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

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 804597 - fax 019 8486939
e-mail archet@archet.it

arch. Valter CATTANEO

via Garibaldi 17, 17027 Pietra Ligure (SV)
tel 019 625320 - fax 019 629837
e-mail info@architettocattaneo.it

consulenza per le tematiche geologico-geotecniche

ing. Oscar TONELLO

via Ruffini 7/7 18038 Sanremo IM
tel 0184 541130 - fax 0184 541130
e-mail studio.tonello@libero.it

geol. Giorgio CONTI

via Ruffini 7/7 18038 Sanremo IM
tel 0184 541130 - fax 0184 541130
e-mail gio_conti@libero.it

oggetto

RELAZIONE GEOTECNICA

elaborato

G1

data

agosto 2012

cod.	003003	percorso file /dati/.../prj/cava arene candide			
rev1	settembre 2012	motivo Riformulazione PUO a seguito parere Comitato VIA	Tonello - Bianchi	Tonello-Conti	Tonello-Conti
rev2		motivo			
rev3		motivo			
rev4		motivo			
rev5		motivo			

RIFORMULAZIONE DEL PROGETTO DI P.U.O.
SUB DISTRETTO DI TRASFORMAZIONE DT1a AREE EX CAVA GHIGLIAZZA
COMUNE DI FINALE LIGURE (SV)

(A SEGUITO DEL PARERE DEL COMITATO DI V.I.A. N. 269/11)

RELAZIONE GEOTECNICA

ALLEGATO AL DOCUMENTO DI S.I.A.

CAPITOLI

CAPITOLO 1 - PREMESSA

1.1 - INQUADRAMENTO

1.2 - STUDI PROPEDEUTICI

1.3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

1.4 - SITUAZIONE ATTUALE E PRIME EVIDENZE

1.5 - SUDDIVISIONE IN VERSANTI

1.6 - PARAMETRI DI CALCOLO

1.7 - PARAMETRI AMMASSI ROCCIOSI

CAPITOLO 2 – ANALISI VERSANTI

2.1 - STATO DI FATTO

2.2 - INTERVENTI DI PROGETTO

CAPITOLO 3 - INTERVENTI ALTERNATIVI

3.1 - INTERVENTI ATTIVI

3.2 - INTERVENTI PASSIVI

CAPITOLO 4 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

CAPITOLO 1 – PREMESSA

1.1 - INQUADRAMENTO

La presente relazione viene redatta per analizzare le possibili metodologie di stabilizzazione del fronte di cava della zona denominata Cava Ghigliazza, ed in particolare per determinare gli interventi da effettuare sul versante centrale dell'area di cava, oggetto di un profondo intervento di riqualificazione ambientale in prospettiva di un futuro intervento edificatorio di carattere turistico-ricettivo.

Occorre quindi, previa analisi degli studi geologici redatti dal prof. Pietro Maifredi, eseguire una modellazione geomeccanica di dettaglio, volta a delineare gli interventi migliori per raggiungere la voluta messa in sicurezza dei fonti di cava da riqualificare.

L'area indagata ricade in Comune di Finale Ligure (SV), nel settore sud-occidentale del territorio comunale, quasi al confine con quello di Borgio Verezzi, in località Caprazoppa.

L'indagine riguarda le indicazioni geotecnico-progettuali per la messa in sicurezza dei fronti di cava da dismettere, per la successiva riqualificazione ambientale, in vista della realizzazione delle costruzioni turistico-ricettive, residenziali, infrastrutturali e sportive, meglio indicate nei documenti allegati al **Progetto Urbanistico Operativo (P.U.O.)**, predisposti dai tecnici incaricati dalla committente soc. Cava Arene Candide S.r.l.

Si sono in via preliminare acquisiti e valutati attentamente tutti gli elaborati prodotti a corredo della **Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.)** dai vari rofessionisti interessati, studiando in particolare gli aspetti geologici e naturalistici, poiché ritenuti prioritari nella valutazione e scelta degli interventi di messa in sicurezza, in un'ottica di reale e definitivo ripristino dell'habitat naturale dell'area di P.U.O., per lungo tempo interessato dalla coltivazione intensiva della cava esistente, in particolare nei primi decenni del dopoguerra, tempi di scarsa sensibilità ambientale e di evidente carenza di tutele normative.

Alla luce del parere espresso dai competenti Uffici della Regione Liguria sulla relazione preliminare, a seguito di un lungo iter tecnico-amministrativo e di incontri tra i vari professionisti incaricati dalla società promotrice con i dirigenti e funzionari regionali, si presenta una riformulazione della suddetta relazione geologico-tecnica, che recepisce i suggerimenti e le richieste degli uffici regionali competenti, facente parte integrante della nuova V.I.A. sull'intervento in questione.

1.2 - STUDI PROPEDEUTICI

Si sono analizzate diverse sezioni, alcune già individuate nelle tavole urbanistiche e in quelle geologiche, altre di nuova valutazione, determinate appositamente ai fini del presente elaborato tecnico.

La quantità di dati ed elaborati, già prodotta nei vari passi dell'iter progettuali del P.U.O. prima e della V.I.A. poi, ha permesso agli estensori della presente relazione di usufruire di analisi piuttosto approfondite su molti aspetti delle problematiche del sito.

Ciò che più interessa in questa fase, anche in risposta ad una oggettiva richiesta degli Uffici Regionali del Settore Ambiente, è quello di trasformare le indicazioni e le prescrizioni di natura geologica e naturalistica in modelli geotecnici, che possano fornire un supporto quantitativo alle scelte di intervento in parete.

In particolare ciò permette di avere un riscontro oggettivo del raggiungimento degli obiettivi prefissati e di analizzare tutta una serie di diverse opere di consolidamento, che potrebbero a lungo termine rivelarsi inefficaci se non risultare persino pericolose.

Si è proceduto quindi ad una descrizione delle più conosciute tecniche di stabilizzazione e riqualificazione dei versanti degradati e soggetti ad instabilità, discriminando tra quelle che contrastano le cadute massi o i franamenti superficiali e quelle che permettono la sistemazione di settori di pendio interessati da instabilità profonde, valutazioni che saranno meglio descritte e commentate nei successivi capitoli.

Come già accennato, nella redazione del presente lavoro si sono studiati ed analizzati i numerosi precedenti studi e relazioni sia di carattere geologico, sia ambientale, sia naturalistico, in quanto parte delle opere di messa in sicurezza risultano assai prossime ad un Sito di Interesse Comunitario (S.I.C.) classificato come SIC IT1323201 Finalese - Capo Noli.

Vengono quindi richiamate parti significative dei testi scientifici allegati alla richiesta di valutazione di impatto ambientale (V.I.A.) dato che ovviamente alcune scelte progettuali sono dettate da esigenze di salvaguardia floristico-faunistico, antropologiche ed archeologiche, data la presenza delle notissime grotte delle Arene Candide, nel settore ovest dell'area di P.U.O., su cui grava uno specifico vincolo della Sovraintendenza ai Beni Culturali ed Archeologici, quale vincolo di salvaguardia assoluta.

Valutazioni tratte dalle conclusioni dello studio di incidenza.

> *"In linea generale il progetto è utile a riqualificare la cava sotto il profilo percettivo o, ancor più, sotto il profilo emblematico di strategie politiche per la tutela del paesaggio e per la sicurezza. La struttura è, infatti, molto visibile e destinata a deteriorarsi ulteriormente nei prossimi decenni dal punto di vista naturale se non si attueranno degli interventi mirati di messa in sicurezza e di controllo dell'invasione di specie animali e vegetali. E' perciò positiva la proposta di modificare l'inclinazione del pendio andando però a ricreare puntualmente gli habitat che verrebbero ad essere interessati dall'intervento. La prospettiva finale di aumentare l'area vegetale lungo il pendio fornisce la possibilità di espansione e valorizzazione delle diversità biologiche oggi esistente anche nell'adiacente S.I.C.*

Il P.U.O. è altrettanto utile a migliorare la fruibilità della grotta delle Arene Candide da parte di visitatori che potranno più agevolmente raggiungere la grotta, ripercorrere la Strada Napoleonica, salire lungo la zona rivegetata oltre ad avere nuove disponibilità di aree di sosta e di svago.

Per armonizzare meglio le azioni mirate agli obiettivi sopra esposti con quelle necessarie per la conservazione, si suggerisce di aggiungere al progetto il ripristino e/o il miglioramento dello stato conservativo di alcuni habitat naturali e seminaturali.

Pertanto la valutazione del progetto è positiva, ma sono qui proposti alcuni piccoli accorgimenti e interventi che se realizzati contestualmente a quelli previsti dal progetto potrebbero portare un valore aggiunto.

Gli interventi proposti sono molto delicati da realizzarsi e richiedono particolare attenzione scientifica nella loro realizzazione. Si ricorda che ciò che distingue la "vegetazione" dalla "copertura a verde" è la disposizione spaziale delle piante che è spontanea nella prima e imposta nella seconda. Per evitare questo rischio sono suggerite alcune forme di mitigazione e compensazione che possono migliorare i nuovi aspetti seminaturali, limitando l'impatto sulle specie esistenti e l'eventuale artificializzazione dell'area di progetto"

Valutazioni tratte dalle conclusioni dello studio geologico.

"Il P.U.O. proposto non contrasta con le caratteristiche geologiche del sito, infatti la Cava Arene Candide risulta nel suo complesso stabile e, con gli interventi proposti, molto migliorata sotto l'aspetto dell'inserimento ambientale.

La tipologia degli interventi esecutivi di dettaglio, ossia la scelta dei consolidamenti delle pareti residue e della disposizione delle terre per la finitura a verde dipenderà molto dalla destinazione finale delle singole aree, pertanto le Norme Geologiche di attuazione allegate faranno parte integrante del P.U.O. che ne definisce il riutilizzo. Seguendo le norme saranno definiti nel dettaglio gli interventi di consolidamento e sistemazione "esecutiva" dopo aver definito l'assetto urbanistico dell'area.

Allo stato attuale tutti gli interventi proposti dal P.U.O. risultano sicuramente fattibili sotto il profilo geologico ed idrogeologico, ai sensi della vigente normativa in materia, purché vengano preceduti "fisicamente" dalla sistemazione dell'area e dalle necessarie verifiche e prescrizioni che ne conseguiranno."

Appare quindi evidente che le scelte progettuali sono state già adeguate alle indicazioni di ambito naturalistico, come ovvio, in quanto tutti gli interventi sono improntati al fine del massimo e migliore recupero dell'habitat naturale sia geologico-geomorfologico sia floro-faunistico, peraltro strettamente legati fra loro. Le relazioni prodotte a corredo dei progetti urbanistici non si sono limitate a dare degli indirizzi ma hanno di fatto orientato le scelte dei progettisti, uniformemente a quanto previsto dalle norme vigenti.

1.3 - ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche geologiche e geomeccaniche e la dinamica geomorfologica dei versanti di cava sono stati già descritti dalle relazioni del prof. Maifredi a cui si è già accennato e di cui, qui di seguito, si richiamano i dati salienti in relazione alla successiva modellazione e al calcolo dei diversi versanti.

La descrizione geologica esposta dal prof. Maifredi è la seguente:

"E' possibile suddividere schematicamente i litotipi affioranti nell'area considerata in tre insiemi fondamentali, aventi un significato geologico e paleogeografico assai differente tra loro:

a) I terreni Mesozoici.

Rappresentano la parte "utile" agli effetti dell'attività di cava, costituiscono il substrato più antico, preterziario, della Pietra di Finale; con la loro parte sommitale, costituita localmente dalla formazione dei

- "Calcari di Val Tanarello", (Giura-Malm) sovrastanti alle "Dolomie di S. Pietro ai Monti" che sono più antiche, di età Triassica, ma non affiorano in cava e quindi non cartografate; questi sedimenti rappresentano la parte più importante della cava. Con essi si è prodotta per molti anni ottima calce e pietrisco di buona qualità.

Sono costituiti da calcari cristallini quasi puri, ceroidi, di colore variabile dall'azzurro al rosato, di ambiente marino pelagico, con stratificazione fine e regolare, abbastanza evidente. Sono distinguibili facies diverse, quali:

1 - una facies basale, detta "Tanarello nocciola" che è un calcare ricco in silice, chiamato in gergo Vedrína, non soggetto nel passato a coltivazione in quanto non utilizzabile come calcare da calce e solo successivamente utilizzato per la produzione di inerti;

2 - una facies intermedia, definita "Tanarello azzurro" (calcare da calce).

Rappresenta il litotipo estratto in passato essenzialmente per la produzione di calce e subordinatamente pietrisco e, più recentemente, nella fase finale di coltivazione, anche per la produzione di calcari purissimi per uso industriale. Ha in genere colore grigio-azzurro uniforme, con striature biancastre.

3 - una Facies superiore, "Tanarello rosato", così chiamata nello studio dettagliato eseguito nel 1997 da G. Filippi, non cartografata per la limitatezza degli affioramenti; rappresenta il tetto della facies principale, per una listatura a bande di spessore 1-2 cm, discontinua, di colorazione marcatamente rosata.

4 - Una modesta sedimentazione della "Formazione di Caprauna" (Cretaceo superiore - Eocene), che è costituita da calcescisti associati a scisti calcareo-arenacei, con intercalazioni pelitiche.

b) I terreni Terziari

Vi è poi stata una lunga emersione, fino al Miocene. Si è avuta allora la deposizione, molti milioni di anni dopo, sui sedimenti mesozoici, dapprima di un substrato terziario della Pietra di Finale al di sopra della quota 160 circa, e poi della Pietra di Finale vera e propria.

Questi sedimenti, che in affioramento salgono sino all'altopiano delle Rocche dell'Orera, rappresentano una sorta di "cappellaccio", agli effetti estrattivi, del giacimento dei calcari di Val Tanarello, poiché, come si è detto, non hanno caratteristiche idonee come pietra da taglio o come inerte e sono pertanto di valore commerciale molto ridotto. E' stato necessario "coltivarli" come si dice con un termine legato all'attività di cava, per mettere a nudo i sottostanti Calcari di Val Tanarello e poter continuare a estrarre il materiale "utile". La roccia estratta è stata prevalentemente utilizzato per colmate, riempimenti, ed in misura ridotta per ripascimenti.

Ne esiste una modesta scorta ai piedi dei gradoni, al di sopra di quota 60 circa, "a magazzino", cioè materiale già estratto dalle aree di coltivazione autorizzate ed in continua movimentazione per l'opportuna selezione.

Quanto sopra esprime una sintesi della geologia della parte interessata dalla cava; tuttavia sono stati cartografati anche altri litotipi, di un certo interesse per il progetto di P.U.O., che vanno presi in considerazione nel rimodellamento e nell'utilizzo dell'area.

c) I Depositi quaternari.

Essi rappresentano i terreni più recenti, quasi sempre sciolti, ed in parte di origine antropica. Sono stati cartografati solamente quando raggiungono uno spessore ed un'estensione areale significativi e sono rappresentati come segue:

- Detriti in movimentazione

Sono importanti accumuli detritici con potenza continuamente variabile nel tempo, che un tempo erano in movimentazione rapida dai gradoni verso i piazzali, ed ora in via di definitivo allontanamento con l'esaurimento della cava, il già accennato materiale "a magazzino". Hanno in genere una classazione legata alla gravità, con la parte più grossolana, massi e pietrame, in basso e la parte più fine all'apice del cono detritico.

- Depositi di limi

Si tratta di depositi di notevole potenza di limi derivanti da decantazione in appositi bacini delle acque di lavaggio provenienti dai frantoi per la preparazione del pietrisco, essiccati ed accumulati provvisoriamente nella zona Ovest e nella zona Est della cava, in attesa di sistemazione definitiva o di riutilizzo per la rinaturalizzazione dei gradoni.

- Depositi costieri

Sono costituiti da sabbie localmente cementate formanti "panchina" (beachrock), presenti soprattutto sotto la strada statale Aurelia e sotto la zona degli impianti e delle vasche di sedimentazione.

La beach-rock è divenuta visibile solo in tempi recenti (essa si forma per cementazione da parte del carbonato di calcio trasportato dalle acque provenienti dal versante e filtranti attraverso la sabbia) in quanto prima, nelle sue normali condizioni di formazione, era sepolta dalla grande duna di "arene Candide" e sino agli anni '60 del secolo scorso da una spiaggia legata al continuo ripascimento dovuto agli apporti presso il capo della Caprazoppa del materiale non utilizzato dalla Cava Ghigliazza.“

La dinamica geomorfologica dell’areale interessato dallo studio è forzatamente legata all’attività di cava sia passata che recente, nonché ovviamente alla disposizione giaciturale ed alla fissilità e fratturazione degli ammassi rocciosi presenti e sopra elencati.

La coltivazione di cava ha generato fronti in roccia denudata alti talora oltre 15 m e larghi anche 300 m, interrotti da gradonature larghe non più di 6-7 m.

Altro fattore antropico molto rilevante nella dinamica di versante è rappresentato dagli accumuli detritici di materiale cavato e vagliato, che peraltro risulta in continua evoluzione.

Per quanto attiene il *pattern* di fratturazione e clivaggio le analisi condotte in parete dai geologi hanno evidenziato la frequenza di due famiglie di rottura fragile più pervasive che generano, intersecando la stratificazione, rotture tipicamente a cuneo nei versanti alla meso-scala.

I versanti si presentano nel complesso stabili a breve-medio termine, ma sicuramente non permettono, allo stato attuale, di garantire la sicurezza a lungo termine, almeno in assenza di interventi puntuali o strutturali, come verrà indicato nei paragrafi successivi.

1.4 - SITUAZIONE ATTUALE E PRIME EVIDENZE

Scopo principale della presente relazione sarà quello di individuare tramite analisi successive il migliore approccio progettuale, in termini di benefici ambientali e di sicurezza per le diverse aree in cui è suddivisibile la cava e quindi la zona interessata dal P.U.O.

La situazione maggiormente complessa appare rappresentata dal fronte centrale della ex Cava Ghigliazza, con un fronte di circa 300 m ed un’altezza di oltre 180 m, una pendenza media che varia da un massimo di 40° nella parte su periore a poco meno di 30° in quella inferiore.

I gradoni di coltivazione sono per lo più in condizioni di manifesto disequilibrio statico per

via della forte fratturazione superficiale della roccia, causata del ripetuto brillamento di mine, ma anche per la sistemazione provvisoria e non protetta dei terrazzamenti con detriti sciolti sul lato di valle.

Inoltre, cosa più importante, l'area centrale è l'unica dove la giacitura della stratificazione è manifestamente sfavorevole, in quanto generalmente inclinata verso il piazzale di cava in media di 45°, condizione che porta inevitabilmente a scivolamenti strato su strato a partire da giunti di fratturazione ortogonali particolarmente pervasivi.

In questo settore, che risulta essere il più ampio, sono stati segnalati a più riprese dai geologi e osservate direttamente nelle operazioni preliminari in sito dai geotecnici, rischi di distacchi non tanto di frammenti o blocchi di media pezzatura, quanto piuttosto di cunei di roccia di dimensioni consistenti. Risultano infatti piuttosto evidenti numerose fratture beanti, di formazione assai recente ed in allargamento attivo, lunghe anche parecchi metri, che destabilizzano vere e proprie "fette" dell'ammasso roccioso, anche a causa della eccessiva acclività delle gradonature in oggi esistenti.

In alcuni gradoni infatti, sono presenti fratture di tensione molto evidenti sia nei riporti accumulati artificialmente, sia nelle scarpate in roccia un tempo coltivate per l'estrazione del materiale di cava.



Panoramica fronte centrale e in secondo piano il fronte occidentale.

Tale situazione presente nella parte alta del fronte, ereditata dalla ormai abbandonata

attività di cava, obbliga necessariamente, come si vedrà, ad un intervento radicale di riprofilatura. Questo soprattutto per via di una instabilità manifesta a lungo termine di ampie e profonde porzioni del pendio, non riscontrabili nelle ali laterali, come già sottolineato nello studio geologico più volte citato.

Ad una prima superficiale analisi dei fronti sembrerebbe che la parte centrale della cava, che è già stata in passato riprofilata in maniera non sistematica, debba essere considerata la più stabile, ancorché soggetta ad interventi migliorativi, al contrario delle ali laterali, sia orientale sia occidentale, che appaiono immediatamente più acclivi e quindi potenzialmente più instabili. Si vedrà invece che, come peraltro già ben evidenziato dagli studi del prof. Maifredi, tramite una dettagliata campagna geomeccanica sulle pareti in questione, le analisi numeriche eseguite, daranno risultati in parte contrastanti.

Anche gli studi geologici consigliano un approccio progettuale teso alla riprofilatura del versante con contestuale rimozione delle parti rocciose destabilizzate, tramite disgaggio profondo e rimodellamento della parete.

Per il raggiungimento della messa in sicurezza a lungo termine si dovrà quindi operare con metodologie radicalmente diverse per i tre fronti. Le scelte progettuali, di cui ora si fornisce solo una prima indicazione, saranno meglio delineate ed approfondite successivamente nel capitolo relativo agli interventi di progetto.

Nella parte occidentale, la più tutelata, in virtù dello specifico vincolo di immodificabilità assoluta imposto dal Ministero dei Beni Culturali per via della presenza della Grotta delle Arene Candide, si interverrà con reti e chiodature puntuali, mentre a valle della falesia si ricorrerà ad opere di protezione passiva quali barriere paramassi o valli di difesa realizzati artificialmente nei punti più soggetti a potenziali cadute o rotolamento massi.

Un analogo discorso può essere condotto anche per la zona orientale, dove però si renderà anche necessaria preliminarmente una modesta riprofilatura del versante, in prossimità di settori particolarmente critici e dove si abbancheranno terre sciolte alla base del pendio a contrasto di crolli e con scopi di rinaturalizzazione più efficace.

1.5 - SUDDIVISIONE IN VERSANTI

Per l'analisi della stabilità allo stato attuale delle sezioni più significative e la verifica della messa in sicurezza dei versanti allo stato finale dei lavori, si è proceduto alla suddivisone del fronte di cava in tre aree ben distinte, in funzione delle differenti criticità evidenziate negli studi precedenti.

Si è infatti evidenziato che, mentre la parte centrale obbliga ad un approccio più invasivo, a causa della sfavorevole disposizione giaciturale della roccia, che potrebbe causare potenziali distacchi di ampie porzioni di pendio, le parti laterali, ed in particolare quella di ponente, necessitano di interventi mirati di consolidamento delle pareti, senza perciò

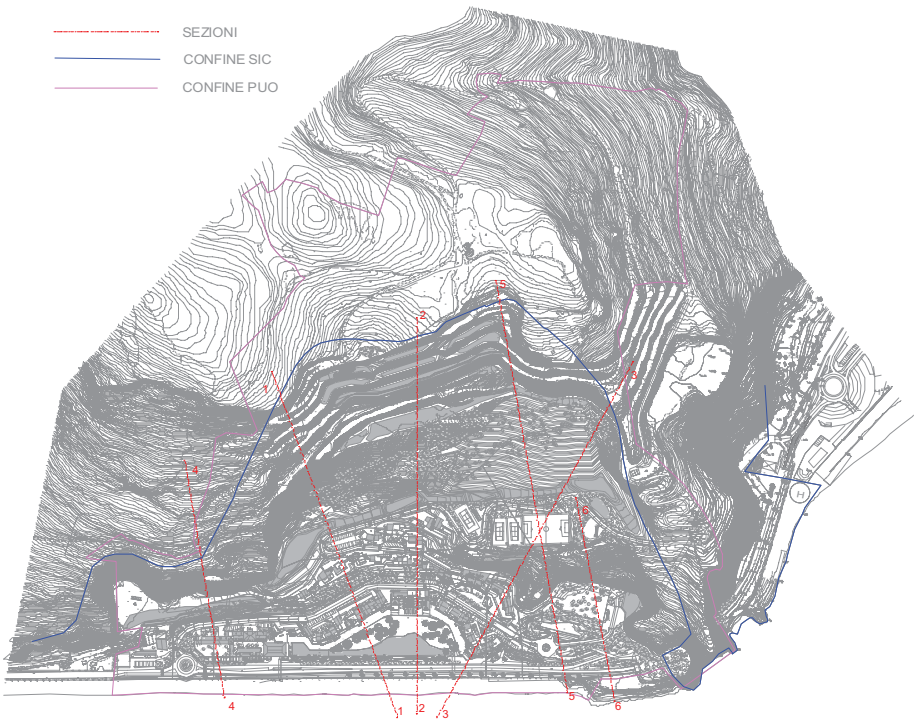
ricorrere a disgaggi massicci. Il settore di levante invece sarà oggetto di opere di tipo intermedio, consistenti cioè nella rimozione di porzioni limitate di roccia instabile e successiva esecuzione di consolidamenti quali chiodature e posa di reti intirantate.

Per l'inquadramento dei settori di studio si riportano le planimetrie dello stato di fatto e di progetto, dove sono indicate le tracce delle sezioni analizzate.

PLANIMETRIA STATO DI FATTO



PLANIMETRIA IN PROGETTO



Gli ambiti di intervento sono stati così suddivisi sia sulla scorta di evidenze di natura geologica e geomorfologica, sia in considerazione dei diversi vincoli gravanti sul territorio interessato dal P.U.O. Va sottolineato infatti che esiste il vincolo archeologico della Grotta delle Arene Candide del Ministero dei Beni Culturali anche nella zona che interessa la falesia di ponente. In questo settore gli interventi in parete saranno ridotti al minimo e si agirà con protezioni passive al piede del versante. D'altra parte già in sede progettuale si è evitato di prevedere edificazioni nelle immediate vicinanze della stessa falesia.

Il versante centrale sarà oggetto di gran parte delle analisi e dei calcoli lungo i profili scelti, in quanto ritenuti i più significativi e critici. Si è infatti voluto esaminare criticamente tutti i possibili interventi di consolidamento sia strutturali, sia di riprofilatura, sia afferenti all'ingegneria naturalistica, sia misti.

1.6 - PARAMETRI DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità dei versanti sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo STAP FULL 11.0 (Stabilità pendii in terreni e rocce) della AZTEC Informatica, che permette di elaborare l'analisi agli stati limite, in condizioni statiche o dinamiche, con sisma orizzontale e/o verticale.

Si sono utilizzate le Norme Tecniche per le Costruzioni dette NTC 2008, Decr. Min. Infrastrutture del 14.01.2008, secondo l'approccio 1, la combinazione 2 A2-M2 e PC.

Il fattore di sicurezza stabilito, in accordo con la normativa al punto 6.3.4, è stato assunto in base al livello di conoscenza raggiunto, all'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica.

Nel caso in esame, pur essendo il coefficiente di sicurezza minimo richiesto dalle norme NTC 2008 pari a $\mathbf{f_s=1}$, in considerazione di quanto sopra esposto e del fatto che ai piedi del versante il progetto prevede la realizzazione di insediamenti residenziali, sportivi ed infrastrutturali, si è ritenuto opportuno, a favore di sicurezza, assumere un valore di $\mathbf{f_s=1,1}$ quale coefficiente minimo di sicurezza per la stabilità e di $\mathbf{f_s=1,3}$ quale coefficiente di sicurezza determinato per la finalità di salvaguardia delle infrastrutture, dei fabbricati sportivi, turistici e residenziali del P.U.O.

Da ciò si possono definire diverse tipologie di pendio in base ai coefficienti di sicurezza alla stabilità globale del pendio:

- $\mathbf{f_s<1}$ **Pendio instabile**
- $\mathbf{1<f_s<1.1}$ **Pendio al limite della stabilità globale e locale**
- $\mathbf{1.1<f_s<1.3}$ **Pendio globalmente stabile con zone critiche locali**
- $\mathbf{f_s>1.3}$ **Pendio globalmente stabile senza problematiche locali**

Il software utilizzato prevede l'inserimento dei vari strati di terreno o roccia, con i loro dati caratteristici, di eventuale falda, di carichi presenti sul terreno ed interventi quali muri in c.a., paratie tirantate, gabbionature e terre armate.

È possibile l'utilizzo di diversi metodi di calcolo, tra i quali Fellenius, Janbu, Bishop, Bell e Morgenstern-Price, la scelta di superfici di rottura circolari, a spirale logaritmica o generiche, l'inserimento di una maglia di centri delle superfici di scorrimento, raggi fissi o variabili con incremento stabilito.

Nel caso in esame si è scelto il metodo di Bell, che consente eventualmente di eseguire simulazioni di *back-analysis*, superfici di rottura circolari, raggio fisso o variabile in funzione del tipo di pendio analizzato e delle finalità della verifica.

L'analisi sismica è stata elaborata inserendo i valori di massima accelerazione al suolo a_g, fattore di amplificazione spettro orizzontale F_0 e periodo di inizio tratto a velocità costante Tc^* dedotti dalle mappe sismiche nazionali relative alla zona di verifica.

Nella verifica di stabilità del pendio si sono assunti i valori caratteristici forniti dalla relazione geologica e dalla bibliografia. I dati di input relativi alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni per il software di calcolo derivano infatti dalle indagini a più riprese condotte sul sito dal prof. Maifredi, supportati dai dati di bibliografia disponibili.

Le verifiche di stabilità del pendio e gli elaborati grafici delle sezioni, delle stratigrafie, delle superfici circolari di rottura ed i coefficienti di sicurezza sono allegati alla presente e ne costituiscono parte integrante.

1.7 - PARAMETRI AMMASSI ROCCIOSI

Si è assunto che gli ammassi rocciosi abbiamo un comportamento sufficientemente omogeneo per essere descritti come terreni continui e quindi analizzare le curve critiche di potenziale scivolamento globale inserendo parametri univoci per ogni formazione definita.
I dati sono stati adottati tramite una scelta ponderata e mediata sui valori dedotti dalle prove eseguite dai geologi, basandosi sulla teoria del criterio di rottura di Hoek - Brown.

Richiami di teoria per il Crietrio di Hoek – Brown

Nell'analisi di un ammasso roccioso occorre riservare particolare attenzione alle discontinuità, in quanto queste possono isolare blocchi di roccia potenzialmente instabili e divenirne possibili piani di scivolamento.
Nel caso di masse rocciose interessate da discontinuità ravvicinate (masse rocciose in cui la dimensione del blocco unitario è molto piccola), un fenomeno di instabilità può coinvolgere più blocchi con movimenti relativi tra gli stessi. La definizione di "massa rocciosa con giunti ravvicinati" dipende dal rapporto tra la vicinanza delle discontinuità e le dimensioni del problema.
Oltre al comportamento delle singole discontinuità, i parametri che caratterizzano la resistenza al taglio di tali tipi di masse sono principalmente la spaziatura e la rigidezza sia della matrice, sia della discontinuità.
La resistenza al taglio di questi tipi di masse è stata studiata da molti ricercatori di

Meccanica delle Rocce (Bandis et al. 1981; Barton 1971, 1981; Barton e Chubey 1977; Ladanyi e Archambault 1972; Hoek e Brown 1980; Jaeger 1971).

Tabella I. Correlazioni tra le qualità della massa rocciosa e le costanti empiriche.

	A	B	C	D	E
Campioni di roccia intatta (dimensioni di laboratorio senza giunti)	m = 7,0 s = 1,0	m = 10,0 s = 1,0	m = 15,0 s = 1.0	m = 17,0 s = 1,0	m = 25,0 s = 1,0
Massa rocciosa di ottima qualità (roccia sana con giunti serrati e spaziati di 3 m)	m = 3,5 s = 0,1	m = 5,0 s = 0,1	m = 7,5 s = 0,1	m = 8,5 s = 0,1	m = 12,5 s = 0,1
Massa rocciosa di buona qualità (roccia debolmente alterata, con giunti spaziati di 1-3 m)	m = 0,7 s = 0,004	m = 1,0 s = 0,004	m = 1,5 s = 0,004	m = 1,7 s = 0,004	m = 2,5 s = 0,004
Massa rocciosa di media qualità (parecchi sistemi di giunti moderatamente alterati e spaziati di 0,3-1 m)	m = 0,14 s = 0,0001	m = 0,20 s = 0,0001	m = 0,30 s = 0,0001	m = 0,34 s = 0,0001	m = 0,50 s = 0,0001
Massa rocciosa di qualità scadente (numerosi giunti alterati e spaziati di 30-50 mm)	m = 0,04 s = 0,0000	m = 0,05 s = 0,0000	m = 0,08 s = 0,0000	m = 0,09 s = 0,0000	m = 0,13 s = 0,0000
Massa rocciosa di qualità molto scadente (numerosi giunti fortemente alterati e spaziati meno di 50 mm, intercalati da detriti e fini)	m = 0,007 s = 0	m = 0,010 s = 0	m = 0,015 s = 0	m = 0,017 s = 0	m = 0,025 s = 0

A. Rocce carbonatiche (dolomie, calcari, marmi);

B. Argilloscisti litificati (marne, argilloscisti);

C. Rocce arenacee (quarziti, arenarie);

D. Rocce ignee cristalline a grana fine (andesiti, doleriti, diabasi, rioliti);

E. Rocce ignee cristalline e metamorfiche a grana grossa (anfiboliti, gabbri, gneiss, graniti, quarzo/dioriti).

Hoek e Brown (1980) proposero il seguente criterio di rottura empirico valido per masse rocciose con giunti ravvicinati:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + q_c \cdot \left(m \frac{\sigma_3}{q_c} + s \right)^{0,5}$$

in cui:

σ_1 è la massima tensione principale efficace;

σ_3 è la minima tensione principale efficace;

q_c è la resistenza a compressione semplice di un provino standard di roccia intatta;

m ed s sono delle costanti adimensionali caratteristiche di ciascun tipo di ammasso, che dipendono dalla forma e dal grado di incastramento dei singoli blocchi di roccia nella massa.

Tale criterio può essere esteso alla roccia intatta ($s = 1$) e ad un materiale granulare

($s = 0$).

La resistenza a compressione monoassiale della massa rocciosa è data da:

$q_{c,mass} = q_c \cdot s^{0,5}$ nulla quando $s = 0$.

Hoek e Brown determinarono, utilizzando le classificazioni di Barton e Bieniawski, i valori dei parametri empirici m ed s. La Tabella I riporta, per i vari tipi di roccia e qualità, i valori dei parametri empirici che Hoek e Brown suggeriscono di utilizzare in assenza di specifici dati sperimentali.

Indici per la valutazione della resistenza di ammassi di roccia

Ai fini del calcolo della capacità portante delle fondazioni superficiali su roccia, Hoek e Brown (1997) hanno recentemente introdotto l'indice GSI (Geological Strenght Index), il cui significato è quello di un indice di resistenza, valido per ammassi di roccia tenera e dura. Le relazioni fornite da Hoek e Brown per determinare il valore di tale indice sono le seguenti:

$GSI = RMR - 5$ per $RMR \geq 23$

$GSI = 9 \ln Q' + 44$ per $RMR < 23$

RMR è il Rock Mass Rating, definito da Bieniawski (1989);

$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a}$ Indice di qualità (modificato) di Barton.

Talvolta si incontrano delle difficoltà a valutare RMR negli ammassi rocciosi di qualità scadente. L'indice Q' può pertanto essere usato più spesso, grazie alla maggior facilità con cui può essere calcolato, specialmente nelle rocce tenere.

Hoek e Brown (1997) hanno comunque proposto anche una tabella (Tabella II) per effettuare una stima dell'indice GSI tramite una semplice ispezione visiva.

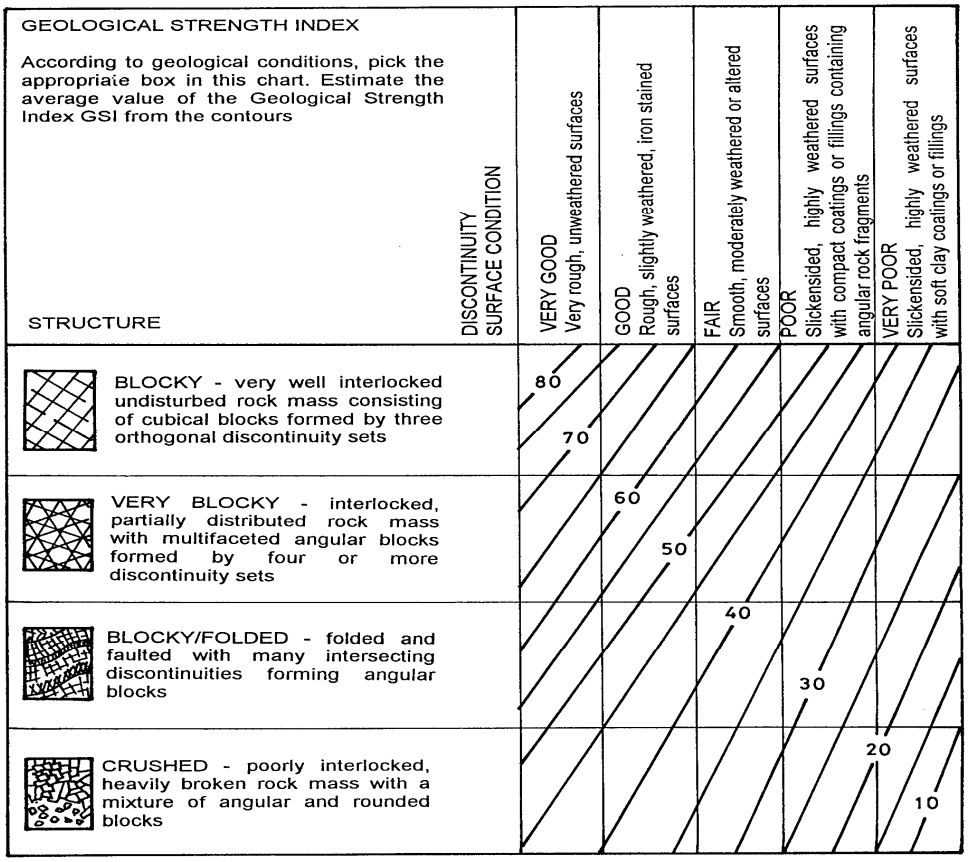
In essa sono individuate 4 principali categorie di rocce, in accordo con la classificazione di Terzaghi:

Blocky *(Massiva);*
Very Blocky *(Discretamente massiva);*
Blocky/Folded *(Massiva con discontinuità);*
Crushed *(Disgregata).*

Le condizioni della superficie di discontinuità sono invece classificate in 5 categorie, simili a quelle adottate per la definizione dell'indice RMR:

Very Good *(Molto buona);*
Good *(Buona);*
Fair *(Discreta);*
Poor *(Scadente);*
Very Poor *(Molto scadente).*

Tabella II. Stima dell'indice GSI attraverso ispezione visiva delle condizioni geologiche.



In base alla classificazione dell'ammasso roccioso e della sua superficie di discontinuità è dunque possibile riferirsi a una specifica cella della tabella, la quale fornisce un intervallo di valori stimati per GSI nelle condizioni in esame. Secondo Hoek (1998), per ragioni operative, da tale intervallo se ne dovrebbe trarre un unico valore, la cui scelta determinerà il calcolo delle fondazioni e degli scavi nella roccia.

Criterio di resistenza modificato

Hoek (1994) ha suggerito l'adozione del seguente criterio di resistenza modificato per un ammasso roccioso:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + q_c\left[m\frac{\sigma_3}{q_c} + s\right]^n$$

in cui:

σ_1 è la massima tensione principale efficace;

σ_3 è la minima tensione principale efficace;

q_c è la resistenza a compressione semplice per un provino standard;

m è una costante caratteristica di ciascun tipo di ammasso;

$$s = \left(\frac{q_{c,mass}}{q_c} \right)^{\frac{1}{n}}$$

è un fattore di riduzione della resistenza;

$$\begin{cases} n = 0{,}5 & \text{per } GSI \geq 25 \\ n = 0{,}65 - \dfrac{GSI}{200} & \text{per } 10 \leq GSI < 25 \\ n = 0{,}60 & \text{per } GSI < 10 \end{cases}$$

Hoek (1994) e Hoek e Brown (1997), dall'analisi di un certo numero di casi reali, hanno trovato le seguenti correlazioni tra i parametri m, s e GSI:

$$m = m_r \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{28} \right)}$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9} \right)}$$

ove m_r è la costante del materiale roccioso ricavabile da prove triassiali su provini di roccia. La correlazione proposta per s è valida solamente per pendii e cave a cielo aperto. Per gallerie e caverne si trova infatti un enorme incremento di resistenza.

Si noti che, con una piccola approssimazione, è anche possibile esprimere m direttamente in funzione di s:

$$m = m_r \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{28} \right)} \cong m_r \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{27} \right)} = m_r \cdot s^{\frac{1}{3}}$$

Inoltre, la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso di roccia sarà:

$$q_{c,mass} = q_c \cdot s^n$$

mentre la resistenza monoassiale a trazione di un buon ammasso roccioso ($GSI > 25$, $n = 0{,}5$) è:

$$q_{t,mass} = q_c$$

Parametri di resistenza di Mohr-Coulomb

Il criterio di resistenza di Mohr-Coulomb per un ammasso di roccia è espresso come segue:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = q_{c,mass} + A \cdot \sigma_3$$

in cui:

$$q_{c,mass} = \frac{2c \cdot \cos\phi}{1 - \sin\phi}$$

è la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso di roccia;

c è la coesione dell'ammasso di roccia;

$$A = \frac{2\sin\phi}{1-\sin\phi}$$

ϕ è l'angolo di resistenza a taglio dell'ammasso di roccia.

Hoek e Brown (1997) hanno effettuato numerosi tentativi di trovare un'approssimazione lineare del criterio non-lineare di resistenza, ma è emerso che i parametri c e ϕ dipendono da σ_3. Essi hanno perciò diagrammato i valori di c e ϕ al variare di m_r e GSI. Si può notare come c e ϕ diminuiscano non linearmente al diminuire di GSI, al contrario che per RMR.
L'angolo di dilatanza a rottura di un ammasso di roccia è approssimativamente pari a:

$$\begin{cases} \Delta = \frac{\phi}{4} & \text{per } GSI = 75 \\ \Delta = \frac{\phi}{8} & \text{per } GSI = 50 \\ \Delta = 0 & \text{per } GSI \le 30 \end{cases}$$

Scelta dei parametri degli ammassi rocciosi individuati per i calcoli di stabilità

Nelle verifiche di stabilità del pendio si sono assunti i valori caratteristici del peso di volume della roccia e dell'angolo di attrito residuo, legato all'angolo di attrito di base, forniti dalla relazione geologica, mentre per quanto concerne i coefficienti di Hoek-Brown, si sono assunti i valori di *GSI*, *mi* e *D* in funzione dell'effettivo indice di fratturazione dell'ammasso roccioso (*Geological Strenght Index*), ricavati sia dalla prima relazione geologica sia dalla campagna analitica diretta condotta in parete con prove geomeccaniche dallo staff geologico, valutandola per confronto, con i dati esistenti in bibliografia per litologie simili.

Rimandando alle relazioni di calcolo specifiche sezione per sezione allegate alla presente, si riportano sinteticamente i valori adottati per i vari "terreni" nelle verifiche di stabilità seguite con il metodo di Bell e secondo l'ultima normativa entrata in vigore e in oggi vigente, le N.T.C. 2008, di cui al D.M. 14.01.2008.

Pertanto in considerazione di quanto sopra esposto il criterio di Hoek – Brown richiede essenzialmente sette parametri base per il calcolo che sono:

GSI – *Geological Stress Index*, vale a dire la Qualità dell'Ammasso Roccioso;

m_i – Coefficiente materiale roccia intatta;

σ_{ci}– Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta espressa in kg/cm^2;

D – Fattore di disturbo dell'ammasso roccioso, derivante dall'azione antropica precedente;

JRC – *Joint Roughness Coefficient*, Coefficiente di rugosità;

JCS – Joint Coefficient Strength. Coefficiente di resistenza del giunto

ϕ_r – Angolo di attrito di base espresso in gradi.

Tutti questi dati, resi disponibili dalla campagna di rilievo geomeccanico eseguita dai

geologi incaricati, considerando però la vastità del fronte, sono stati opportunamente mediati, eliminando sia i valori più elevati, sia quelli marcatamente inferiori.

I valori adottati per i calcoli sono i seguenti:

Litotipo	GSI	m_i	σ_{ci}	D	JRC	JCS	ϕ_r
Calcari di Val Tanarello	35	9	450	1	10	450	30
Facies Pelitica	40	7	400	1	8	400	28
Vedrina	42	10	500	1	8	500	30
Depositi Limosi	10	5	150	0.7	1	150	23
Detriti di Cava	10	5	150	0.7	1	150	27
Riempimento	22	9	300	0.7	2	300	29
Brecce Cementificate	62	24	950	1	8	950	35
Pietra di Finale	50	10	750	1	14	750	35

Si è assunto che il comportamento dell'ammasso roccioso sia uniforme sia lateralmente che in profondità. Questa semplificazione, del tutto legittima e confortata dalla notevole ampiezza dei fronti visibili, ha permesso di disporre di una notevole quantità di dati desunti dalle stazioni di rilevo geomeccaniche eseguite sulle pareti rocciose. Come ulteriore filtro per la scelta di interpolazione dei dati geomeccanici si è effettuato lo scarto dei dati anomali prima di procedere nella mediazione dei dati.

Per il solo settore laterale est, il cui fronte è tagliato dalla sezione 1-1, si sono adottati parametri geomeccanici leggermente superiori, per via dell'accertata locale maggiore compattezza dei Calcari di Val Tanarello e della Pietra di Finale, come indicato negli studi di dettaglio condotti in precedenza. In pratica si sono assunti dai dati pregressi per i litotipi e per la zona in questione i valori seguenti:

Litotipo	GSI	m_i	σ_{ci}	D	JRC	JCS	ϕ_r
Calcari di Val Tanarello	40	12	550	1	10	550	40
Pietra di Finale	58	12	850	1	14	850	35

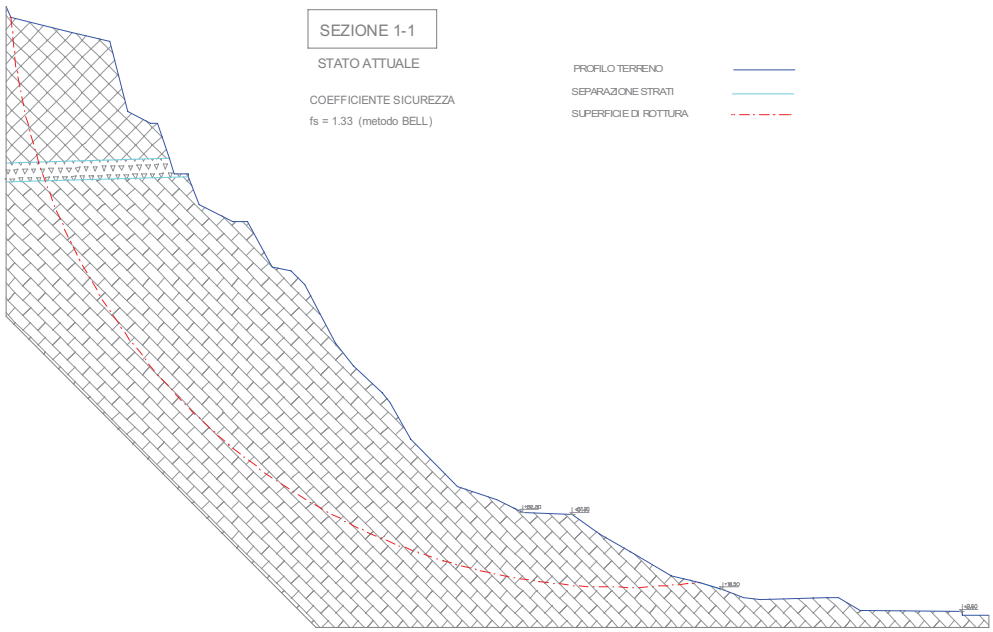
CAPITOLO 2 – ANALISI DEI VERSANTI

2.1 – STATO DI FATTO

Viene ora eseguita la modellazione e la verifica dei profili dei versanti delle sezioni più significative, i cui profili e la relativa stratigrafia sono stati dedotti rispettivamente dal progetto architettonico e dalla relazione geologica. nella loro situazione attuale.

Si sono individuate 6 sezioni di rilevanza progettuale, la sezione 2-2 centrale che rappresenta il profilo del versante maggiormente critico dal punto di vista geotecnico, le sez. 1-1 e 3-3, che ricalcano quelle architettoniche dette C-C' e G-G', le sezioni 4-4 e 6-6 situate ai confini del lotto, coincidenti con le sezioni geologiche A-A' ed E-E', la sezione 5-5, che presenta punti di interesse e di collegamento con la sezione del versante centrale.

la sezione 1-1, per la maggior parte del pendio al di sotto di Q. 192, risulta costituita da formazioni dei "Calcari della Val Tanarello", calcari cristallini grigio azzurrognoli puri, con due inclusioni di "Accumuli detritici grossolani" di cava nella zona centrale, e di "Depositi di limi", derivanti dal trattamento per decantazione delle acque di lavaggio, al piede del pendio stesso. Nella parte alta del versante si evidenzia un banco di buona potenza di "Calcari detritici organogeni" detti "Pietra di Finale", con sottostante uno strato di "Brecce Monogenetiche", con clasti costituiti da "Calcari della Val Tanarello", situati a Q. 192 circa. La verifica di sicurezza ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di $\mathbf{f_s=1,33}$.

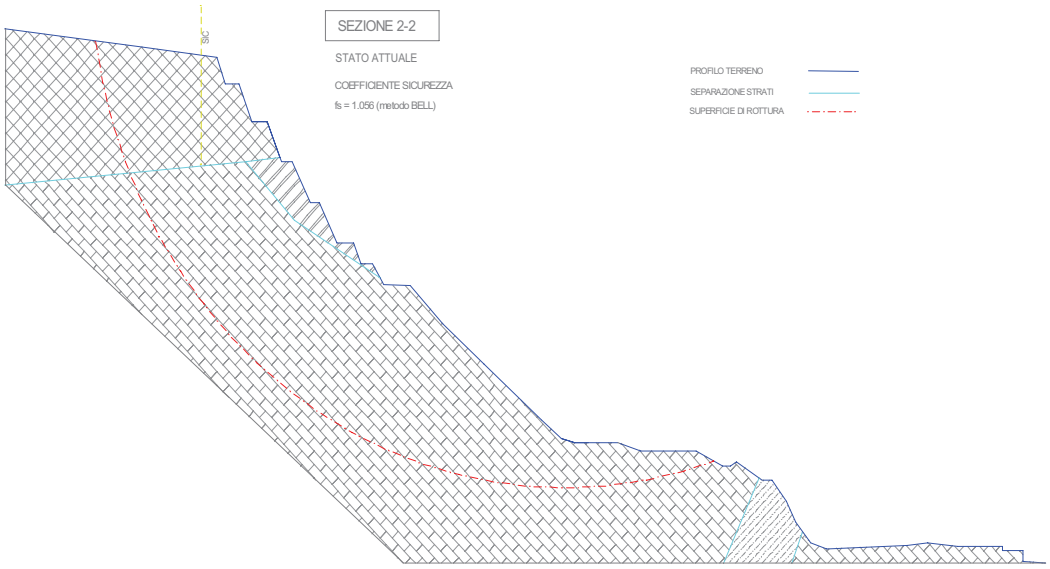


La sezione 2-2, già ampiamente descritta in premessa dal punto di vista geologico-tecnico, è caratterizzata nella parte alta del versante da un banco di buona potenza di "Calcari detritici organogeni" detti "Pietra di Finale" di circa 50 m di altezza sul fronte,

poggiante su uno strato costituito da formazioni dei "Calcari della Val Tanarello", costituite da calcari cristallini grigio azzurrognoli puri. Ai piedi del fronte della “Pietra di Finale”, si evidenzia un banco di una formazione dei "Calcari della Val Tanarello" membro basale, calcari con elevato contenuto in silice di color marroncino, "Tanarello nocciola o Vedrina", di buona potenza. Nella zona intermedia del versante si rileva la presenza di uno strato di accumuli detritici grossolani di cava di modesto spessore, mentre ai piedi del pendio risulta evidente l’affioramento di uno strato in facies pelitiche-scistose, presenti localmente sia a tetto che a letto della formazione dei “Calcari della Val Tanarello”.

Si è analizzato il pendio in roccia, in assenza di falda, di sovraccarichi accidentali e di interventi di stabilizzazione, come desunto dagli studi e dai sopralluoghi.

La verifica della sezione 2-2 allo stato attuale ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di **f_s=1,056**, pertanto, alla luce di quanto esposto in precedenza, relativamente ai valori stabiliti per la sicurezza alla stabilità globale del pendio, il versante in questione è da ritenersi potenzialmente instabile o comunque al limite della stabilità.

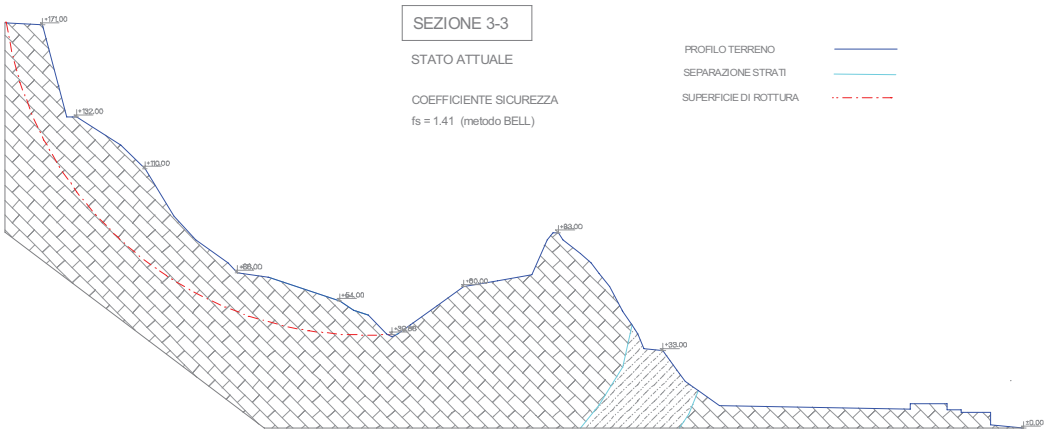


La sezione 3-3 presenta notevole importanza nel progetto architettonico ma scarso significato sotto quello geotecnico, in quanto nella zona centrale vi è un avvallamento che sarà oggetto di riempimento con materiale di risulta degli scavi eseguiti a monte che verrà opportunamente steso e costipato sull’attuale strato di “Accumuli detritici e Depositi di limi”.

La verifica risulta significativa per il solo pendio a monte di tale riempimento, che presenta una formazione compatta di “Calcari della Val Tanarello” senza affioramenti di altri stati rocciosi.

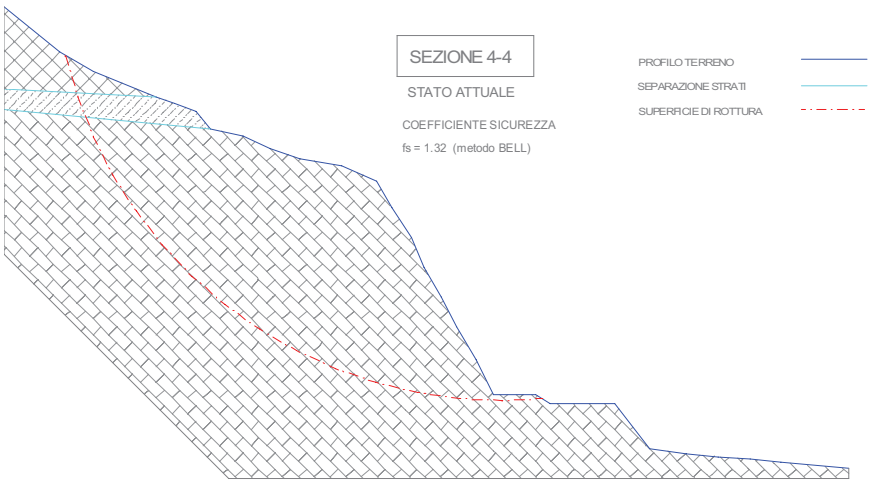
La verifica di sicurezza ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del

pendio il valore di f_s=**1,41**.



La sezione 4-4 presenta un primo tratto sub-pianeggiante nella zona a valle ed un pendio intermedio a forte accilività nel tratto centrale, mentre nella parte sommitale la pendenza del versante assume valori intermedi. La stratigrafia è costituita nella zona sino a Q. 141 circa da formazioni dei "Calcari della Val Tanarello", da tale quota si riscontra un affioramento di “Facies Pelitiche” scistose di potenza pari a 12-13 m, a cui succede una stratificazione di “Calcari detritici organogeni” detti "Pietra di Finale".

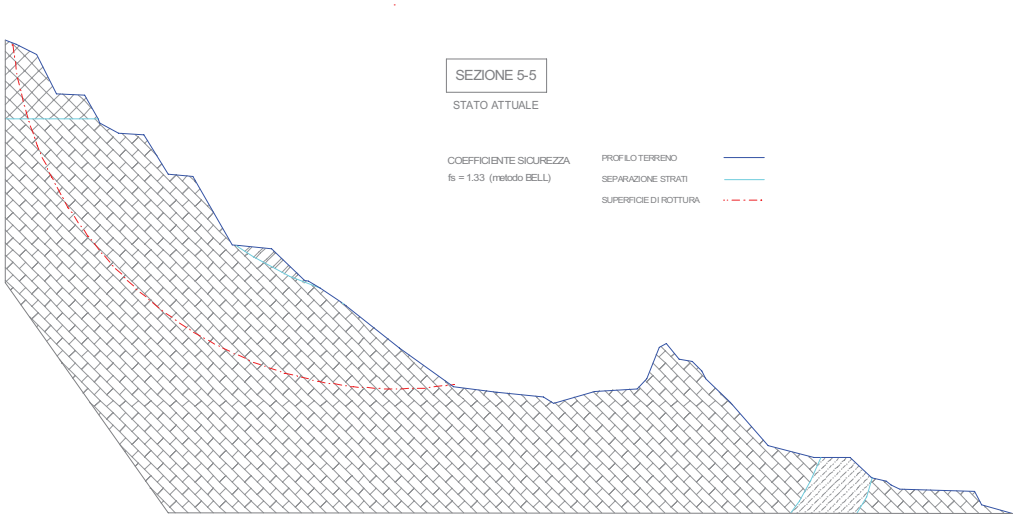
La verifica di sicurezza ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di f_s=**1,32**.



La sezione 5-5 risulta costituita da uno strato di base molto potente di “Calcari della Val Tanarello” e presenta al piede un affioramento di “Facies Pelitiche”, mentre in testa si riscontra la presenza di un banco potente di “Calcari detritici organogeni” o “Pietra di Finale”; nella zona intermedia si rileva un esteso strato di “Accumuli detritici grossolani” di scarso spessore, a monte del quale affiora uno strato di una formazione dei "Calcari della Val Tanarello" membro basale, "Tanarello nocciola o Vedrina", con a tetto scisti calcarei di potenza ridotta.

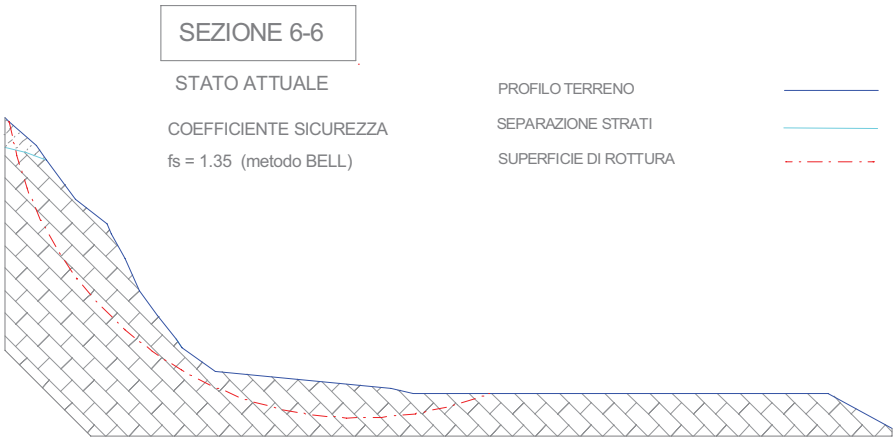
La verifica di sicurezza ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di $\mathbf{f_s=1,33}$.

Questa sezione sarà interessata dagli interventi di risagomatura prescritti per tutto il fronte centrale. A prescindere dal tipo di riprofilatura scelto, appare evidente come un rilevante alleggerimento della parte sommitale, unito ad un livellamento al piede del pendio, non possa che significativamente migliorare ulteriormente le già raggiunte condizioni di stabilità globale, apportando peraltro significativi incrementi in quelle locali.



La sezione 6-6 presenta un primo tratto quasi pianeggiante ed un secondo piuttosto acclive, con una stratigrafia composta sostanzialmente da "Calcari della Val Tanarello" con la presenza nella parte centrale di una zona di riporto costituita da “Accumuli detritici grossolani”, legati all'attività di cava, in frequente movimentazione su substrato calcareo, e nella parte di sommità del versante da un affioramento di “Facies Pelitiche” scistose, di scarsa potenza.

La verifica di sicurezza ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di $\mathbf{f_s=1,35}$.



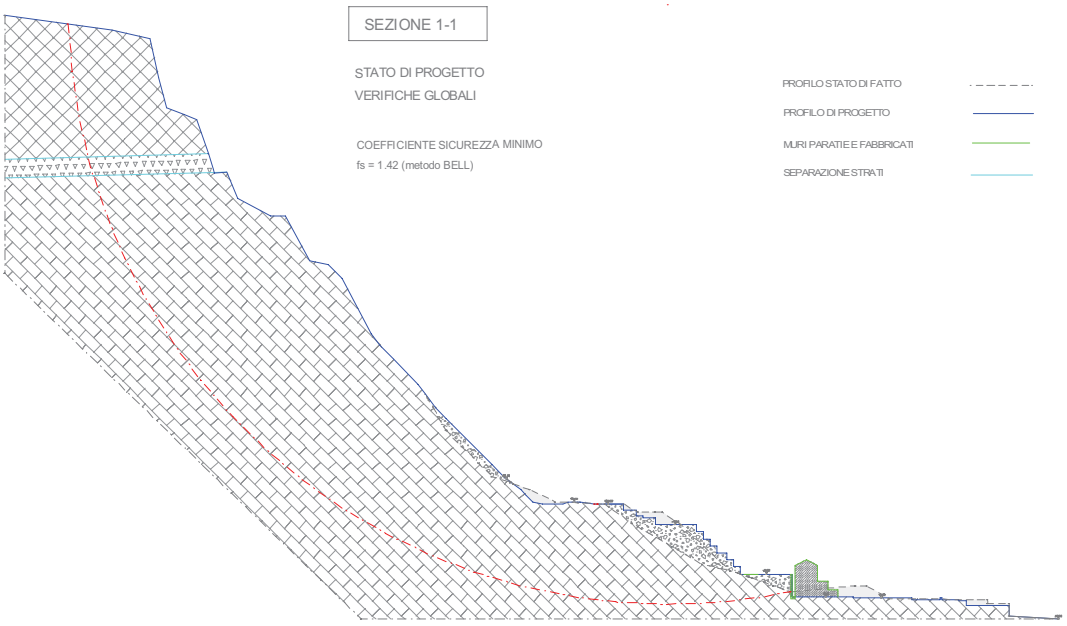
Le considerazioni che si possono trarre dall'analisi dei risultati sopra esposti è che le verifiche di stabilità globale del pendio sono soddisfatte, ad esclusione della sezione 2-2, in quanto i coefficienti di sicurezza risultano **f_s>1,32**, pur potendo presentare zone localmente critiche di ridotte dimensioni altimetriche e planimetriche che possono essere opportunamente messe in sicurezza tramite interventi locali di progetto.

2.2 - INTERVENTI DI PROGETTO

Dalle verifiche dello stato attuale risulta evidente la necessità di eseguire nella zona centrale del fronte di cava interventi diversificati per le varie sezioni in funzione delle opere previste e della necessità di tutela del paesaggio.

Nelle sezioni 1-1 2-2 3-3 appare evidente la necessità di mettere in atto interventi esterni che permettano la riprofilatura dei versanti interessati e nel contempo, per la sola sezione 2-2, portino il coefficiente di sicurezza non solo al valore minimo di **f_s=1,1,** ma in base a quanto precedentemente analizzato, al valore convenzionale di **f_s>1,3** ritenuto il valore di sicurezza minimo accettabile, mentre nelle sezioni 4-4 5-5 6-6 l'intervento si limiterà ad opere di tutela del versante rispetto a locali distacchi di frammenti di ammassi rocciosi, nell'applicazione di rete e chiodature e per la realizzazione di valli al piede delle zone critiche.

La sezione 1-1 non subisce modificazioni significative nella parte sommitale e viene interessata da interventi solo nella zona a valle con la realizzazione della strada di accesso alla zona sportiva ed alle costruzioni residenziali.



Le opere previste sono sostanzialmente costituite dalla realizzazione di gradonature con muri di contenimento e paratie su terreni di riporto opportunamente costipati.

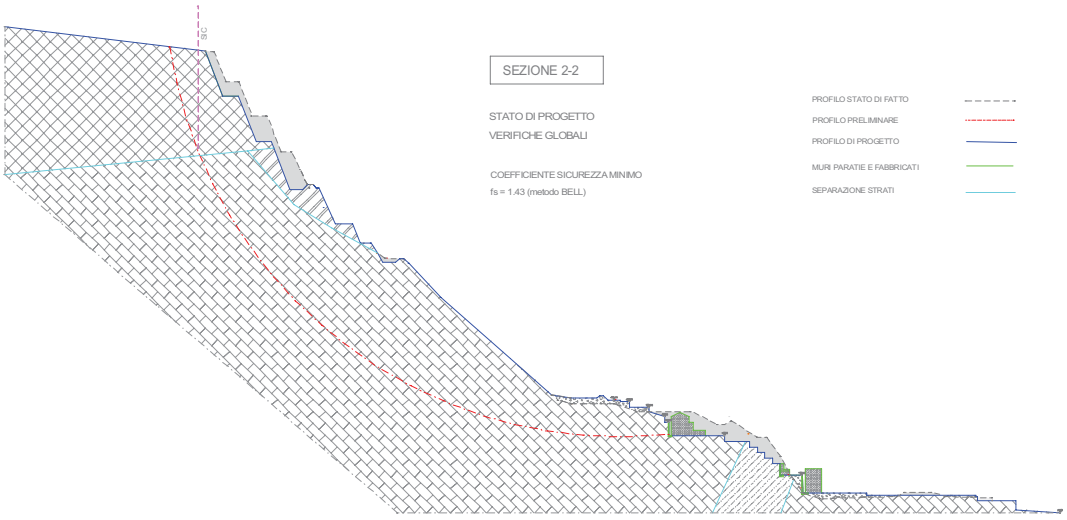
Tali interventi stabilizzano la zona al piede del versante e ne aumentano il coefficiente di sicurezza alla globale del pendio che risulta pari a **f_s=1,65.**

La sezione 2-2 viene interessata da un rilevante intervento di modellazione del pendio che sostanzialmente consiste nello scavo del versante nella parte sommitale, sino alla zona della "vedrina", nella creazione di due valli di sicurezza, quindi nella asportazione dello strato di modesta entità degli accumuli detritici grossolani di cava, infine nella riprofilatura della zona al piede del pendio con muri di contenimento, paratie e sistemazione del terreno a gradoni per l'inserimento degli insediamenti residenziali e turistico-ricettivi.

Le falesie verranno realizzate nel banco della Pietra di Finale, si interromperanno nella parte centrale del banco di "Calcari della Val Tanarello", detto "Vedrina", per la realizzazione del primo vallo, proseguendo sino ad intercettare lo strato di "Accumuli detritici grossolani di cava", che verranno completamente asportati.

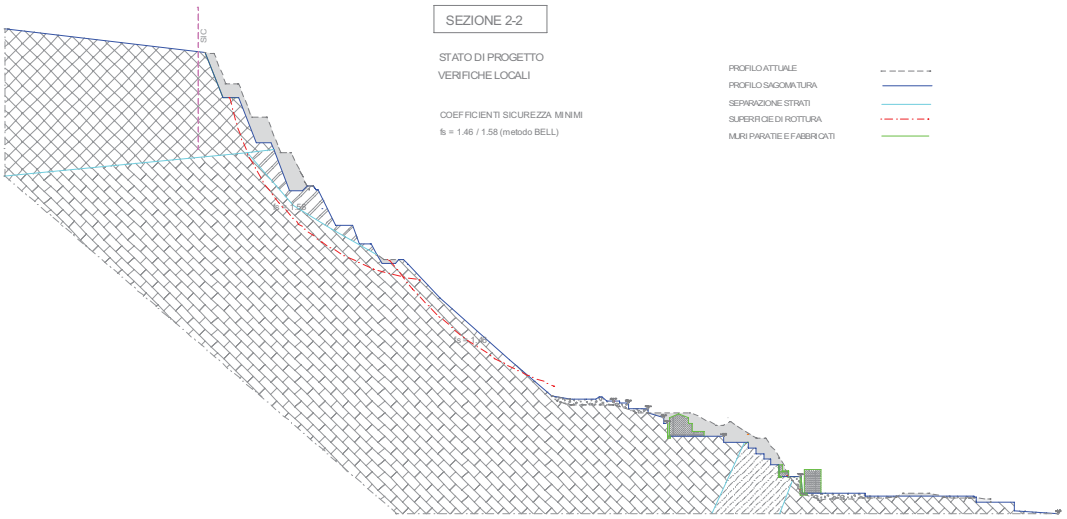
A valle si realizzeranno le opere di contenimento, con muri di sostegno in c.a., paratie in c.a. intirantate e gradonature, sia nel banco di Pietra di Finale che nello strato di "Facies Pelitiche".

Nella zona centrale, previa completa asportazione dei materiali di accumulo di cava si procederà la rinverdimento del versante con la realizzazione di riempimenti "a tasche", che saranno realizzate con una geostuioia armata con rete metallica, ancorata alla parete con idonee chiodature, con la posa di piantine e talee, radicate in fitocella ed una idrosemina delle scarpate con specie calcicole pioniere della macchia mediterranea.



Le verifiche della sezione così rimodellata hanno fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di **f_s=1,47**, pertanto si può già in un primo tempo affermare che questo intervento mette certamente in sicurezza il versante, poiché gli scavi previsti nella parte sommitale e la asportazione dello strato di accumuli detritici aumentano notevolmente la sicurezza alla stabilità del pendio, avendone ridotto la pendenza media.

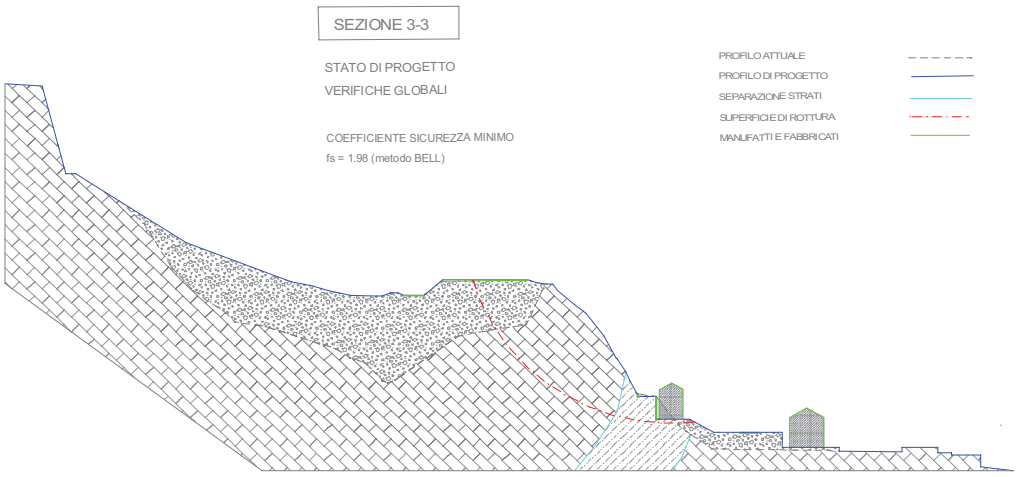
Sulla sezione 2-2 sono state inoltre eseguite una serie di ulteriori verifiche “locali” del pendio al fine di valutare l’incidenza delle opere a livello locale eseguendo cioè verifiche con superfici di rottura di raggio limitato.



Le verifiche locali hanno fornito i valori di $\mathbf{f_s = 1,46}$ in corrispondenza dei gradoni e delle falesie e di $\mathbf{f_s = 1,58}$ in corrispondenza del liscione di roccia sottostante, a seguito della rimozione dei limi e dei riporti antropici.

Questi dati sono dimostrazione del fatto che gli interventi descritti permettono di raggiungere un buon valore del coefficiente di sicurezza globale, pur restando la necessità di eventuali interventi passivi di messa in sicurezza locale.

La sezione 3-3 è fondamentalmente interessata da un’opera di riempimento della “valle” centrale con materiali di risulta sia da cava che da scavi, mentre nella zona a valle si evidenzia uno scavo nella “*facies pelitica*” ed un riporto sui “*calcari della Val Tanarello*” per la edificazione dei fabbricati abitativi.



Le verifiche della sezione così rimodellata hanno fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di $\mathbf{f_s = 1,95.}$

Le sezioni 4-4- 5-5- 6-6-, già individuate in relazione geologica, sono interessate da interventi di tutela del versante, rispetto ad eventuali locali distacchi di frammenti di ammassi rocciosi, consistenti sostanzialmente nell'applicazione di rete e chiodature e nella realizzazione di valli al piede delle zone critiche. Tali opere non comportano un incremento della stabilità globale del versante, ma permettono di mettere localmente in sicurezza il pendio, tutelando le persone, i manufatti e le opere in generale, situate a valle del pendio stesso.

Le verifiche delle sezioni allo stato attuale hanno dato, come visto nel paragrafo precedente, risultati per i fattori di sicurezza globali ampiamente superiori a 1,30, valori che risultano superiori a quelli per il versante centrale, come d'altra parte previsto dalle risultanze degli elaborati del *pattern* di fratturazione dell'ammasso roccioso, descritte nelle indagini geologiche e geomeccaniche precedenti.

Ciò permette di concentrare gli interventi in punti ben definiti, che saranno indicati nella fase esecutiva della progettazione, sui settori di parete più a rischio di destabilizzazione superficiale. Le indagini specifiche di integrazione condotte dai geologi saranno appunto dirette a censire tutte le criticità, che già sono state delineate nelle prove geomeccaniche eseguite in parete nei mesi scorsi.

Questi dati individueranno la tipologia di chiodatura e intirantatura delle superfici in roccia, una volta eseguiti alcuni parziali rimodellamenti sul fronte orientale, costituti da disgaggi di massi instabili e abbancamento alla base del pendio di terre rullate e costipate, utili anche al rivegetamento.

Alla base del versante orientale e di quello occidentale si realizzeranno in dei rilevati artificiali perpendicolare all'andamento del pendio, creando così dei vallo di difesa passiva dalla caduta massi. Questo intervento sarà comunque di completamento e non sostitutivo delle opere di consolidamento puntuali in parete. Infatti si ricorrerà all'esecuzione di interventi mirati che comporteranno il disgaggio preliminare delle parti non stabili. Le pareti risanate saranno poi difese da reti metalliche a doppia torsione nelle porzioni di pendio a maggior potenzialità di rilascio di massi di modeste dimensioni, mentre saranno chiodate con barre metalliche, perforate e cementate, le parti dove si temono potenziali distacchi di massi di almeno 5 mc.

Tutte le verifiche condotte rappresentano solo una definizione preliminare e forzatamente non esaustiva degli interventi, la progettazione esecutiva e di dettaglio è rimandata al momento della predisposizione degli elaborati tecnici necessari alla definizione delle pratiche amministrative in zona sismica e sarà comunque prodotta prima dell'inizio dei lavori.

CAPITOLO 3 - INTERVENTI ALTERNATIVI

3.1 – INTERVENTI ATTIVI

In questo paragrafo si tratta della modellazione e verifica dello stesso pendio della sezione 2-2 caratteristica del versante centrale, indicativamente situata tra le sezioni 1-1 e 3-3, valutando sia analiticamente che in maniera descrittiva alcuni metodi di intervento alternativi a quelli descritti nel paragrafo precedente, interventi sia attivi che passivi, confrontandone i coefficienti di sicurezza raggiungibili e valutandone gli effetti sia sotto il profilo analitico dei risultati sia sotto quello naturalistico e ambientale.

Paratie di micropali intirantate.

Il primo intervento preso in considerazione consiste nella realizzazione di paratie di micropali intirantate, disposte in modo da rispettare il profilo del terreno previsto dal progetto architettonico nella zona degli interventi insediativi e di viabilità, ovvero nella parte inferiore del pendio, e di ridurre la pendenza del pendio stesso nella parte sommitale. Nella zona di affioramento del banco dei “Calcari detritici organogeni” detti "Pietra di Finale" si prevede la realizzazione di due falesie artificiali. Le paratie hanno un’altezza fuori terra variabile da 10 a 15 m ed un tratto di infissione di 5 m. Sono costituite da micropali di diametro 25 cm, posti ad interasse di 50 cm, con tubolare ø 11.4 cm e spessore 1 cm, tiranti di diametro ø 20, con interasse variabile di 2-3 m, lunghezza di 20 m, di cui 10 di tratto connesso, inclinazione di 15° sull’orizzontale e tiro nominale in opera di 15 ton.

La verifica di sicurezza per un intervento di realizzazione di paratie in micropali e tiranti ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di **f_s=1,23.**

Muri di contenimento in cemento armato rivestiti in pietra

Il secondo intervento consiste nella realizzazione di muri di contenimento in c.a. inseriti in modo da ridurre l’angolo di inclinazione globale del pendio a valori di circa 30°. Anche nell’intervento con muri di sostegno è prevista la profilatura del versante nella zona a monte con la realizzazione di due falesie ricavate nella "Pietra di Finale". I muri di contenimento sono stati calcolati per un’altezza f.t. di 5 m, con suola di fondazione a monte di 1,50 m ed a valle di 1 m e spessore di 60 cm, uno spessore in testa di 40 cm ed una inclinazione del paramento esterno di 3°, che portano la lunghezza della fondazione ad un totale di 2,5/3 m.

La verifica di sicurezza relativa alla realizzazione di muri in cemento armato ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di **f_s=1,25.**

Gabbionate.

Il terzo intervento valutato è costituito da “gabbionate” inserite anche queste in modo da ottenere un’accettabile inclinazione del pendio ed un valido valore del coefficiente di

sicurezza. Anche con questo intervento è prevista la creazione delle due falesie a monte.

Le gabbionate sono formate da 4 gradoni di dimensioni 1 m per 1 m, con allineamento a monte, per un'altezza di 4 m ed una larghezza variabile da 1 a 4 m, ed una fondazione avente lunghezza a monte ed a valle di 50 cm ed un'altezza di 1 m, in modo che la singola gabbionata abbia un'altezza ed una larghezza totale di 5 m.

Le gabbionate sono costituite da gabbie in rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale di dimensioni di circa 1x1x2 m, riempite in situ con pietrame di idonee caratteristiche e pezzatura, tipo spaccato di cava compatto e resistente, disposte a file parallele sovrapposte per comporre la sezione prevista in progetto come sopra descritta.

La verifica di sicurezza per l'intervento di realizzazione di gabbionate metalliche e riempimento in pietrame, ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di **f_s=1,22.**

Terre armate o rinforzate.

Il quarto intervento consiste nella realizzazione delle cosiddette "terre armate" nella stessa posizione e con le stessa metodologia dell'intervento con le gabbionature. Le terre armate o rinforzate sono essenzialmente opere di sostegno realizzate mediante l'abbinamento di materiali di rinforzo in reti sintetiche o metalliche plastificate, inerti di riempimento e rivestimento in stuoie sul fronte esterno, tali da consentire la crescita delle piante. La stabilità sotto il profilo statico della struttura è assicurata dal peso stesso del terreno consolidato internamente dai rinforzi mentre la stabilità superficiale è assicurata dalle stuoie. Le terre armate hanno schematicamente sezione trapezia con larghezza di base di 5 m, larghezza in testa 3 m, altezza del manufatto totale 5 m ed inclinazione del paramento interno ed esterno variabile.

La verifica di sicurezza dell'intervento in terre armate ha fornito come coefficiente di sicurezza alla stabilità globale del pendio il valore di **f_s=1,23.**

In base ai valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti deriva la seguente considerazione: gli interventi sopra descritti ed analizzati, che vengono definiti interventi attivi, aumentano il coefficiente di sicurezza di stabilità globale del pendio, anche se in modo inferiore rispetto all'intervento progettato, ma presentano più o meno gravi inconvenienti sotto il profilo naturalistico ed ambientale.

3.2 – INTERVENTI PASSIVI

Oltre agli interventi sopra indicati ed analizzati esistono altre tecniche che potenzialmente potrebbero essere impiegate per raggiungere lo scopo preposto della messa in sicurezza del fronte principale di cava.
Le tecniche alternative che generalmente vengono applicate sono quelle genericamente

afferenti alla cosiddetta Ingegneria Naturalistica e quelli genericamente definiti come interventi passivi. Consistono essenzialmente in opere molto efficaci per la difesa dall'erosione e per il consolidamento superficiale di versanti in dissesto. Altra loro peculiarità è chiaramente rappresentata dal veloce recupero ambientale "a verde" dei settori così consolidati e trattati.

Senza entrare nella specifica descrizione delle varie tecniche esistenti (gradonate, viminate, grate e fascinate vive, piantumazioni, ecc.), si può immediatamente evidenziare che proprio per via dell'instabilità latente di ampie porzioni cuneiformi in roccia lungo il fronte centrale, queste opere non permettono di raggiungere gli scopi prefissati. Al contrario danno modo di realizzare il voluto rincerdimento delle pareti denudate e soprattutto di fare attecchire rapidamente le specie vegetali autoctone indicate nella relazione botanica.

Analogo discorso vale per le tecniche "di parete" (chiodature, reti intirantate e funi di acciaio, ecc). Senza entrare nel merito dell'impatto visivo delle reti metalliche, si deve nuovamente rimarcare l'insufficienza del consolidamento profondo di questo approccio. Si ricorrerà invece a chiodature localizzate delle nuove falesie in progetto se all'esame visivo si rendesse necessario salvaguardare la stabilità delle pareti da rivegetare.

Invece appare più articolato il discorso sugli interventi passivi, quali barriere paramassi o valli di protezione da caduta massi da realizzarsi alla base del pendio.

Tali interventi, adottati necessariamente sul fronte di ponente, quello vincolato dal Ministero dei Beni Culturali, non sono stati presi in questo settore per ragioni di spazio e di efficacia della protezione dei fabbricati residenziali e turistici dalla caduta massi dalle porzioni più alte del versante. Occorre tuttavia segnalare che, come indicato nelle indagini condotte dal prof. Maifredi, nelle condizioni attuale di profilatura si sono verificate possibili traiettorie di caduta anomale, dovute a rimbalzi sui gradoni alti del fronte, che dovranno essere puntualmente, in fase definitiva, verificate e contrastate con gli altri interventi di tutela sopra descritti.

Ovviamente le chiodature, per quanto profonde, non possono sopperire al rischio di distacco di porzioni rilevanti di cunei in roccia come già evidenziato, probabili localmente a causa della giacitura sfavorevole dei Calcari di Val Tanarello.

CAPITOLO 4 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli interventi previsti e progettati per raggiungere l'obiettivo prefissato di una messa in sicurezza soddisfacente e definitiva, nonché di una reale e duratura rinaturalizzazione dei fronti della Cava Ghigliazza, in località Caprazoppa, nel Comune di Finale Ligure SV, prevedono contenuti sbancamenti in roccia, atti ad alleggerire la parte alta del profilo e appesantirne il piede, per riequilibrane l'assetto geomorfologico e quindi ottenere i voluti coefficienti di sicurezza di stabilità globale del pendio.

L'approccio di messa in sicurezza è quello già indicato originariamente nel P.U.O. e prevede oltre ad interventi localizzati di disgaggio e chiodatura in parete sui fronti est ed ovest di cava, la risagomatura nella zona di versante centrale.

Tali interventi garantiscono elevati fattori di sicurezza e una efficace riqualificazione ambientale grazie alle grandi potenzialità di rivegetazione autoctona del rivestimento "a tasche", dei gradoni di altezza limitata ed uniforme in progetto, oltre all'efficace raccordo delle nuove isoipse di progetto con i settori laterali.

Quanto sopra detto risulta confermato, oltre che a livello di verifica di stabilità del versante globale, anche a livello locale, a dimostrazione del fatto che l'intervento previsto nel progetto di P.U.O. permette elevati ed assai cautelativi valori del coefficiente di sicurezza globale, pur restando la necessità eventuale di interventi passivi di messa in sicurezza locale, oltre che valori ancora maggiori per la sicurezza locale.

Assai importante sotto il profilo della sicurezza, anche se non pienamente valutabile in termini di stabilità del pendio, risulta essere la realizzazione dei valli di sicurezza disposti e previsti nelle zone intermedie del pendio e immediatamente a monte degli insediamenti sia sportivi che residenziali, a maggior tutela dell'incolumità di persone e cose.

Altro aspetto essenziale per il raggiungimento di soddisfacenti valori di sicurezza sono gli interventi di difesa passiva dei fronti contro il pericolo di caduta locale di massi rocciosi, mediante la realizzazione di disgaggi locali delle pareti rocciose particolarmente degradate, fessurate ed in genere in condizioni critiche, e l'apposizione di reti metalliche, geostuoie, chiodature ed altro.

Occorre inoltre sottolineare che il progetto, che prevede nella stesura attuale limitati volumi di scavo con la realizzazione delle due falesie nella parte sommitale, non interviene in maniera assoluta sull'area di massima tutela ambientale e di interesse comunitario (area S.I.C. e Z.P.S.).

Inoltre le nuove sistemazioni dei versanti saranno eseguite con un metodo naturale e non "artificiale", ovvero con la realizzazione di pendii sinuosi ed ondulati, vegetati con alberi di alto fusto ed arbusti di macchia mediterranea, che cresceranno in apposite "tasche riempite di terreno fertile", distribuite in maniera non omogenea e più "naturale",

assicurando così una migliore naturalizzazione generale.

Tutti gli interventi sopra analizzati e descritti via preliminare, dovranno essere adeguatamente progettati da un punto di vista geotecnico e strutturale, previa acquisizione di dati geologici in senso lato, dettagliati e puntuali per ogni singola opera od intervento sul versante, tramite le prescritte campagne geognostiche in fase definitiva.

Sanremo 29 settembre 2012

- TONELLO OSCAR ingegnere - *- CONTI GIORGIO geologo -*

all. G2 - Elaborati grafici
G3 - Relazioni di calcolo