccio metodologico al problema geotecnico e statico: in questo capitolo si descrive la metodologia utilizzata nelle attività di studio e progettazione, alla base di quanto sviluppato nei capitoli seguenti
2) Caratterizzazione geotecnica dei terreni sciolti: viene riportata la sintesi delle risultanze della nuova indagine geognostica, diffusamente descritte nella Relazione Geologica Integrativa (rif. 6.]) integrandole con quanto già noto dalle indagini precedenti e classificando i terreni sciolti in funzione dell'effettiva adeguatezza allo scopo previsto in progetto (terreni destinati alla formazione di rilevati e di scarpate acclivi con la formazione di "fasce", terreni di fondazione di fabbricati; terreni limosi inadeguati all'utilizzo statico ecc.)
3) Analisi delle criticità progettuali e individuazione delle sezioni tipologiche: gli esiti della caratterizzazione geotecnica dei terreni vengono raffrontati con i requisiti architettonici imposti dal progetto, evidenziando le criticità che ne nascono in vista dell'ottenimento di condizioni statiche sicure e durevoli; le problematiche che scaturiscono dal confronto fra stato di fatto ed esigenze edificatorie vengono riportate sull'intera gamma delle sezioni geologiche / geotecniche del progetto, e classificate per tipologia in otto "criticità" tipiche, atte a rappresentarne l'intera gamma.
4) Approccio progettuale e sviluppo dell'intervento di stabilizzazione e adeguamento per alcune sezioni tipologiche: per le tre sezioni tipologiche vengono sviluppati i principali calcoli di progetto e forniti i dettagli costruttivi, dimostrandone la adeguatezza statica, con particolare riferimento alla vigente normativa in materia (rif. 9.]).

2. Riferimenti

1.] Documentazione allegata alla lettera Cava Arene Candide Srl, indirizzata al Comune di Finale Ligure, alla Regione Liguria e alla Provincia di Savona,14 dicembre 2012 (elaborati del PUO rimodulato)
2.] Documentazione allegata alla lettera Cava Arene Candide Srl, indirizzata al Comune di Finale Ligure, alla Regione Liguria e alla Provincia di Savona, 13 giugno 2013 (elaborati integrativi)
3.] Regione Liguria, Dipartimento Ambiente. Lettera prot. n. PG/2013/0106649 del 1 luglio 2013
4.] Documentazione allegata alla lettera Cava Arene Candide Srl, indirizzata alla Regione Liguria e p.c al Comune di Finale Ligure e alla Provincia di Savona, 30 ottobre 2013 (elaborati di integrazione a riscontro del doc. 3.])
5.] Promogeo – Indagine geognostica del marzo 2014 – Rapporto Tecnico
6.] CeAS - dott. Geol. Umberto Guerra – Relazione Geologica Integrativa, aprile 2014. Doc. PGR-PG-001
7.] CeAS - dott. Geol. Umberto Guerra – Sezioni litotecniche e planimetria di inquadramento, aprile 2014. Doc. PGD-PG-101…-104
8.] CeAS –Sezioni geotecniche stato di fatto, aprile 2014. Doc. PGD-PF-001…-007
9.] CeAS –Stato di progetto – Sezioni 2-2', 5-5' e 14-14', aprile 2014. Doc. PGD-PA-001…-003
10.] D.M. 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Csotruzioni (NTC2008)
11.] FLAC – Fast Lagrangian Analysis of Continua, rel. 7.0, Itasca c.g. Minneapolis US

3. Approccio metodologico al problema geotecnico e statico

3.1 Premessa

Nell'istruttoria dell'1 luglio 2013 (rif. 3.]), sono state elevate diverse osservazioni, a molte delle quali è già stato dato esauriente riscontro nella documentazione consegnata successivamente (rif. 4.]).

L'approccio qui presentato intende dare ulteriore riscontro specificamente ai seguenti punti:

> *(pag. 3) … occorre esplicitare la natura e le caratteristiche dei terreni di fondazione e tenuto conto che sono previsti sbancamenti importanti, con altezze di diverse decine di metri, a ridosso dello sperone roccioso residuale e necessario anche che siano verificate la statice degli scavi e dimensionate le relative opere di contenimento. Ciò … per gli scavi dei Lotti 1/3 laddove si prevede una distribuzione dell'edificato "a scala montante" dove, cioè, la struttura di elevazione del fabbricato di monte poggia, in parte a sbalzo, direttamente sul muro di contenimento a tergo del fabbricato di valle. Quest'ultima configurazione, che presenta una commistione tra le opere deputate al contenimento del fronte con quelle di carattere fondazionale, si ritiene debba essere anche oggetto di un adeguato approfondimento di tipo strutturale.*
>
> *(pag. 3) …Con riferimento alla scarpata di neoformazione prevista a monte della Cittadella dello Sport, costituita verosimilmente con terre di riporto, si rileva inoltre la necessita di svolgere verifiche di stabilità del corpo di rilevato individuando opportuni sistemi di regimazione controllo delle acque superficiali e profonde che si devono raccordare allo schema dei deflussi di nuova urbanizzazione. Nelle verifiche di cui sopra dovrà tenersi anche conto della presenza del vallo al piede, valutandone l'efficacia di contenimento in caso di smottamenti del rilevato.*

La metodologia seguita per dare riscontro a queste osservazioni è dunque la seguente.

3.2 Caratterizzazione geotecnica

Si procede innanzitutto ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dai lavori, in particolare l'accumulo di terreni sciolti, formatosi negli anni con il deposito di scarti di lavorazione abbastanza eterogenei, che interessa le sezioni 1, 2, 13 e 14.

L'accurata caratterizzazione di questi materiali si rende necessaria perché le indagini precedenti, svolte essenzialmente con scopi di tipo ambientale, non forniscono parametri di resistenza utilizzabili nelle verifiche statiche.

Inoltre è nota (ma mai rilevata in modo analitico) la presenza, in questi cumuli, di "limi di lavaggio" o "fanghi", che potrebbe comprometterne gravemente l'idoneità per gli scopi in progetto. Pertanto un rilevamento anche spaziale della presenza di questi materiali si è reso necessario proprio per conoscere con esattezza quali porzioni dei terreni sciolti siano da rimuovere e sostituire (con altri idonei) e in quali casi possano invece essere lasciati in posto.

L'indagine effettuata è dettagliatamente descritta nel documento in rif. 5.] (Rapporto sull'indagine geognostica), mentre nel documento 6.] (Relazione geologica integrativa) le risultanze dell'indagine vengono interpretate sia sotto il profilo geologico che per quanto si riferisce alla caratterizzazione geotecnica.

3.3 Analisi delle criticità

Dall'indagine geognostica si può quindi ricavare la caratterizzazione geotecnica dei diversi strati di terreno che compongono questi depositi, e, sulla base delle esigenze statiche che scaturiscono dal progetto edificatorio, effettuare le scelte progettuali di base, ovvero:

- rimozione e sostituzione dei terreni non idonei interferenti con le fondazioni e le scarpate
- progetto dei sistemi di contenimento e stabilizzazione e verifica di stabilità delle scarpate composte sia con i terreni attuali, se ritenuti idonei, sia con l'apporto di terre idonee di altra provenienza, e comunque tenendo conto della reale stratigrafia del deposito
- valutazione dell'idoneità come terreni di fondazione, e definizione delle eventuali misure necessarie al conseguimento di configurazioni stabili e durevoli.

Analizzando le diverse situazioni presentate dal progetto, e in particolare le numerose sezioni monte – valle disponibili, verranno nel seguito evidenziate le "criticità", ovvero tutte le problematiche poste dal progetto, che prevede la rimodellazione dei terreni, con ampi sbancamenti e riporti e la formazione di versanti molto acclivi a "scala montante", l'edificazione sul ciglio o lungo detti versanti e, in alcuni casi, l'edificazione su potenti banchi di terreno di riporto.

Fra tutte le sezioni analizzate, verranno quindi selezionate alcune situazioni tipologiche, il cui approfondimento permetterà di dimostrare l'idoneità delle soluzioni proposte.

3.4 Progetto e verifica statica, specifiche esecutive

Per ciascuna delle situazioni tipologiche, verrà redatto un progetto di risoluzione della criticità, corredato degli eventuali calcoli di stabilità *ante* e *post operam*, dando evidenza degli interventi di stabilizzazione e consolidamento proposti per il raggiungimento dello scopo.

Per ciascun caso quindi si procederà a:

- limitatamente ai versanti in terra, verifica di stabilità globale, ripetuta *ante operam* e *post operam* per dare evidenza dell'efficacia degli interventi in progetto
- dimensionamento e verifica statica degli interventi di stabilizzazione (paratie, ancoraggi, muri di contenimento ecc.)
- redazione del progetto di intervento in forma grafica, corredato di dettagli costruttivi tipologici, delle specifiche tecniche dei materiali e della sequenza esecutiva.

4. Caratterizzazione geotecnica dei terreni sciolti

Sulla base dei risultati di tutte le indagini sviluppate e dei risultati specifici delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati viene proposto nella Relazione Geologica (rif. 6.]) un modello geotecnico dei depositi antropici e marini costituito da diverse unità, come di seguito descritto.

- **Unità geotecnica 1** – Con questo termine si vuole raggruppare l'insieme di terreni costituiti in prevalenza da ghiaie limose (GM)1, ghiaie argillose (GC) e sabbie limose (SM), ovverossia terreni a grana grossa prevalenti e subordinati fini (ML-limi inorganici) dei detriti di versante e scarti di cava, aventi comportamento non o poco coesivo. Sono depositi da poco addensati (in superficie) ad addensati (in profondità), in genere presenti al tetto del complesso dei materiali delle colmate delle regioni di cava investigata o alla base al di sopra del substrato roccioso (intervallo 2 e 4 dei profili interpretativi, pagina 30 certificato n. 1162, per i sondaggi S1-S4 anche intervallo 1).
- **Unità geotecnica 2** – Si tratta in prevalenza di limi inorganici (ML), terreni a grana fine con subordinate frazioni grossolane derivate dagli scarti di cava e costituiti da comportamento coesivo. Sono depositi in genere poco consistenti, poco o nulla plastici, ritracciabili perlopiù nell'intervallo stratigrafico intermedio per quanto riguarda il settore morfologicamente più alto dell'area investigata (sondaggi S4, S3,S2,S1; intervallo 3 dei profili interpretativi, pagina 30 certificato n. 1162); nei settori topograficamente più bassi dell'area di indagine (sondaggi S5, S6) sono generalmente presenti fin dalla superficie di piano campagna. Si caratterizzano per le proprietà geotecniche mediocri-scadenti e per la consistenza generalmente bassa o talvolta quasi nulla. La posizione del sondaggio S6, infatti, risulta compatibile con l'ubicazione delle vasche di lavaggio segnalate nei piani di coltivazione e colmate di recente.
- **Unità geotecnica 3** – Si tratta di depositi marini costituiti da sabbie limose (SW-SM) a comportamento prevalentemente incoerente. Sono materiali rinvenuti nel solo sondaggio S6 a profondità di ca.10-15 m da p.c. (da 0 a -3.5 m s.l.m.). Si tratta di terreni da addensati a molto addensati il cui tetto è correlabile alla quota dei depositi marini di spiaggia: è un'unità geotecnica di interesse (ai fini del volume significativo delle strutture di fondazione e/o provvisionali) per il settore dell'areale di intervento topograficamente più basso che si estende nel piazzale attuale tra la S.S Aurelia ed il versante di cava.

Di seguito si riportano le tabelle di sintesi dei valori indice dei terreni considerati.

Descrizione	U.M.	Simbolo	Valore
			Unità geotecnica 1 - U1
Unità geologica (descrizione riportata in legenda sezioni geologiche)			Detrito di versante, scarto di cava - comportamento non o poco coesivo
Unità geotecnica			GM, GM-GC, SM, ML - caratterizzati in genere da valori SPT medi ed elevati ad eccezione di locali livelli poco addensati. La matrice è generalmente fine, attribuibile ad ML
Peso specifico secco	kN/m³	γdry	17
Peso specifico saturo	kN/m³	γsat	20
Angolo di attrito di picco	°	Φpicco	36
Angolo di attrito	°	Φ'	33
Coesione apparente	kPa	c'	0
Modulo elastico	Mpa	E	21

[1] *Sistema di classificazione convenzionale U.S.C.S.-Unified Soil Classification system*

Descrizione	U.M.	Simbolo	Valore
Unità geotecnica 2 - U2			
Unità geologica (descrizione riportata in legenda sezioni geologiche)			Detrito di versante, scarto di cava - comportamento coesivo
Unità geotecnica			ML - caratterizzati in genere da valori SPT medi e medio bassi.
Peso specifico secco	kN/m³	γdry	19
Peso specifico saturo	kN/m³	γsat	21
Coesione non drenata	kPa	Cu	62
Modulo elastico non drenato	Mpa	Eu	40
Angolo di attrito efficace	°	Φ'	24
Coesione apparente	kPa	c'	0

Descrizione	U.M.	Simbolo	Valore
Unità geotecnica 3 - U3			
Unità geologica (descrizione riportata in legenda sezioni geologiche)			Sabbie marine
Unità geotecnica			SW-SM
Peso specifico secco	kN/m³	γdry	21
Peso specifico saturo	kN/m³	γsat	25
Angolo di attrito di picco	°	Φpicco	48
Angolo di attrito	°	Φ'	45
Coesione apparente	kPa	c'	0
Modulo elastico	Mpa	E	41

Tabella 1 – Sintesi dei valori indice per i terreni considerati.

5. Raffronto stato di fatto – progetto architettonico e classificazione delle criticità progettuali

Le tavole della serie **PGR-PF**-001-004 riportano le sezioni geologiche dello stato di fatto su ciascuna delle quali è stata semplicemente applicata la corrispondente sezione architettonica di progetto.

Questi elaborati consentono un diretto raffronto fra stato di fatto dei terreni e delle rocce ed esigenze del progetto di edificazione, evidenziando le criticità che il progetto pone, che vengono sinteticamente descritte mediante note di commento, che forniscono anche primissime indicazioni per lo sviluppo del progetto geotecnico e statico.

5.1 Criticità poste dalla presenza di strati di terreno limoso, di scadenti proprietà meccaniche

Tutto il "cumulo" di terreni oggetto dell'indagine geognostica risulta interessato, ad una profondità variabile, da uno strato di materiale limoso della potenza di alcuni metri.

Analoga formazione si ha al piede del cumulo, laddove si trovavano le vasche di lavaggio.

5.1.1 Criticità 1 – materiali limosi in corrispondenza del versante e di aree edificate sullo stesso

Come verrà dimostrato nell'ultima parte di questo documento, la presenza di abbondanti materiali limosi non è compatibile né con la stabilità del pendio né con l'edificazione in progetto.

Tali terreni verranno rimossi e sostituti con materiali idonei.

5.1.2 Criticità 2 – materiali limosi in fondazione di aree edificate

Nella zona basale dell'area, si è creato un potente strato di limi, che ovviamente non è compatibile con l'edificazione in progetto che, nella fattispecie, prevede edifici pluripiano piuttosto sviluppati in altezza.

In questo caso, tuttavia, traendo beneficio dalla presenza di un substrato rigido (roccia o sabbie marine addensate), invece della sostituzione del terreno può essere conveniente il ricorso a fondazioni profonde, ovvero pali che portino essenzialmente di punta sul substrato.

Per contro, laddove i terreni mostrino buone proprietà meccaniche, e sempre previa verifica dell'ammissibilità dei cedimenti, si potrà fare ricorso a fondazioni superficiali.

5.1.3 Criticità 3 – materiali limosi in profondità, in aree non edificate

Laddove i materiali limosi si trovano a notevole profondità, in aree pianeggianti e non sono interessati dall'edificazione, come ad esempio nella parte più a monte dell'area in esame, si considera che essi, previa verifica di stabilità, possano essere lasciati in posto.

5.2 Criticità poste dall'acclività dei luoghi

5.2.1 Criticità 4 – formazione di versanti a "fasce" di notevole acclività

La pendenza media del versante in progetto, nella zona terrazzata a "scala montante", nella quale è inoltre prevista la realizzazione di fabbricati nella parte sommitale, non è compatibile con le proprietà meccaniche dei terreni, siano essi naturali o riportati.

Si ricorrerà dunque a interventi di contenimento delle spinte, ad es. realizzando cordolature ancorate con barre o tiranti, che dovranno essere mitigati con interventi atti a conferire al versante l'aspetto di progetto, caratterizzato da muri in pietra di piccola altezza (fasce)

5.2.2 Criticità 5 – Spinte dei versanti a tergo dei fabbricati

Le spinte del versante costituito da terreni sciolti e coesivi, oppure da rocce fratturate saranno contenute da apposite strutture permanenti totalmente indipendenti ed autonome rispetto ai fabbricati in progetto.

Per tali strutture si suggerisce il ricorso a placcaggi con chiodi ed eventuale rivestimento in betoncino proiettato armato con rete in acciaio (nel caso di versanti o pareti in roccia) oppure a paratie di micropali ancorate con barre o tiranti permanenti, pretesi, con bulbo di ancoraggio in roccia competente.

Le strutture dei fabbricati, soprattutto laddove si ricorra a sistemi di contenimento tirantati, e quindi deformabili, dovranno essere mantenute staticamente indipendenti dal versante.

5.2.3 Criticità 6 – Falesie rocciose

Il progetto già prevede, a livello di interventi di risanamento delle falesie, tutta una serie di interventi di chiodatura, stesa di reti, consolidamento di porzioni instabili, formazione di valli per l'arresto di massi in caduta ecc.

Nelle zone a ridosso dei fabbricati tutte le pareti saranno rivestite con reti metalliche debitamente ancorate.

5.3 Criticità poste dell'esigenza di contenere i cedimenti in fondazione

5.3.1 Criticità 7 – edificazioni su materiali di riporto

La realizzazione di fabbricati su materiali riportati (sia per il raggiungimento delle quote di fondazione di progetto, come nel caso del glory hole, che per il caso di materiali limosi rimossi e sostituiti con terre di riporto) richiede l'adozione di misure atte a ridurre i cedimenti, quali la compattazione per strati e la formazione di un rilevato di precarico. Indicazioni in tal senso sono fornite al cap. 4 della Relazione Geologica (rif. 6.])

5.3.2 Criticità 8 – edificazioni su terreni di fondazione eterogenei

In taluni casi si rileva che parte delle fondazioni è su roccia, e parte ricade invece su terreni, anche di buona consistenza.

In questi casi si dovrà valutare l'opportunità di interventi di consolidamento dei terreni o di ricorso a fondazioni profonde onde evitare il verificarsi di cedimenti differenziali.

6. Progetto e verifiche statiche per le sezioni tipologiche

Le criticità analizzate vengono nel seguito affrontate da un punto di vista progettuale, fornendo le indicazioni tecniche necessarie alla loro risoluzione su alcune sezioni tipiche del progetto.

6.1 Sezione 14 – 14

La sezione è caratterizzata da:

a) un versante molto acclive, al cui interno, a una certa profondità, si è rinvenuta una zona con forte presenza di materiale limoso, di scadenti proprietà meccaniche (Criticità 1, 4 e 5);
b) una zona al piede del versante dove, a causa dell'esercizio per molti anni delle vasche di lavaggio della cava, si è accumulato uno strato di considerevole spessore, costituito essenzialmente da limo, soprastante uno strato di sabbie marine e infine il letto roccioso (Criticità 2);
c) una base in roccia di eccellenti proprietà meccaniche, affiorante in tutta nella parte di monte della sezione (Criticità 6).
d) delle richieste di edificazione, poste dal progetto, sia sull'area pianeggiante a monte del versante in terra, che nell'area al piede dello stesso (Criticità 1 e 5).

Questa sezione è stata scelta come "tipologica" perché rappresenta:

e) il caso più critico di edificazione in fregio ad un pendio in materiale sciolto
f) un caso di richiesta di edificazione in una zona attualmente caratterizzata dalla presenza di terreni con forte presenza di limi di lavaggio. Questi ultimi infatti si sono rinvenuti, nel corso dell'indagine geognostica del 2014, sia nell'ambito del versante in terra, che, e soprattutto in una fascia ai piedi del versante stesso;
g) nella parte basale, un caso di edificazione su uno strato di limi dove viene proposto il ricorso a fondazioni profonde
h) il progetto di edifici in fregio a strutture di contenimento del versante, e da esse staticamente isolati.

6.1.1 Criteri di progetto

Allo scopo di conferire all'area la necessaria stabilità, e la rigidezza che ne permetta l'utilizzo come terreni di fondazione, si ritengono necessari i seguenti interventi, che saranno estesi a tutto il versante fra le sezioni 8-8 (estremità lato ponente) e 2-2 (laddove il versante in terra poggia contro la roccia in posto):

- rimozione del terreno fino a tutto lo strato limoso, fino a giungere sulle sabbie – scarto di cava – di buona qualità e compattazione; il terreno rimosso verrà selezionato in base all'utilizzo possibile con particolare riferimento a:
    - materiali a granulometria da medio-fine a grossa: reimpiego per rilevati, previa riclassificazione AASHTO (V. Relazione Integrativa geologica)
    - materiali a granulometria fine e coesivi (limi): possibile reimpiego sia come letto di assorbimento caduta massi al fondo dei valli, sia per la formazione di uno strato impermeabile al fondo del bacino artificiale in progetto nella zona basale dell'area. I materialin in esubero verranno allontanati dal cantiere.
- esecuzione delle paratie tirantate nella zona basale del versante, per creare l'area pianeggiante destinata all'edificazione

- nella zona inferiore di versante, immediatamente sopra le paratie, costituita dai materiali in posto, esecuzione di muri in c.a., tirantati e fondati su pali, collocati in corrispondenza delle fasce di progetto, che verranno successivamente rivestiti in sasso onde conferirgli un aspetto conforme al progetto architettonico
- ricostruzione della parte superiore del versante per gradoni successivi, depositando il terreno (le cui caratteristiche granulometriche saranno idonee all'impiego per rilevati) in strati successivi debitamente compattati (si veda in merito la apposita specifica); formazione di muri di sostegno in c.a., sempre rivestiti in pietra, in conformità al progetto architettonico
- esecuzione di eventuali rilevati di precarico nella zona di edificazione a monte del versante.

Operando in tal modo si giungerà ad un versante con caratteristiche statiche conformi alla vigente normativa e si disporrà di un'area, a monte dello stesso, sufficientemente compattata e rigida per poter ricevere un sistema di fondazioni superficiali per gli edifici di modesta altezza (max 3-4 piani) previsti in quest'area.

Per quanto riguarda poi la zona a valle del versante, la zona interessata dei limi risulta essere inadeguata alla funzione portante. Tuttavia, le sottostanti sabbie marine e il letto della roccia base costituiscono una sicura base di appoggio che potrà essere convenientemente raggiunta con un sistema di fondazioni profonde.

Laddove pertanto non risulti conveniente l'integrale rimozione o il consolidamento (ad es., con trattamenti a calce o a cemento ecc.) del terreno, si procederà con fondazioni su pali.

6.1.2 Modellazione numerica - generalità

La verifica di stabilità del versante nelle condizioni attuali e di progetto viene condotta in due dimensioni, su una sezione piana monte – valle.

L'analisi, condotta con il codice FLAC (rif. 11.]) è caratterizzata nel modo seguente:

1) creazione di un reticolo alle differenze finite della sezione in esame, sufficientemente esteso sia ai lati monte e valle che in profondità per far sì che le condizioni imposte a detti contorni non influenzino i risultati del calcolo; la superficie della scarpata, dedotta dal profilo altimetrico lungo l'asse dell'impluvio, è stata localmente adeguata per evitare collassi localizzati in zone di minor interesse; nel reticolo sono evidenti le geometrie dei passaggi di strato e il profilo di sistemazione finale

2) dichiarazione delle proprietà dei materiali costituenti il versante, secondo quanto riportato al precedente cap. 6.1.4

3) applicazione dei carichi gravitativi (pesi propri) e calcolo del campo di sforzi nel terreno nelle condizioni attuali (situazione *ante operam*)

4) calcolo del coefficiente si sicurezza del versante, con una successione di analisi numeriche, che si differenziano fra loro per il valore attribuito ai parametri di resistenza; questa sequenza ("bracketing method", rif. 11.]) porta alla determinazione di un "coefficiente di riduzione della resistenza", analogo al coefficiente di sicurezza ed equivalente al "moltiplicatore dei carichi" tipico dell'analisi limite. Tale coefficiente viene calcolato come punto di accumulazione di due sequenze di coefficienti:

a. una prima sequenza, crescente, contiene i coefficienti "staticamente ammissibili", per i quali è sempre garantito l'equilibrio, il rispetto del legame di continuità e dei vincoli e il rispetto del legame costitutivo; questi coefficienti risultano tutti dei minoranti del c.s.

b. una seconda sequenza, decrescente, contiene i coefficienti "cinematicamente ammissibili", associati a meccanismi di collasso cinematicamente ammissibili, per i quali è garantito, oltre al rispetto cinematico del legame di continuità e dei vincoli, il rispetto del legame costitutivo; questi coefficienti risultano tutti dei maggioranti del c.s.

5) Le due sequenze si accumulano su un punto, che si identifica quindi, con le approssimazioni insite nell'approccio numerico, come il coefficiente di sicurezza.

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

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

6) Modifica della geometria del modello, al quale viene attribuito il profilo di sistemazione finale del versante e l'inserimento delle strutture di consolidamento (cordoli tiratati su pali - situazione di esercizio *post operam*)

7) Ripetizione del calcolo del coefficiente di sicurezza del versante di cui al precedente punto 4)

8) Applicazione del sisma, simulato con un campo statico di accelerazioni, in conformità al disposto della vigente normativa (rif. 10.] , - situazione sismica *post operam*)

9) Ripetizione del calcolo del coefficiente di sicurezza del versante di cui al precedente punto 4).

6.1.3 Sezioni di calcolo

Data la complessità della sezione, sono state svolte due modellazioni distinte:

1) modello globale del versante, nel quale la gradonatura è rappresentata in modo semplificato; questo modello ha lo scopo di cogliere il comportamento d'assieme del versante e determinare il coefficiente di sicurezza per movimenti di scivolamento a profondità media e alta
2) modello di dettaglio della parte più acclive della gradonatura, con calcolo della stabilità locale e un'indicazione di dimensionamento delle strutture di contenimento.

6.1.4 Modello globale del versante

La geometria del modello, che si estende dalla linea di costa fino alla falesia rocciosa a tergo dell'area di edificiazione, è illustrata nelle pagine seguenti.

Il modello rappresenta nel dettaglio l'andamento del profilo del terreno attuale e la stratigrafia rilevata nell'indagine geognostica.

La gradonatura di progetto è rappresentata in dettaglio solo nella parte basale (paratie ancorate), mentre la parte superiore, interessata da gradoni di modesta altezza, viene assimilata ad un pendio costante, ed è oggetto della seconda modellazione.

Le prime due immagini illustrano lo stato di fatto, nell'assieme e con uno zoom sulla zona centrale del modello. Si distinguono la roccia (in colore rosa), i terreni consistenti (rosso), i limi (viola); in giallo sono gli strati corticali ai quali sono state attribuite proprietà meccaniche fittiziamente alte per evitare collassi localizzati che non sono di interesse.

La terza immagine illustra il modello nelle condizioni di progetto: sono evidenti le due gradonature di base, dove sono previste le strutture di contenimento (paratie di micropali ancorate) e la riprofilatura, SI noti che qui il colore viola non indica più i materiali limosi (dei quali si prevede la completa asportazione), bensì un terreno di riporto compattato di buone caratteristiche meccaniche (si veda la legenda a lato dell'illustrazione).

Le proprietà dei materiali, ricavate dalla relazione geologica integrativa, sono le seguenti:

Descrizione	**γ'** **kg/m^3**	**E** **MPa**	**v** **-**	**ϕ'** **°**	**c'** **kPa**	**c_u** **kPa**
roccia base	2400	400	0,2	elastico		
terreni sciolti consistenti (Scarti di cava e sabbie)	1900	24	0,25	33	0	0
terreno limoso	2100	40	0,4	24	0	62
riporto compattato	1900	24	0,25	36	0	0

JOB TITLE : sezione 14 - modello d'assieme

FLAC (Version 7.00)

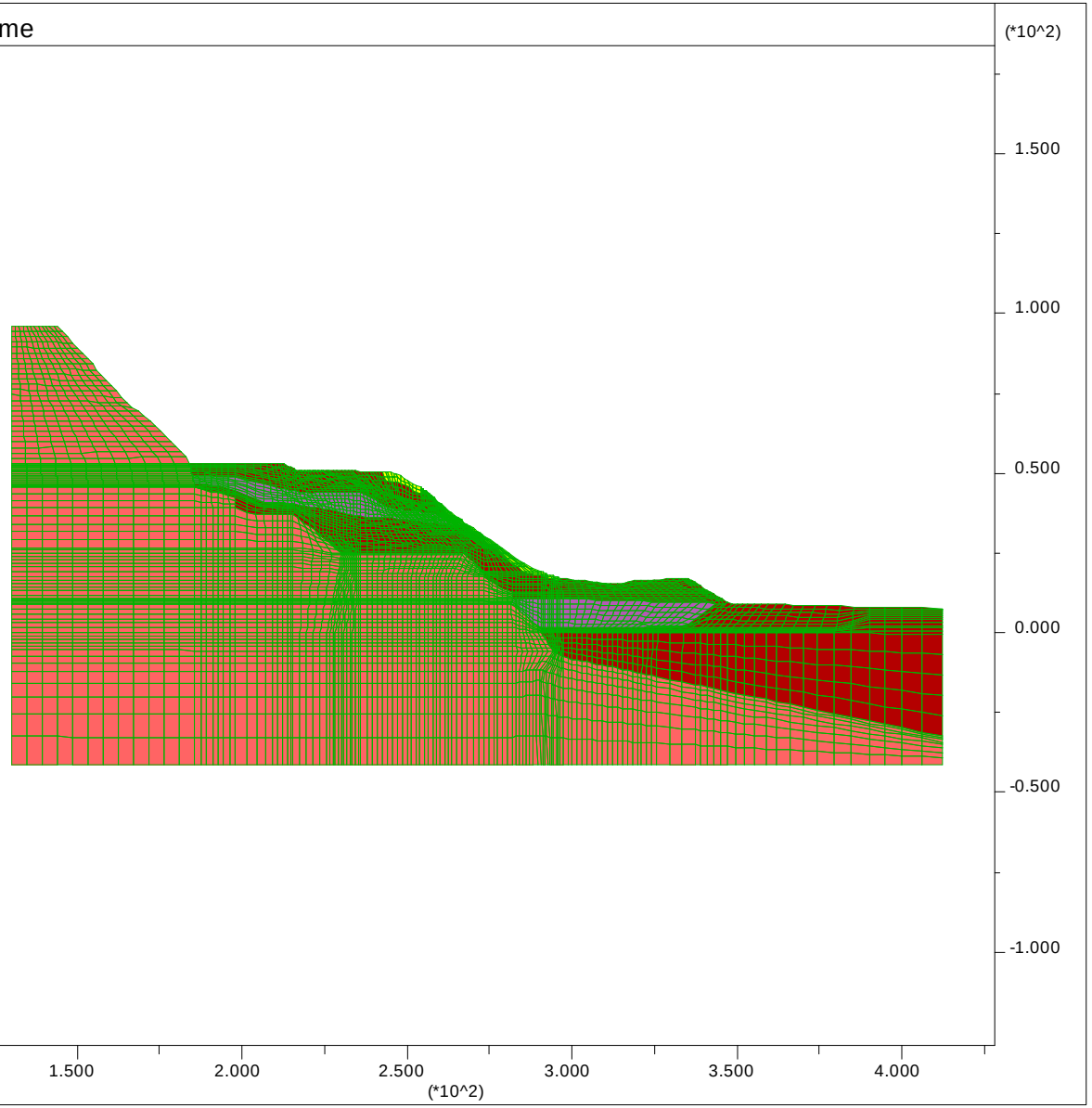
LEGEND

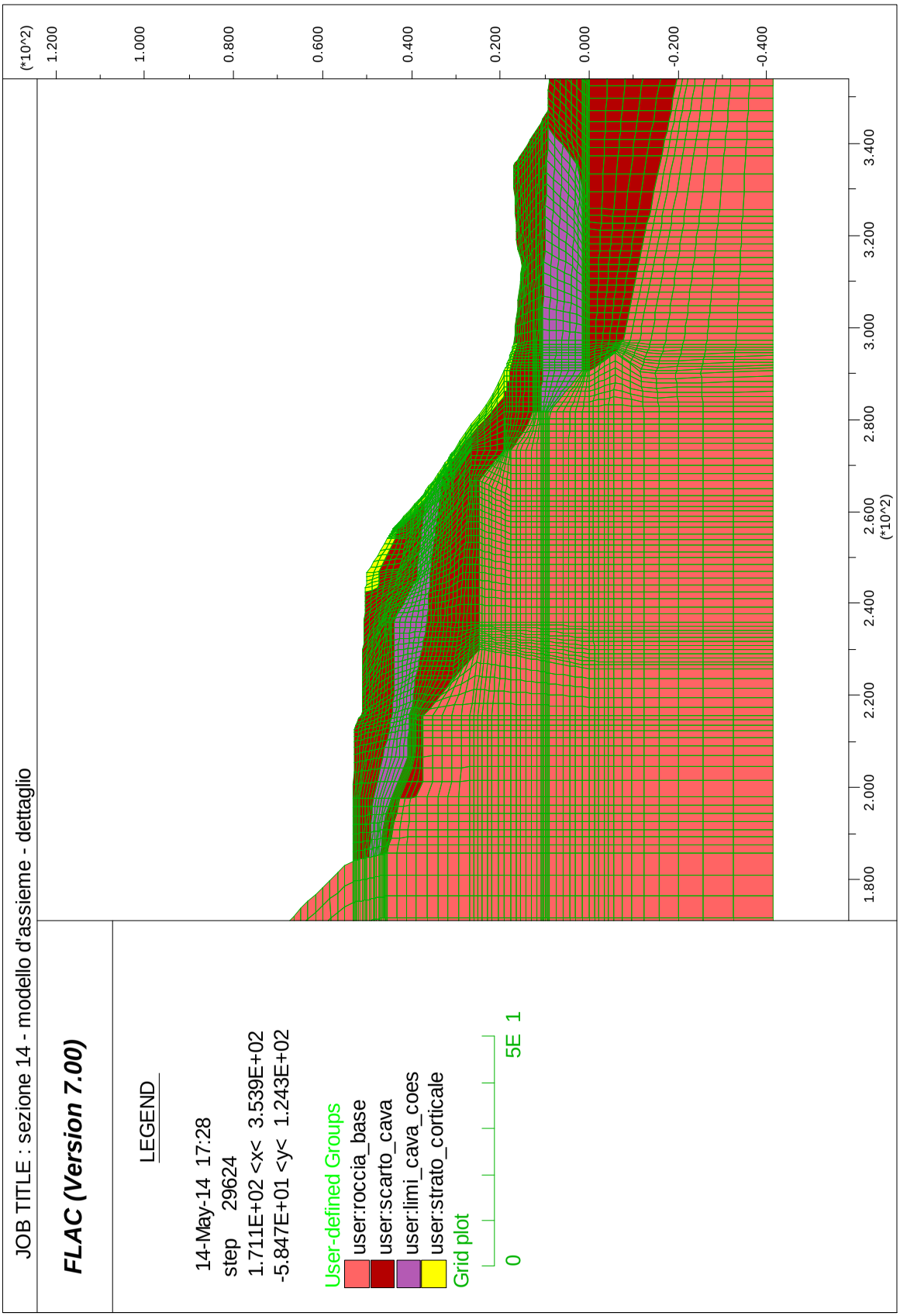
14-May-14 17:26
step 29624
1.143E+02 <x< 4.279E+02
-1.294E+02 <y< 1.841E+02

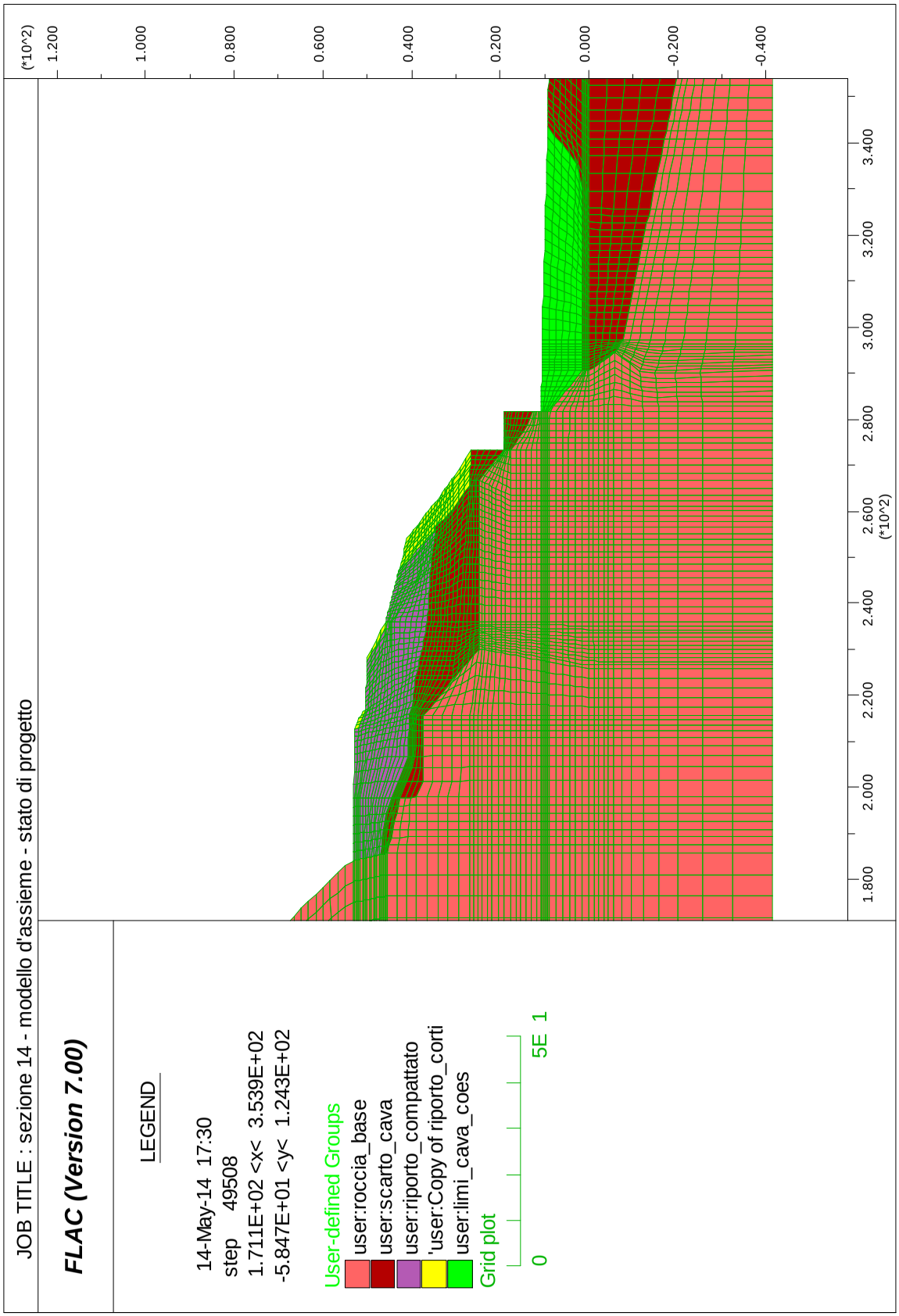
User-defined Groups
- user:roccia_base
- user:scarto_cava
- user:limi_cava_coes
- user:strato_corticale

Grid plot

0 5E 1




JOB TITLE : sezione 14 - modello d'assieme - dettaglio
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 17:28
step 29624
1.711E+02 <x< 3.539E+02
-5.847E+01 <y< 1.243E+02
User-defined Groups
user:roccia_base
user:scarto_cava
user:limi_cava_coes
user:strato_corticale
Grid plot
0
5E 1
(*10^2)
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
-0.200
-0.400
1.800
2.000
2.200
2.400
2.600
2.800
3.000
3.200
3.400
(*10^2)

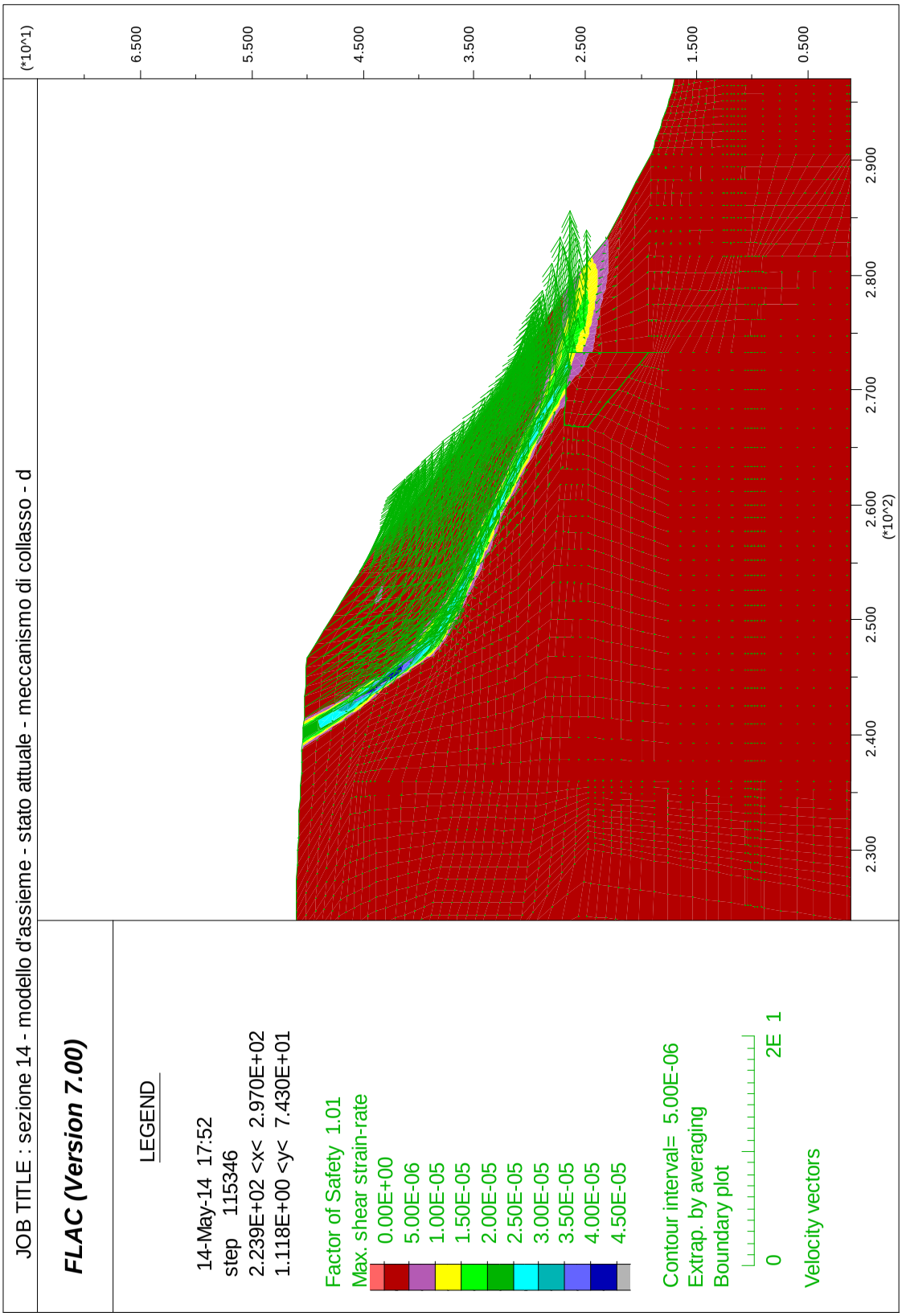

JOB TITLE : sezione 14 - modello d'assieme - stato di progetto
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 17:30
step 49508
1.711E+02 <x< 3.539E+02
-5.847E+01 <y< 1.243E+02
User-defined Groups
user:roccia_base
user:scarto_cava
user:riporto_compattato
'user:Copy of riporto_corti
user:limi_cava_coes
Grid plot
0
5E 1
(*10^2)
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
-0.200
-0.400
1.800
2.000
2.200
2.400
2.600
2.800
3.000
3.200
3.400
(*10^2)

L'analisi viene condotta secondo due direttrici separate: stato di fatto e stato di progetto.

6.1.4.1 Risultati per lo stato di fatto:

Per lo stato di fatto, si procede al calcolo della stabilità globale del versante; questo calcolo è illustrato nell'immagine seguente, la quale evidenzia un coefficiente di sicurezza (indicato con FoS - factor of safety) pari a 1,01, dunque uno stato di stabilità "precaria", pribvo di margini di sicurezza e non conforme al vigente regolamento.

L'immagine è uno "zoom" sulla parte più acclive del cumulo di scarti di cava; la superficie di scorrimento attraversa palesemente lo strato limoso, dimostrandone così l'influenza fondamentale sull'equilibrio del versante.


JOB TITLE : sezione 14 - modello d'assieme - stato attuale - meccanismo di collasso - d
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 17:52
step 115346
2.239E+02 <x< 2.970E+02
1.118E+00 <y< 7.430E+01
Factor of Safety 1.01
Max. shear strain-rate
0.00E+00
5.00E-06
1.00E-05
1.50E-05
2.00E-05
2.50E-05
3.00E-05
3.50E-05
4.00E-05
4.50E-05
Contour interval= 5.00E-06
Extrap. by averaging
Boundary plot
0
2E 1
Velocity vectors
(*10^1)
6.500
5.500
4.500
3.500
2.500
1.500
0.500
2.300
2.400
2.500
2.600
(*10^2)
2.700
2.800
2.900

6.1.4.2 Risultati per le condizioni di progetto

Prima di procedere al calcolo della stabilità, vengono inseriti nel versante i pali e gli ancoraggi che ne garantiscono il contenimento, e se ne valuta lo stato di sollecitazione nelle condizioni di esercizio.

Si prevedere di ricorrere a pali accostati, indicativamente a passo 40 cm, ancorati a circa 1,5 – 2m dalla sommità con un ordine di ancoraggi a barra, di lunghezza tale da garantire un sicuro ancoraggio in roccia sana, disposti a passo 2,40m.

L'immagine seguente riporta i diagrammi di flessione nella paratia e di tensione negli ancoraggi.

Si rilevano le seguenti azioni massime, in condizioni di esercizio:

- micropalo, momento flettente 40,330 kNm
- barra d'ancoraggio, azione di trazione 607 kN

Le azioni di progetto allo SLU, dunque, calcolando che la totalità delle azioni applicate è di tipo permanente, risultano dai valori precedenti amplificati per un fattore parziale di sicurezza $\gamma_G = 1,3$.

VERIFICA DEL FUSTO DEL PALO

Md = 40,330 x 1,3 = 52,4 kNm

Poiché la tensione massima di progetto per un acciai S355JR vale 355 / 1,05 = 338 MPa, risulta necessario un momento resistente w = 524.000 / 3.380 = 155 cm^3.

I pali in progetto sono da 168,3 mm di diametro con spessore 10 mm, il cui momento resistente è 186 cm^3, dunque superiore al requisito di progetto.

La verifica dunque è ampiamente soddisfatta.

VERIFICA DELLA BARRA DI ANCORAGGIO

La tensione di progetto è

Nd = 607 x 1,3 = 789 kN.

Impiegando delle barre Dywidag 950/1050, con tensione di snervamento 950 MPa, si ottiene ua tensione di progetto 950 / 1,15 = 826 MPa.

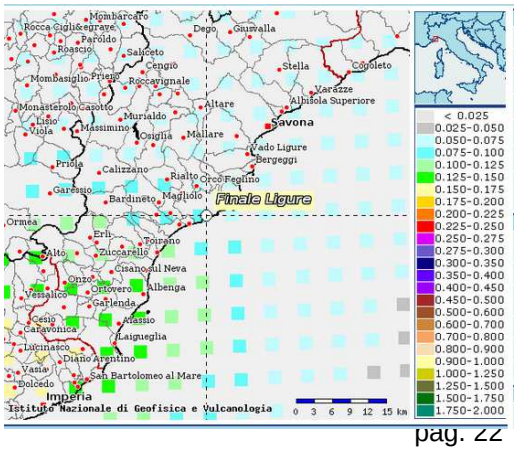
Risulta quindi necessaria una sezione di 789.000 / 826 = 955 mm^2.

Si impiegheranno quindi delle barre da 36 mm, con area 1018 mm^2.

6.1.5 Azione sismica

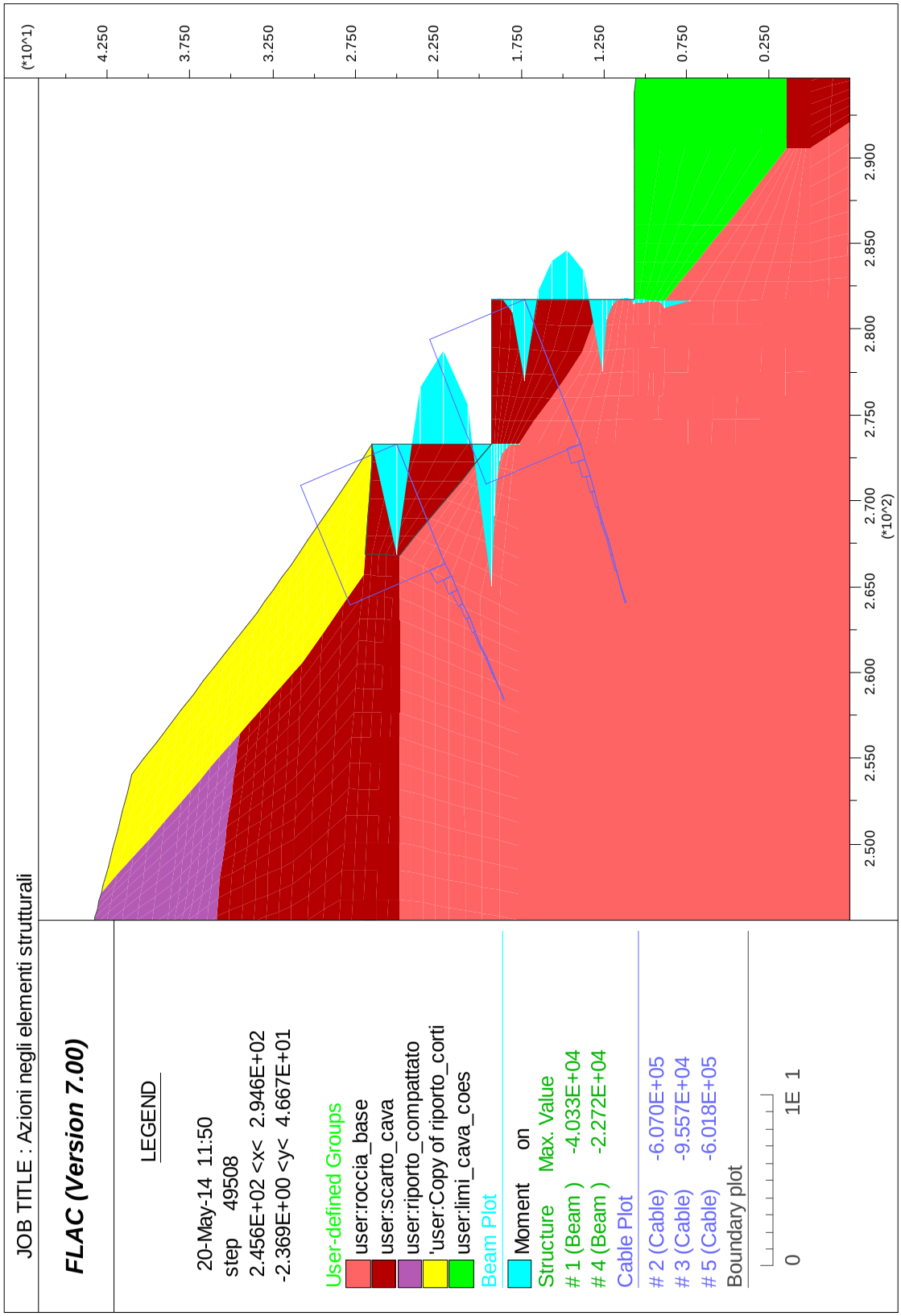
L'area in esame ricade in zona a bassa sismicità, come illustrato nell'immagine qui a lato, ripresa dalla mappa di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

L'accelerazione al suolo, illustrata per il sisma di riferimento allo SLV per edifici normali (Classe d'uso II) risulta inferiore a 0,1g.



In sede di progetto esecutivo tutte le strutture e le opere di contenimento dei versanti dovranno essere dimensionate considerando anche questo carico.

In questa sede, tuttavia, considerala la modesta entità del carico stesso, le verifiche vengono omesse.


JOB TITLE : Azioni negli elementi strutturali
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
20-May-14 11:50
step 49508
2.456E+02 <x< 2.946E+02
-2.369E+00 <y< 4.667E+01
User-defined Groups
user:roccia_base
user:scarto_cava
user:riporto_compattato
'user:Copy of riporto_corti
user:limi_cava_coes
Beam Plot
Moment on
Structure Max. Value
1 (Beam) -4.033E+04
4 (Beam) -2.272E+04
Cable Plot
2 (Cable) -6.070E+05
3 (Cable) -9.557E+04
5 (Cable) -6.018E+05
Boundary plot
0 1E 1
(*10^1)
4.250
3.750
3.250
2.750
2.250
1.750
1.250
0.750
0.250
2.500
2.550
2.600
2.650
2.700
2.750
2.800
2.850
2.900
(*10^2)

6.1.6 Verifica di stabilità globale nelle condizioni di progetto

Il modello viene quindi studiato per la determinazione del coefficiente di sicurezza alla stabilità globale, nelle condizioni di progetto.

L'immagine seguente illustra il meccanismo di collasso determinato, al quale corrisponde un coefficiente di sicurezza pari a 1,38.

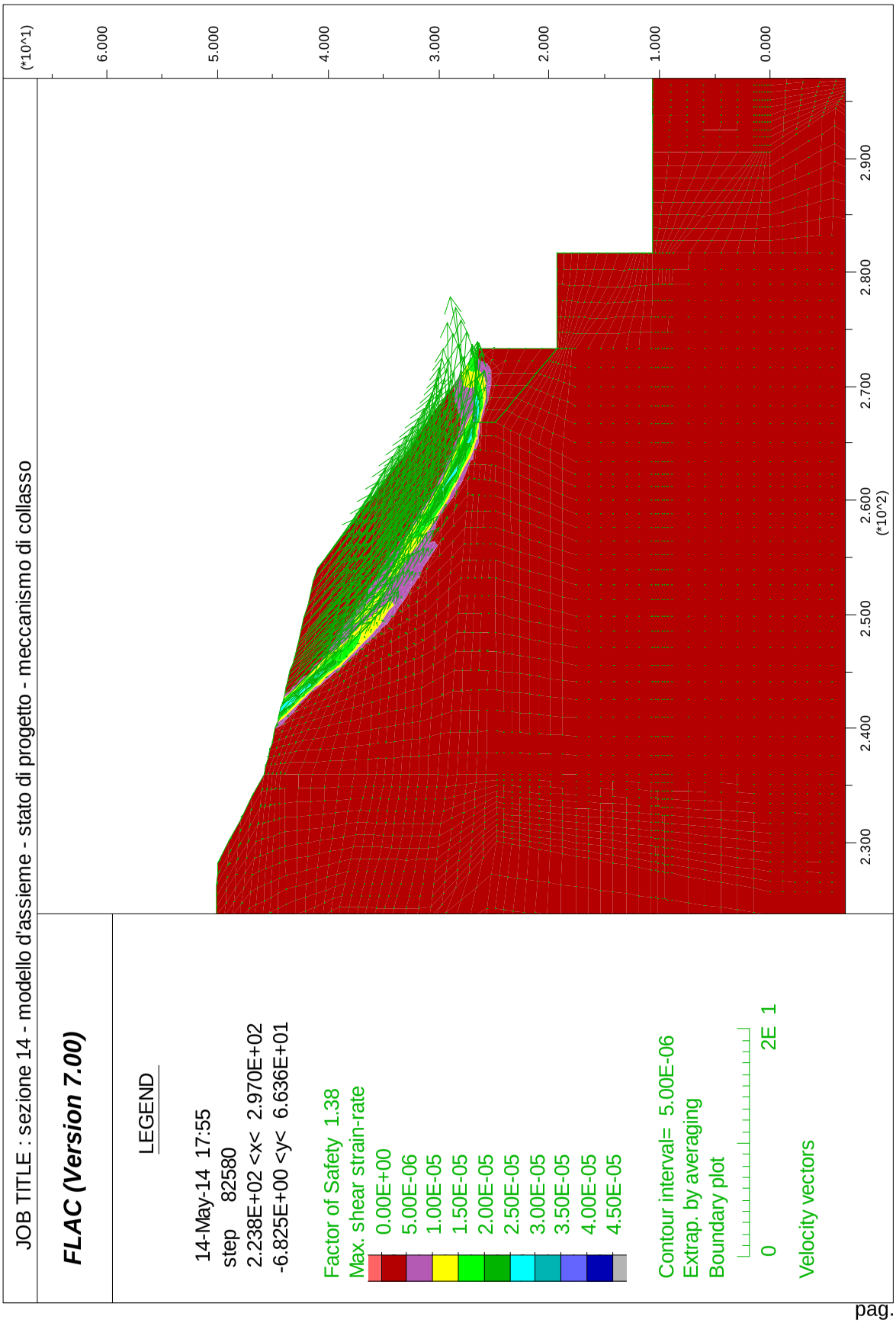
La verifica consiste nel raffrontare resistenze e azioni sollecitanti secondo la combinazione A2+M2+R2, nella quale:

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

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

R2: $\gamma_R = 1,1$.

Pertanto, la verifica è soddisfatta se il c.s. complessivo è superiore a 1 x 1,25 x 1,1 = 1,375. Il calcolo della situazione in esercizio porta a un valore del c.s. di 1,38 e pertanto la verifica è soddisfatta.


JOB TITLE : sezione 14 - modello d'assieme - stato di progetto - meccanismo di collasso
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 17:55
step 82580
2.238E+02 <x< 2.970E+02
-6.825E+00 <y< 6.636E+01
Factor of Safety 1.38
Max. shear strain-rate
0.00E+00
5.00E-06
1.00E-05
1.50E-05
2.00E-05
2.50E-05
3.00E-05
3.50E-05
4.00E-05
4.50E-05
Contour interval= 5.00E-06
Extrap. by averaging
Boundary plot
0
2E 1
Velocity vectors
(*10^1)
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
2.300
2.400
2.500
2.600
(*10^2)
2.700
2.800
2.900

6.1.7 Modello di dettaglio del versante

Per la parte superiore del versante, che è prevista gradonata a “scala montante”, con la formazione di una serie di fasce, si redige un modello di dettaglio che comprende:

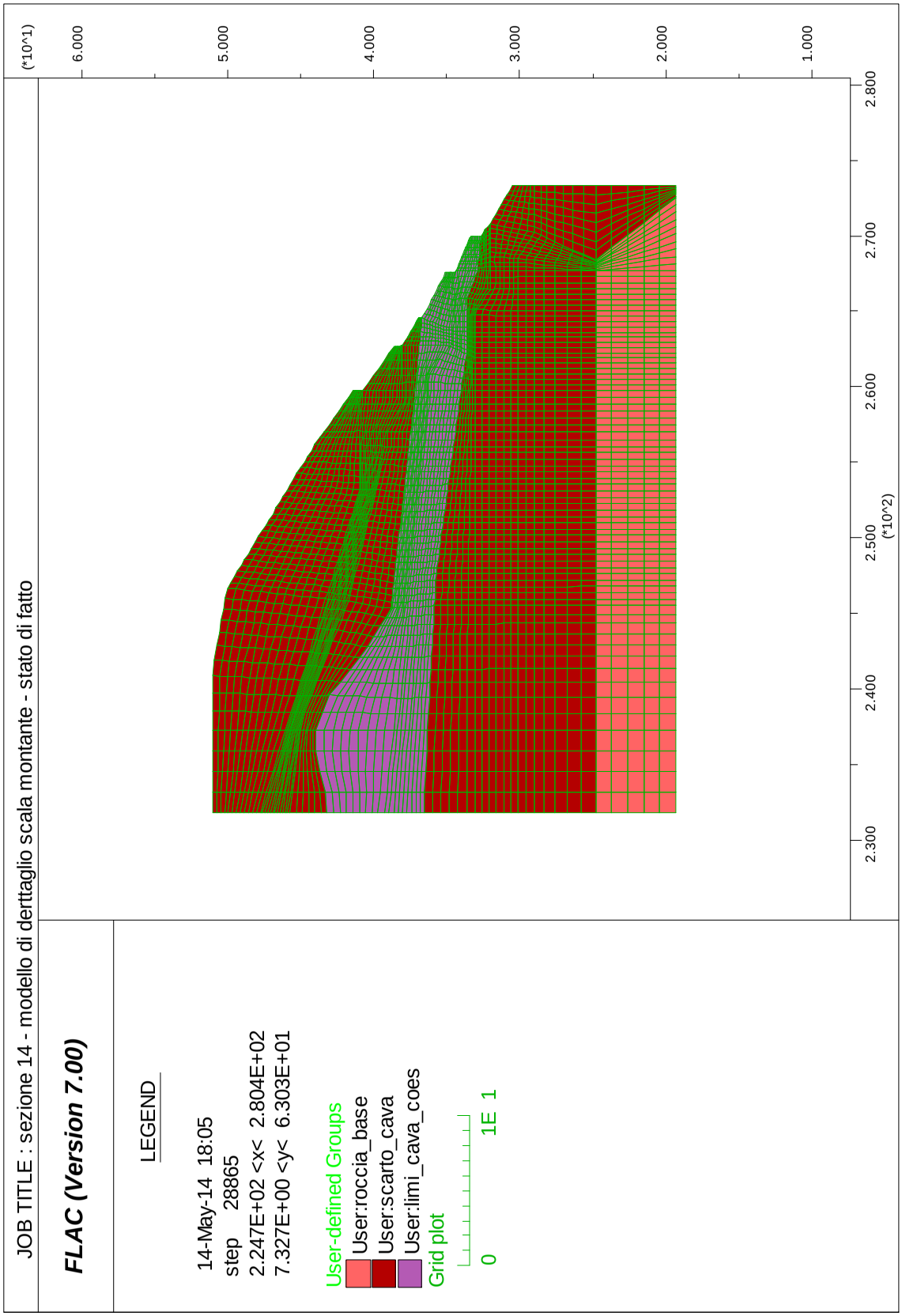
- i cordoli su pali, vincolati con ancoraggi, con funzione di contenimento della patre inferiore della scarpata, costituita dalle terre di buone caratteristiche che vengono lqasciate in posto
- i muri di contenimento a gravità in c.a. che contengono le gradonature superiori, eseguite in materiale riportato, steso in strati, rullato e compattato.

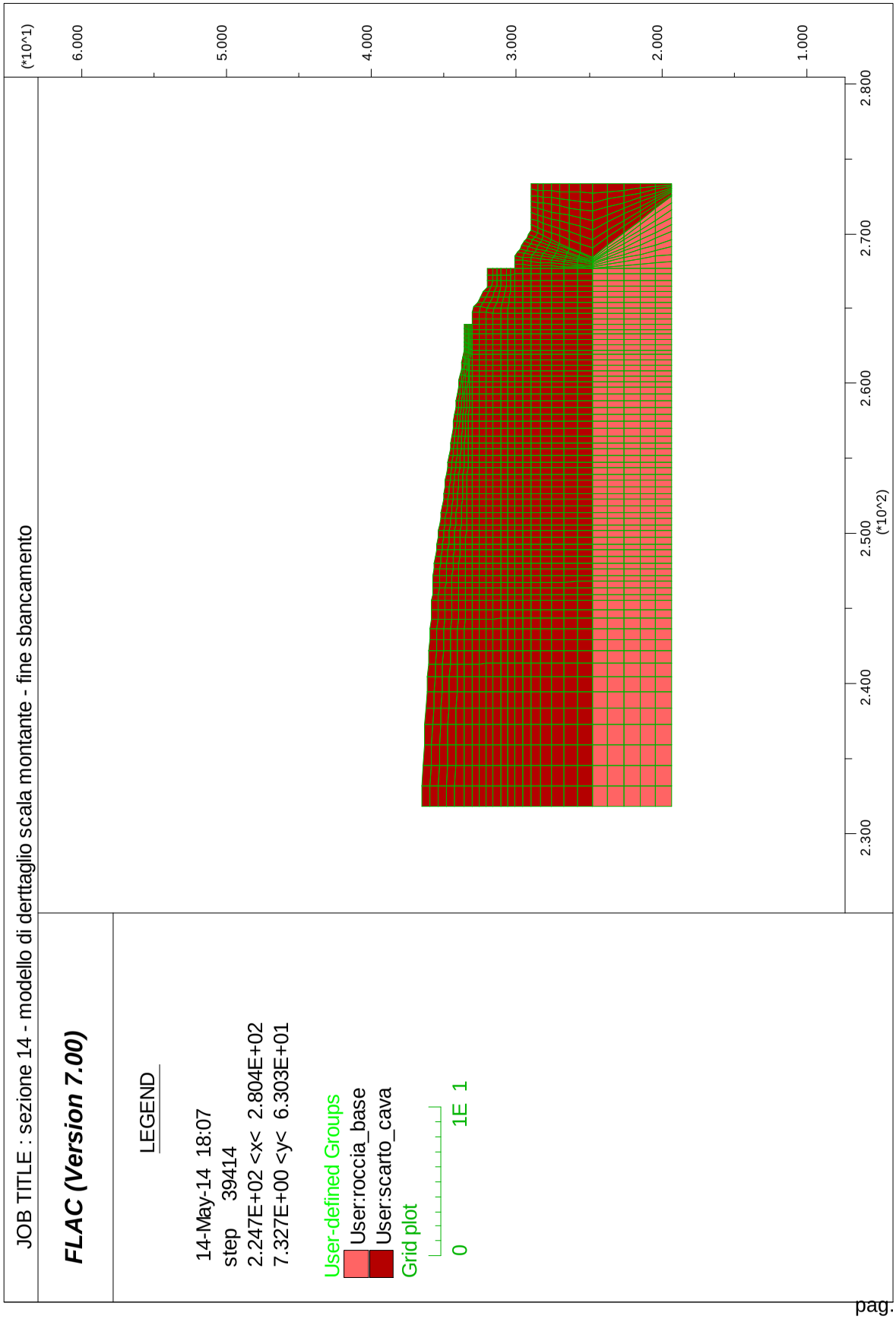
L’immagine seguente illustra il reticolo completo del modello e l’indicazione dei materiali, nello stato di fatto.

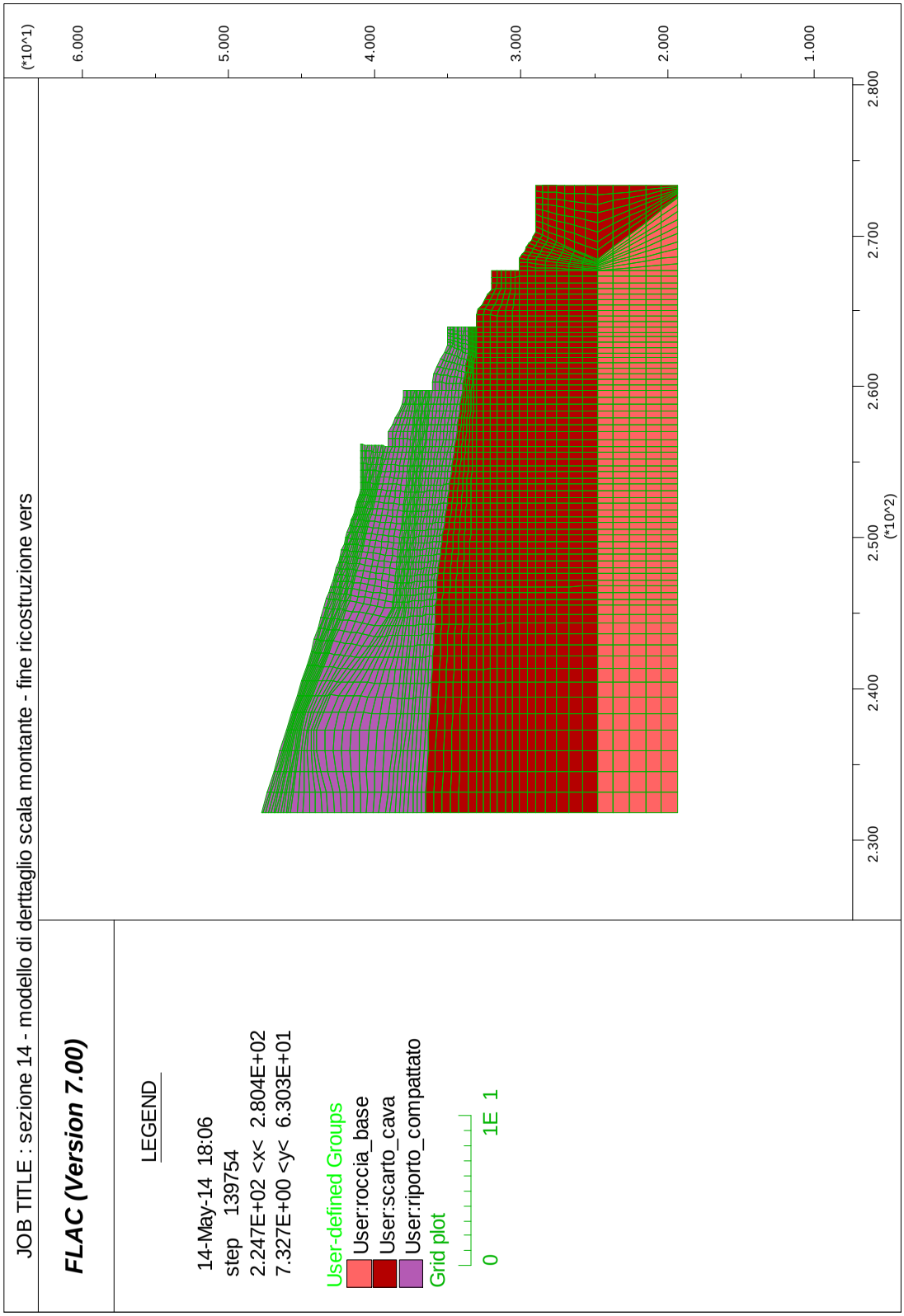
I materiali sono i medesimi del modello precedente, ovvero la roccia (in colore rosa), i terreni consistenti (rosso), i limi (viola).

L’immagine successiva riporta il reticolo al termine delle fasi di scavo e profilatura del versante, con completo sbancamento dello strato limoso.

La terza immagine riporta infine il versante nelle condizioni di progetto, con la formazione del nuovo rilevato. Il colore viola in questo caso si riferisce al riporto compattato, come illustrato in legenda.


JOB TITLE : sezione 14 - modello di derttaglio scala montante - stato di fatto
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 18:05
step 28865
2.247E+02 <x< 2.804E+02
7.327E+00 <y< 6.303E+01
User-defined Groups
User:roccia_base
User:scarto_cava
User:limi_cava_coes
Grid plot
0
1E 1
(*10^1)
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
2.800
2.700
2.600
2.500
2.400
2.300
(*10^2)


JOB TITLE : sezione 14 - modello di derttaglio scala montante - fine sbancamento
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 18:07
step 39414
2.247E+02 <x< 2.804E+02
7.327E+00 <y< 6.303E+01
User-defined Groups
User:roccia_base
User:scarto_cava
Grid plot
0
1E 1
(*10^1)
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
2.800
2.700
2.600
2.500
2.400
2.300
(*10^2)


JOB TITLE : sezione 14 - modello di derttaglio scala montante - fine ricostruzione vers
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
14-May-14 18:06
step 139754
2.247E+02 <x< 2.804E+02
7.327E+00 <y< 6.303E+01
User-defined Groups
User:roccia_base
User:scarto_cava
User:riporto_compattato
Grid plot
0
1E 1
(*10^1)
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
2.800
2.700
2.600
2.500
2.400
2.300
(*10^2)

6.1.8 Studio delle condizioni di progetto

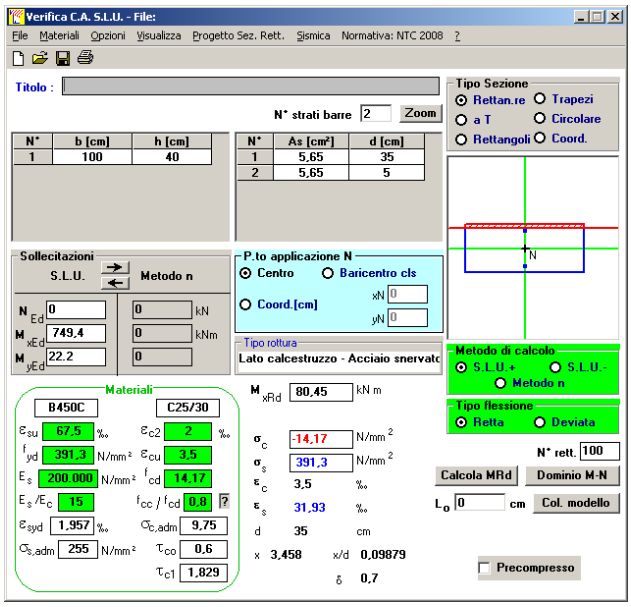
L'immagine successiva illustra lo stato di progetto in condizioni di esercizio, evidenziando le sollecitazioni verticali, le azioni di flessione nei muri e nei pali e le azioni di trazione negli ancoraggi.

Si rilevano le seguenti azioni massime, in condizioni di esercizio:

- micropali (beam 1,2), momento flettente 15,5 kNm
- barra d'ancoraggio, azione di trazione 502 kN
- muro di contenimento (beam 7,8,9,10), azione di flessione 16,7 kNm/m, taglio 10,9 kN/m

Le azioni di progetto allo SLU, dunque, calcolando che la totalità delle azioni applicate è di tipo permanente, risultano dai valori precedenti amplificati per un fattore parziale di sicurezza $\gamma_G = 1,3$.

Si omettono le verifiche per il fusto palo e per la barra d'ancoraggio, che hanno caratteristiche identiche a quelle previste alla base del versante, e per le quali valgono quindi le verifiche condotte al par. 6.1.4.2 .



VERIFICA DELLA SEZIONE DEL MURO DI CONTENIMENTO

Per quanto riguarda il muro di contenimento, le azioni di progetto risultano

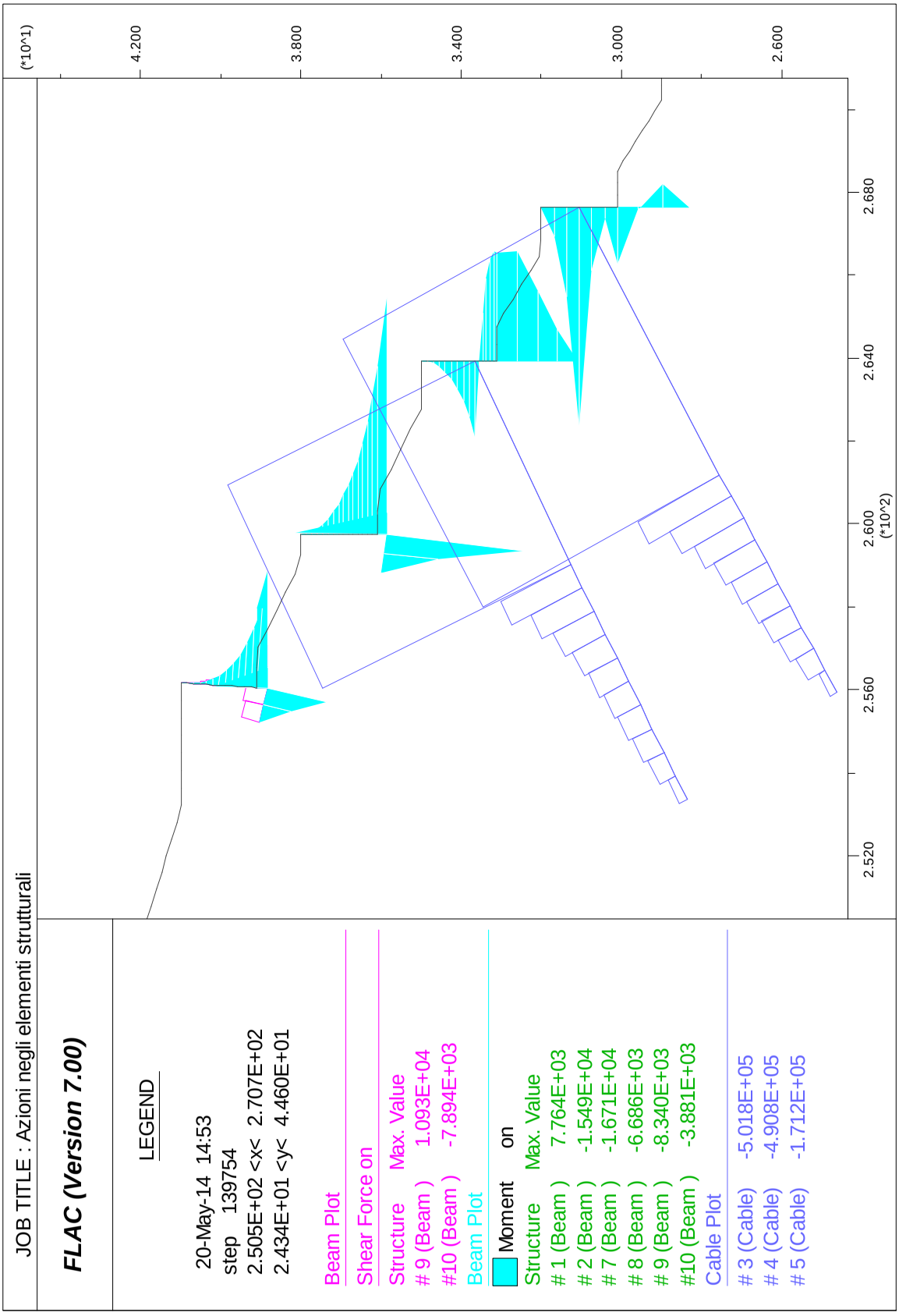
Md = 16,7 x 1,3 = 22,2 kNm/m

Vd = 10,9 x 1,3 = 14,2 kN/m

La verifica a flessione risulta soddisfatta, come dal prospetto qui a lato (V.Ca.SLU, prof. Gelfi), che calcola il momento ultimo di progetto, per una sezione di 40 cm di spessore, armata con barre da 12 mm passo 20 cm, in 80,4 kNm/m, dunque molto superiore al momento sollecitante.

4.1.2.1.3.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio				
fck = resistenza caratteristica cilindrica =			**25**	N/mmq
γc =			**1,5**	
fcd = 0,85 x fck / γc =			14,17	
fyk = resistenza caratteristica snervamento =			**450**	N/mmq
γs =			**1,15**	
fyd = fyk / γs =			391	N/mmq
h = altezza della sezione =			**500**	mm
d = altezza utile della sezione =			**450**	mm
bw = larghezza minima della sezione =			**1000**	mm
Asl = armatura longitudinale =			**565**	mmq
k = 1+(200/d)^1/2 =			1,667	<= 2
ρl = Asl/(bw x d) =			0,001256	<=0,02
σcp=Ned/Ac=	=	0,000	0,00	<= 0,2xfcd=
νmin= 0,035 x k^3/2 xfck^1/2 =			0,377	N/mmq
(νmin+0,15xσcp)xbwxd =			169	kN
Vrd= (0,18xkx(100xρlxfck)^1/3)/γc+0,15xσcp)xbwxd >= (νmin+0,15xσcp)xbwxd				
		Vrd =	**132**	kN

Anche la sollecitazione a taglio risulta tale da non richiedere un'armatura specifica a taglio, come illustrano nel prospetto qui a lato.


JOB TITLE : Azioni negli elementi strutturali
FLAC (Version 7.00)
LEGEND
20-May-14 14:53
step 139754
2.505E+02 <x< 2.707E+02
2.434E+01 <y< 4.460E+01
Beam Plot
Shear Force on
Structure Max. Value
9 (Beam) 1.093E+04
#10 (Beam) -7.894E+03
Beam Plot
Moment on
Structure Max. Value
1 (Beam) 7.764E+03
2 (Beam) -1.549E+04
7 (Beam) -1.671E+04
8 (Beam) -6.686E+03
9 (Beam) -8.340E+03
#10 (Beam) -3.881E+03
Cable Plot
3 (Cable) -5.018E+05
4 (Cable) -4.908E+05
5 (Cable) -1.712E+05
(*10^1)
4.200
3.800
3.400
3.000
2.600
2.680
2.640
2.600
2.560
2.520
(*10^2)

6.2 Sezione 2-2'

La sezione è caratterizzata da:

i) un versante molto acclive, prosecuzione di quello esaminato nella precedente Sezione 14-14', nel quale tuttavia in questa zona i materiali di scarto di cava lasciano il posto alla roccia in posto. L'intervento proseguirà quindi in questa zona con placcaggi delle gradonate rocciose e la formazione di rivestimenti in pietrame (Criticità 6).
j) la zona al piede del versante, analoga a quella esaminata nella precedente Sezione 14-14', dove, a causa dell'esercizio per molti anni delle vasche di lavaggio della cava, si è accumulato uno strato di considerevole spessore, composto principalmente da limo, soprastante uno strato di sabbie marine e infine il letto roccioso (Criticità 2);
k) una base in roccia di eccellenti proprietà meccaniche, affiorante in tutto il versante (Criticità 6), e sulla quale sono previste alcune strutture "montanti" (parcheggio coperto ecc.).
l) delle richieste di edificazione, poste dal progetto, sia sull'area pianeggiante a monte del versante gradonato, che nell'area al piede dello stesso (Criticità 1 e 5);
m) la formazione di un rilevato con gradoni al di sopra dell'area edificata, che raccorda progressivamente le quote altimetriche alla parte più alta dell'intervento (zona campi sportivi, ex-glory hole)

Questa sezione è stata scelta come "tipologica" perché rappresenta:

n) l'esigenza di gradonatura e messa in sicurezza di un versante roccioso (Criticità 4 e 6)
o) un caso di richiesta di edificazione in una zona dove, dopo l'asportazione degli starti di materiale non idoneo (i terreni contenenti i cosiddetti "limi di lavaggio"), si viene a realizzare un piano di posa per le fondazioni dirette dei fabbricati
p) nella parte basale, un caso di edificazione su uno strato di limi dove viene proposto il ricorso a fondazioni profonde (Criticità 2)
q) il progetto di edifici in fregio a strutture di contenimento del versante, e da esse staticamente isolati (Criticità 5)
r) nella parte superiore, la presenza residuale, a notevole profondità, di materiali limosi, la cui asportazione non risulta necessaria, non essendo previsti edifici soprastanti (Criticità 3)

6.2.1 Criteri di progetto

Allo scopo di conferire all'area la necessaria stabilità e la rigidezza che ne permetta l'utilizzo come terreni di fondazione, si ritengono necessari i seguenti interventi:

- rimozione del terreno fino a tutto lo strato limoso, fino a giungere sulle sabbie – scarto di cava – di buona qualità e compattazione; il terreno rimosso verrà selezionato in base all'utilizzo possibile con particolare riferimento a:
    - materiali a granulometria da medio-fine a grossa: reimpiego per rilevati, previa riclassificazione AASHTO (V. Relazione Integrativa geologica)
    - materiali a granulometria fine e coesivi (limi): possibile reimpiego sia come letto di assorbimento caduta massi al fondo dei valli, sia per la formazione di uno strato impermeabile al fondo del bacino artificiale in progetto nella zona basale dell'area. I materialin in esubero verranno allontanati dal cantiere.
- esecuzione di placcaggi mediante betoncino proiettato fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata su tutte le gradonature; verranno inoltre inseriti dei dreni corti e predisposto il recapito dei

possibili stillicidi, per creare l'area pianeggiante destinata all'edificazione; i gradoni verranno rivestiti in pietrame per conferirgli l'aspetto previsto nel progetto

- nella zona basale della gradonatura, verrà inoltre inserito un ordine di dreni lunghi, con idoneo recapito degli stillicidi
- nella zona superiore di versante, costituita dai materiali in posto, esecuzione di muri a gravità collocati in corrispondenza dei dislivelli in progetto, che, nel caso restino in vista, verranno successivamente rivestiti in sasso onde conferirgli un aspetto conforme al progetto architettonico. Questi muri saranno idonei al contenimento delle spinte del versante in condizioni a lungo termine, prevenendo qualsiasi interferenza con i fabbricati in progetto. L'altezza massima di questi muri è prevista in 7 m circa.
- ricostruzione della parte superiore del versante depositando il terreno (le cui caratteristiche granulometriche saranno idonee all'impiego per rilevati) in strati successivi debitamente compattati (si veda in merito la apposita specifica); formazione di muri di sostegno in c.a., sempre rivestiti in pietra, in conformità al progetto architettonico
- esecuzione di eventuali rilevati di precarico nella zona di edificazione a monte del versante
- esecuzione delle strutture "montanti" sul versante (strutture del parcheggio coperto ecc.) evitando scambio di azioni orizzontali fra le strutture e il versante stesso (messo in sicurezza con interventi indipendenti dagli edifici). Per quanto riguarda i carichi verticali, questi andranno debitamente consegnati alla roccia, collocando le fondazioni dirette in modo adeguato, e il dimensionamento delle strutture di messa in sicurezza del versante dovrà essere eseguito tenendo in debito conto tali carichi, in conformità al dettato normativo.

Particolare attenzione andrà posta poi ai fabbricati che vengono a trovarsi su suoli di tipo eterogeneo, con passaggi dalla roccia al terreno sciolto o eventualmente al terreno riportato. In tutti questi casi, è cruciale l'attento calcolo dei cedimenti e l'inserimento nel progetto esecutivo di accorgimenti idonei a minimizzare i cedimenti differenziali.

6.3 Sezione 5-5'

La sezione è caratterizzata da:

a) l'esigenza di edificare al piede di una parete rocciosa molto ripida (Criticità 6)
b) una base in roccia di eccellenti proprietà meccaniche, affiorante in tutto il versante (Criticità 6), e sulla quale sono previste alcune strutture "montanti" (strada con copertura paramassi ecc.).
c) l'esigenza di mantenere rigorosamente separati, da un punto di vista statico, gli edifici del versante (Criticità 5);

Questa sezione è stata scelta come "tipologica" perché rappresenta:

d) l'esigenza di messa in sicurezza di una ripida parete rocciosa (Criticità 6)
e) nella parte basale, edificazione su un letto roccioso che, se confermato in sede esecutiva, consente il ricorso a fondazioni dirette (Criticità 8)
f) il progetto di edifici in fregio a strutture di contenimento del versante, e da esse staticamente isolati (Criticità 5)

6.3.1 Criteri di progetto

Allo scopo di conferire all'area le condizioni di sicurezza di progetto, si ritengono necessari i seguenti interventi, in gran parte analoghi a quanto già presentato per le sezioni 14-14' e 2-2':

- esecuzione di placcaggi mediante betoncino proiettato fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata su tutte le gradonature; verranno inoltre inseriti dei dreni corti e predisposto il recapito dei possibili stillicidi, per creare i piani di posa delle fondazioni
- nella zona basale della sezione verrà inoltre inserito un ordine di dreni lunghi, con idoneo recapito degli stillicidi
- la parete soprastante le opere (e al piede della quale è comunque previsto un ampio vallo per l'arresto di eventuali prismi in caduta) verrà messa in totale sicurezza con l'inserimento di un sistema di chiodi, reti e funi.
- esecuzione delle strutture "montanti" sul versante (strutture del parcheggio coperto ecc.) evitando scambio di azioni orizzontali fra le strutture e il versante stesso (messo in sicurezza con interventi indipendenti dagli edifici). Per quanto riguarda i carichi verticali, questi andranno debitamente consegnati alla roccia, collocando le fondazioni dirette in modo adeguato, e il dimensionamento delle strutture di messa in sicurezza del versante dovrà essere eseguito tenendo in debito conto tali carichi, in conformità al dettato normativo.

Particolare attenzione andrà posta poi ai fabbricati che vengono a trovarsi su suoli di tipo eterogeneo, con passaggi dalla roccia al terreno sciolto o eventualmente al terreno riportato. In tutti questi casi, è cruciale l'attento calcolo dei cedimenti e l'inserimento nel progetto esecutivo di accorgimenti idonei a minimizzare i cedimenti differenziali.

7. Specifiche tecniche

Per gli interventi descritti ai paragrafi precedenti, si forniscono nel seguito le specifiche tecniche di massima.

7.1 Formazione dei rilevati in terra

Le indicazioni per la formazione dei rilevati sono raccolte nella Relazione Geologica Integrativa (rif. 6.]), al cap. 4, laddove viene riportata anche la classificazione delle terre da impiegare.

Allo scopo di conferire al terreno la necessaria compattezza, si prevede la seguente metodologia.

Il terreno verrà deposto a strati successivi di 50 cm di spessore; ogni strato dovrà essere assestato fino a raggiungere in ogni punto un peso specifico apparente al secco pari ad almeno il 95% di quello massimo ottenibile in laboratorio, operando con il metodo Proctor (standard).

Ogni strato dovrà raggiungere il grado di costipamento sopra stabilito, prima che venga posto in opera lo strato successivo.

Negli ultimi due strati, verso la superficie superiore e comunque per uno spessore complessivo non inferiore a 50 cm, il peso complessivo apparente dovrà raggiungere almeno il 95% di quello massimo ottenibile con il metodo AASHO (standard), secondo quanto previsto dalla norma CNR 69/78.

Il materiale dovrà essere costipato, con mezzi meccanici appropriati e approvati dalla D.L. dopo averlo bagnato, in modo da corrispondere all'umidità ottima secondo quanto ricavabile dalle prove di cui alla norma precedente.

Il modulo di deformazione, determinato secondo le norme CNR-B.U. n.9 del 11.12.67, non dovrà essere inferiore a 300 kg/cm².

7.2 Tiranti a trefoli

Tiranti di tipo permanente, con:

- doppia protezione alla corrosione,
- testata ritesabile e
- cappuccio di protezione a tenuta stagna (iniettato con malta previa ingrassatura della testata).

Trefoli a 7 fili da 0,6”, A=139mm2 in acciaio armonico avente le seguenti proprietà:

- fp(1)k = 1670 MPa
- fptk = 1860 MPa

Tutti i tiranti saranno assoggettati a prova di collaudo ai sensi del vigente regolamento NTC - 2008 (rif. 9.])

7.3 Ancoraggi a barra

Sono previsti ancoraggi a barra e chiodature di tipo permanente.

- La profondità di perforazione dovrà essere tale da penetrare nella roccia compatta per almeno 2 m in più della lunghezza del bulbo di ancoraggio, in modo da garantire di un bulbo di ancoraggio interamente all’interno di roccia sicuramente compatta e stabile.

- Barre d'ancoraggio tipo Dywidag Threadbar 950/1050 o equivalente (da approvare dalla D.L.), carico di snervamento > 950 MPa, fornita con doppia protezione anticorrosiva e relativi accessori per la messa in opera e il tensionamento, in spezzoni da 6 m di lunghezza; le barre dovranno emergere dal foro per almeno 1,20 m per consentire la realizzazione della trave di contrasto, oltre la quale le teste dei bulloni dovranno sporgere sufficientemente per le operazioni di tensionamento;
- iniezione con resina o malta (con additivo accelerante di presa), secondo le specifiche del costruttore
- piastra di testa 200 x 200 x 35 mm di spessore con sede sferica, posata con getto di allettamento, oppure su retropiastra (da annegare nel getto) 200x200x15mm; foro per passaggio tirante diametro min. 90 mm
- malta di allettamento per retropiastra di tipo EMACO antiritiro per inghisaggi.
- chiodi passivi tipo GEWI 500/550 o equivalente, dotati di golfari in acciaio zincato per il fissaggio delle funi, cementati su tutta la lunghezza.

7.4 Miscela di iniezione ancoraggi

Boiacca di acqua e cemento:

- cemento Portland CEM I 32,5
- rapporto max a/c 0,38
- Rm > 25 MPa
- additivo fluidificante e accelerante FLOWCABLE (BASF) o equivalente. Attenersi alle indicazioni del produttore per il confezionamento e i tempi di maturazione.

La modalità di iniezione prevista è IGU (iniezione globale unica).

7.5 Funi di acciaio zincato di rivestimento delle scarpate

- Funi in acciaio diam 12 mm fy> 1770 MPa.
- Zincatura Zn-Al UNI EN 10264-2:2004 classe B

7.6 Reti di acciaio zincato di rivestimento delle scarpate

- Rete metallica a doppia torsione maglia esagonale 8 x 10 cm UNI EN 10223-3
- Rivestimento Zn-Al UNI EN 10244-2:2009

7.7 Betoncino proiettato

- aggregati diametro massimo 8 mm
- dosaggio di cemento (conforme alla UNI EN 197-1) > 450 kg/m³
- rapporto a/c < 0,50
- consistenza S4-S5 (18-22 cm di slump)
- additivi superfuidificante e accelerante.
- Classe di resistenza CP25

7.8 Calcestruzzo e acciaio da c.a.

Per i muri e i cordoli è prescritto in linea di massima un calcestruzzo UNI EN 206, avente le seguenti caratteristiche:

- Classe di resistenza C 28/35
- Classe di esposizione XC2
- Classe di lavorabilità S4
- Massimo diametro inerti 0,32

e per le armature acciaio tipo B450C.