

Ingegnere Giuseppe Picone
Studio Tecnico D'Ingegneria,

C.da PERCIATA, snc - NICOSIA (EN)
Cell. 3286266838 - e-mail piconegiuseppe@wind.it



*Provincia Regionale
di Ragusa*

VII Settore - Servizi alla Viabilità,
Concessioni e Espropriazioni

OGGETTO: "eliminazione viziosità in alcuni tratti della S.P. n. 62
Bivio Maltempo - Bivio Giarratana"

allegato N.

R05

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

IL R.U.P.
Geom. Rosario Massari

IL PROGETTISTA
Ing. Giuseppe PICONE

DATA: Agosto 2013



PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA

Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile
10° Settore Geologia e Geognostica

Oggetto: ELIMINAZIONE VIZIOSITÀ IN ALCUNI TRATTI
DELLA S.P. 62
BIVIO MALTEMPO – BIVIO GIARRATANA

7° Settore

Servizi alla Viabilità, Concessioni, Espropriazioni

RELAZIONE GEOLOGICA

I Geologi

(dott. Giuseppe Alessandro)

(dott. Giuseppe Scaglione)



V. II Dirigente 10° Settore
(Dott. Geol. S. Buonmestieri)

INDICE

PREMESSA	pag.	1
LINEAMENTI TETTONICO-STRUTTURALI	pag.	3
CARATTERISTICHE SIMICHE DEL PLATEAU IBLEO	pag.	4
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E MORFO-STRUTTURALI	pag.	6
INDAGINI GEOGNOSTICHE	pag.	11
MODELLO SISMICO DEL SITO	pag.	14
CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA	pag.	21
VALORI CARATTERISTICI E DI PROGETTO	pag.	25
VERIFICA CINEMATICA	pag.	26
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	pag.	31

PREMESSA

Nell'ambito degli interventi di competenza dell'Amministrazione Provinciale e della collaborazione tra i servizi tecnici interni all'Ente, in riscontro alla nota prot. n°0045977 dell'11/10/2012 trasmessa dal 7° Settore – Servizi alla Viabilità, Concessioni, Espropriazioni, questo 10° Settore - Geologia e Geognostica ha proceduto alla realizzazione di una campagna di indagini geognostiche dirette e indirette in sito, con l'utilizzo delle attrezzature e del personale assegnato a questo settore, nonché alla redazione dello studio geologico a corredo del progetto: “Eliminazione viziosità in alcuni tratti della S.P. 62 Bivio Maltempo – Bivio Giarratana”, nel rispetto di quanto previsto nella normativa tecnica vigente.

I tratti in questione sono stati denominati A e B e presentano rispettivamente una lunghezza di circa 835 e 905 metri. Il progetto prevede l'eliminazione di viziosità attraverso dei leggeri allargamenti dei tratti rettilinei, un addolcimento di alcune curve esistenti e una risagomatura del versante localizzato in prossimità della terminazione nord est del tratto B.

Nella presente relazione sono illustrati lo schema geologico, geomorfologico, idrogeologico e litostratigrafico, così come dedotto dai rilevamenti di superficie estesi a un'area significativamente più ampia.

Sono state analizzate e sintetizzate, altresì, le caratteristiche sismiche e litotecniche del sottosuolo di fondazione, desunte dai risultati di una campagna di indagini geognostiche dirette e indirette. In particolare, sono state effettuate: n° 2 perforazioni a carotaggio continuo; n° 2 serie di misure sismiche di superficie, attive e passive acquisite con tecnica tipo MASW 1D; n° 2 stazioni geostrutturali con sclerometro elettronico Digital Test Hammer.

Lo studio è stato eseguito nel rispetto del D.M. 11/03/1988, del D.M. 28/01/2008 (NTC 2008) e della successiva circolare esplicativa n. 617 del 02/02/2009.

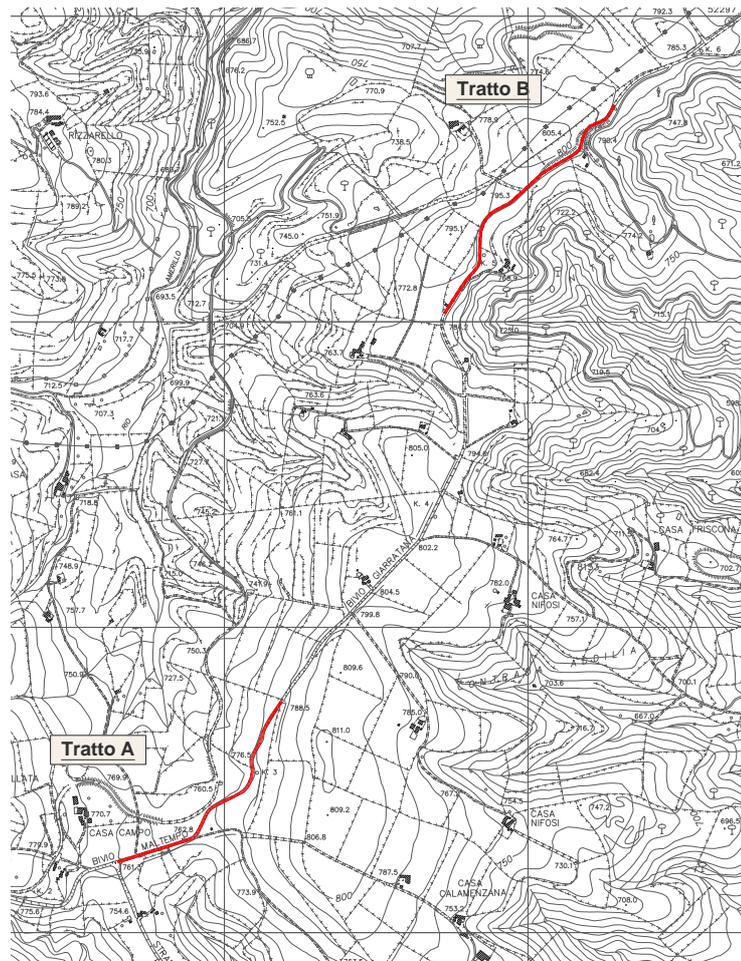
L'area in esame ricade nella parte centrale del foglio 273 della Carta d'Italia, tavoletta “GIARRATANA” II S.O. e nelle Tavv. 645130 e 645140 della C.T.R. con coordinate geografiche e quote altimetriche approssimativamente comprese tra le seguenti terne di valori:

Tratto A

Terminazione	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Quota (m s.l.m.)
OSO	37,021049	14,737576	762
ENE	37,024985	14,742892	788

Tratto B

Terminazione	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Quota (m s.l.m.)
SO	37,037238	14,749510	784
NE	37,043391	14,755794	790

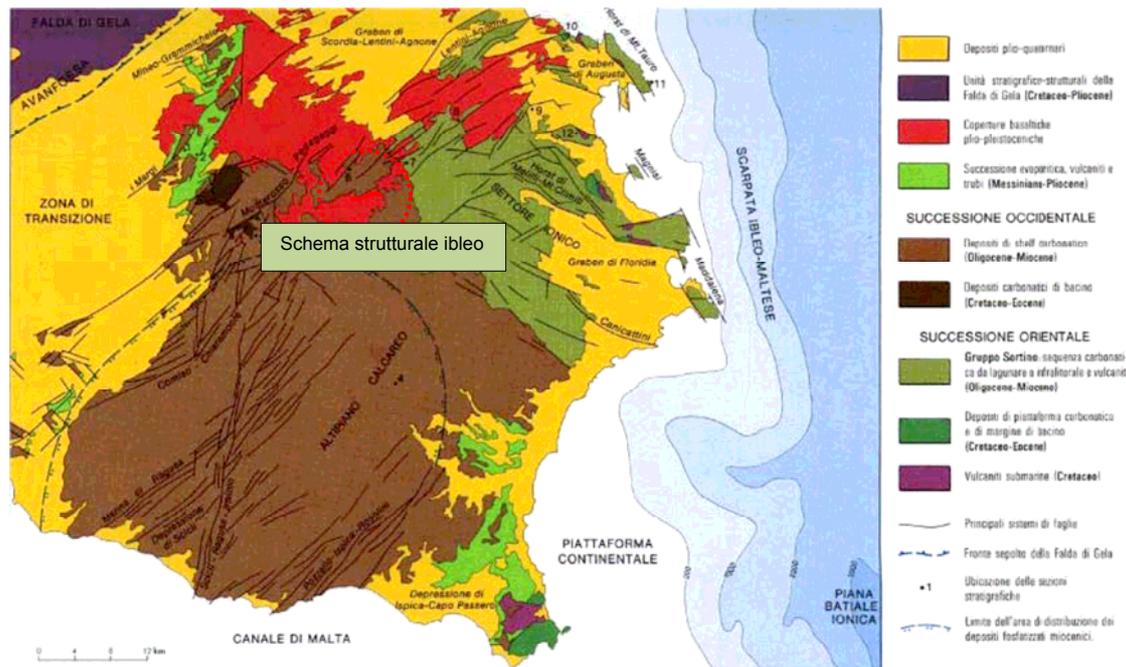


Area d'intervento - Scala 1 : 25.000

LINEAMENTI TETTONICO-STRUTTURALI

A scala regionale, nella struttura geologica della Sicilia si distinguono tre principali elementi: la Catena settentrionale Appennino-Maghrebide, l'Avanfossa Gela-Catania e l'Avampese Ibleo (Lentini & Vezzani, 1978). Secondo questo schema, l'area in esame ricade sull'Avampese Ibleo, l'attuale margine emerso della placca africana, dove si distinguono una zona centro-orientale, l'Altopiano calcareo, e una zona occidentale, detta Zona di Transizione o di Avanfossa esterna.

A grandi linee, l'Altopiano calcareo ha la struttura elevata di un Horst, allungato in senso NE-SO, i cui margini orientale e occidentale sono delimitati, rispettivamente, dal sistema di faglie Pozzallo - Ispica - Rosolini e dal sistema di faglie Comiso-Chiaramonte.

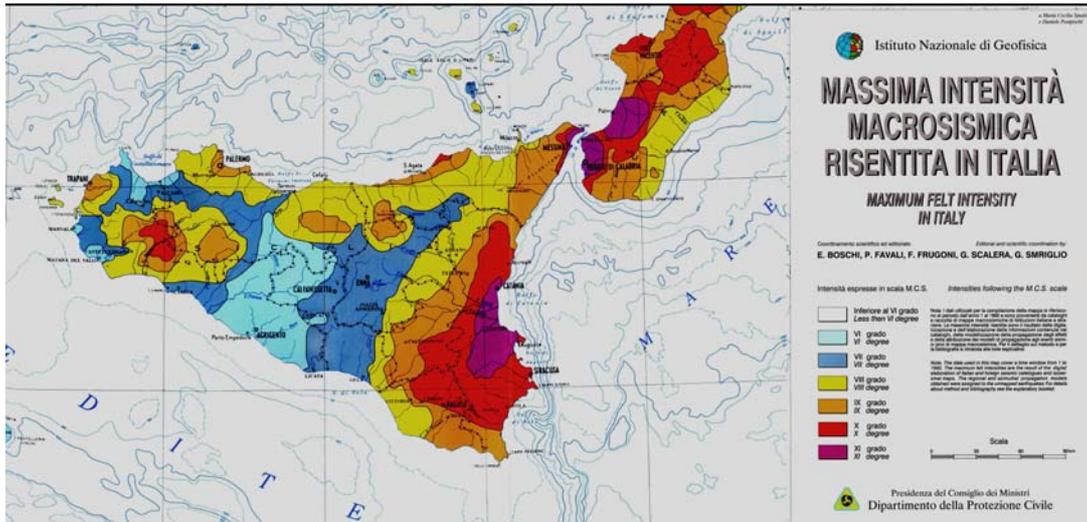


Schema geologico-strutturale degli Iblei

Questi sistemi di faglie producono un motivo strutturale a gradinata (*en echelon*) con il quale l’altopiano ragusano si raccorda a Ovest alla pianura vittoriese e ad Est alla Depressione di Ispica–Capo Passero. Pertanto, le formazioni carbonatiche iblee sprofondano progressivamente, a Ovest, di sotto ai sedimenti plio-quadernari della piana di Vittoria – Gela, dove raggiungono spessori di alcune migliaia di metri, e a Est al di sotto dei sedimenti plio-quadernari della Depressione di Ispica – Capo Passero, dove gli spessori sono molto più esigui. Il plateau ibleo, oltre a fenomenologie tettoniche disgiuntive di tipo distensivo, è anche interessato da componenti trascorrenti destre. In definitiva, tale struttura può essere considerata come un sistema di tipo transtensivo. In tale contesto, l’area in esame ricade all’interno del settore settentrionale dell’altopiano calcareo ibleo.

CARATTERISTICHE SISMICHE DEL PLATEAU IBLEO

L’analisi e l’elaborazione statistica dei dati sismici desunti dai terremoti di massima intensità, avvenuti in Italia negli ultimi duemila anni, hanno avuto come risultato la pubblicazione, nel corso di due decenni, da parte di ENEL, CNR, GNDT, INGV, di una serie di mappe di zonazione del rischio sismico nazionale, ai fini della protezione civile e dei criteri di progettazione tecnica in zona sismica, che vedono la Sicilia come una delle regioni d’Italia in cui si ha la maggiore probabilità di terremoti di elevata intensità macrosismica e magnitudo.

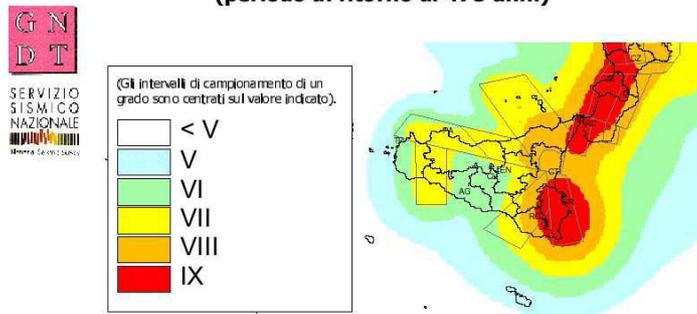


In particolare, il settore della Sicilia sud-orientale è quello dove sono state stimate le massime intensità macrosismiche con i terremoti del 1169, 1693, 1818, tra il IX e l’XI grado MCS. Lo stesso settore si presenta come una delle zone d’Italia in cui si ritiene vi sia la maggiore probabilità di terremoti di elevata intensità macrosismica e magnitudo, specialmente per periodi di ritorno maggiori di 100 anni.

CARTE DI PERICOLOSITA' SISMICA 1999

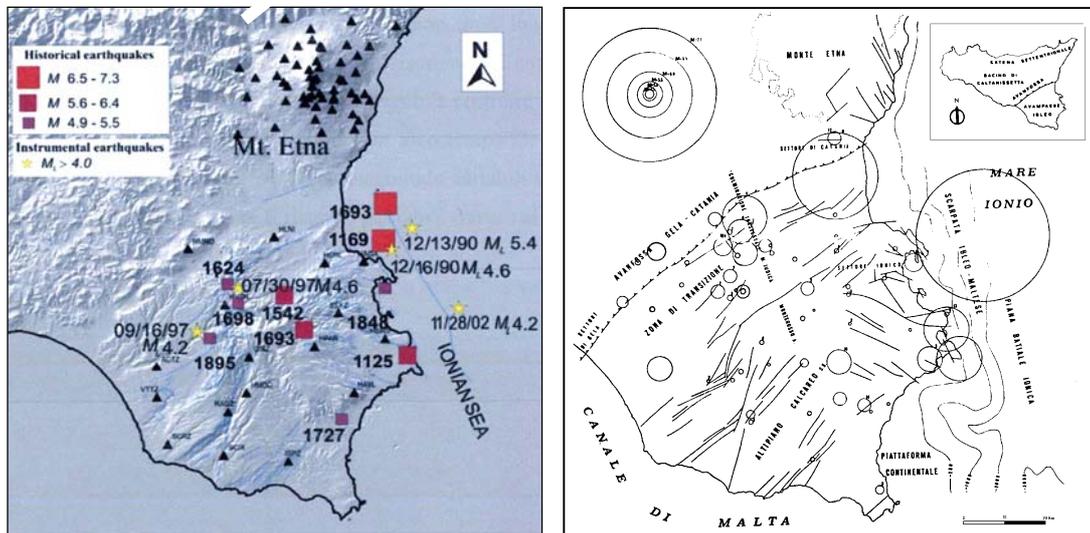
D. Albarello, V. Bosi, F. Bramerini, A. Lucantoni, G. Naso, L. Peruzza, A. Rebez, F. Sabetta, D. Slejko

Valori di intensità MCS con una probabilità di superamento del 10 % in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni)



La causa della sismicità degli Iblei è da ricercare nel suo assetto geologico - strutturale, configurandosi l’altopiano come area di Avampaese, in cui la distribuzione degli epicentri dei terremoti ricade lungo i principali sistemi di faglie che lo interessano, quindi lungo la Scarpata Ibleo-Maltese nel margine ionico, la Linea di Scicli e le strutture tettoniche che delimitano i margini settentrionale e meridionale.

Nel dettaglio, la distribuzione degli epicentri dei terremoti a magnitudo $M_{max} = 4,9 \div 5,5$ è più addensata verso il margine occidentale del plateau ibleo ed è contrapposta a quella degli epicentri dei terremoti di massima intensità che ricadono nel settore ionico tra Catania ed Augusta, dove la magnitudo stimata è $M_{max} = 6,5 \div 7,3$ (1169, 1693, 1818).



Distribuzione della sismicità negli Iblei

Specificatamente, nella zona di stretto interesse, le massime magnitudo locali, storiche e strumentali, sono comprese tra 5,6 e 6,4 e X grado MCS .

In generale, allo stato attuale delle conoscenze, si può mettere in risalto che lungo i margini meridionale e settentrionale del plateau ibleo non vi è evidenza di superficie di faglie di lunghezza di rottura (e/o riattivazione) dell'ordine di almeno 50 km, ipotizzata da Wells & Coppersmith (1994) per l'occorrenza di eventi di magnitudo maggiore di 6, circostanza invece ben documentata lungo la scarpata ibleo-maltese sulla costa ionica.

In ogni caso, comunque, non risultano studi specifici che attestino evidenze di attivazione paleosismica delle strutture del bordo sud-orientale e dell'altipiano calcareo, nell'intervallo da 15.000 anni al presente.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E MORFO-STRUTTURALI

Successioni litologiche

L'area di indagine è caratterizzata da terreni autoctoni di origine sedimentaria di età compresa fra il Miocene medio e il Quaternario. Il tracciato in esame risulta impostato sui litosomi medio-miocenici della formazione Ragusa che si presenta in tutto il percorso generalmente con giacitura suborizzontale (tratto A) e orizzontale (tratto B).

La successione litostratigrafica presente nell'area in esame può essere così riassunta, dal basso verso l'alto:

- ❑ Alternanza calcarenitico-marnosa (Membro Irminio - Formazione Ragusa)
- ❑ Alternanza marnoso-calcarenitica (Membro Irminio - Formazione Ragusa)
- ❑ Alluvioni fluviali terrazzate

Alternanza calcarenitico-marnosa - Litosoma centrale del Membro Irminio della Formazione Ragusa costituito da un'alternanza di strati calcarenitici duri, grigiastri, di spessore sui 40 - 60 cm e di strati marnosi di uguale spessore, teneri e di colore chiaro. Di età Burdigaliano, costituisce il sedime di fondazione dell'intero tratto A del tracciato.

Alternanza marnoso-calcarenitica - Litosoma apicale del Membro Irminio della Formazione Ragusa costituito da strati marnosi biancastri a frattura concoide di spessore metrico alternati a strati calcareo marnosi grigiastri di spessore sui 40 - 60 cm. Di età Burdigaliano superiore - Langhiano inferiore, costituisce il sedime di fondazione dell'intero tratto B del tracciato.

Alluvioni fluviali terrazzate - Costituite da ciottoli carbonatici arrotondati in abbondante matrice sabbiosa, generalmente arrossata, che raggiungono spessori di qualche metro. Non intercettano il tracciato e si ritrovano ai bordi dello stesso in corrispondenza della porzione sud occidentale del tratto A. L'età è Pleistocene medio - Olocene.

Caratteristiche Idrogeologiche

Nell'area in esame è presente un solo acquifero di grosse proporzioni: l'acquifero carbonatico dell'altopiano ibleo costituito dalle alternanze calcareo-calcarenitico-marnose della Formazione Ragusa. Il suddetto potente complesso calcareo, in cui ha sede tale acquifero, è comunque ben lungi dall'essere un'entità omogenea, presentando difatti, nel complesso, notevoli variazioni litologiche e stratigrafiche, sia nella successione verticale sia laterale, sia nell'ambito sia al di fuori dell'area in esame.

All'interno dell'area in esame, escludendo i depositi superficiali delle alluvioni fluviali terrazzate, i litosomi della F.ne Ragusa permeabili prevalentemente per fessurazione, costituiscono i litotipi su cui si localizza l'orizzonte acquifero. Questi litotipi presentano una permeabilità di tipo secondario caratterizzata da una forte trasmissività, favorita in alcuni livelli, da fenomeni carsici e ridotta, in altri, per la presenza di livelli marnosi. Alcuni orizzonti più prettamente calcarenitici, presentano anche una moderata permeabilità di tipo primario.

Sotto il profilo idrografico, considerato che ci troviamo vicino allo spartiacque superficiale tra i fiumi Irminio e Amerillo, l'area può essere considerata come una fascia di transizione idrografica tra i bacini dei due succitati fiumi.

In definitiva, la superficie piezometrica si ritrova generalmente a profondità tale, almeno 60 metri, da non interferire con i due tratti del tracciato. Tuttavia, non sono da escludere lievi fenomeni di infiltrazione di acque superficiali e/o presenza di acquiclude (acquiferi sospesi) di scarsa entità.

Caratteristiche morfo strutturali del tracciato

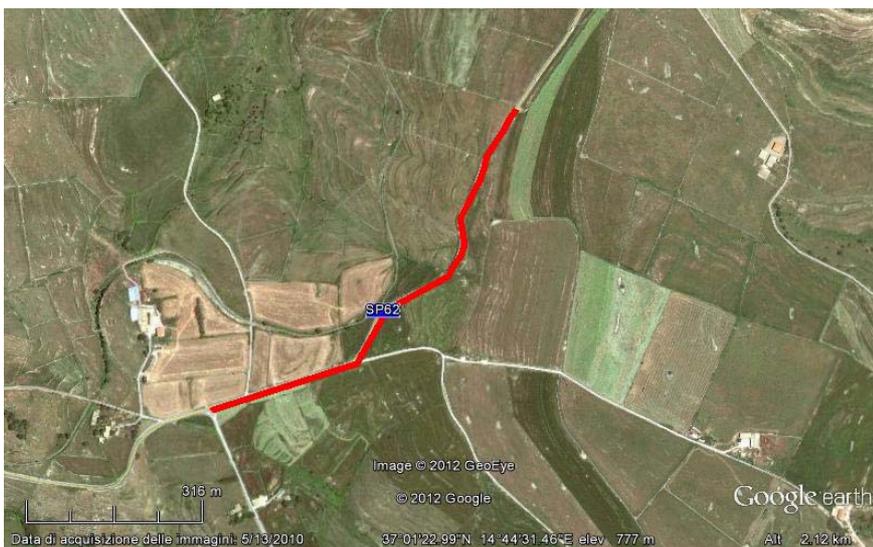
La morfologia di quest'area è direttamente connessa al diverso grado di erodibilità dei litotipi affioranti e agli eventi dislocativi che con la loro azione, hanno influenzato i caratteri evolutivi dell'area e le diverse forme presenti. Sotto il profilo strutturale la zona considerata risulta caratterizzata da uno stile tettonico rigido comprendente dislocazioni di tipo prevalentemente distensivo.

Tali dislocazioni si ritrovano quasi sempre associate ad altre, formando delle strutture tettoniche quali Horst, graben e disposizioni in echelon, coinvolgendo quasi esclusivamente terreni oligo - miocenici che, a contatto con le coperture pleistoceniche, perdono la loro evidenza, facendo supporre una fase tettonica distensiva di età tardo miocenica. Sulla base di ciò, si ritiene che l'esistenza di faglie possa determinare solamente un'area di debolezza strutturale dovuto ad un mero aumento delle condizioni fessurative dell'ammasso

Da un semplice esame della cartografia allegata è possibile notare che, all'interno dell'area di indagine, è presente un solo sistema di faglie avente direzione N-S, costituito da due faglie *en echelon* intersecanti centralmente il tratto A del tracciato.

Tratto A

Il tratto A risulta essere completamente impostato sul litosoma calcarenitico marnoso del Mb Irminio della F.ne Ragusa e presenta una pendenza media del 2 – 2,5 %. Procedendo da sud-ovest verso nord est, possiamo suddividere tale tratto in tre parti. La prima, lunga circa 270 metri, si presenta sostanzialmente pianeggiante e con giacitura degli strati orizzontale. La seconda parte del tracciato, lunga circa 235, intercetta le dislocazioni tettoniche prima citate e ha pendenze maggiori che sono comunque non superiori al 7 %. In questa zona, la giacitura degli strati presenta inclinazioni di circa 5 - 8° con direzioni di immersione da N10 E a N20W. Infine, l'ultima parte del tracciato, lunga circa 330 metri, ha pendenze inferiori al 4 %. In questa zona, la giacitura degli strati presenta direzioni di immersione circa N60W con inclinazioni di circa 3 - 6°.



Tratto A



Foto tratto A
prima parte



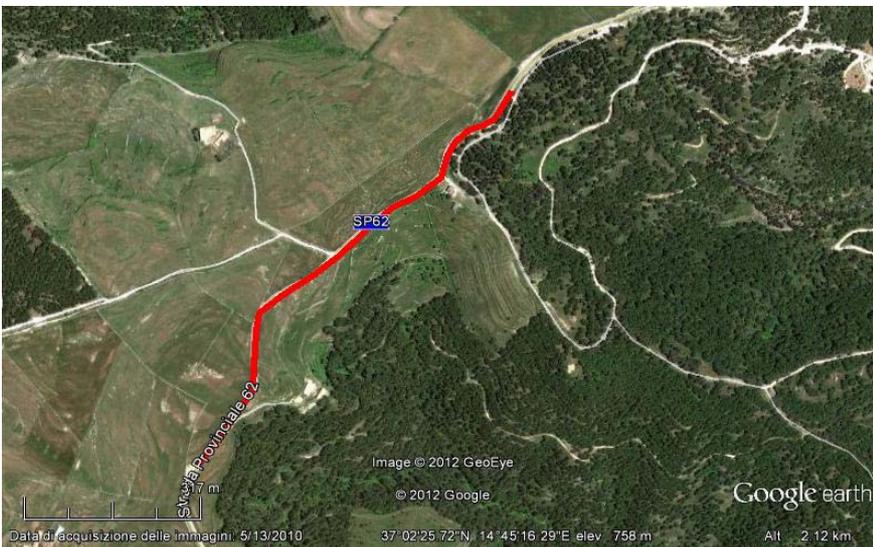
Foto tratto A
seconda parte



Foto tratto A
Parte terminale

Tratto B

Il tratto B risulta essere completamente impostato sul litosoma marnoso calcarenitico, livello apicale del Mb Irminio della F.ne Ragusa. Tutto il tracciato si sviluppa secondo una direzione SW – NE e si presenta sostanzialmente sub-pianeggiante con leggeri falsopiani in salita e in discesa. Le pendenze non superano mai il 3 % ad eccezione del tratto tra 170 e i 300 metri, procedendo da SW verso NE, in cui si ha una leggera salita (pendenza 6 %). Nel tratto in esame le giaciture degli strati si presentano sub orizzontali e non sono presenti dislocazioni tettoniche. Nella parte terminale del tracciato, procedendo da SW verso NE, il progetto prevede una risagomatura del versante roccioso con arretramento della sede stradale di circa 4 metri. Il versante si presenta in buone condizioni: giaciture sub orizzontali (leggero traverspoggio e reggipoggio) e prevalente fratturazione intrastratale.



Tratto B



Versante roccioso da risagomare

INDAGINI GEOGNOSTICHE

La campagna di indagini geognostiche, volta alla ricostruzione lito-stratigrafica del sottosuolo ed alla caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, è stata articolata in (vedi carta geologica):

- n. 2 perforazione a carotaggio continuo (S1 e S2) della profondità di 7,20 7,10 metri;
- n. 2 serie di misure sismiche di superficie tipo MASW (SW1 e SW2), con tecnica attiva e passiva;
- n. 2 set di prove sclerometriche in sito (Stazione 1 e 2);

Rinviando ai relativi allegati per il dettaglio delle prove, si sintetizzano nel prosieguo i principali risultati ottenuti.

Perforazioni di sondaggio meccanico a carotaggio continuo

È stata utilizzata una sonda semovente Mori S30, munita di testa idraulica avente coppia 10,2 kN e spintiro da 50 kN, argano con tiro da 12,7 kN.

Sondaggio S1

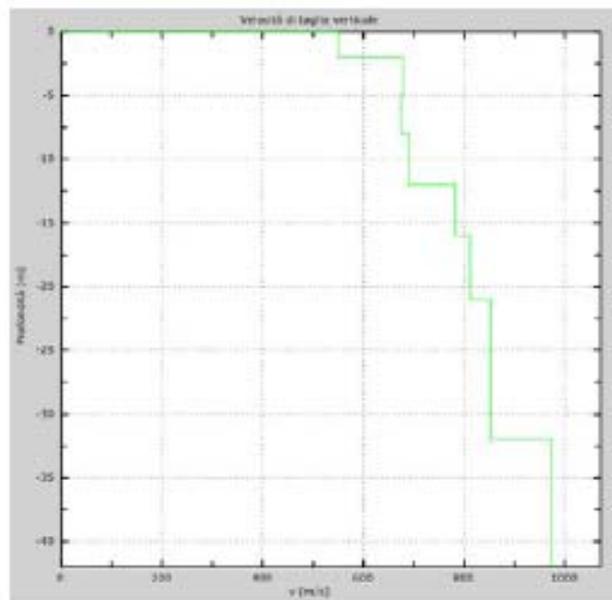
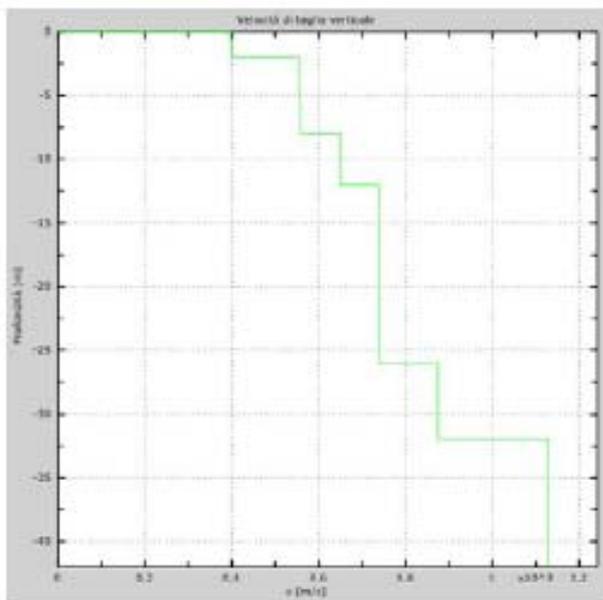
metri	Stratigrafia	Descrizione	Profondità'	Potenza	Perforazione [Bar. mm]	Carotiere	Rivestimento [mm]	Cassette	Campioni	Campionatore	S.P.T.				Carotaggio				R.Q.D.				Falda	Tubo per down-hole	
											10	20	30	40	20	40	60	80	20	40	60	80			
1		Materiale di sottofondo e terreno agrario	1.70	1.70				0.88																	
2		Altezza di calcari marnosi e marne calcaree di colore bianco giallastre, tenere, e di calcareniti biancastre, dure e ben cementate con stato di fratturazione fra 5,0 e 7,2 mt. di profondità	1.70																						
3																									
4						101.00			1																
5					5.50		Doppio (F&S)																		
6																									
7			7.20					5.60																	
								7.20																	

Sondaggio S2

metri	Stratigrafia	Descrizione	Profondità*	Potenza	Perforazione [diam. mm]	Carotiere	Rivestimento [mm]	Cassette	Campioni	Campionatore	S.P.T.				Carotaggio				R.Q.D.				Fakla	Tubo per down-hole
											10	20	30	40	20	40	60	80	20	40	60	80		
1		Alternanza di calcari marnosi e marne calcaree di colore bianco giallastre, tenere, e di calcareniti biancastre, dure e ben cementate						0.06																
2							127																	
3									1															
4				7.10		101.00	Doppio (T6S)																	
5																								
6																								
7				7.10					6.10															
								7.10																

Misure sismiche di superficie tipo MASW

Al fine di stimare le velocità delle onde di taglio V_S nei primi 30 metri di profondità (V_{S-30}), sono state acquisite n. 5 registrazioni sismiche ad impatto (MASW attiva) e n. 5 registrazioni del microtremore (MASW passiva), utilizzando un sismografo OYO Das-1, A/D 24 bit, 24 canali e lo stendimento di 24 geofoni verticali SET da 4,5 Hz.



SW1 - SW2 PROFILO 1D VS OTTENUTO DAL PROCESSO DI INVERSIONE MASW 1D

L'elaborazione dei dati sismici ha consentito di stimare valori delle V_{S-30} compresi tra 660 (SW1) e 747 (SW2) m/s, rispettivamente per i tratti A e B, che consentono di riferire i terreni del substrato, fino alla profondità di 30 m dal p.c., alla **categoria B** di cui alla tabella 3.2.II delle NTC 2008.

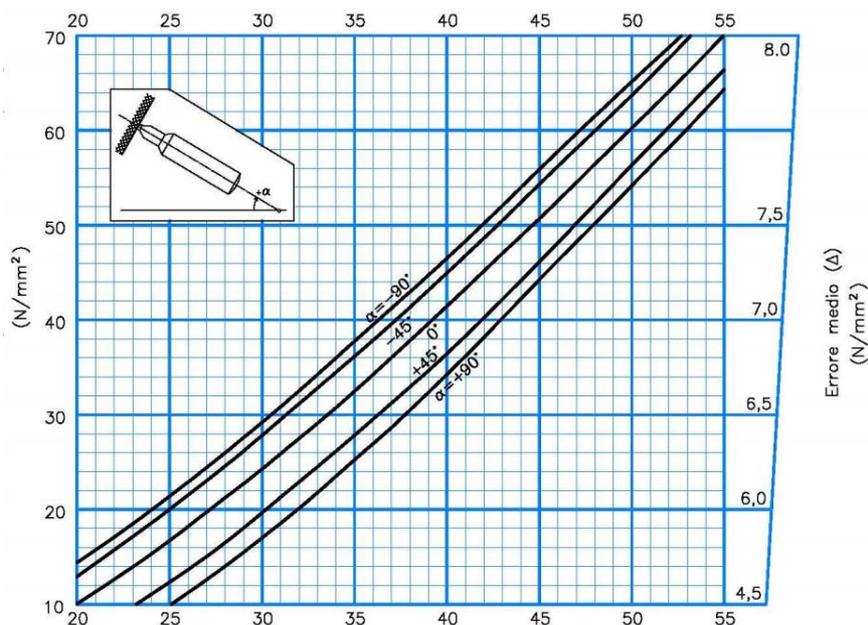
Prove sclerometriche in sito

Sono state effettuate n° 2 stazioni di misura: la prima, in corrispondenza del tratto A a circa 250 metri dalla terminazione nord est; la seconda, in prossimità della terminazione nord est del tratto B.

La stima della resistenza a compressione, effettuata tramite sclerometro, si basa sulla misura della durezza superficiale del materiale da testare, rapportata all'indice di rimbalzo dello strumento.

Lo sclerometro utilizzato è il modello Digital Test Hammer della MATEST. Esso è costituito da una massa battente in acciaio, azionata da una molla che contrasta l'asta di percussione, a diretto contatto con la superficie del materiale da testare. Il valore del rimbalzo, opportunamente correlato all'angolo di battuta, dà un'indicazione della resistenza a compressione.

Di seguito si riporta il dettaglio delle misurazioni, effettuate sulle due stazioni di misura, espresse in termini di resistenze a rottura in MPa. Queste ultime sono state successivamente utilizzate per la caratterizzazione degli ammassi rocciosi, come meglio descritto al paragrafo caratteristiche geostrutturali. Si precisa inoltre che, su pareti verticali o subverticali, l'angolo di battuta si è mantenuto nell'ordine degli 0° (strumento in posizione circa orizzontale).



1 ^a stazione di misura – Tratto A – km 2 + 800										
Alternanza calcarenitico - marnosa										
Misura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
resistenza a rottura (MPa)	18	9	22	24	16	22	25	23	10	25

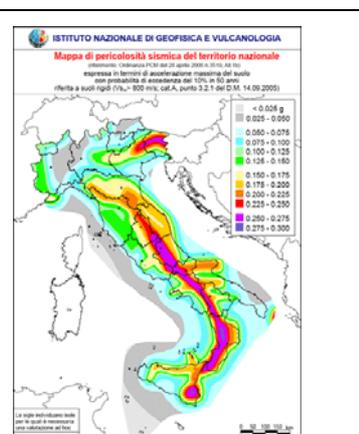
2 ^a stazione di misura – Tratto B - km 5+600										
Alternanza marnoso - calcarenitica										
Misura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
resistenza a rottura (MPa)	< 10 (~5)	< 10 (~7)	21	18	< 10 (~6)	11	23	12	18	< 10 (~9)

MODELLO SISMICO DEL SITO

Il territorio in esame era classificato sismico ai sensi del D.M. 19.03.1982 ed inserito in zona a rischio terremoti di II categoria con coefficiente d'intensità sismica pari a 0,07 g (S=9).

L'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003, riclassificando l'intero territorio nazionale, lo inserì in zona sismica 2 caratterizzata dai seguenti valori di accelerazione orizzontale.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05



Con l'entrata in vigore delle NTC 2008 (D.M. 14 gennaio 2008) la stima della pericolosità sismica è definita non più tramite un criterio “zona dipendente” ma mediante un approccio “sito dipendente”, partendo dalla

“pericolosità sismica di base del territorio nazionale”. Un valore di pericolosità di base definito, per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Per ogni opera, ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento “propria”, individuata sulla base delle coordinate geografiche dell’area di progetto e in funzione della vita nominale dell’opera. Questa accelerazione di riferimento verrà rimodulata in funzione delle caratteristiche sismo-stratigrafiche e morfologiche del sito di costruzione.

Pericolosità sismica di base

Il progetto prevede l’esecuzione di lavori di allargamento e di rettifica di alcune curve lungo i tratti A e B del tracciato stradale in esame per una lunghezza complessiva di circa 1,74 chilometri.

La pericolosità sismica in un sito è descritta sia in termini geografici sia in termini temporali:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale (di Cat. A nelle NTC);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi (10751 punti) sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L’elemento essenziale per la determinazione dell’azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione è la stima della “pericolosità sismica di base” dei siti di costruzione, i cui procedimenti sono descritti nel presente studio.

Vita nominale, classe d’uso e periodo di riferimento

La vita nominale V_N di un’opera è intesa come il numero di anni nel corso dei quali la struttura, soggetta a manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dell’opera in esame è di anni $V_N \geq 50$ (vedi tabella 2.4.I delle NTC 2008).

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le opere sono suddivise in classi d’uso.

La classe d’uso per le opere in esame è la III, cui corrisponde un coefficiente d’uso $C_U = 1,5$.

Le azioni sismiche su ciascuna opera vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d’uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d’uso C_U è riportato nella tabella 2.4.II delle NTC 2008.

Il periodo di riferimento per l'opera in esame è $V_R = 75$ anni.

Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Condizione necessaria per la definizione dell'azione sismica di progetto è l'identificazione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.II) che si basa principalmente sui valori della velocità equivalente $V_{S,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità:

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{S,30} = 30 / \sum(h_i/V_{S,i}) \quad (\text{in m/s})$$

in cui:

h_i è lo spessore, in metri, dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{S,i}$ è la velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

Dalle misure sismiche tipo MASW in precedenza citate, si è stimata una velocità $V_{S,30}$ dell'ordine dei 660 m/s (tratto A) e 747 m/sec (tratto B), che consente di riferire i terreni del substrato, fino alla profondità di 30 m dal p.c., alla **categoria B** di cui alla tabella 3.2.II delle NTC 2008.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{S,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
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 $V_{S,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
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 $V_{S,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	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 $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)
S_1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S,30}$ inferiori a 100 m/s che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S_2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per valutare le condizioni topografiche, si fa riferimento alle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC 2008.

L'opera in esame può essere inclusa all'interno della categoria **T1**, con coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1$, in considerazione dei lineamenti morfologici, così come sono stati meglio descritti alle pagine precedenti.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

Tabella 3.2.VI - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
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

Valutazione dell'azione sismica

Nei riguardi dell'azione sismica, l'obiettivo delle NTC è il controllo del livello di danneggiamento della opere, a fronte dei terremoti che potrebbero verificarsi.

L'azione sismica sulle opere è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A di tabella 3.2.II) ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima a_g , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$.

Per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, riportati in tabella 3.2.I delle NTC 2008, le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,

riportati nella Tabella 1 allegata alle stesse NTC 2008, in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km), per diverse

probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Per le diverse categorie di sottosuolo di fondazione, di cui alle tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2008, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_S , il coefficiente topografico S_T (che consentono di ricavare $a_{max} = a_g \times S_S \times S_T$) e il coefficiente C_C che modifica il valore del periodo T^*_C .

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*_C relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella 3.2.V delle NTC 2008, nelle quali “g” è l’accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi. Analogamente, lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito da apposite espressioni.

I parametri sismici sono stati calcolati per il sito relativi ai sondaggi geognostici S1 e S2, nelle cui immediate adiacenze è stata altresì condotta una serie di misurazioni sismiche su superficie tipo MASW, utilizzate per la valutazione delle $V_{S,30}$. La metodologia di calcolo prevede la media pesata dei valori nei quattro vertici del reticolo di cui agli allegati A e B ed alla tabella 1 delle NTC 2008.

Tratto A

The screenshot shows a software interface for seismic data processing. It is divided into several sections:

- Caratteristiche del sito:** Input fields for Via, Comune, CAP, Provincia, and a 'Carica' button.
- Coordinate WGS84:** Input fields for Latitudine and Longitudine, with 'Carica' buttons.
- Classe del silt:** A dropdown menu for 'Impedimento sismologico' and a 'Media ponderata' input field with a 'Calcola' button.
- Map:** A satellite map showing the site location with a red pin. Coordinates are 27.021661, 14.729914.
- Riduzione silt:** A table with columns 'Riduzione silt', 'F0 (sec)', 'F0 (m)', and 'F0 (g)'.

Riduzione silt	F0 (sec)	F0 (m)	F0 (g)
Opertività (SIL)	10	0,002	0,010
Dama (SIL)	70	0,070	0,070
Prolungamento (SIL)	710	0,004	0,010
Prolungamento (SLC)	1400	0,004	0,007
- Calcolo dei coefficienti sismici:** A section for calculating seismic coefficients, including a table for 'Coeffizienti'.

Coeffizienti	SIL	SLC	SLV	SLC
a_v	0,010	0,010	0,002	0,014
a_h	0,007	0,002	0,010	0,017
a_{max} (m/s)	0,010	0,002	0,014	<0,002
a_{max}	0,002	0,002	0,002	<0,002

Parametri sismici Tratto A

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 37,022751
 longitudine: 14,74073
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 50081 Lat: 37,0277 Lon: 14,7383 Distanza: 596,842
 Sito 2 ID: 50082 Lat: 37,0270 Lon: 14,8006 Distanza: 5336,713
 Sito 3 ID: 50304 Lat: 36,9770 Lon: 14,7997 Distanza: 7298,439
 Sito 4 ID: 50303 Lat: 36,9778 Lon: 14,7373 Distanza: 5012,984

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 75 anni
 Coefficiente cu: 1,5

	Prob. Di sup. (%)	Tr [anni]	Ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operati. (SLO)	81	45	0,055	2,510	0,259
Danno (SLD)	63	75	0,078	2,477	0,278
Salv. vita (SLV)	10	712	0,304	2,318	0,439
Prev. Coll. (SLC)	5	1462	0,434	2,355	0,497

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,440	1,000	0,013	0,007	0,645	0,200
SLD	1,200	1,420	1,000	0,019	0,009	0,920	0,200
SLV	1,120	1,300	1,000	0,095	0,048	3,344	0,280
SLC	1,000	1,260	1,000	0,434	0,217	4,255	1,000

Tratto B

Calcolo del coefficiente sismici

Muri di sostegno
 Stabilità dei pendii e fondazioni

H(m):
 W(m):
 Categoria sottosuolo:
 Categoria topografica:

	R10	SUD	SLV	SLC
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00

Parametri di riferimento per l'elaborazione:

Coefficienti	SUD	SUC	SLV	SLC
ku	0.00	0.00	0.00	0.00
kv	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00
ksu	0.00	0.00	0.00	0.00

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno
 Stabilità dei pendii e fondazioni

H(m):
 W(m):
 Categoria sottosuolo:
 Categoria topografica:

	R10	SUD	SLV	SLC
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00
Coef. Linea sostegno	0.00	0.00	0.00	0.00

Parametri di riferimento per l'elaborazione:

Coefficienti	SUD	SUC	SLV	SLC
ku	0.00	0.00	0.00	0.00
kv	0.00	0.00	0.00	0.00
ks	0.00	0.00	0.00	0.00
ksu	0.00	0.00	0.00	0.00

Parametri sismici Tratto B

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
 Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame.
 latitudine: 37,043044
 longitudine: 14,755296
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 50081	Lat: 37,0277	Lon: 14,7383	Distanza: 2277,104
Sito 2	ID: 50082	Lat: 37,0270	Lon: 14,8006	Distanza: 4400,559
Sito 3	ID: 49860	Lat: 37,0770	Lon: 14,8016	Distanza: 5576,119
Sito 4	ID: 49859	Lat: 37,0777	Lon: 14,7392	Distanza: 4115,449

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni
Coefficiente cu:	1,5

	Prob. Di sup. (%)	Tr [anni]	Ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operati. (SLO)	81	45	0,057	2,510	0,260
Danno (SLD)	63	75	0,081	2,463	0,278
Salv. vita (SLV)	10	712	0,314	2,314	0,443
Prev. Coll. (SLC)	5	1462	0,447	2,351	0,499

Coefficients Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,440	1,000	0,014	0,007	0,668	0,200
SLD	1,200	1,420	1,000	0,020	0,010	0,957	0,200
SLV	1,110	1,290	1,000	0,098	0,049	3,417	0,280
SLC	1,000	1,260	1,000	0,447	0,224	4,386	1,000

CARATTERIZZAZIONE GEO-MECCANICA

Come già detto, nell'area in esame, i litotipi presenti sono costituiti dalle alternanze calcarenitico marnosa e marnoso calcarenitica, entrambe ascrivibili al Membro Irminio dell'oligo-miocenica F.ne Ragusa.

Sulle sezioni geologiche considerate sono state eseguite 10 prove sclerometriche per la valutazione della resistenza a rottura per compressione uniaassiale "qu" qui di seguito sunteggiate:

Misura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Res.rottura (MPa) Tratto A Alter. calcarenitico marnosa	18	9	22	24	16	22	35	23	10	25
Res.rottura (MPa) Tratto B Alter. marnoso calcarenitica	< 10 (~5)	< 10 (~7)	21	18	< 10 (~6)	11	23	12	18	< 10 (~9)

Da questi valori è stato calcolato il valore medio:

$$qu_M = \sum qu_i/n = 20,4 \text{ Mpa (Tratto A) - } 13,0 \text{ Mpa (Tratto B)}$$

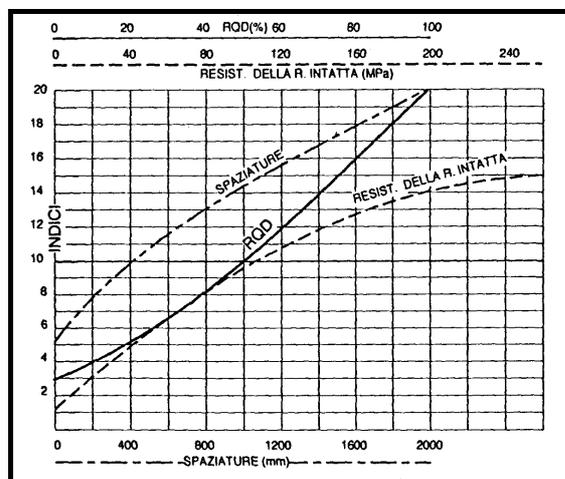
Le principali caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi presenti sono definite sulla base della classificazione dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989), nella quale si è considerato il valore medio "qu_M".

I fattori che vengono considerati nella valutazione della qualità dell'ammasso roccioso, sono stati espressi numericamente dall'indice RMR (rock mass ration): essi sono i seguenti:

- A₁ = resistenza a compressione uniassiale;
- A₂ = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A₃ = spaziatura delle discontinuità;
- A₄ = condizioni delle discontinuità;
- A₅ = condizioni idrauliche;

Tab 1 - Valori dei parametri relativi alla classificazione di Bieniawski							
Resistenza alla compres..	> 250 Mpa	100 – 250 Mpa	50 – 100 Mpa	25 – 50 Mpa	5 – 25 Mpa	1 – 5 Mpa	< 1 Mpa
Indice	15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D %	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Indice	20	17	13	8	3		
Spaziatura discontinuità	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
Indice	20	15	10	8	5		
Condizione dei giunti	molto scabre non continue non separate superfici dei lembi dure	Poco scabre separazione <1mm; superfici dei lembi dure	Poco scabre separazione <1mm; superfici dei lembi soffici	Superfici lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1 – 5 mm e continui	Materiale di riempimento molto soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui		
Indice	30	25	20	10	0		
Condizioni idrauliche venute d'acqua su 10 m di lunghezza	Nessuna scavo asciutto	< 10 l/min	10 – 25 l/min	25 – 125 l/min	> 125 l/min		
Indice	15	10	7	4	0		

Fig. 1 - Indici per spaziature, RQD e resistenza della roccia intatta



Valore di A₁

A₁ è stato ricavato inserendo il valore caratteristico “qu_M” nel grafico di fig. 1.

Valore di A₂

In mancanza di carote di sondaggio, l’RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l’ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v = 50 \text{ (tratto A) e } 40 \text{ (tratto B)}$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

Calcolato l'RQD, il coefficiente A_2 si ricava mediante il grafico di fig 1.

Valore di A_3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, il coefficiente A_3 si ricava dai mediante il grafico di fig 1.

Valore di A_4

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky (tab 1) il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità risulta molto soggettivo. Perciò per valutare correttamente A_4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A_4 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

I valori da assegnare sono:

V_1 – persistenza del giunto

PERSISTENZA (m)	V_1
< 1	6
1 ÷ 3	4
3 ÷ 10	2
10 ÷ 20	1
> 20	0

V_2 – apertura del giunto

APERTURA (mm)	V_2
Completamente chiuso	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4 (tratto A)
1 ÷ 5	1 (tratto B)
> 5	0

V_3 – rugosità del giunto

RUGOSITA'	V_3
Molto Rugosa	6 (trattoA)
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3 (tratto B)
Liscia	1
Levigata	0

V_4 – alterazione delle pareti

ALTERAZIONE	V_4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

V₅ – riempimento delle discontinuità

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	V ₅
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

Valore di A₅

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m sulla base delle tabelle fornite da Beniauskis (tab 1).

Valore di RMR e Parametri dell'ammasso

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR calcolato, si identificano 5 intervalli, cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

Per l'ammasso in esame sono stati rilevati i seguenti valori:

	q _{uM}	RQD	Spaziatura	Condizione giunti	Cond. Idraul.
Tratto A	20 Mpa	50%	520 mm	< 1mm pareti soffici	< 10 l/min
Tratto B	13 Mpa	40%	520 mm	> 1mm pareti soffici	< 10 l/min

Da cui risulta:

RMR	Classe
53 (tratto A)	Terza
44 (tratto B)	Terza

Ai fini della valutazione dei valori di c e φ sono state utilizzate le relazioni proposte di Sen e Sadagah (2003):

$$c = 3,625 \text{ RMR (kPa)}$$

$$\varphi = 25[1+0.01\text{RMR}] \text{ per RMR}>20$$

$$1,5 \text{ RMR} \quad \text{per RMR}<20$$

Da cui risulta:

Coesione c	Angolo di attrito φ	Peso di vol. (val. stimato)
192 kPa	38,25°	≈ 2 t/m ³
159 kPa	36,0°	≈ 2 t/m ³

VALORI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

I dati derivanti da una classificazione degli ammassi rocciosi possono rappresentare già di per se dei valori caratteristici in quanto derivanti da un'indagine statistica. Per una maggior cautela, si è ritenuto opportuno, ridurre ulteriormente tali valori.

I valori caratteristici V_K (relativi al 5° frattile) dei parametri stimati con le prove in sito e/o di laboratorio eseguite, derivano da un trattamento statistico dei relativi valori.

Di norma, è comunemente utilizzata la relazione:

$$V_K = V_M - 1,645 \times \sigma$$

in cui:

$$V_M = \sum V_i / n \quad \text{la media degli } n \text{ dati}$$

$$\sigma = \sqrt{[\sum (V_i - V_M)^2 / n]} \quad \text{la deviazione standard degli } n \text{ dati}$$

Nel caso in cui sia disponibile un unico valore, o un numero limitato di valori, è preferibile applicare la relazione:

$$V_K = V_M \times (1 - 1,645 \times CV)$$

in cui, per il *coefficiente di variazione CV*, espresso in percentuale e secondo un approccio bayesiano, vengono suggeriti i seguenti valori:

angolo d'attrito interno

CV = 2 -5	(Sabbie e litologie omogenee Nadim Lacasse, 1996)
CV = 7	(ghiaie - Harr, 1988)
CV = 10	(sabbie - Baecher & Christian, 2003)
CV = 13	(terreni con frazione coesiva limoso-argillosa - Phoon & Kulhawy, 1999)
CV = 10	(Schneider, 1990)

coesione

CV = 25÷30	(Baecher & Christian, 2003)
CV = 40	(Schneider, 1990)

Quest'ultimo autore fornisce inoltre la seguente formula, molto utilizzata in Svizzera:

$$V_k = V_M \times [1 - CV/2]$$

Da cui:

parametro		valore medio	CV	val. caratt. V_K
Tratto A angolo d'attrito (°)	φ_k	38,25°	10	36°
Tratto A coesione	C_k	192 kPa	40	153,6 kPa
Tratto B angolo d'attrito (°)	φ_k	36,0°	10	34°
Tratto B coesione	C_k	159 kPa	40	127 kPa

I valori dei parametri di progetto V_p , da utilizzare nel calcolo delle azioni e delle resistenze di progetto del terreno di fondazione, deriveranno dalla riduzione dei parametri caratteristici V_k , tramite applicazione dei coefficienti parziali previsti dalle NTC 2008, in funzione dell'approccio e della combinazione che verrà scelta dal progettista:

- Approccio 1
 - o Combinazione 1 (A1+M1+R1)
 - o Combinazione 2 (A2+M2+R2)
- Approccio 2
 - o Combinazione 1 (A1+M1+R3)

così come riportati nei capitoli 2 e 6 delle stesse NTC 2008.

VERIFICA CINEMATICA

Come già detto, in prossimità della parte finale del tratto B dovrà essere eseguita una risagomatura del versante con arretramento dello stesso di circa 4 metri dal ciglio stradale. Il fronte presenta un'altezza di circa 4,5 m (v. foto), gli strati sub orizzontali hanno una leggera pendenza a reggipoggio in direzione NO. Il tipo di fratturazioni sono prevalentemente intrastratali. E' possibile notare la presenza di una sola frattura interstratale inclinata di circa 50° secondo una direzione N 10° E. Le discrete caratteristiche litologiche e stratigrafiche del litotipo fondale fanno supporre, che le pareti del versante siano stabili, tuttavia, per una maggior precisione, si è voluto comunque procedere ad una verifica cinematica di stabilità.



La valutazione della condizione cinematica di stabilità in ammassi rocciosi necessita la caratterizzazione geomorfologica (parametri geometrici e morfologici) e meccanica (parametri di resistenza delle discontinuità in esso presenti).

Per quanto riguarda i parametri di resistenza sono possibili sostanzialmente due approcci :

- 1) ammasso roccioso considerato come un continuo equivalente cioè nel suo insieme roccia e discontinuità con i relativi parametri che lo caratterizzano;
- 2) ammasso roccioso considerato come un insieme discontinuo di matrice lapidea e discontinuità, in cui ogni singola componente è caratterizzata indipendentemente.

Per ciò che concerne il primo approccio, esso è stato trattato attraverso la classificazione geomeccanica RMR di Bieniawsky descritta precedentemente. Il secondo approccio può essere valutato attraverso la determinazione delle resistenze disponibili lungo i singoli piani di discontinuità sulla base del criterio di Barton & Choubey.

Tale valutazione consiste nel prevedere la possibilità di rottura o movimento lungo una pre-esistente discontinuità (ove presente) dell'ammasso roccioso (mezzo discontinuo). In pratica, essendo la roccia intatta molto più resistente delle discontinuità, si ipotizza che un'eventuale rottura possa propagarsi solamente lungo queste ultime.

I fenomeni di instabilità che si sviluppano in un ammasso roccioso lungo una pre-esistente discontinuità possono essere schematizzati nei seguenti casi:

- scorrimento planare su un piano di discontinuità;
- scorrimento a cuneo su due piani di discontinuità;
- ribaltamento diretto.

Tali condizioni possono essere valutate attraverso l'utilizzo delle proiezioni stereografiche di Schmidt per la rappresentazione dei piani di discontinuità, di strato e del versante. Qui di seguito vengono riassunti i metodi per la determinazione della resistenza lungo i piani di discontinuità e le verifiche cinematiche succitate.

Resistenza disponibile lungo i piani di discontinuità

Secondo il criterio di Barton & Choubey, la resistenza al taglio di un giunto può essere espressa da un "angolo di attrito equivalente" (φ_e) che dipende dalla rugosità del piano (JRC), dalla resistenza a compressione uniassiale delle pareti del giunto (JCS), dalla tensione normale media (σ_n) agente sul giunto assimilabile al carico litostatico e dall'angolo di attrito residuo (φ_r):

$$\tan \varphi_e = \tan [\varphi_r + JRC \times \log (JCS / \sigma_n)] \quad (\text{per } JCS / \sigma_n \leq 50) \quad (1)$$

Secondo Barton, per carichi litostatici sulla discontinuità molto bassi (come nel nostro caso), si ottengono angoli di attrito elevati. Per tale motivo il criterio non può utilizzarsi per valori di σ_n tali che il rapporto JCS / σ_n risulta essere maggiore di 50. In tali condizioni si assume che l'angolo di attrito sia costante e indipendente dal carico, con un valore di φ_e uguale a:

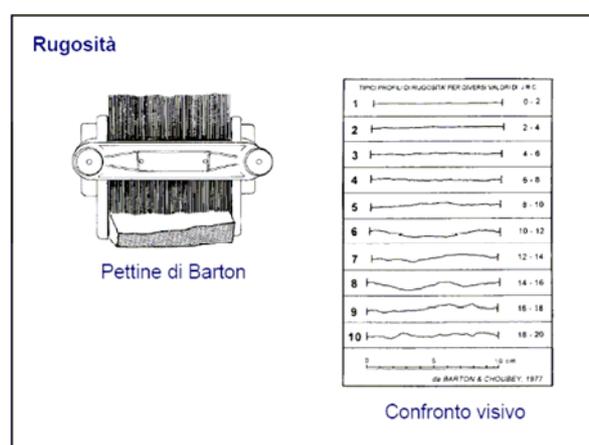
$$\tan \varphi_e = \tan (\varphi_r + 1,7 JRC) \quad (\text{per } JCS / \sigma_n > 50) \quad (2)$$

L'angolo d'attrito residuo della discontinuità φ_r corrisponde all'angolo d'attrito di base φ_b nel caso di giunti non alterati. In caso contrario può essere calcolato con la prova del martello di Schmidt o con lo sclerometro applicando la relazione:

$$\varphi_r = (\varphi_b - 20) + 20 (r/R)$$

in cui r ed R indicano i valori al martello di Schmidt o allo sclerometro sulla superficie del giunto alterata e su una superficie liscia non alterata.

Nel caso in esame, sono stati calcolati gli angoli di attrito equivalenti dei piani di discontinuità considerando i valori medi di JCS e JRC determinati dal rilevamento geomeccanico.



Determinazione del JRC attraverso il pettine di Barton

L'angolo di attrito residuo è stato calcolato dalla succitata formula considerando un valore di $\varphi_b = 33^\circ$ desunto da letteratura per rocce calcaree (Hoek & Bray, 1981). Dalle prove effettuate durante il rilevamento geomeccanico si è visto che il rapporto r/R è risultato essere ampiamente superiore a 0,85, si è posto quindi un $\varphi_b = 30^\circ$. I valori di angolo di attrito efficace, ottenuti utilizzando l'equazione (2), sono stati superiori ai 40° ($42 - 45^\circ$); per tali motivi, in via estremamente cautelativa, si è ritenuto opportuno utilizzare il valore di angolo d'attrito desunto dalla classificazione di Bieniawsky pari a $\varphi_k = 34^\circ$; il quale, ai fini della NTC 2008, viene ulteriormente ridotto a $\varphi_p = 28,4^\circ$, ponendo quindi $\varphi_p = \varphi_e$.

Verifica cinematica scorrimento planare

Per le verifiche cinematiche dell'ammissibilità del movimento, si utilizza generalmente la semplificazione di un piano puramente attritivo (Hudson & Harrison, 1993); si impone quindi che il potenziale piano di scivolamento abbia un valore di inclinazione maggiore del suo angolo d'attrito φ_e (nel nostro caso φ_p). Si tratta di una sovra semplificazione che trascura l'effetto instabilizzante delle pressioni dell'acqua. Per contro, si assumono i piani di discontinuità come infinitamente estesi all'interno dell'ammasso. Nella realtà le discontinuità hanno lunghezza finita e le analisi risultano, nella maggior parte dei casi, ampiamente cautelative.

Tale tipo di dissesto è cinematicamente ammissibile quando si verificano le seguenti condizioni (Hudson & Harrison, 1993);

1. l'inclinazione del versante è maggiore dell'inclinazione del potenziale piano di scivolamento, ciò implica che il blocco roccioso discreto esista e sia in grado di muoversi;
2. la direzione di immersione del piano di scivolamento giace approssimativamente entro $\pm 20^\circ$ rispetto alla direzione di immersione del versante (criterio empirico derivante dall'osservazione di casi reali);
3. l'inclinazione del potenziale piano di scivolamento è tale che la resistenza al taglio del piano di scivolamento sia raggiunta.

Verifica cinematica scorrimento di cuneo

Come nel caso precedente, il movimento è essenzialmente traslazionale ma avviene lungo la direzione della linea di intersezione dei due piani che costituiscono la base del cuneo di roccia instabile. Vengono così mobilizzate le resistenze disponibili su entrambi i piani in ragione alla sollecitazione normale presente sugli stessi e alle loro caratteristiche di resistenza. In questo caso i criteri geometrici che debbono essere rispettati per rendere cinematicamente ammissibile il movimento si riferiscono alla linea di intersezione dei due piani sui quali poggia il cuneo e sono i seguenti (Hudson & Harrison, 1993):

1. l'inclinazione del versante deve essere maggiore dell'inclinazione della linea di intersezione; ciò implica che il blocco roccioso discreto esista e sia in grado di muoversi;
2. la linea di intersezione delle due discontinuità piane associate al potenziale scivolamento a cuneo deve emergere dal versante;
3. l'inclinazione della linea di intersezione delle due discontinuità piane deve essere tale da raggiungere il valore di resistenza disponibile sui due piani: nel caso puramente attritivo essa deve avere inclinazione maggiore dell'angolo d'attrito.

Verifica cinematica Ribaltamento

Le condizioni affinché possa verificarsi il ribaltamento partono dal presupposto che lo stesso inizi da un movimento di taglio che si sviluppa lungo le discontinuità nella direzione di immersione. In questo caso, assumendo che lo stress compressivo principale, agisca in direzione parallela al versante si può esprimere la condizione (Cruden, 1989; Goodman, 1980):

$$\beta \geq \varphi_e + (90 - \psi)$$

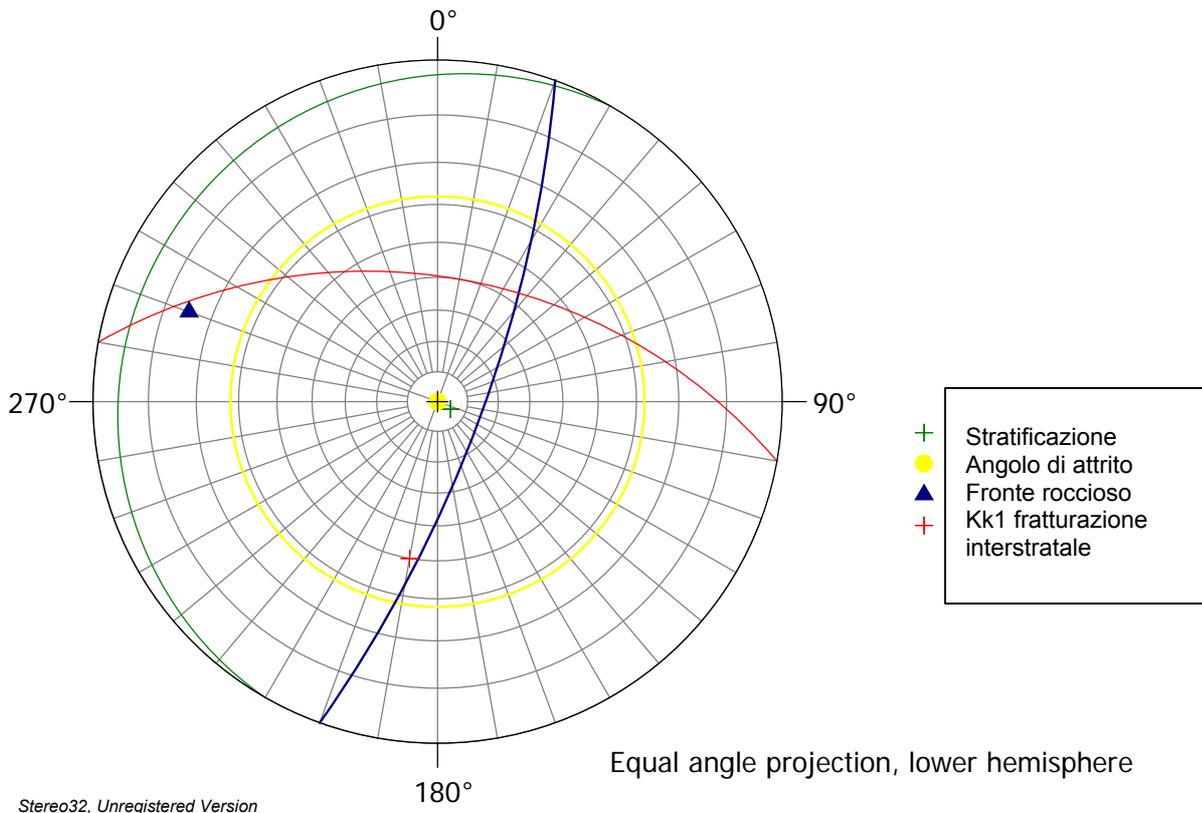
Dove ψ è l'inclinazione della discontinuità o della linea di intersezione tra due sistemi di discontinuità, φ_e (nel nostro caso φ_p) l'angolo d'attrito efficace lungo la discontinuità e β l'inclinazione del pendio.

In via cautelativa, non è stato considerato che le fratture, precedentemente descritte, si presentano parzialmente giuntate, trascurando, di fatto, il notevole effetto stabilizzante che i ponti di roccia assumono in tali situazioni.

Qui di seguito vengono descritte le risultanze relative all'analisi cinematica effettuata.

Parte terminale Versante nord ovest tratto B	Altezza max 4,5	Dir. di immersione N 120° E	Inclinazione 80°
Litologia	Potenza strat	Dir. di immersione	Inclinazione
Alternanza marnosa calcarenitica	0,40 – 1 ,00 m	Orizzontale	Leggero reggipoggio
FRATTURE SINGOLE INTERSTRATALI			
	Dir. di immersione	Inclinazione	
KK1	N 60° W	50°	

Verifica cinematica scorrimento planare (Hudson & Harrison, 1993)	Non sussistono le condizioni geometriche necessarie al verificarsi di fenomeni di instabilità per scorrimento planare che coinvolgano significativi volumi di materiale.
Verifica cinematica scorrimento di cuneo (Hudson & Harrison, 1993)	Non sussistono i requisiti geometrici necessari affinché avvengano fenomeni di scorrimento su cuneo.
Verifica cinematica ribaltamento (Cruden, 1989; Goodman, 1980)	Non sussistono i requisiti geometrici necessari affinché avvengano fenomeni di ribaltamento che coinvolgano significativi volumi di materiale..



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il tratto stradale interessato dai lavori di ammodernamento ricade in un'area a debole pendenza e per lunghi tratti regolare, con valori medi del 3 -4 % circa, che aumenta di quota da sud est verso nord ovest, procedendo lungo la sommità dell'altopiano ibleo.

Litologicamente i litotipi interessati dal tracciato sono costituiti dall'alternanza calcarenitico marnosa relativamente al tratto A, e dall'alternanza marnoso calcarenitica per quanto riguarda il tratto B. Tali alternanze sono ascrivibili al Membro Irminio della Formazione Ragusa.

L'attuale conformazione morfologica è il prodotto di una serie di processi morfogenetici che nel tempo ne hanno modellato la superficie topografica.

La falda si rinviene ad una profondità tale da non costituire un problema per la realizzazione della costruzione in oggetto.

In considerazione delle naturali pendenze, particolare attenzione andrà posta al ruscellamento superficiale prevedendo la realizzazione di canali di raccolta ai lati della strada, ovvero, di qualsiasi altra tipologia d'intervento che i progettisti riterranno idonea a tal fine. A titolo esemplificativo e non esaustivo si segnala un solco di ruscellamento concentrato (vedi carta geologica) localizzato nel tratto A in prossimità del km 3,00.

Vengono riportati i principali parametri delle unità litotecniche lungo il tracciato di progetto, nonché la loro caratterizzazione sismica, effettuata ai sensi delle NTC 2008 e sulla scorta dei seguenti dati di base:

	<i>val. caratt. V_K</i>	Vita nominale (V_N)	≥ 50 anni
Tratto A angolo di attrito	36°	Classe d'uso	III
Tratto A coesione	153,6 kPa	Periodo di riferimento (V_R)	≥ 75 anni
Tratto A angolo di attrito	34°	Categoria di sottosuolo	B
Tratto B coesione	127 kPa	Categoria topografica	T1

I valori di progetto V_p , da utilizzare nel calcolo delle azioni e delle resistenze di progetto del terreno di fondazione, deriveranno dalla riduzione dei parametri caratteristici V_K , tramite applicazione dei coefficienti parziali previsti dalle NTC 2008 ed in funzione dell'approccio e della combinazione che verrà scelta dal progettista.

La verifica cinematica effettuata, utilizzando i valori ridotti di progetto, sul fronte roccioso, localizzato nella parte terminale nord est del tratto B, escluderebbero, a priori, la sussistenza delle condizioni geometriche

necessarie al verificarsi di fenomeni di scorrimento planare, scorrimento di cuneo e ribaltamento. Tuttavia, al fine di diminuire la pendenza del fronte, si consiglia di far assumere allo stesso un profilo a gradoni.

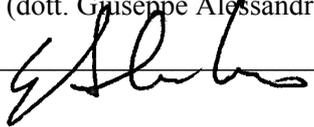
Ove ritenuto necessario, prima dell'inizio dei lavori di sagomatura, si raccomanda un'opportuna operazione di disgaggio al fine di eliminare eventuali fenomeni di sbloccamento superficiale. Inoltre, si ritiene di non escludere, dopo i lavori di sagomatura effettuati, l'adozione di reti paramassi semplice adeguatamente ammorsate nella parete rocciosa integra.

Ci si riserva, ove necessario, di effettuare eventuali modifiche sui lavori in corso d'opera, previa comunicazione da parte della direzione lavori della data di inizio lavori, al fine di verificare la rispondenza tra lo stesso e quanto testé scritto.

Ragusa, novembre 2012

I Geologi

(dott. Giuseppe Alessandro)



(dott. Giuseppe Scaglione)



V. Il Dirigente 10° Settore

(Dott. Geol. S. Buonmestieri)

