


02	SET 2012	Conferimento materiali di risulta alla cava Truncafila	FRESIA	LO CASCIO	BUSOLA
01	MAR 2011	Adeguamento Normativa	FRESIA	LO CASCIO	BUSOLA
00	LUG 2004	Emissione	FRESIA	LO CASCIO	BUSOLA
REV. N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO
SOSTITUISCE L'ELABORATO N°			SOSTITUITO DALL'ELABORATO N°		
CONSORZIO PER LE AUTOSTRAD E SICILIANE AUTOSTRADA SIRACUSA – GELA 2° TRONCO: ROSOLINI – RAGUSA LOTTO 9 : "SCICLI" PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONE CAVA TRUNCAFILA RELAZIONE GEOTECNICA					
ELABORATO N.	A18-9-trunc102		PROGETTAZIONE  FRESIA IL RESPONSABILE : DOTT. ING. F. BUSOLA		
DATA	LUGLIO 2004				
CODICE CAD-FILE	A18-9-trunc102				
<small>OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N. 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE</small>					

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 1

AUTOSTRADA SIRACUSA-GELA

2° TRONCO ROSOLINI - RAGUSA

PROGETTO ESECUTIVO

LOTTO 9

PROGETTO AREA DI DEPOSITO DEFINITIVO TRUNCAFILA MATERIALI DI SCAVO DELL'AUTOSTRADA

RELAZIONE GEOTECNICA

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 2

INDICE

PREMESSA		Pag. 3
<i>PARTE I – MODELLAZIONE GEOLOGICA</i>		
1.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 4
1.2	CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE	Pag. 10
1.3	INDAGINI GEOSTRATIGRAFICHE	Pag. 14
1.4	LITOSTRATIGRAFIA LOCALE	Pag. 15
1.5	SISMICITA' DI BASE DELL'AREA	Pag. 17
	1.5.1. Aspetti sismo tettonici	
	1.5.2 Zonizzazione macrosismica locale	
	1.5.3 Riferimenti normativi	
1.5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	Pag. 18
<i>PARTE II – MODELLAZIONE GEOTECNICA E SISMICA</i>		
2.1	INDAGINI GEOTECNICHE	Pag. 23
	Parametri geotecnici terreni	
	Prove di laboratorio	
2.2	DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICHE	Pag. 25
	Parametri geotecnici caratteristici	
2.3	MODELLAZIONE SISMICA	Pag. 31
	Prospezione masw	
	Valutazione dell'azione sismica	
<i>PARTE III – ANALISI DELLA STABILITA' DEI FRONTI DI</i>		
3.1	GENERALITA'	Pag. 39
3.2	PROCEDIMENTO DI CALCOLO	Pag. 41
3.3	CALCOLO DI STABILITA'	Pag. 44
	Sezione longitudinale b	
	Sezione longitudinale d	
	Sezione trasversale 14	
	Sezione trasversale 11	
3.4	VALUTAZIONI GEOAPPLICATIVE	Pag. 50
		Pag. 51

PREMESSA

La presente relazione riporta la caratterizzazione geologica e le verifiche di stabilità per la sistemazione geotecnica della cava Truncafila a supporto della progettazione esecutiva, prevista nell'ambito dei lavori di deposito definitivo dei materiali provenienti dalla costruzione del Lotto 9 dell'Autostrada Siracusa - Gela.


Lo studio è finalizzato alle verifiche geotecniche in conformità alla normativa vigente con particolare riferimento al D.M. 14/01/2008 e alla relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009 nonché al *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sicilia*. Pertanto si è proceduto alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica e sismica del territorio.

Nel caso specifico di queste opere in progetto per la definizione del modello geologico, che è imprescindibile per la redazione del successivo modello sismico e geotecnico, facente parte della relazione d'opera geotecnica.

In relazione anche alla particolarità del contesto geologico, ci si è avvalsi di specifiche indagini in sito in modo tale da costituire utili elementi di riferimento per inquadrare i problemi geotecnici e per definire un adeguato programma delle indagini geotecniche

Lo studio è stato condotto attraverso il rilevamento dettagliato delle caratteristiche e delle condizioni geolitologiche, geomorfologiche e idrogeologiche e idrografiche del sito e delle aree limitrofe, con accertamenti ed indagini geognostiche per la definizione del modello geologico e del modello geotecnico.

Allegati alla presente sono:		
SCHEDE DI VERIFICA GEOTECNICA		
Tav. 000	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	<i>Scala 1.2.000</i>
Tav. 000	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	<i>Scala 1.2.000</i>

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 4

Parte I

MODELLAZIONE GEOLOGICA

1.1) - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

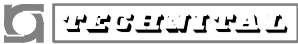
L'area di interesse, riferimento tematico per le analisi eseguite, si colloca nella parte centro meridionale del plateau ss, ed è caratterizzata da due dei più importanti sistemi di faglie della regione iblea: il sistema di Marina di Ragusa con faglie a gradinata orientate SO-NE, ben sviluppato sulla sponda destra del Fiume Irmínio e la linea tettonica di Scicli con faglie orientate N 10-20°, che delimita il fianco orientale del 'half-graben' triangolare sviluppatosi tra Scicli e Marina di Ragusa (Depressione di Scicli).

Si tratta di una unità morfostrutturale, ben differenziabile durante il quaternario per il diverso ruolo paleogeografico assunto e sia per la differente evoluzione geomorfologica

Il motivo geologico dominante dell'area è dato da un fitto reticolato di faglie con direzione prevalente NNE-SSW, fino a Submeridiano, che caratterizzano l'andamento delle valli presenti e dell'imponente discontinuità morfologica e strutturale a forte rigetto verticale, che corrisponde con la vallata del F. Irmínio.

L'assetto morfologico-strutturale del Half-graben è dato da una serie di pieghe ad ampio raggio di curvatura e da una fitta rete di faglie che determinano un ripetuto motivo ad "horst" e "graben".

Tali evidenze tettoniche rispecchiano lo stile strutturale della Sicilia Sud-orientale e sono in relazione con più fasi tettoniche postmioceniche fino all'attuale, con evidenze di persistenza di attività sismogenetiche in corrispondenza della linea tettonica di Scicli.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 5

La conformazione morfologica attuale dell'area è il risultato di diverse fasi morfogenetiche associate a una tettonica attiva durante il quaternario che si è sostanzialmente resa concreto in generali fenomeni di sollevamento e abbassamenti che hanno determinato mutamenti geomorfologici e strutturali correlabili con l'evoluzione della rete idrografica della zona (F.Irminio e F.ra d Modica) e dell'ampia pianura detritico-alluvionale della coste attuale.

Le faglie e le fratture, in questa area con direzione prevalente e parallela agli assi tettonici principali, sono il motivo tettonico dominante di tutta la zona, spesso con sistemi che si intersecano reciprocamente (vicarianti) determinando strutture minori ad "Horst" e "Graben.

La geologia dell'area esaminata è caratterizzata da una vistosa struttura tettonica a "graben" entro cui ricadono interamente i terreni interessati dalle opere in progetto.

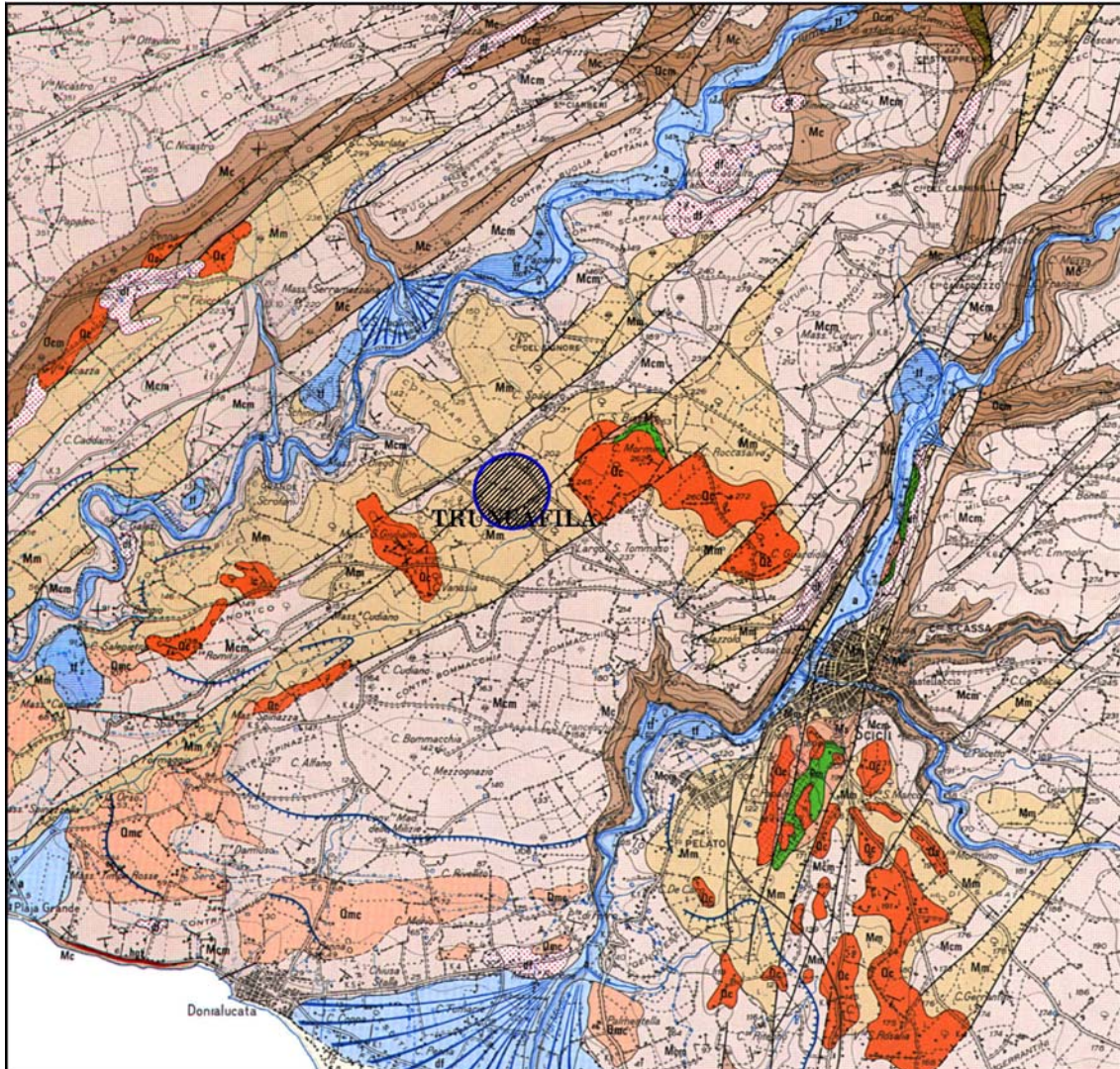
Dal punto di vista litologico tale struttura è rappresentata in affioramento da una successione stratigrafica che presenta una regolare alternanza di strati carbonatici duri e teneri, con strati marnosi e calcareo-marnosi, riferibili all'Oligo-miocenica Formazione Ragusa, diffusamente affiorante nell'area iblea, prevalentemente calcarei verso il basso (M.bro Leonardo) e calcarenitici in alto (M.bro Irminio), fino a marnoso argilloso della Formazione Tellaro (Miocene superiore – Messiniano), localmente ricoperti da esigui spessori di terreno detritico-argillosi e da calcareniti organogene pleistoceniche (ove ancora presente).

Si tratta di una successione in "facies Iblea" che presenta una regolare alternanza di strati calcareo-calcarenitici con strati marnosi e calcareo marnosi.

Le marne della Fne.Tellaro (Miocene medio -superiore) che giacciono sulla Fne. Ragusa in continuità di sedimentazione, affiorano con maggiore frequenza, con uno spessore può raggiungere parecchie decine di metri. Nella zona di Scicli e segnatamente la zona di Cozzo Truncafila interessata dall'intervento di recupero in progetto, ove sono in esercizio diverse attività estrattive in regolare esercizio, risultano spessori

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 6

di oltre 120metri con caratteristiche compatibili con la produzione industriale dei cementi.



UNIVERSITA' DI CATANIA -Istituto di Geologia e geofisica -Prof. MARIO GRASSO
STRALCIO CARTA GEOLOGICA DEL SETTORE CENTRO-MERIDIONALE DELL'ALTIPIANO IBLEO- Scala 1:50.000

(Olocene)

[a] Alluvioni attuali

[df] Detrito di falda

[tf] terrazzi fluviali

(Pliocene)

(Pleistocene)

[tf] terrazzi fluviali

[Qmc] Calcareniti e sabbie

[Qc] Calceriniti biancastre

(Oligocene - Miocene)

[Mm] Marne grigio-azzurre (F.ne Tellaro). Bianco giallastre al top con rare intercalazioni di gessi e grigio-giallastre nella parte basale al contatto con la Formazione Ragusa.

[Mmc] Alternanza di marne e calcareniti (F.ne Ragusa -M.bro irminio alto)

[Mcn] Alternanza di calcareniti e marne (F.ne Ragusa -M.bro Irminio)

[Mc] Calcareniti e calciruditi in banchi (F.ne Ragusa-M.bro Irminio)

[Ocm] Alternanza calcareo-marmosa (F.ne Ragusa- M.bro Leonardo)

— Faglia normale a tutto o in parte con senso verso il basso (o con senso opposto) e scarpate di inversione.

— Faglia inversa, a tutto o in parte con senso verso l'alto.

Zone di intensa deformazione cataclastica lungo le principali faglie.

+

orizzontali

x

5°-10°

<

10°-45°

>

45°-85°

/

verticali

Direzione ed inclinazione degli strati.



In dettaglio la locale successione riscontrata nel sito e dell'area immediatamente circostante l'Insediamento riportata nella allegata carta geologica schematica, dall'alto verso il basso è la seguente:

SCHEMA STRATIGRAFICA		
1	<p>Alternanza calcareo-marnosa (M.bro Leonardo - Formazione Ragusa) Corrisponde al Membro Leonardo della Formazione Ragusa (Ocm). Si tratta di una sequenza di strati calcisiltitici, parzialmente calcarenitici di 50-100 cm di spessore, separati da livelli calcareo marnosi teneri di spessore inferiore e raramente superiore a 30cm. Spesso nella sequenza si rinviene selce bruna in liste e noduli. Affiora ad ovest del sito alla base della del T. Passo Gatta (Modica), con spessore fino a 400m</p>	Età compresa tra l'Oligocene Sup.e il Miocene Inf. (Aquitaniense).
2	<p>Alternanza calcarenitico-marnosa (M.bro Irminio - Formazione Ragusa) E' il termine più rappresentato in superficie è sta in continuità di sedimentazione sull'unità prima descritta ed è costituita alla base da potenti banchi calcareniti e calciruditi grigiastri di spessore variabile dai 2 a 6m, separati da sottili livelli decimetrici marnoso-sabbiose di colore giallastro(Mc), passanti verso l'alto ad una alternanza regolare di strati calcareniti bianco-grigiastri, dure di spessore medio tra 40 e 60cm, in regolare alternanza con strati calcareo marnosi teneri di uguale spessore(Mcm). Lo spessore massimo in affioramento non supera i 130 metri. E' ben esposta nella zona di interesse e in tutto l'altipiano ibleo dislocata dalle faglie in direzione NE-SW. Verso l'alto gli strati marnosi aumentano di spessore fino a diventare prevalenti sugli strati calcarenitici (Mmc).</p>	Età compresa tra il Miocene medio - superiore
3	<p>Marne grigio-azzurre (F.ne Tellaro) Affiora diffusamente all'interno delle aree strutturalmente depresse (graben) dell'altipiano e (Mn) più diffusamente ad Est del sito in corrispondenza dell'abitato di Scicli. Nel dettaglio sono rappresentate da marne e marne calcaree giallastre, fortemente sovraconsolidate, fratturate con intercalati talora strati di calcari marnosi spessi 20-30 cm che ne rimarcano la stratificazione.</p>	Età Miocene superiore
4	<p>Marne calcaree e calcari marnosi (trubi) Sono presenti in limitati lembi a Nord del sito e nell'area di Scicli (Pm).</p>	Età Pliocene Inferiore

5	<p>Calcareniti bianco-giallastre. Affiorano in lembi discontinui nell'area di interesse (C.san Biagio) e nella zona di Scicli, in disconanza sui terreni sottostanti. Spesso alla base si rinviene una formazione detritico-ghiaiosa. Nella zona di Truncafila le calcareniti in blocchi sono distribuiti lungo i margini della cava, sono state smantellate. Costituiscono la copertura delle colline marnose della zona.</p>	Età Pleistocene inferiore
6	<p>Calcareniti e sabbie giallastre Affiorano lungo la costa. Nella zona dell'Irminio contengono spesso alla base, sabbie, ghiaie e conglomerati.</p>	Età Pleistocene medio
7	<p>Terrazzi Si tratta di aree intensamente modellate dal mare durante le ingressioni Quaternarie (tm). Prive o quasi di deposito, si rinvengono a Este e Ovest della Depressione di Scicli e sono quasi sempre anche ben marcate da antiche falesie. Infine nella Valle del F.Irminio si rinvengono anche terrazzi fluviali. (tf)</p>	Età Pleistocene medio-superiore
6	<p>Detrito di falda Affiora a WSW del sito ed è costituito da materiale calcarenitico eterometrico arrossato con matrice siltosa argillosa.</p>	Età Olocene-Attuale
7	<p>Alluvioni recenti e attuali Costituiscono i sedimenti recenti e attuali dei corsi d'acqua e delle depressioni morfologiche (a): Sono rappresentati da sabbie e conglomerati sciolti. Affiorano nella valle del T. Passo Gatta.</p>	Età Olocene-Attuale

Dal punto di vista strutturale l'area rilevata è interessata da un sistema di faglie con direzione prevalente Nord 40-60° Est, facenti parte del sistema maggiore che delimita ad oriente la vallata del F.Irminio.

I sistemi di fratturazione degli ammassi rocciosi, derivanti dall'evoluzione tettonica, hanno dato luogo a strutture tettoniche a gradoni articolate in blocchi abbassati o rialzati gli uni rispetto agli altri.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 10

Si tratta di faglie con prevalente meccanismo normale e con piani di scivolamento sub verticali, associati anche con blandi piegamenti e a piccole faglie con meccanismi trascorrenti e talora inversi o a compressioni lungo piani di faglie dovuti a collassi locali, caratterizzate da ampie fasce milonitizzate e rigetti di diverse decine di metri.

Una di queste faglie lambisce la cava in esame lungo il confine NNW, con evidente contatto delle calcareniti della F.ne Ragusa (Ra) con le marne della Tellaro (Te). Il rigetto complessivo è di circa 100m, probabilmente associato all'effetto ribassante di più faglie vicarianti e congruenti (cfr - Caratterizzazione geologica).

Queste discontinuità nell'aria di contrada Truncafila - S. Biagio non sono visibili in affioramento in quanto impegnano in superficie i termini litologici della stessa formazione geologica (Marne della Tellaro).

Nella cava in progetto a seguito dei lavori di scavo della cava la faglia principale è visibile per un breve tratto nel settore Nord dove mette a contatto le calcareniti sommitali della F.ne Ragusa con le marne della F.ne Tellaro.

Il contatto dei due litotipi è marcato da un evidente specchio di faglia per buona parte ricoperto da una fascia milonitica (cfr. foto in Caratterizzazione geolitologica).

Le giaciture degli strati variano dai 2 ai 6° fino alle pendenze disarticolate e contorte lungo le principali dislocazioni della zona, a cui sono generalmente associate, un elevato grado di fessurazione e fratturazione delle rocce.

Nel complesso le unità litostratigrafiche affioranti presentano una certa rigidità e una certa competenza per cui è evidente come nell'area esaminata non si riscontrano strutture a pieghe a piccolo raggio.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 11

1.2) – CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

Dal punto di vista morfologico l'area interessata dall'analisi tematiche s'inquadra altimetricamente al passaggio tra la bassa e medio il rilievo sub collinare ibleo, infatti si rilevano quote comprese tra i 150 ei 300 mt slm, caratterizzato da contrasti morfologici fra le formazioni calcaree formanti i rilievi più alti, e le formazioni marnoso-argillose al nucleo di aree strutturalmente depresse.

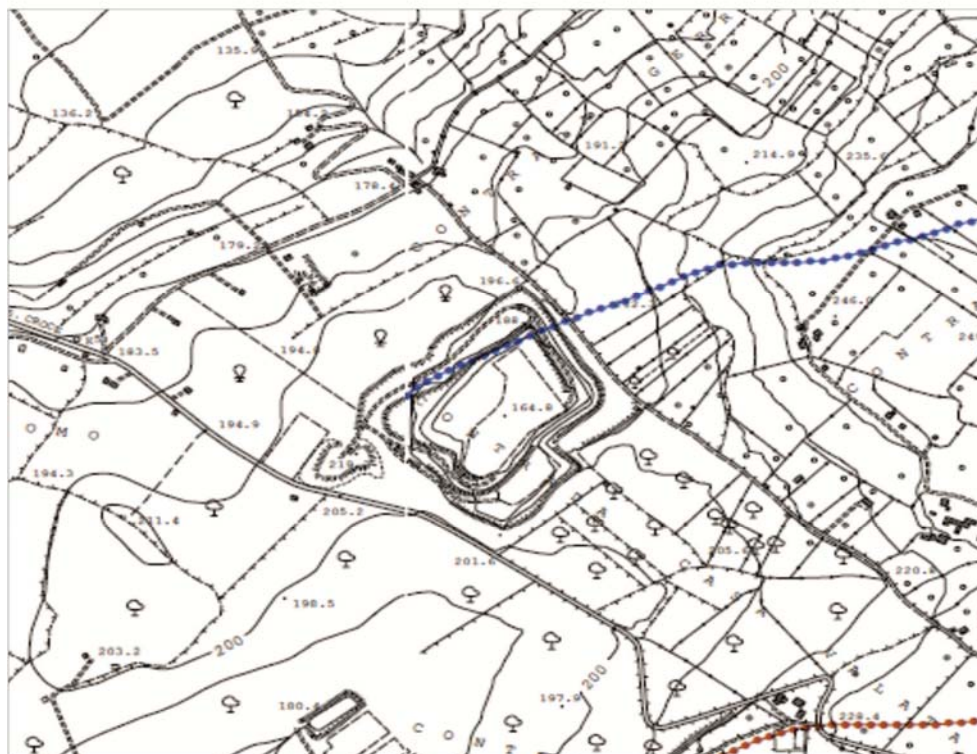
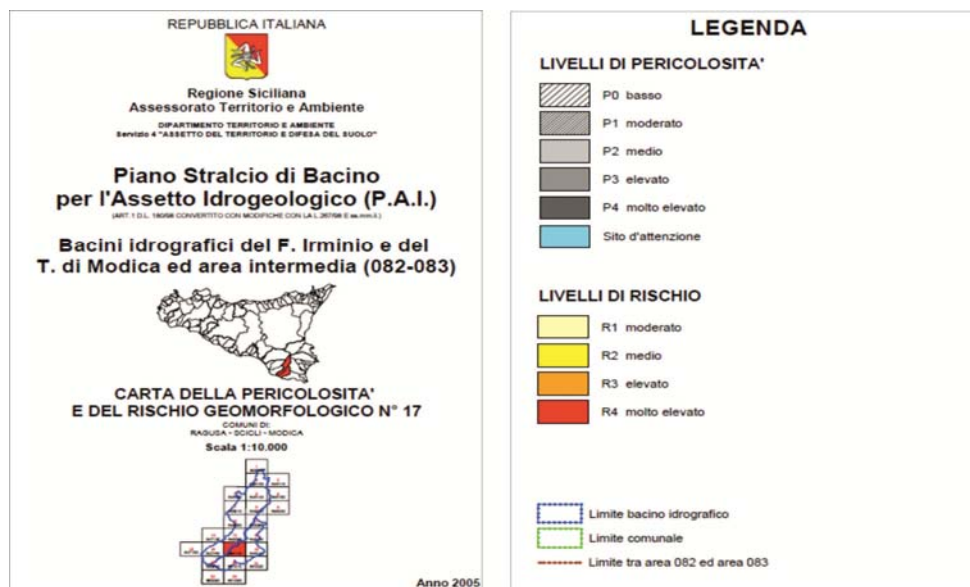
Nonostante le locali complicazioni strutturali, il contesto geomorfologico della zona è abbastanza tranquillo, con modesta alterazione delle rocce affioranti, ove si escludono i fenomeni di dissesto all'interno dell'area di cava, soprattutto nei fronti di scavo più acclivi ove sono presenti scivolamenti e crolli localizzati alla base delle scarpate.

Nel complesso l'andamento morfologico rispecchia la situazione strutturale della zona con una marcata corrispondenza tra gli elementi tettonici (faglie) e gli elementi morfologici (scarpate e valli).

Sotto l'aspetto geomorfologico la cava in esame si colloca in un ambiente dove sono in attività diverse cave estrattive, pertanto con una conformazione morfologica artificializzata dall'andamento degli scavi e dai piani di coltivazione autorizzati dalla regione.

E' fondamentale sottolineare che l'attività di cava e di escavazioni in generale presenta fasi lavorative intrinsecamente ad alto livello di imprevedibilità, dovute fondamentalmente a luoghi di lavoro in continua evoluzione morfologica e geotecnica temporale. Va rilevato come l'area di cava tuttavia si colloca in un ambiente di tutta tranquillità; infatti la ricognizione di campagna ha permesso di accertare la completa inesistenza di fenomeni di instabilità in atto per un vasto raggio attorno all'area di progetto. Pertanto la stabilità complessiva del sito è determinata dalle caratteristiche geotecniche dei materiali ivi affioranti e dalla geometria degli scavi e dei fronti di abbattimento residuali (cfr. fattibilità geologica e geotecnica).

Le buone condizioni di stabilità geomorfologica del sito di progetto sono confermate dalla classificazione del **Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto idrogeologico (P.A.I. Sicilia)** secondo il quale l'area in esame ricade nell'area denominata *bacini idrografici del F.Irminio e del T. di Modica ed area intermedia (082-083)*



Facendo riferimento al suddetto strumento pianificatore, l'area della cava ricade tra la tavola n°13 e la n° 14 della *carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n° 13, F°648090* in scala 1:10000, tale area risulta esente da livelli di pericolosità e di conseguenza a rischio nullo

L'idrografia superficiale è dominata dalla valle del F. Irmino e dei suoi tributari minori, posti ad ovest della cava, fortemente controllati dalle direttrici tettoniche della zona, che complessivamente raccoglie le acque provenienti da buona parte del sito e dalle aree circostanti la zona, ad eccezione dell'area ad est, ove invece le acque drenano in direzione SE nei locali impluvi con direzione subparallela all'andamento delle faglie.



La zona è caratterizzata da uno spartiacque superficiale, orientato NE-SW che decorre parallelo e a ridosso dei rilievi più alti tra L'ex Cozzo Truncafila e i rilievi collinari di C.da S. Biagio, che distingue la parte a NW appartenente al bacino del F.Irmino dalla rimanente area appartenente al bacino minore del Vallone Piano Grande che recapita direttamente in mare.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 14

I due settori si presentano con drenaggio rettilineo nei due versanti, con aste che si presentano a basso grado di gerarchizzazione e con sviluppo di valli profonde ed incassate nel settore calcareo ed ampie depressioni morfologiche allungate sede di modesti accumuli eluvio-colluviali nel settore NW.

Lo sviluppo della rete idrografica è fortemente condizionata dalla morfologia e dalla natura dei litotipi affioranti. Infatti l'elevata impermeabilità dei terreni instaura condizioni di deflussi diffusi che in assenza di linee di compluvio è di tipo areale.

Nel sito in esame sono presenti una linea idrografica di primo ordine gerarchico (Vallone Piano Grande), oggetto di sistemazione idraulica con argini e sezione trasversale adeguatamente dimensionati (tratto costiero) ed un compluvio naturale, per buona parte coincidente con la strada vicinale S.Biagio - Largo S.Tommaso che immette in uno dei rami tributati in sinistra idrografica del F. Irminio.

Le precipitazioni meteoriche medie annuali riferiti alla stazione pluviometrica di Scicli sono comprese tra i 400 e 500 mm annui, sono concentrate nel periodo Ottobre-Febbraio, con episodi talora molto intensi; infatti sono praticamente inesistenti nei mesi di giugno, luglio e agosto.

Come si evince anche dal *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto idrogeologico (P.A.I. Sicilia)* nell'area non sussistono livelli esente da qualsiasi pericolosità idrauliche.

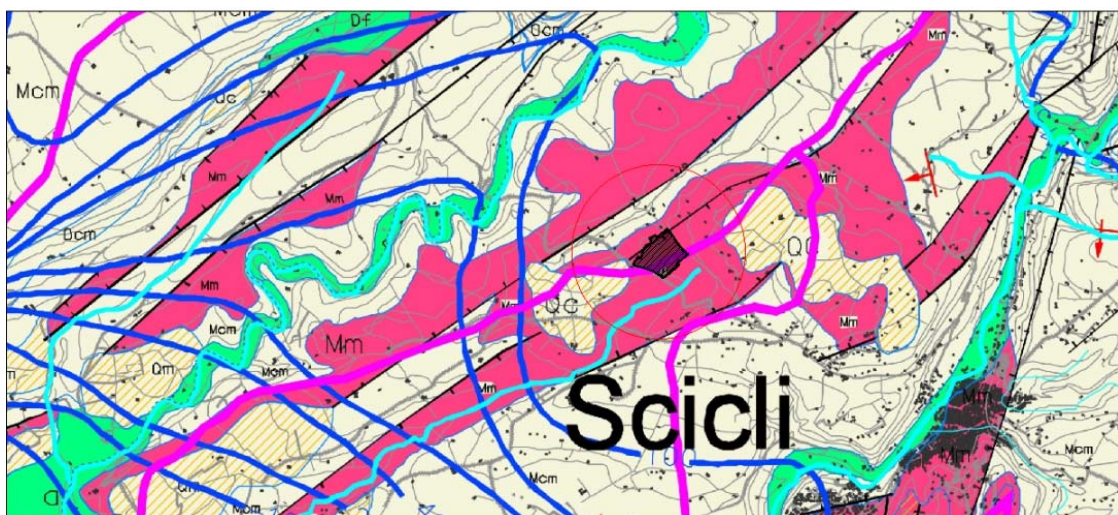
Dal punto di vista idrogeologico nella zona è presente un acquifero principale contenuto nella successione carbonatica della Formazione Ragusa. La successione presenta valori di permeabilità molto discontinui dovuti sia a variazioni della permeabilità primaria dei livelli calcarei (generalmente bassa) sia ad una predominanza della permeabilità in grande connessa alle fessurazioni e fratturazione tettonica

L'indagine idrogeologica è stata riferita ai punti di acqua esistenti nel territorio interessato integrati con dati generali acquisiti dalla "*Carta della vulnerabilità idrogeologica di Aureli et Alii*", consentendo di determinare, soprattutto l'andamento della falda sotterranea.

Nell'area di contrada Truncafila la presenza in affioramento di notevoli spessori di livelli stratigrafici a bassa permeabilità (marne e calcari marnosi) che nei fatti limita la continuità stratigrafica dell'acquifero profondo e lo separa dalle infiltrazioni superficiali (soggiacenza), determina locali condizioni di confinamento, ma anche di protezione della falda dalla veicolazioni di eventuali inquinanti superficiali. Condizioni queste che si mantengono anche nella cava Truncafila, sia pure con valori di soggiacenza (spessore della F.ne Tellaro a fondo scavo) e di protezione più limitate (faglia lungo il lato Nord-est) rispetto all'area circostante.

I valori di permeabilità media dell'acquifero risultano compresi tra $10E-6$ e $10E-3$ m/sec. La falda idrica che risiede nella struttura calcarea della Formazione Ragusa, si rinviene a circa 100,00-110,00 metri dal piano campagna e defluisce in direzione SW così come si evince dall'analisi della "CARTA IDROGEOLOGICA – allegata al P.T.P - Provincia di Ragusa.

La direzione di deflusso della falda concorda con quella dei corpi idrici superficiali e ciò è probabilmente giustificato dall'andamento delle dislocazioni principali.



	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 16

1.3) – INDAGINI GEOSTRATIGRAFICHE

Per la definizione del modello geologico sono stati eseguite indagini commisurate alla finalità progettuali sulla base del contesto geologico-strutturale emerso dai rilievi preliminari di campagna; tale piano di indagini ha consentito di pervenire ad un modello geologico utile per la caratterizzazione geotecnica dei terreni

Le indagini, dalla Ditta SGM srl di Catania; con le specifiche e l'ubicazione di cui all'allegato sono state articolate in :

- N° 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo
- N° 1 sismica tipo MASW

L'indagine geofisica espressamente programmata per la modellazione sismica del sito, ha tuttavia permesso di estrapolare utili informazioni geostatigrafiche, quale la profondità del substrato calcareo

Il sondaggio meccanico ubicato a ridosso di un versante di cava, è stato spinto sino a 80 mt di profondità in modo tale da interessare a sufficienza anche terreni al di sotto del fondo cava. Nel dettaglio la stratigrafia attraversata è la seguente:

- da 0,0 - a 1,20 mt materiale sabbioso-limoso rossastro in prossimità della superficie, con rari elementi calcarenitici cm, degradato a terreno agrario
- da 1,20 a 7,0 mt marne argillose giallastre, discretamente consistenti
- da 7,00 - a 70,00 mt marne grigio-azzurre mediamente consistenti con locali fasce meno consistenti e sporadiche strati più calcarei

I risultati delle suddette indagini, esposti in modo dettagliato e puntuale nell'allegati dell'Impresa incaricata, confermano la presenza di un litotipo marnoso (Fne Tellaro) per ampi spessori.

La masw eseguita per finalità prettamente sismiche, è stata integrata con l'acquisizione di "rumore sismico" consentendo di rilevare la presenza di un substrato ad alta velocità a circa 92 mt di profondità

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 17

1.4) – LITOSTRATIGRAFIA LOCALE

Dalla correlazione dei dati geognostici e sismici riportate negli allegati sono stati ricostruiti i profili geolitologici di dettaglio di cui agli allegati

Si tratta di una successione prevalentemente marnosa, sufficientemente uniforme ed omogenea di colore grigio-azzurro con una parte superficiale bianco-giallastra di spessore sino a 7-8 mt.

Nel settore di Est della cava è ricoperta in alto da alcuni metri di sabbie argillose rossastre con rari elementi pefitici, riconducibile probabilmente ad un deposito detritico sul lato ribassato della faglia.

La parte alta della (F.ne Ragusa) è costituita da una apparente regolare alternanza di calcareniti bianco giallastre, duri e di calcareniti friabili dello stesso colore, ma di spessore maggiore, talora con livelli decimetrici di marne calcaree

Il limite inferiore del complesso calcarenitico non è visibile, è invece osservabile, in un tratto del versante NW della cava, il passaggio in continuità di sedimentazione con le facies marnose della F.ne Tellaro.

Questa sequenza litostratigrafica non consente l'esistenza di livelli idrici sino alle profondità dell'acquifero calcareo. Tuttavia la presenza di una fascia cataclastica di spessore considerevole e ad alta permeabilità, in cui si potrebbe instaurare una modesta circolazione idrica stagionale, che laddove la faglia viene intercettata dal versante, può riversare quantitativi idrici all'interno della cava ed alimentare il ristagno presente sul fondo cava.

Lungo il contorno della cava, sparsi in modo opportuno, sono presenti sia accumuli di materiali di riporto messo in posto per delimitare l'area di cava, costituito da grossi blocchi di calcareniti quaternarie frammiste a terreno agrario, e deposito eluvio colluviali, sia materiali provenienti dalle operazioni di cavatura e pertanto composti da marne.

Per meglio comprendere la geostratigrafia dei luoghi sono state redatte quattro sezioni geolitologiche, A, B, 11 e 14 in scala 1:2000, scelte opportunamente tra le sezioni topografiche disponibili, in modo da risultare rappresentative dell'intera situazione geologica dell'area di cava.

Pertanto, integrando i dati stratigrafici acquisiti con quelli del rilevamento geologico e delle conoscenze specifiche dello scrivente nell'area acquisite nel corso di precedenti studi, per il sottosuolo del sito in esame si rappresenta il seguente schema di **modello geologico**, a partire dalla quota di fatto del lotto:

MODELLO GEOLOGICO	
materiali di riporto costituiti da accumuli di blocchi calcarenitici quaternari frammisti a terreno agrario (spessore massimo 2-3 mt) e da depositi di marne.	UNITA' LITOLOGICA ANTROPICA
Deposito sabbioso-argilloso rossastro, con elementi psefitici da mm a cm. Spessore massimo circa 4-6 mt.	UNITA' LITOLOGICA SUPERFICIALE
Marne bianco-giallastre alterate, a tratti litoidi ma interessate da fratturazione diffusa. Potenza massima di 7-8,0 m	UNITA' LITOLOGIC -A
Marne grigio-azzurre e giallastre sovraconsolidate, con variazioni litologiche date da locali arricchimenti in carbonato di calcio sino a costituire strati di 30-50 cm calcareo-marnosi. Potenza massima di 90,00m	UNITA' LITOLOGIC -B
Calcari alternati a marne calcaree in strati per uno spessore indefinito – F.ne Ragusa	UNITA' LITOLOGICA C
Falda in condizioni artesiane captabile oltre i 120 m dal p.c., con livello piezometrico a circa (100,00) m dal p.c.	

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 19

1.5) SISMICITA' DI BASE DELL'AREA

ASPETTI SISMOTETTONICI

L'area iblea si colloca al limite di regioni a comportamento cinematico e sismico differente, con terremoti caratterizzati da magnitudo e tempi di ritorno variabili.

La sismicità del territorio è legata alla presenza di attività neotettonica intendendo con questo termine i movimenti tettonogenetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene superiore e l'attuale (cioè negli ultimi 5,2 milioni di anni).

Si possono distinguere movimenti neotettonici lineari che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) e movimenti neotettonici areali che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali.

Nella Carta Neotettonica d'Italia, 1983 (realizzata da C.N.R. "Progetto finalizzato geodinamica" – "Sottoprogetto Neotettonica") la Sicilia sudorientale e segnatamente il Plateau ibleo è stato oggetto di una tettonica attiva dal pliocene al quaternario prevalentemente a carattere *transtensivo* ed in parte anche *transpressivo* che si è manifestata in tutta l'area iblea con intensi fenomeni di sollevamento e abbassamenti verticali e movimenti orizzontali che hanno determinato evidenti strutture di collasso.

Le strutture più recenti si sono sviluppate essenzialmente lungo i margini del plateau ibleo e soprattutto all'interno dell'altipiano con movimenti trascorrenti ed inversi lungo la linea tettonica Scicli – Giarratana - Monte Lauro.

Concordemente al quadro strutturale regionale sopra indicato, la maggior parte delle faglie dell'area indagata presentano orientazioni prevalenti secondo le direttrici NE-SO e NNE-SSO e altre direzioni NO-SE. L'età di queste faglie è sicuramente postmiocenica perché esse dislocano terreni riferibili al Miocene superiore, ma è anche probabile una successiva riviviscenza in epoca pliocenica, pleistocenica e attuale.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 20

Resta infine da evidenziare che a Nord dell'area sono presenti strutture tettoniche data da faglie dirette distensive con andamento NE-SO e da altre con andamento NO-SE, databili come post mioceniche (Progetto finalizzato geodinamica- sottoprogetto Neotettonica). Tali strutture non sono attualmente attive, ma possono, in occasione di eventi sismici, attivarsi e diventare sismogenetiche, la presenza di tale faglia deriva dal fatto che tutta la regione iblea è stata sede di una tettonica attiva distensiva sin dal Pliocene.

La sismicità storica dell'area sud-orientale del plateau ibleo e segnatamente della provincia di Ragusa è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (banche dati e metodi macrosismici dell'INGV).

Le evidenze di importanti eventi deformativi sembrano trovare adeguata collocazione nell'ambito di modelli cinematici caratteristici, recentemente connessi alla localizzazione delle sorgenti sismogenetiche responsabili dei principali terremoti che hanno interessato l'entroterra ibleo (Zonazione sismogenetica ZS9).

ZONIZZAZIONE MACROSISMICA LOCALE

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica. Più precisamente è la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto sismico al suolo (ad esempio l'accelerazione massima) o da un grado di intensità macrosismica, venga superato in un sito dato (o in un insieme di siti) entro un dato periodo di tempo.

Per quanto attiene la definizione della pericolosità sismica attraverso l'accelerazione orizzontale massima del terreno a_g nel 2004 è stata elaborata la nuova mappa di pericolosità sismica del territorio italiano in rapporto al quadro strutturale locale e alle sorgenti sismo genetiche (ZS9). Per quanto concerne l'aspetto strettamente geologico la determinazione di questa azione sismica avviene attraverso la definizione e la schematizzazione delle categoria di sottosuolo, e delle componenti geologiche prima schematicamente analizzate, valutata attraverso la determinazione della velocità delle

onde trasversali negli ultimi trenta metri, **Vs30**, prima di arrivare in superficie i cui valori riferiti alla tabella sottostante consente di definire la categoria di sottosuolo.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

RIFERIMENTI NORMATIVI

Il panorama legislativo in materia sismica, è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali (Ordinanza PCM. n. 3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza PCM. n. 3519/2006), leggi che risultano tuttora discusse e ancora non definitive. Nella GU del 4 febbraio, supplemento ordinario n.30, è stato pubblicato il nuovo DM 14.1.2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, denominato Testo Unico delle Costruzioni. Nell'allegato A al citato decreto, è trattata la pericolosità sismica di tutto il territorio nazionale, con criteri di classificazione nuovi rispetto al precedente DM 159 del 2005.

Per determinare le azioni sismiche, in base a criteri di microzonazione di pericolosità sismica, nel DM 14.1.2008 è stato definito un reticolo di riferimento (circa 10 chilometri di lato) con i parametri sismici determinati in funzione di predefiniti periodi di

ritorno del terremoto atteso nei nodi del reticolo. Il territorio comunale SCICLI era classificato, ai sensi del D.M. 19.03.1982, sismico di seconda categoria con coefficiente sismico $C_s = 0,07$. L'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 riclassifica l'intero territorio nazionale. In tale quadro ricadeva in *zona sismica 2*. Con l'adozione del nuovo modello sismogenetico usato in Italia, introdotto appositamente per la redazione della mappa di pericolosità 2004, la cosiddetta zonazione ZS9 per la quale il territorio italiano è stato suddiviso in 42 zone-sorgente, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere (A-F). Si riporta a seguire la figura riguardante la situazione siciliana, con l'ubicazione del sito di progetto.

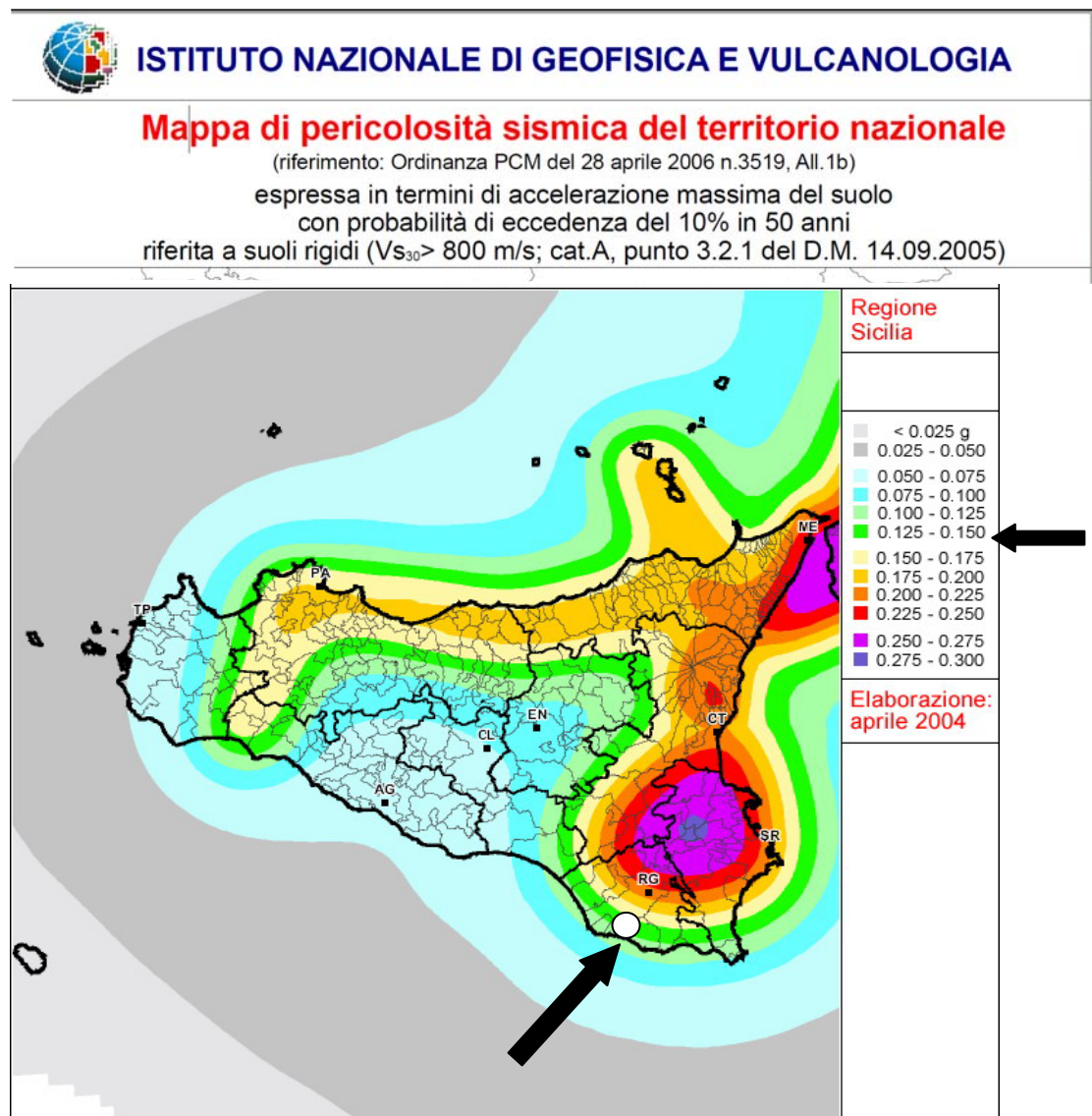


Figura 8 – Mappa di pericolosità sismica del territorio siciliano.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 23

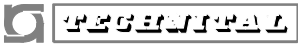
La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

La zona che interessa l'area in esame viene inserita dall'INGV nella zona sismo genetica ZS935, che fa parte del complesso "Avampaese Ibleo" (zone che vanno dalla 931 alla 935), all'interno della quale sono attesi eventi di elevata magnitudo, con meccanismi di fagliazione prevalente trascorrenti. La M_w attesa variabile da **6.7 a 7.06**. La distribuzione delle profondità delle sorgenti sismo genetiche individuati sulla base dei dati geologici e geofisici rientrano nella classe di profondità 8-20 Km con una frequenza modale di 13 KM.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "**sito dipendente**" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La definizione della sismicità di base occorre fare riferimento ai valori di *accelerazione orizzontale massima attesa* a_g in condizioni campo libero su sito di riferimento rigido (*categoria A*), con superficie topografica orizzontale (*categoria T1*) e le *ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione* ad essa corrispondente $Se(T)$, riferite a determinate probabilità di eccedenza PVR in un dato periodo di riferimento

La pericolosità sismica di base delle NTC fa riferimento ad una griglia di 10751 punti, ove viene fornita la terna di valori a_g , F_0 e T^*C (questi ultimi due definiscono lo *spettro di risposta elastico in accelerazione*) per nove distinti periodi di ritorno TR , tabellati e fornite dal ministero

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 24

1.6. - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area che comprende il sito di progetto si colloca in un contesto geologico e strutturale generale piuttosto articolato, come indicato dalla presenza di un fitto reticolato di faglie che mette a contatto terreni con caratteristiche litologiche differenti.

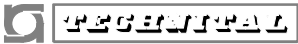
Nel dettaglio del sito di progetto, tuttavia il quadro geologico risulta decisamente più semplificato e rassicurante in quanto la successione si sviluppa all'interno di una struttura tettonica a Graben con regolare affioramento e continuità stratigrafica delle formazioni calcarenitico-marnose mioceniche, che rappresentano i litotipi più rappresentati in superficie.

Il quadro litostratigrafico di dettaglio è rappresentato da un potente orizzonte marnoso, costituita da marne e marne calcaree giallastre, riferibili alla F.ne Tellaro, che giace in continuità di sedimentazione su calcareniti alternati a marne della F.ne Ragusa, localmente ricoperti da esigui spessori di marne alterate, detriti rossastri e da terreno vegetale frammisto a blocchi lapidei (ove ancora presente).

L'unità marnosa principale si estende fino alla profondità di circa 100 m dal piano campagna, ove passa in continuità di sedimentazione sulle alternanze calcarenitico - marnose della F. Ne Ragusa.

La cava si presenta in uno stato di abbandono con fronti di estrazione disarticolati da frane di crollo e di scivolamento con evidenti nicchie semicircolari di distacco che come nel caso del versante NE, l'azione regressiva ha quasi raggiunto la sede della locale stradella vicinale.

La base della cava estesa circa 16.000 mq. è di fatto presenta una morfologia endoreica dove le acque di precipitazione e quelle di ruscellamento superficiale del sito si accumulano nella parte più depressa, con altezza di qualche metro, mentre le aree più esterne sono occupate da cumuli lapidei e materiali argillosi provenienti e/o estratti dalla cava stessa.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 25

Parte II

MODELLAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

2.1) – INDAGINI GEOTECNICHE

Sulla base delle indicazioni contenute nel modello geologico ed in relazione alla tipologia dell'intervento di progetto sono state programmate ed eseguite le indagini seguenti per la caratterizzazione dei terreni nel volume significativo

Come già riferito nella parte geologica, a ridosso del versante SE della cava è stato eseguito un sondaggio meccanico a carotaggio continuo sino alla profondità di 80,00 m dal piano campagna.

Nel corso del sondaggio meccanico, sono stati prelevati tre campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio, identificati come di seguito:

C1 – 7,0-7,50 mt

C2 – 29,5 30,0 mt

C3 – 58-59,0 mt

Il campione C1 è rappresentativo delle marne gialle, mentre C2 e C3 riassumono le caratteristiche geotecniche delle marne grigio-azzurre

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI

Le prove sono state mirate alla definizione dei parametri di resistenza in termini di tensioni totali che efficaci, mediante prove triassiali tipo consolidate drenate, ELL: sono stati inoltre accertati i principali parametri fisici ed indici.

PROVE DI LABORATORIO

I campioni sono stati analizzati dal laboratorio Betontest di Ispica riconosciuto da regolare Aut. Ministeriale ed i risultati sono raggruppate in un apposito allegato e qui sinteticamente riportate nella tabella a seguire:

C1	C' = 36,47 kpa $\varphi' = 28^\circ$ Su = 603 kpa G = 1,83 ton/mc LP = 27 IP = 21 LL = 48 W = 26 S = 81,7 % eo = 0,87 CaCO3= 53%	<i>coesione efficace</i> <i>angolo attrito interno</i> <i>resistenza a rottura non drenata</i> <i>peso di volume (media su tre provini)</i> <i>limite plastico</i> <i>indice plasticità</i> <i>limite liquido</i> <i>contenuto di acqua</i> <i>saturazione</i> <i>Indice vuoti iniziale</i> <i>carbonato di calcio</i>
C2	C' = 82,39 kpa $\varphi' = 11,09^\circ$ Su = 654 kpa G = 1,93 ton/mc LP = 26 IP = 46 LL = 72 W = 26 S = 95 % eo = 0,79 CaCO3= 28%	<i>coesione efficace</i> <i>angolo attrito interno</i> <i>resistenza a rottura non drenata</i> <i>peso di volume (media su tre provini)</i> <i>limite plastico</i> <i>indice plasticità</i> <i>limite liquido</i> <i>contenuto di acqua</i> <i>saturazione</i> <i>Indice vuoti iniziale</i> <i>carbonato di calcio</i>
C3	C' = 75,54 kpa $\varphi' = 20,5^\circ$ Su = 1073 kpa G = 1,93 ton/mc LP = 31 IP = 30 LL = 61 W = 26 S = 93 % eo = 0,78 CaCO3= 32%	<i>coesione efficace</i> <i>angolo attrito interno</i> <i>resistenza a rottura non drenata</i> <i>peso di volume (media su tre provini)</i> <i>limite plastico</i> <i>indice plasticità</i> <i>limite liquido</i> <i>contenuto di acqua</i> <i>saturazione</i> <i>Indice vuoti iniziale</i> <i>carbonato di calcio</i>

Per maggiori dettagli si rimanda agli allegati di laboratorio in calce alle presente.

 INGEGNERIA	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 27

2.2) -DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICHE

Facendo riferimento alle unità litologiche sono state distinte le unità geotecniche costituenti il modello di riferimento.

Non viene trattata l'unità litologica antropica, in quanto da rimuovere.

Unità geotecnica superficiale

La prima **unità geotecnica** di riferimento è quella che fa capo al deposito **superficiale** affiorante solo lungo il versante Est costituita da sabbie argillose rossastre. Terreno dotato di attrito e coesione anche se di valori piuttosto bassi. Trattandosi di una unità geotecnica molto marginale a causa dell'esiguo ampiezza areale e verticale, la sua caratterizzazione è stata eseguita, prudenzialmente, facendo riferimento a dati di letteratura e a test in situ.

$$\begin{array}{ll}
 C' = 25,0 \text{ kpa} & \textit{coesione efficace} \\
 \varphi' = 28^\circ & \textit{angolo attrito interno} \\
 G = 1,75 \text{ ton/c} & \textit{peso di volume}
 \end{array}$$

Unità geotecnica A (UGA)

E' limitata all'orizzonte di marne giallo-biancastre, attraversate dal sondaggio, di potenza limitata a 7-8 mt, ma presente lungo tutto il versante di NE della cava.

Dai risultati sui campioni C1 che ne rappresenta le caratteristiche geotecniche soprattutto della parte basale, si evince che si tratta di *marne*, a bassa plasticità: La parte sommitale si presenta invece di *aspetto litoide* dovuto ad un arricchimento di carbonato di calcio sino a diventare marne molto calcaree. Questo livello, di spessore limitato, stimato in circa 3-4 mt, si presenta molto fratturato, con fratture in continua espansione a causa della sua esposizione ai fenomeni di disseccamento. I principali parametri scaturiti dalle analisi di laboratorio sono:

$$\begin{array}{ll}
 C' = 36,47 \text{ kpa} & \textit{coesione efficace} \\
 \varphi' = 28^\circ & \textit{angolo attrito interno} \\
 C_u = 301 \text{ kpa} & \textit{coesione non drenata} \\
 G = 1,83 \text{ ton/c} & \textit{peso di volume}
 \end{array}$$

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 28

Unità geotecnica B (UGB)

Le marne grigio-azzurre, vengono definite come unità geotecnica B, In realtà si tratta di *marne argillose* a plasticità medio-alta. Rappresentavano l'oggetto della cava, il cui spessore, in affioramento è di circa 60 mt Tra le variazioni litologiche verticale sono state rilevate presenza di porzioni, con spessori nell'ordine di diversi decimetri, interessate da arricchimento della frazione carbonatica che conferisce una maggiore consistenza. Raramente presentano livelli più argillosi, nerastri, e comune non superiori a 1-2 decimetri

I valori dei principali parametri geotecnici dell'unità, acquisite tramite le prove e analisi di laboratorio sono:

C' = 82,39-75,54 kpa	<i>coesione efficace</i>
φ' = 11,9 -20,5	<i>angolo attrito interno</i>
Cu = 327 -6 535 kpa	<i>coesione non drenata</i>
G = 1,93 ton/mc	<i>peso di volume</i>

Unità geotecnica C (UGC)

E' costituita dall'ammasso roccioso riferibile alla F. Ragusa di spessore indefinito. Anche questa unità affiora in una porzione limitata della cava e precisamente per faglia in un tratto limitato del versante NW. Escludendo la fascia cataclasitica dove per ovvi motivi, è ridotta ad una breccia, i rimanenti affioramenti mettono a giorno un ammasso molto integro e ben conservato.

La caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso sulle pareti di affioramento, mediante il rilievo di alcuni parametri è stata eseguita utilizzando il metodo proposto da BENIAWSKI (1973-89) per la determinazione dell'indice R.M.R. (Rock Mass Resistance).

I parametri determinati sono:

- a)- *Resistenza a compressione uniassiale della roccia (Rc)*
- b)- *Numero dei giunti per mc (Gv)*
- c)- *Indice R.Q.D.* d)- *Spaziature dei giunti (Gs)*
- e)- *Condizione dei giunti (Gr)*
- f)- *Condizioni idrauliche (Gw).*

 GENERAL	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 29

Ognuno di questi parametri è stato valutato in modo quantitativo e a ciascuno di essi è stato assegnato un indice parziale; dalla somma degli indici parziali si è ottenuto un valore dell'indice RMR.

I valori dell'indice RMR che si sono ottenuti sono compresi tra 55 e 60.

Dai suddetti valori si ricavano i relativi parametri di coesione (c) e angolo di attrito φ per le varie condizioni dell'ammasso roccioso:

$\varphi = 35^\circ$ angolo di attrito interno globale,

C=275 Kpa coesione

Il peso di volume medio (G) dell'ammasso è stimato, da precedenti determinazioni, pari a **G=2,2 ton/mc**

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Secondo le NTC, e l'EC7 i valori caratteristici X_k scaturiscono da una stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite. In particolare in prima analisi: *Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.*

Il paragrafo C6.2.2.4 della Circolare illustra come tali valori debbano essere scelti. *“Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti....*

La definizione dei parametri geotecnici caratteristici per le U.G. e il relativo modello geotecnico vengono elaborati in funzione del tipo di parametro, della prova di laboratorio e della finalità di progetto

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 30

Nel caso in esame si considera che la verifica nel suo insieme, coinvolge grandi volumi di terreno e quindi compensa le variazioni di resistenza lungo il pendio, pertanto i valori caratteristici saranno prossimi a valori medi.

Per l'unità geotecnica A disponendo dei dati di un solo campione, in relazione alla scarsa incidenza della unità nelle verifiche di progetto si assumono rappresentativi dell'intera unità come se risultasse da una media di un gruppo di valori.

In particolare quelli che rappresentano lo stato geotecnico in termini di tensioni effettive, la **coesione efficace c'** e l'**angolo di attrito interno f'** si sono scelti come valori caratteristici il 95% della media dei valori di laboratorio, mentre per la **coesione non drenata**, ai valori del parametro scaturiti dalla prova ELL, è stato attribuito una limitata rappresentatività dovuta proprio al tipo di prova che a fronte della sua celerità ed economicità è meno precisa rispetto ad una prova più sofisticata quale una triassiale, comportando in definitiva una sovrastima del parametro.

Per la caratterizzazione della Cu, pertanto si fatto ricorso ai criteri e metodi di calcolo esposti da L. Nori (versione marzo 2009) che, utilizzando apposito programma di calcolo in Excell, anche in presenza di pochi dati fornisce un valido metodo oggettivo.

Caratterizzazione Coesione non drenata Cu a tale parametro è stato assegnato un coefficiente di variazione ricavato dalla letteratura tecnica: COV=40%


È stato inoltre applicato il metodo statistico in presenza di un solo dato e varianza nota utilizzando le seguenti relazioni:

Statistica della varianza nota:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato

 UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 31

\bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione:

z è la distribuzione normale standardizzata

σ è la deviazione standard della popolazione

n è la numerosità del campione

Distribuzione condizionata di c rispetto a φ

$$E(C | \Phi = \varphi_k) = \mu_c + \rho\sigma_c \left(\frac{\varphi_k - \mu_\varphi}{\sigma_\varphi} \right)$$

$$VAR(C | \Phi = \varphi_k) = \sigma_c^2 (1 - \rho^2)$$

Dove:

$\varphi_k = \varphi$ caratteristico (in questo caso, 5° percentile della distribuzione del campione)

μ_i è la media di i , dove $i = \varphi, c$

σ_i è la deviazione standard di i dove $i = \varphi, c$

ρ è il coefficiente di correlazione tra φ e c

Distribuzione lognormale con varianza nota

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Dove:

\bar{Y} è il valore medio del dataset con distribuzione lognormale

Z è la distribuzione normale standardizzata

t è il valore della distribuzione di student ad $n-1$ gradi di libertà

S è la deviazione standard della popolazione

n è il numero di dati.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori caratteristici ricavati con il metodo e le relazioni

Unita'	Parametri geotecnici caratteristici		Spess.medio
UNITA' GEO-TECNICA (Superficiale)	$C'k = 20,0 \text{ kpa}$	Coesione eff.	4-6,0 mt
	$\varphi'k = 26,5^\circ$	Ang. attr. int, eff.	
	$G = 1,75 \text{ Ton/mc}$	Peso volume	
UNITA' GEO-TECNICA A (UGA)	$Cuk = 149 \text{ kpa}$	Coesione non drenata.	7-8,0 mt
	$C'k = 33,75 \text{ kpa}$	Coesione eff	
	$\varphi'k = 25^\circ$	Ang. attr. int, eff.	
	$G = 1,83 \text{ Ton/mc}$	Peso volume	
UNITA' GEO-TECNICA B (UGB)	$Cuk = 266 \text{ kpa}$	Coesione non drenata.	80-90 mt
	$C'k = 75 \text{ kpa}$	Coesione eff	
	$\varphi'k = 16,3^\circ$	Ang. attr. int, eff.	
	$G = 1,83 \text{ Ton/mc}$	Peso volume	
UNITA' GEO-TECNICA C (UGC)	$C'k = 250 \text{ kpa}$	Coesione eff	indefinito
	$\varphi'k = 37^\circ$	Ang. attr. int, eff.	
	$G' = 2,2 \text{ Ton/mc}$	Peso volume	

Infine occorre considerare i rilevati che, come sarà esposto in seguito, si andranno a costituire per la stabilizzazione dei versanti in fase di riprofilatura.

Tali rilevati costituiti con il materiale di scavo nelle zone più a monte sono sostanzialmente formati da marne grigio-azzurre, che saranno debitamente compattate sino al raggiungimento di una densità G, pari a 1,7 ton/mc .

A tali materiali si possono ragionevolmente attribuire i seguenti valori dei parametri caratteristici:

$C'k = 25 \text{ kpa}$ coesione eff.

$\varphi'k = 22,5^\circ$ ang. Attrito interno

 INGENIERIA	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 33

2.3) - MODELLAZIONE SISMICA

Per la definizione delle azioni sismiche nel sito di progetto così come previsto dalle norme vigenti, è di fondamentale importanza la classificazione del sottosuolo sino alla profondità di 30 mt dal pc.

Nel caso in esame, in relazione alla specificità dei luoghi è stato scelto di eseguire, una *prospezione MASW* (Multichannel Analysis of Surface Waves) che permette di individuare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , a partire della misura della velocità delle onde superficiali.

PROSPEZIONE MASW

Obiettivo principale della prova è quello di misurare le velocità di propagazione delle onde di taglio S, (V_s), negli ultimi 30 mt di terreno prima di giungere in superficie

Nel caso particolare è stata eseguita una prospezione sismica basata sulla propagazione delle onde superficiali tipo Rayleigh di tipo attivo (MASW)

In considerazione della particolare geometria del problema, ed in particolare del fatto che i versanti della cava hanno una estensione verticale di oltre circa 50 mt con punte di 60 mt, sarebbe stata insufficiente determinare un valore di V_{s30} , è stata quindi eseguita una indagine mirata a caratterizzare il sottosuolo ogni 30 mt in modo tale da ottenere due valori distinti di velocità di onde S

Inoltre l'indagine è stata integrata rumore sismico *passivo* allo scopo di ottenere informazioni relative alla propagazione di onde a bassa frequenza, provenienti da sorgenti naturali quali microtremiti (o da sorgenti artificiali come il traffico veicolare rumore di macchinari, ecc) e quindi incrementare la profondità di indagine

Sono stati posizionati 36 geofoni orizzontali con interdistanza di 2, m lungo uno stendimento così come riportato nella carta allegata. Oltre ai punti di battuta coniugati è stata effettuata una energizzazione centrale.

Questo tipo di indagine consente di definire il profilo verticale delle velocità delle onde trasversali V_s , basandosi sulle registrazioni delle onde superficiali, da parte di una stesa geofonica posta sulla superficie del suolo. Dalla trasformazione delle registrazioni temporali si calcola per successivi tentativi, la curva di dispersione teorica delle velocità delle di propagazione, funzione delle diverse lunghezze d'onda, sino che questa coincida con il minimo scarto, con la curva sperimentale

Il successivo processo di inversione consente di pervenire al profilo di velocità delle onde di taglio, sotto riportato

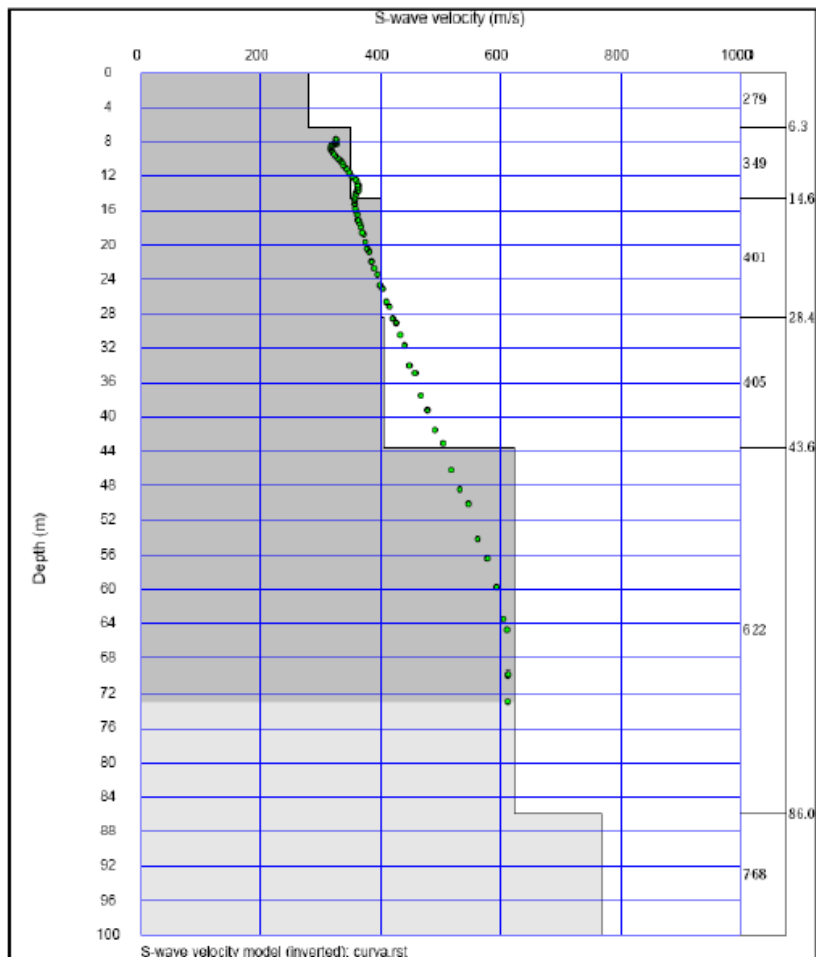


Fig. modello di velocità del sito

Dal modello si evince che il suolo è stato investigato sino alla profondità di 72 mtA lato sono riportati i valori delle V_s calcolate.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 35

Successivamente elaborando i dati dei microtrempi acquisiti con la tecnica dei rapporti spettrali H/V . Nel dettaglio l'analisi spettrale mostra due picchi nella curva H/V con frequenze molto distinte: il primo alla frequenza di 1,69 Hz e l'altro a 11,39 Hz.

L'analisi numerica della curva H/V, utilizzando anche i dati della sismica attiva, ha consentito di stimare il **bedrock sismico a 91,4 mt** di profondità, con una velocità delle onde di taglio Vs prossima a 800 m/s

La media della Vs30 misurata e definita dalla seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i/V_i}$$

Dall'analisi dei risultati è stato ricavato un valore di la Vs30' per i primi trenta metri a partire dalla superficie del suolo pari a Vs30'= 356,37 m/s

mentre per i successivi trenta metri, cioè da 30 a 60 mt di profondità si è ottenuto Vs30''= 508,31 m/s :

Per le caratteristiche della strumentazione utilizzata, la metodologia esecutiva e l'analisi dei dati ed il procedimento di calcolo si rimanda all'allegato specifico in calce.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Componenti geostratigrafiche nell'azione sismica. Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno; la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale

 TECNOLOGIA	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 36

Facendo riferimento alla normativa citata in premessa, l'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. L'entità di tale azione è anche influenzata dalle condizioni litostratigrafiche e topografiche locali che determinano il moto del suolo in superficie

Categoria di sottosuolo. La determinazione della velocità delle onde trasversali negli ultimi trenta metri, V_{s30} , prima di arrivare in superficie i cui valori riferiti alla tabella prima allegata (SISMICITA' DI BASE DELL'AEA – Zonizzazione microsismica locale) consente di definire la categoria di sottosuolo.

Dai risultati dell'indagine geofisica si è ottenuto una velocità media delle onde di taglio nei primi trenta metri, è risultata pari a **356,37 m/sec**, a cui corrisponde secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008, una **categoria di sottosuolo C**:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{a30} < 250$ KPa nei terreni a grana fina)”.

Mentre per i successivi 30 mt di terreno, cioè da 30 a 60 mt di profondità, con una velocità delle onde S pari a **508,31 m/sec**, a cui corrisponde una **categoria di sottosuolo B**:

“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{a30} > 250$ KPa nei terreni a grana fina)”.

Sebbene dalla media dei suddetti valore si perviene ad un valore $V_{s60} = 432$ m/sec, e quindi ad una categoria B, il sito in esame ai fini della valutazione dell'azione sismica viene classificato prudenzialmente in **Categoria C**, anche in virtù della vicinanza del valore medio al limite inferiore della categoria B

Amplificazione stratigrafica. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l' accelerazione massima (α_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di α_{max} può essere ricavato dalla relazione $\alpha_{max} = S_s \cdot \alpha_g$ dove α_g è l' accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Per la **categoria C** si calcola mediante le espressioni fornite nella Tabella riportata, nelle quali g è l' accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Condizioni topografiche. Nel caso di configurazioni topografiche superficiali semplici la NTC prevede di adottare la seguente classificazione

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i = 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ = i = 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel nostro caso i versanti di cava vanno inseriti in categoria topografica **T2**.

Amplificazione topografica. La valutazione dell' amplificazione topografica può essere effettuata mediante analisi di risposta sismica locale o utilizzando il coefficiente di amplificazione topografica

In questo caso per tener conto delle condizioni topografiche nell'azione sismica e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella tabella sottostante in funzione delle categorie topografiche sopra definite e dell' ubicazione dell' opera o dell' intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell' intervento	ST
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Il valore del **coefficiente topografico ST** in questo caso è pari a **1,2**

Report parametri sismici. La cava in esame risulta centrata dalle sottostanti coordinate geografiche, riferite a ED50:

latitudine: 36,809714 longitudine: 14,668722 Classe: 2 Vita nominale: 50		
Siti di riferimento		
Sito 1 ID: 50967	Lat: 36,8291Lon:	14,6102 Distanza: 5636,117
Sito 2 ID: 50968	Lat: 36,8285Lon:	14,6724 Distanza: 2111,390
Sito 3 ID: 51190	Lat: 36,7785Lon:	14,6716 Distanza: 3483,
Sito 4 ID: 51189	Lat: 36,7792Lon:	14,6094 Distanza: 6279,618
Parametri sismici		
Categoria sottosuolo:	C	
Categoria topografica:	T2	
Periodo di riferimento:	50 anni	
Coefficiente cu:	1	

Operatività (SLO)			
Probabilità di superamento:	81 %		
Tr:	30 [anni]		
ag:	0,027 g		
Fo:	2,456		
Tc*:	0,211 [s]		
Danno (SLD):			
Probabilità di superamento:	63 %		
Tr:	50 [anni]		
ag:	0,037 g		
Fo:	2,540		
Tc*:	0,253		
Salvaguardia della vita (SLV):			
Probabilità di superamento:	10 %		
Tr:	475 [anni]		
ag:	0,139 g		
Fo:	2,371		
Tc*:	0,431		
Prevenzione dal collasso (SLC):			
Probabilità di superamento:	5 %		
Tr:	975 [anni]		
ag:	0,205 g		
Fo:	2,379		
Tc*:	0,478		
Coefficienti Sismici			
SLO	SLD	SLV	SLC
Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,410
Cc: 1,760	Cc: 1,650	Cc: 1,390	Cc: 1,340
St: 1,200	St: 1,200	St: 1,200	St: 1,200
Kh: 0,010	Kh: 0,013	Kh: 0,060	Kh: 0,097
Kv: 0,005	Kv: 0,007	Kv: 0,030	Kv: 0,049
Amax 0,479	Amax 0,648	Amax 2,451	Amax 3,405
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240	Beta: 0,280

Nella fig. sottostante la sintesi dei principali parametri sismici di calcolo

Cerca Posizione

Via n°

Comune Cap

Provincia

Coordinate WGS84

Latitudine °

Longitudine °

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84

Lat. 36.808640 ° Long. 14.667906 °

(1)* Coordinate ED50

Lat. 36,809714 ° Long. 14,668722 °

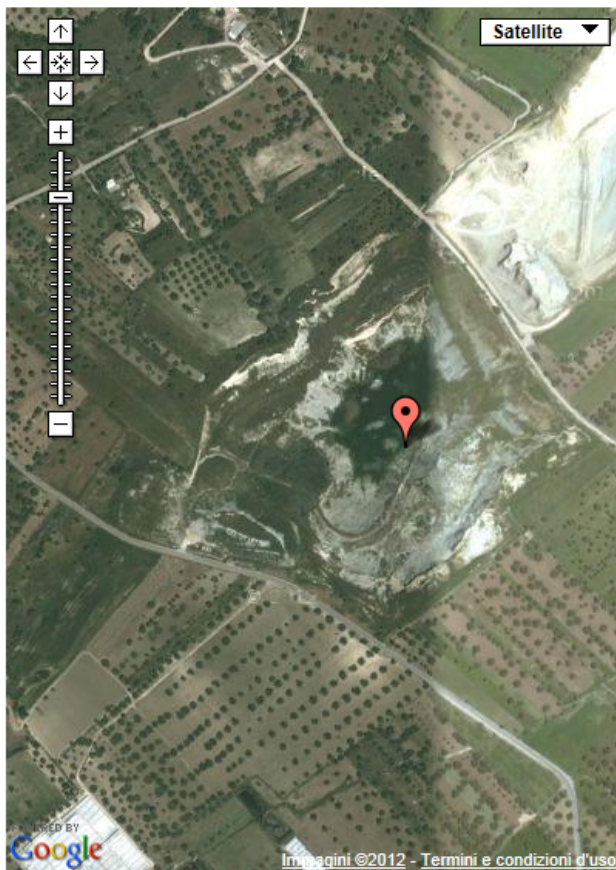
Classe dell'edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e s

Vita nominale

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

Interpolazione



36.80864, 14.667906

 Visualizza vertici della maglia di appartenenza


Stato Limite	Tr [anni]	a ₀ [g]	F ₀	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,027	2,456	0,211
Danno (SLD)	50	0,037	2,540	0,253
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,139	2,371	0,431
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,205	2,379	0,478
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno
 Paratie
 Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo


Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,41
Cc * Coeff. funz categoria	1,76	1,65	1,39	1,34
St * Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,010	0,013	0,060	0,097
kv	0,005	0,007	0,030	0,049
Amax [m/s ²]	0,479	0,648	2,451	3,405
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 41

Parte III

ANALISI DELLA STABILITA' DEI FRONTI DI CAVA (NTC 2008)

3.1) GENERALIATA'

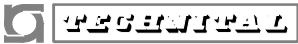
Lo stato di abbandono in cui versa la cava da lungo tempo, ha agevolato la rapida azione di degrado geomeccanico dei terreni affioranti, che, laddove si è avuta la concomitante azione sfavorevole di debolezze litotecniche nella massa marnosa-argillosa e delle condizioni meteo-climatiche, soprattutto con la azione delle acque selvagge, ha fatto sì che le pendenze topografiche dei versanti risultassero eccessive per evitare che masse argillose plasticizzate, più o meno superficiali, scivolassero verso il fondo cava, con movimenti roto-traslazionali.

Tali fenomeni sono molto evidenti laddove l'orizzonte di *essiccamento* ha raggiunto spessori metrici.

Un diverso cinematismo è stato rilevato dove affiorano terreni marnosi stratificati e a consistenza litoide, dove il degrado e l'alterazione superficiale ha inciso sullo stato di fratturazione e fessurativo, con conseguenti rilasci per crollo ed accumuli al piede del materiale.

Ciò è stato accertato lungo il versante NE e in parte su quello di SW dove il bordo superiore è soggetto a tali fenomeni e quindi da considerare in arretramento continuo. Relativamente alla forma e posizione delle superfici di scorrimento dei dissesti pregressi sono rappresentati nella cartografia geologica

La valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti di cava sono state riferite alle sezioni geotecniche appositamente redatte e rappresentative delle situazioni di maggiore criticità; precisamente si tratta delle Sez. B, sez. D, sez. 14 e sez. 11.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 42

Il calcolo è stato effettuato secondo quanto previsto dalla nuova normativa sismica (N.T.C. 2008) con lo scopo di accertare i cinematismi di collasso effettivi e potenziali.

Una volta acquisiti tutti i parametri geotecnici, sismici ed il dettaglio planometrico, con il calcolo sono state dapprima verificate le condizioni esistenti dei versanti artificiali e laddove questi davano risultati insufficienti, sono stati riesaminati alla luce di interventi di sistemazione per la messa in sicurezza, cosicchè la verifica, nel contempo, serve a vagliare l'efficacia della scelta progettuale.

Nei tratti di versanti in cui gli interventi di risagomatura prevedono arretramenti del profilo mediante scavi, questi sono stati valutati attraverso le condizioni a breve termine. Tali verifiche a breve termine sono state omesse per lo stato di fatto in quanto superate dall'ampio lasso di tempo intercorso dallo scavo.

Le verifiche sono state pertanto eseguite per il lungo termine utilizzando i parametri geotecnici efficaci, con l'accortezza di analizzare oltre al versante nella sua globalità i singoli tratti di esso in cui la sistemazione prevede nuove gradonature.

Dalle verifiche sono stati esclusi i tratti di versante in cui affiora l'ammasso roccioso calcareo, che sebbene con pendenza subverticale, mostra ottime condizioni di stabilità in virtù del suo assetto geostrutturale e geomeccanico.

Complessivamente sono state elaborate 24 verifiche di stabilità di cui 6 riferite alle condizioni attuali e le rimanenti allo stato di progetto.

3.2) PROCEDIMENTO DI CALCOLO

Secondo le NTC 2008, il livello di sicurezza di un versante è espresso, in generale, come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale. La verifica, viene condotta agli stati limite ultimi, tenendo conto dei prescritti coefficienti parziali di sicurezza per le azioni (γ_F), per i parametri geotecnica (γ_M), e per le resistenze (γ_R).

In ogni caso occorre che sia sempre rispettata la condizione: $Rd \geq Ed$

- ***Rd*** resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di scorrimento, valutata con parametri caratteristici
- ***Ed*** sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento, sotto l'azione dei carichi.

Il margine di sicurezza è inteso come rapporto Rd / Ed tra la resistenza e l'azione di progetto:

$$F_s = Rd/Ed \geq 1$$

Per la verifica tipo *GEO*, (non essendo presenti elementi strutturali quella tipo *STR* non è considerata) si utilizza:

-APPROCCIO 1 – Combinazione 2: (A2+M2+R2):

Tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali calcolati, ai sensi delle NTC 2008 che di seguito si riassumono

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi Effetto</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti Favorevole γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti Sfavorevole γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili Favorevole γ_{Qsfav}	0,00	0,00

Variabili Sfavorevole γ_{Qfav}	1,00	1,00
---------------------------------------	-------------	-------------

In questo caso sono presenti solo carichi variabili

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,25
Resistenza non drenata γ_{cu}	γ_{cu}	1,40
Resistenza a compress.uniaas.	1,00	
Peso dell'unità di volume	γ_G	1,00

Nella tabella aseguire si riportano i coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo:

Coefficiente	R2
γ_R	1,1

Nella verifica in condizioni sismiche con metodo il pseudostatico l'azione sismica e rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal piu basso valore del coefficiente di sicurezza FS , definito come sopra

Nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLU dinamico ossia SLV) le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica si ricavano da:

$$F_h = K_h \times W$$

$$F_v = K_v \times W$$

- F_h e F_v rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza
- d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- W = peso concio
- K_h e K_v = coefficienti sismici orizzontale e verticale già definiti nei paragrafi Precedenti (valutazione dell'azione sismica).

Nel caso del sito in esame per SLV sono pari a

$$K_h = 0,060$$

$$K_v = \pm 0,030$$

Inoltre considerato che in prossimità dello scavo possano transitare occasionalmente mezzi di lavoro, si è tenuto in debito conto della presenza di carichi variabili **Q** dovuti al transito dei mezzi di lavoro; sulla pista di servizio, immettendo un valore di **230 tonn** su una striscia di larghezza pari a 4,0 mt e di un valore di $Q = 77 \text{ ton}$ sulla pista a quota più alta in quanto rappresenta solo una via di fuga. Il sovraccarico **Q** viene caratterizzato attraverso il coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_{Qk1} = 1,3$ ottenendo il valore da inserire nel calcolo di verifica e rispettivamente pari a $Q_k = 1,3 \times 27 = 300 \text{ kpa}$ per il gradone di servizio e $Q_k = 100 \text{ kpa}$ per la via di fuga

Per quanto riguarda i parametri di progetto delle **UG** sono riassunti nella tabella riportata a seguire:

Unita'	Parametri geotecnici di progetto	
UNITA' GEOTECNICA (Superficiale)	$C'_d = 15,0 \text{ kpa}$	Coesione eff.
	$\varphi'_d = 21^\circ$	Ang. attr. int. eff.
	$G = 1,75 \text{ Ton/mc}$	Peso volume
UNITA' GEOTECNICA A (UGA)	$Cu_d = 106 \text{ kpa}$	Coesione non drenata.
	$C'_d = 20, \text{kpa}$	Coesione eff
	$\varphi'_d = 21^\circ$	Ang. attr. int. eff.
UNITA' GEOTECNICA B (UGB)	$G = 1,83 \text{ Ton/mc}$	Peso volume
	$Cu_d = 190 \text{ kpa}$	Coesione non drenata.
	$C'_d = 60 \text{ kpa}$	Coesione eff
UNITA' GEOTECNICA C (UGC)	$\varphi'_d = 13^\circ$	Ang. attr. int. eff.
	$G = 1,83 \text{ Ton/mc}$	Peso volume
	$C'_d = 200 \text{ kpa}$	Coesione eff
UNITA' GEOTECNICA C (UGC)	$\varphi'_d = 30^\circ$	Ang. attr. int. eff.
	$G' = 2,2 \text{ Ton/mc}$	Peso volume

Per il materiale di riporto da utilizzare nelle stabilizzazione si ha

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 46

$\phi'_d = 20^\circ$ (*ang. attrito interno*); $c'_d = 18$ kpa (*coesione efficace*)

3.3) CALCOLO DI STABILITA'

Le verifiche sono eseguite attraverso il programma di calcolo “STED - STABL6H”, con il metodo di *Jambu modificato* e superfici di scivolamento circolari.


I dati da inserire nel programma sono :

- *profilo topografico, attraverso le coordinate dei segmenti costitutivi riferite ad un sistema di assi cartesiani, coordinate della stratificazione*
- *stratificazione geotecnica con i valori di progetto dei parametri geotecnici*
- *posizione dei carichi la cui intensità deve essere già ridotta attraverso i coeff. Parziali*
- *coefficiente sismico orizzontale e verticale*
- *punti di emergenza alla base delle superfici di scivolamento e tratto sommitale da cui prendono origine - per ognuno di essi sono stati esaminate un numero di potenziali superfici di instabilità comprese tra 30 e 50, in relazione alla geometria del problema*
- *definizione della larghezza del concio (stabilità di sezione in sezione in relazione geometria del problema)*

Tutti i dati geometrici devono essere inseriti in ordine crescente da sinistra verso destra, per cui alcune sezioni di verifica risulteranno ribaltate rispetto all'estremità opposta del medesimo profilo che le comprende entrambe.

Vengono così esaminate tutte le superfici di instabilità potenziale programmate e visualizzate in una prima schermata, identificando tra tutte quella più sfavorevole in assoluto e visualizzando inoltre, in una successiva schermata, le dieci con il fattore di sicurezza più basso.

Di ognuna di queste dieci superfici viene definito il numero dei conci in cui è suddivisa la superfici, la loro base ed l'altezza, le coordinate del centro del cerchio e l'angolo sotteso, oltre chiaramente al valore del coefficiente di sicurezza F_s .

 GENERAL	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 47

Il fattore di sicurezza ottenuto, deve essere ulteriormente, diviso per il coefficiente $\gamma_R = 1,1$ e relativo a **R2** della combinazione NTC 2008 :

$$F_s = (R_d / E_d) / R_2$$

Ciò significa che sono stabili e verificate tutte quelle superfici che dal tabulato presentano un $F_s > 1,1$ poichè risulta **$R_d \geq E_d$**

Sono ritenuti accettabili valori dei coefficienti di sicurezza anche di poco superiori all'unità poichè trattasi di un livello di sicurezza crescente nel tempo, infatti con il proseguire dei lavori, quindi con il riempimento della cava, si andranno a creare condizioni di sicurezza più elevati sia perche si stabilizzano al piedi i versanti con l'abbancamento di materiali sia per una progressiva e contestuale diminuzione dell'altezza dei versanti

I risultati grafici delle verifiche sono sintetizzati attraverso due grafici di cui il primo è relativo a tutte le superfici di instabilità esaminate, ed il secondo alle dieci più instabili riportati su una base geotecnica.

Inoltre sono stati stampati i risultati analitici del calcolo e gli identificativi delle dieci superfici con il coefficiente di sicurezza più basso

Con riferimento alle SCHEDE DI VERIFICA GEOTECNICA allegate, si analizzano singolarmente la situazione delle varie sezioni

SEZIONE LONGITUDINALE B

Il **versante di NE** dove è stata effettuata una verifica nelle condizioni attuali (SCHEDE 1) dove sono state esaminate 200 superfici di potenziale scivolamento, emergenti nel tratto di fondo cava immediatamente seguente il piede del versante, ha fatto registrare i fattori di sicurezza tra i più bassi di tutta la cava.

 GENERAL	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 48

L'instabilità è praticamente risolta attraverso una diminuzione della pendenza del versante con la messa in posto di materiale di riporto a partire dalla base; infatti la verifica sulla sezione di progetto (SCHEDA 2) anche con la presenza contemporanea dei sovraccarichi, innalza il coefficiente di sicurezza minimo $F_s = 1,12$ cioè $>1,1=R2$.

Come già detto tale fattore di sicurezza, seppur esiguo, è destinato a crescere man mano che aumenta il volume di materiale abbancato al piede.

La gradonatura da eseguire nella parte alta del versante di NE conseguentemente alla stabilizzazione di progetto (gradonature e piste di servizio), presuppone uno scavo con altezza di circa 13 mt ed una inclinazione con rapporto di 1/1. La verifica di questo nuovo profilo di scavo è stata positiva sia a breve termine (SCHEDA 3) con un coefficiente minimo di sicurezza pari a $F_s=3,11$, comprensivo del coefficiente R2, che a lungo termine in condizioni drenate (SCHEDA 4) con un coefficiente minimo $F_s= 1,54$ che rapportato a R2 diventa 1,4

Il **versante di SW** nello stato attuale presenta alla sua sommità un accumulo di materiali di riporto provenienti da precedenti operazioni di cavatura. La verifica nelle attuali condizioni ha dato risultati negativi, (SCHEDA 5) tuttavia con la semplice rimozione del riporto ed un minimo rinforzo al piede con altro materiale riporto, si sono portati i $F_s \geq 1,12$ (SCHEDA 6) che nonostante rappresentino valori appena al di sopra delle condizioni di equilibrio limite, sono come detto per il versante opposto, condizioni iniziali che miglioreranno via via con il progredire dei lavori.

SEZIONE LONGITUDINALE D

In questa sezione la verifica di stabilità nelle condizioni attuale è stata effettuata soltanto sul versante SW poiché il **versante di NE** mostra già evidenti segni di instabilità. Motivo per cui si è proceduto alla sua sistemazione con una profilatura che prevede tre gradoni, che comportano, oltre ad una diminuzione della pendenza complessiva, un alleggerimento del pendio nella parte di monte ed un rinforzo al piede

 TECNOLOGIA	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 49

Dei tre gradoni, solo quello in basso è realizzato attraverso la messa in opera di materiale riporto mentre i due in alto sono realizzati operando tagli sul versante.

La verifica del 1 gradone (SCHEDA 7) che sorregge la pista di esercizio è risultata abbondantemente in sicurezza con un fattore minimo $Fs=1,51/ = 1,37$ comprensivo dei sovraccarichi di progetto

I due tagli previsti nella parte alta del versante sono stati sottoposti a verifiche di stabilità a breve termine. In particolare, lo scavo nel secondo gradone intermedio (SCHEDA 8) alla cui sommità è stato inserito il carico della pista utilizzabile come via di fuga, risulta stabile con valori del coefficiente di sicurezza intorno a 3 .

Analoga condizione è stata accertata per il taglio da operare a partire dalla sommità del versante (SCHEDA 9) che a breve termine ha evidenziato le condizioni migliori con minimi $Fs = 3,77/R2 = 3,42$.

La verifica globale (SCHEDA 10) comprendente ambedue le situazioni precedenti, nel lungo periodo è risultata abbondantemente stabile con $Fs= 1,51/R2 = 1,37$

Il **versante** posto a **SW** della stessa sezione, nella verifica allo stato di fatto (SCHEDA 11), sia pure di poco, non risulta soddisfare i parametri della stabilità.

Con l'intervento di stabilizzazione effettuato sostanzialmente, con un rinforzo di materiali di riporto lungo tutto il pendio e soprattutto al piede, e l'asportazione del seppur esiguo materiale terroso accatasto alla sua sommità, si sono migliorate le condizioni di stabilità (SCHEDA 12) sino ad esser più che accettabili rappresentati ad un fattore di sicurezza minimo $Fs=1,21/R2 =1,1$

SEZIONE TRASVERSALE 14

In questa sezione è stato attenzionato il **versante di SE** costituito da due enormi gradonature con scarpate molto inclinate, corrispondenti il primo alla scarpata che delimita la pista di accesso alla fossa ed il secondo ad un ripieno residui dell'attività di coltivazione della cava.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 50

Le verifiche dello stato di fatto, hanno dato per entrambe, valori inferiori all'unità.

La prima sezione di verifica ha riguardato il secondo gradone posto a quota più alta e con pendenza maggiore, che termina nel confine SE, in prossimità del quale è stato eseguito il sondaggio meccanico (SCHEDA 13). Qui è stata rilevata una forte instabilità rivelata da bassi rapporti tra le forze resistenti e quelle destabilizzanti, anche se le superfici più instabili sono abbastanza superficiali.

Anche il primo gradone, a quota più bassa sebbene con una inclinazione minore ha fatto registrare condizioni instabili anche se di poco al di sotto delle condizioni di equilibrio limite (SCHEDA 14). , risolta con interventi di ulteriore gradonatura e rinforzo al piede.


Utilizzando il nuovo profilo scaturito dalla sistemazione di progetto attraverso scavi e rinterri, ed inserendo i sovraccarichi dovuti ai mezzi di lavoro sono state rielaborate le verifiche di stabilità riguardanti sia il versante nella sua globalità (SCHEDA 15) che le due gradonature (SCHEDA 16 e SCHEDA 17).

Dai risultati emergono condizioni di sicurezza buone per le verifiche parziali ed appena sufficienti per il versante, tuttavia si ritengono più che accettabili anche quest'ultimi in virtù di quanto detto prima.

La verifica a breve termine del gradone più alto (SCHEDA 18), dove da progetto è previsto uno scavo di 13 mt di altezza, ha fatto registrare coefficienti di sicurezza elevati e dello stesso ordine di quelli dello scavo sul versante NE. Risultato pressoché scontato se si considera che la riprofilatura è stata eseguita con la medesima pendenza di 1/1($\approx 40-45^\circ$).

Il **versante di NW** della sezione non è stato preso in esame ai fini della stabilità in quanto costituito quasi interamente da affioramenti calcarei non soggette a instabilità

SEZIONE TRASVERSALE 11

 INGENIERIA	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 51

Il **versante SE** della sezione 11, rappresenta la prosecuzione verso SW del versante esaminato nella sez.14. Pertanto permanendo anche le medesime condizioni geotecniche e geostratigrafiche si suppone, prudenzialmente che si mantengano le medesime condizioni di stabilità, cosicché la verifica dello stato di fatto viene omessa.

Vengono invece dettagliate le verifiche sul profilo di progetto rimodulato tramite scavi e rinterri, mantenendo sempre le pendenze già imposte nelle precedenti sezioni.

Sottoponendo ad analisi il versante nella sua globalità (SCHEDA 19) e mettendo in conto i sovraccarichi di progetto, sono emerse condizioni di tutta tranquillità con un fattore minimo di sicurezza $Fs=1,21/R2 = 1,1$ e relativo ad una superficie di scivolamento molto profonda

Le verifiche parziali fatte sia sul gradone alto (SCHEDA 20) che su quello inferiore della pista di lavoro (SCHEDA 21) hanno evidenziato la bontà degli interventi di stabilizzazione con coefficienti minimi delle superfici maggiormente instabili superiori all'unità.

Condizioni di stabilità nettamente migliore di rilevano sul taglio da realizzare sul versante alto (SCHEDA 22) in condizioni di sforzi totali, con fattore di sicurezza minimo pari prossimo a 3

Sul **versante di NW** opposto al primo è stata eseguita una verifica sullo stato attuale (SCHEDA 23), e nonostante sia già stato interessato da un movimento franoso, di tipo superficiale, che ha messo a nudo la parte alta della superficie di scivolamento, e quindi si potrebbe ipotizzare che siano instaurati condizioni di equilibrio, l'analisi ha evidenziato che in prossimità della gradinata tettonica sepolta del substrato roccioso, è possibile che si creino superfici di instabilità, in condizioni sismiche.

Con l'intervento la realizzazione degli interventi di progetto le condizioni di stabilità sono verificate (SCHEDA 24), anche in presenza dei carichi esterni.

	Rev. 1	Data Settembre 2012	El. A18-9-trunc102	Pag. n. 52

3.4) – VALUTAZIONI GEOAPPLICATIVE

Allo stato attuale il fondo cava è occupato da un ristagno di acque di origine meteoriche, accumulate nel corso degli anni di inattività della cava, che testimoniano un bilancio *afflussi meteorici/evaporazione* a favore dei primi, nonostante i modesti valori annui di precipitazioni che si registrano in questa fascia di territorio.

Lo spessore del corpo idrico non dovrebbe essere superiore ad un paio di metri, e la sua costante persistenza ha fatto sì che si sia sviluppata una diffusa vegetazione idrofila.

Lo svuotamento rapido, potrebbe provocare, lungo il piede dei versanti circostanti, smottamenti a carico degli orizzonti superficiali, in quanto verrebbe la spinta dell'acqua che mantiene l'attuale equilibrio.

Pertanto lo svuotamento verrà effettuato in contemporanea ai lavori di formazione dello strato drenante previsto in progetto.

In particolare ai fini di una buona rappresentazione il fronte di scavo attuale e di progetto è stato discretizzato in due diversi settori, ognuno dei quali è risultato in condizioni di stabilità favorevole sia allo scivolamento dei piani, dei cunei e al ribaltamento, in quanto non vi sono vettori dei piani di frattura rilevati, linee d'intersezione e poli perpendicolari ai piani, ricadenti all'interno dei campi d'instabilità.

Tale situazione si è verificata sia analizzando l'intero fronte di scavo, che parzialmente il singolo gradone di scavo.

Di conseguenza, in base alle considerazioni sopra espone, si ritiene che per la cava in oggetto non vi siano problematiche connesse alla stabilità dei fronti di scavo per i quali si rendono necessarie solamente nel corso dell'escavazione, le sole operazioni di controllo finalizzate ad accertare la presenza di massi pericolanti ed eventualmente le operazioni di disgiungimento di quest'ultimi.