

REGIONE PUGLIA

Provincia di Foggia

COMUNE DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO
NEL COMUNE DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)

COMMITTENTE

Wind Energy Sant Agata Srl

Via Caravaggio n.125
Pescara (PE)
P.IVA 02217800685
Pec: windsantagatasrl@legpec.it

Codice Commessa PHEEDRA: 18_38_EO_VWS



PHEEDRA

PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90
74121 - Taranto
Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285
e-mail: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it

PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Angelo Micolucci



Consulenza specialistica
Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco



| | | | | | |
|------|---------------|-----------------|---------|------------|----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 1 | Novembre 2018 | PRIMA EMISSIONE | CD | AM | VS |
| REV. | DATA | ATTIVITA' | REDATTO | VERIFICATO | APROVATO |

OGGETTO DELL'ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA, IDRAULICA,
SISMICA ED IDROGEOLOGICA

| FORMATO | SCALA | CODICE DOCUMENTO | | | | | NOME FILE | FOGLI |
|---------|-------|------------------|-------|-----------|-------|------|--------------------|-------|
| | | SOC. | DISC. | TIPO DOC. | PROG. | REV. | | |
| A4 | - | VWS | CIV | REL | 024 | 01 | WWS-CIV-REL-024-01 | |

1. PREMESSA

Lo scrivente Dott. Antonio Mattia Fusco, iscritto all'Ordine dei Geologi Puglia al n.587, su incarico affidatogli dalla Società d'ingegneria – Pheedra s.r.l. per conto della società proponente ha eseguito il seguente **STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA (VERIFICA DI STABILITÀ VERSANTE)** nell'ambito del **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)**.

Nei paragrafi che seguono sarà illustrata la situazione litostratigrafica locale, con la definizione dell'origine e natura dei litotipi, il loro stato di alterazione e fatturazione, la loro degradabilità, i lineamenti morfologici della zona nonché la verifica di stabilità del versante e del pianoro su cui è previsto l'intervento di progetto.

Lo studio geologico si è svolto in ottemperanza al D.M. del 11/03/1988, all'ordinanza del presidente del consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 e alle disposizioni dettate dal nuovo Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. del 17/01/2018 al fine di ricostruire un modello geologico e geotecnico atto a fornire i caratteri stratigrafici, litologici del sito.

L'area interessata dall'intervento di progetto ed i territori ad essa circostanti, sono caratterizzati da una morfologia molto blanda.

Essa è inserita nelle area a **Pericolosità Geomorfologica (PG1) e (PG2)** ovvero rispettivamente **Media e Moderata(PG1) ed Elevata (PG2)**

Per lo svolgimento di tale relazione, preliminarmente è stato effettuato un rilevamento geologico, è stato effettuato un rilievo plano-altimetrico di dettaglio e, come recepito dalla nuova normativa il modello geologico di riferimento è stato validato e supportato da indagini specifiche sia di tipo diretto che di tipo indiretto.

Inoltre, come recepito dalla normativa, il modello geologico di riferimento è stato validato e supportato da indagini specifiche sia di tipo diretto che di tipo indiretto.

Lo scrivente per la caratterizzazione geologica e geotecnica del sito di studio, ha utilizzato le stesse indagini effettuate su aree adiacenti che hanno le medesime caratteristiche geologico-stratigrafiche eseguite dallo stesso.

Le indagini sono consistite in:

- N° 1 prova penetrometrica dinamica continua, tipo CPT;
- N° 1 prova penetrometrica dinamica;
- N° 2 sondaggi elettrici con ricostruzione tomografica;
- N° 2 profili sismici a rifrazione con ricostruzione tomografica;
- N° 1 profilo sismico passivo, con metodologia ReMi.
- N° 2 Carotaggi continui fino a 10 metri;
- Analisi Geotecniche di laboratorio.

Le indagini geognostiche sopra elencate, hanno permesso di ottenere i parametri geotecnici, sismici e tutte le informazioni che implementate con il software della **GEOSTRU – Slope** hanno permesso di ottenere la modellazione e la verifica della stabilità del versante oggetto di studio.

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati per il seguente studio sono di seguito riassunti.

LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO (da 1.00 a 7.00 metri circa)

- un angolo di attrito interno di $\Phi=23^\circ$;
- peso di volume $1,95 \text{ Kg/cm}^3$
- coesione pari a $0,33 \text{ Kg/cm}^2$

LIMO ARGILLOSO DI COLORE GRIGIO VERDE (da 7.00 a 15 metri circa)

- un angolo di attrito interno di $\Phi=20^\circ$;
- peso di volume $1,95 \text{ Kg/cm}^3$
- coesione pari a $0,42 \text{ Kg/cm}^2$

Trattandosi di un versante collinare con basse pendenze e avendo come intervento antropico in progetto la realizzazione di strade per il passaggio di autoarticolati, si è proceduto alla verifica di una sezione che intersecasse due tratti stradali e rientrante in aree perimetrate (**PG2**)

Per la sezione di studio è stata effettuata la verifica di stabilità in condizioni **post-opera**, ipotizzando un **carico distribuito (passaggio automezzo pesante) di $20,00 \text{ KN/m}^2$** .

2. SISMICITÀ DEL TERRITORIO

Con l'ordinanza n° 3274 del 20/03/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, modificata dall'OPCM n° 3431 del 03/05/2005 sono approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", nonché le connesse "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", "Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti" e le "Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni".

Le nuove norme definiscono, dunque, i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche, ai sensi dell'art. 93, 1g) del D.L. 112/1998, ai fini della formazione e dell'aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone da parte delle Regioni, ai sensi dell'art. 94, 2a) del medesimo decreto.

2.1 Categorie di suolo di fondazione

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, ai fini della definizione della azione sismica di progetto, definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni, i valori da utilizzare per V_{s30} , NSPT e C_u sono valori medi):

A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, 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 resistenza penetrometrica NSPT > 50, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa).

C - *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa).

D - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (NSPT < 15, $c_u < 70$ kPa).

E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.*

In aggiunta a queste categorie, per le quali nel punto 3.2 vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa)

S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

La V_{s30} è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum h_i/V_i}$$

Da tale relazione è emerso un valore di V_{s30} 260.98 m/sec.

Categoria C -*Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)*

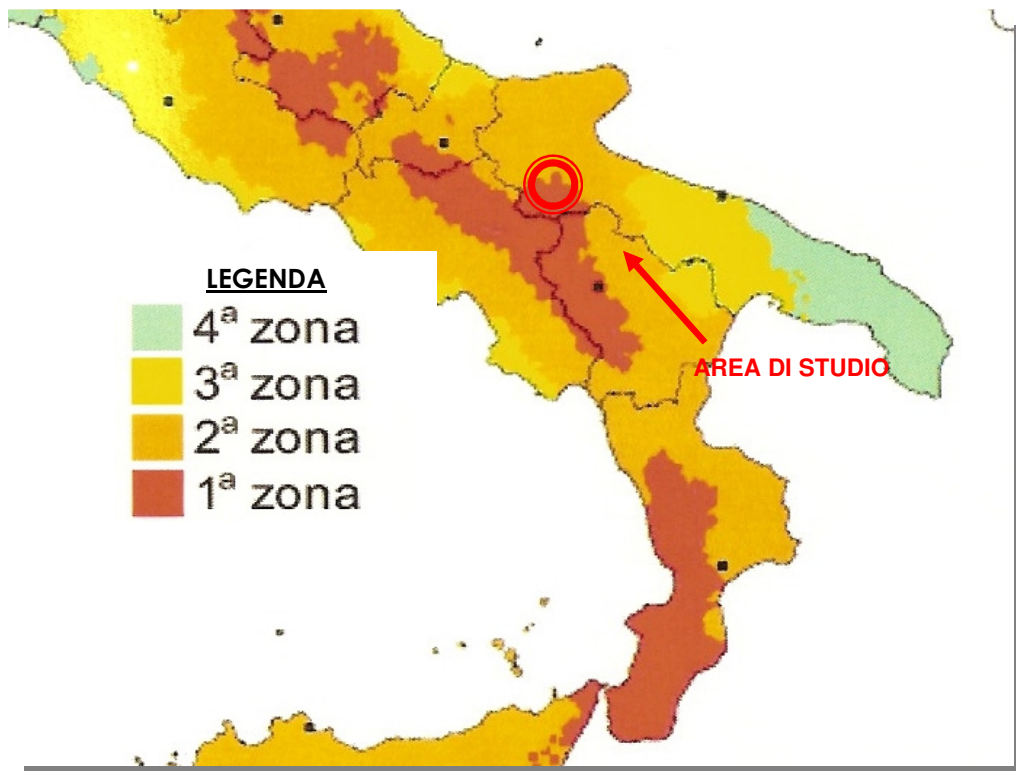
2.2 Calcolo dell'azione sismica

Zone sismiche

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (definito al punto 2.1), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono, salvo più accurate determinazioni, che possono portare a differenze comunque non superiori al 20% dell'accelerazione per le zone 1 e 2 e non superiori a 0.05g nelle altre zone:

| Zona | Valore di a_g |
|------|-----------------|
| 1 | 0,35g |
| 2 | 0,25g |
| 3 | 0.15g |
| 4 | 0,05g |

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani il territorio di Sant'Agata di Puglia, rientra nelle "**Zone sismiche 1**". (Cfr. Carta Zone Sismiche)



Descrizione dell'azione sismica

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è costituito dallo spettro di risposta elastico di cui al punto successivo. Qualora siano eseguite determinazioni più accurate del moto sismico atteso, è consentito utilizzare spettri specifici per il sito purché le ordinate di tali spettri non risultino in nessun punto del campo di periodi di interesse inferiori all'80% delle ordinate dello spettro elastico standard applicabile in relazione alla categoria di suolo.

Per applicazioni particolari, il moto del suolo può essere descritto mediante accelerogrammi.

Il moto orizzontale è considerato composto da due componenti ortogonali indipendenti, caratterizzate dallo stesso spettro di risposta.

In mancanza di documentata informazione specifica, la componente verticale del moto sismico si considera rappresentata da uno spettro di risposta elastico diverso da quello delle componenti orizzontali.

Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato), considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima ($a_g S$) del terreno che caratterizza il sito.

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left(1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right) \\ T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \\ T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

nelle quali S rappresenta il fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione;

Per strutture con fattore di importanza $\gamma > 1$, erette sopra o in vicinanza di pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello superiore a circa 30 metri, l'azione sismica dell'equazione (2.2) dovrà essere incrementata moltiplicandola per un coefficiente di amplificazione topografica S_t .

In assenza di studi specifici si potranno utilizzare per S_T i seguenti valori:

- a) $S_T = 1,2$ per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
- b) $S_T = 1,4$ per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $>30^\circ$;
- c) $S_T = 1,2$ per siti del tipo b) ma con pendenza media inferiore.

Il prodotto $S \cdot S_T$ può essere assunto non superiore a 1.6.

η fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ diverso da 5 ($\eta=1$ per $\xi=5$), essendo ξ espresso in percentuale:

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad 2.3$$

T periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

T_B, T_C, T_D periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

I valori di T_B, T_C, T_D e S da assumere, salvo più accurate determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di suolo di fondazione definite al punto 3.1, sono riportati nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1-Valori dei parametri nelle espressioni (2.2) dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali.

| Categoria suolo | S | T_B | T_C | T_D |
|-----------------|------|-------|-------|-------|
| A | 1,0 | 0,15 | 0,40 | 2,0 |
| B, C, E | 1,25 | 0,15 | 0,50 | 2,0 |
| D | 1,35 | 0,20 | 0,80 | 2,0 |

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \left(1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right) \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned} \quad (3.4)$$

con i valori dei parametri che definiscono la forma spettrale riportati in tabella 2.2.

Tabella 2.2 - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale.

| Categoria suolo | S | T _B | T _C | T _D |
|-----------------|-----|----------------|----------------|----------------|
| A, B, C, D, E | 1,0 | 0,05 | 0,15 | 1,0 |

Lo spettro di risposta elastico dello spostamento potrà ottenersi per trasformazione diretta dello spettro di risposta elastico delle accelerazioni, usando la seguente espressione:

$$S_{D_e}(T) = S_e(T) \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (3.5)$$

Gli spettri sopra definiti potranno essere applicati per periodi di vibrazione che non eccedono 4,0 s. Per periodi superiori lo spettro dovrà essere definito da appositi studi.

Nei casi in cui non si possa valutare adeguatamente l'appartenenza del profilo stratigrafico del suolo di fondazione ad una delle categorie di cui al punto 2.1, ed escludendo comunque i profili di tipo S1 e S2, si adotterà in generale la categoria D o, in caso di incertezza di attribuzione tra due categorie, la condizione più cautelativa.

Spostamento e velocità del terreno

I valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo (d_g) e (v_g) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 S T_C T_D a_g \quad (3.6)$$

$$v_g = 0,16 S T_C a_g$$

2.3 Azione sismica valutata secondo il D.M. 17 Gennaio 2018

Con D.M. 17 Gennaio 2018 il è stato approvato il testo aggiornato delle Norme tecniche per le costruzioni. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

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.

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

| Stato Limite | Tr (anni) | Ag (g) | Fo | Tc (s) |
|--|------------------|---------------|-----------|---------------|
| Operatività (SLO) | 30 | 0.053 | 2.420 | 0.283 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.068 | 2.502 | 0.317 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.213 | 2.394 | 0.416 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.296 | 2.399 | 0.425 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica | 50 | | | |

3. GEOMORFOLOGIA E TETTONICA

Il sito su cui destinare all'attività di cui sopra, ricade nel Comune di Sant'Agata di Puglia (FG).

L'area di studio, compresa su quote di circa 300 e 400 metri s.l.m.m. appare come un'area di versante collinare degradante dolcemente verso sud.



Ortofoto con sovrapposizione curve di livello

Il territorio di studio è ricoperto prevalentemente da terreni sabbiosi di età Plio-Pleistocenica solo a sud ovest affiorano rocce preplioceniche con facies di "flysch" specialmente nelle pendici dei rilievi della Daunia e di Melfi.

I rilievi collinari della zona dei "Flysch" raggiungono quote intorno a 500 metri s.l.m.,.

Poiché i sedimenti danno origine a rilievi essenzialmente argillosi, la morfologia è dolce e i fianchi delle colline scendono con moderato pendio.

Solo la sommità di alcune alture si mostra aspra e scoscesa in corrispondenza di limitati affioramenti di calcari, brecce e arenarie mediamente compatte. Nei territorio ad Ovest di Sant'agata la morfologia è quella propria di tutta la capitanata con vaste spianate inclinate debolmente verso il mare interrotte da valli ampie, solcate da torrenti e canali che condizionano e rendono ripidi i versanti. Manifestazioni di frane e di colamenti si riscontrano, con una certa frequenza in vaste aree dove prevalgono versanti a composizione argillosa del "Flysch".

4. GEOLOGIA DELL'AREA

Nell'area in esame si possono individuare due blocchi riferibili cronologicamente ad altrettanti periodi; il primo, più antico, interessa la serie dei depositi prepliocenici, mentre il secondo è caratterizzato dalla presenza della serie plio-pleistocenica che ricopre gran parte dell'area di studio. Esso tra l'altro risulta essere il terreno fondale dell'intervento di progetto pertanto sarà descritto dettagliatamente. (di seguito si allega una schematizzazione dei rapporti stratigrafici). Si tratta complessivamente di una serie sabbiosa-argillosa con episodi conglomeratici alla base ed alla sommità, pertanto essa rappresenta un intero ed unico ciclo sedimentario anche se i termini più alti possono comprendere episodi secondari di variazioni eustatiche e di alluvionamento.

- CONGLOMERATI POLIGENICI DI BASE, FORTEMENTE CEMENTATI (Pp)

Sovrastante in discordanza sul complesso dei flysch, si ha una formazione conglomeratica ben distinta. Si tratta di conglomerati poligenici fortemente cementati con matrice sabbiosa, a stratificazione a volte ben evidente, ma con spessore variabilissimo e quindi di difficile valutazione; si passa infatti da pochi metri ad una quarantina di metri di spessore nei pressi di Candela. I ciottoli che compongono tale formazione sono in generale ben arrotondati e con dimensioni variabilissime (dai 5 ai 10 centimetri di diametro), ma la loro composizione è eterogenea: frammisti infatti agli elementi dei flysch (calcari, brecce calcaree, arenarie, ecc.) si rinvengono anche ciottoli di rocce eruttive.

- SABBIE DI COLORE GIALLO BRUNO CON LENTI CIOTTOLOSE, LOCALMENTE FOSSILIFERE (Ps)

Un complesso sabbioso in generale a stratificazione scarsamente definita, di limitato spessore (30-40 metri) segue ai conglomerati superiormente, ma talora anche con passaggio laterale. Si tratta di sabbie di colore giallo bruno con lenti ciottolose e con livelli di argille grigie, solo localmente per cemento calcareo-marnoso. In generale contengono resti di molluschi marini costituiti quasi sempre da modelli interni e di difficile determinazione.

- ARGILLE E ARGILLE MARNOSE GRIGIO-AZZURROGNOLE, LOCALMENTE SABBIOSE (PQa)

Quest'Unità costituisce la parte bassa della serie pleistocenica, essa si è sviluppata principalmente lungo una larga fascia che con direzione NO-SE, borda ad occidente il grande pianoro che si estende con lieve pendenza da Sant'Agata di Puglia e Lavello verso il paese di Cerignola e fino al Mare Adriatico. Le argille affiorano anche a Nord di Sant'Agata di Puglia e lungo il corso del Fiume Ofanto sotto la estesa copertura dei suoi depositi alluvionali. Da dati ottenuti da perforazioni per la ricerca di idrocarburi quest'Unità avrebbe una potenza di 1.500 metri.

- SABBIE E SABBIE ARGILLOSE A VOLTE CON LIVELLI ARENACI GIALLASTRI E LENTI CIOTTOLOSE (PQs)

In continuità di sedimentazione con le argille si hanno, in alto, sedimenti sabbiosi a volte fittamente stratificati con intercalazioni e lenti ciottolose verso la parte superiore della serie. Si tratta di sabbie più o meno argillose nelle quali la parte argillosa diminuisce progressivamente dal basso verso l'alto. Esse sono di colore generalmente giallastro ed hanno uno spessore di poco superiore a 50 metri. Estese zone da Sant'Agata di Puglia a Lavello ed oltre, sono ricoperte da questi sedimenti sabbiosi; ciò è dovuto principalmente al fatto che l'azione erosiva dei numerosi ma modesti corsi d'acqua (*marane*), non è tale da raggiungere il complesso argilloso sottostante.

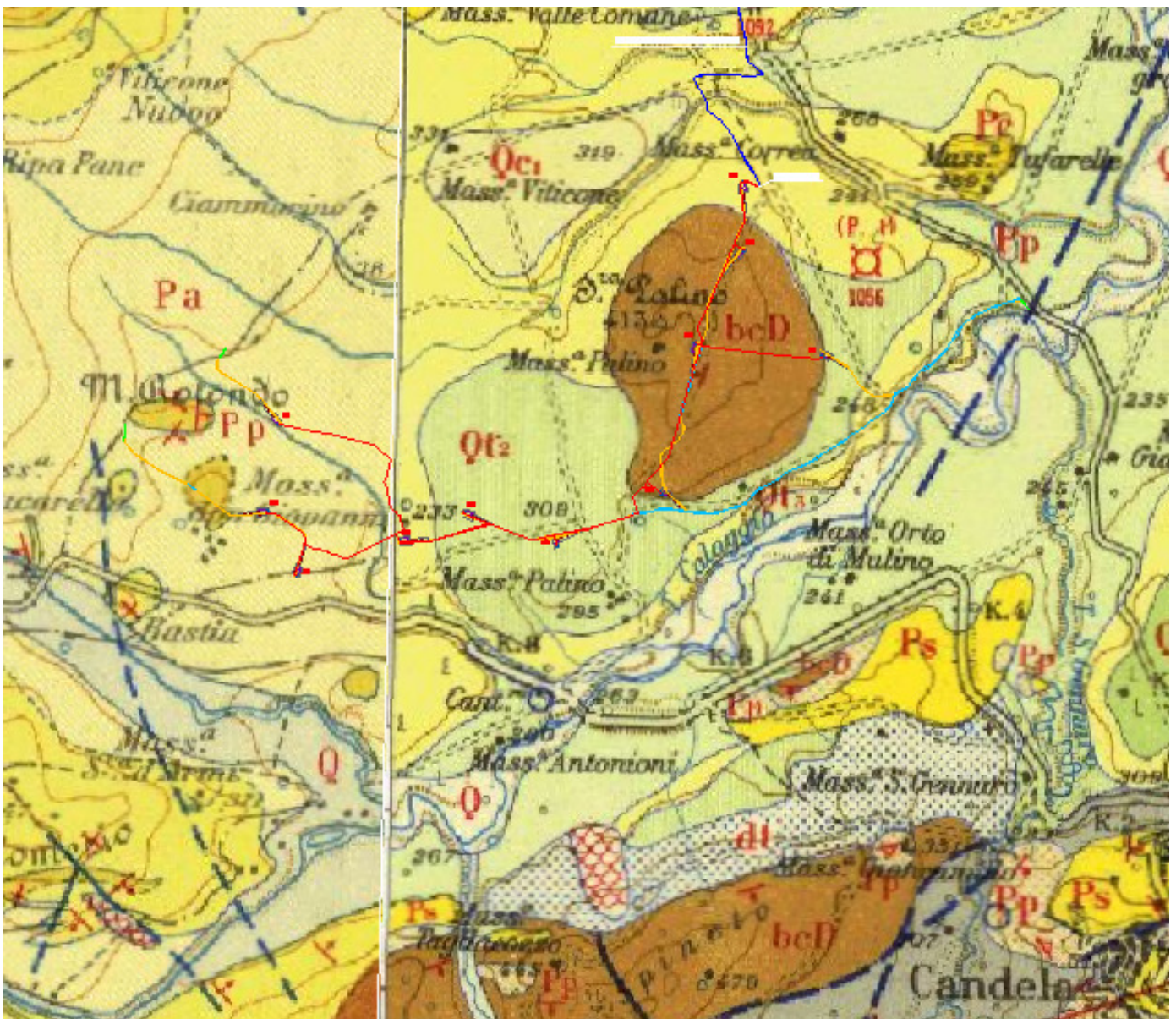
- CONGLOMERATI POLIGENICI CON CIOTTOLI DI MEDIE E GRANDI DIMENSIONI: A VOLTE FORTEMENTE CEMENTATI E CON INTERCALAZIONI DI SABBIE E ARENARIE (QC1)

Questo termine della serie di cui si riscontrano i primi indizi nella parte alta del complesso **PQs** è costituito da depositi di ciottolame poligenico con ganga sabbiosa ad elementi arenaci e calcarei di dimensioni variabili dai 5 ai 30 cm. Tale formazione ciottolosa generalmente poco compatta, si presenta solo localmente fortemente cementata in puddinga. Essa costituisce la parte sommitale del pianoro morfologico Sant'Agata di Puglia Lavello, inciso nel mezzo dal Fiume Ofanto e di quello di Castelluccio dei Sauri. Lo spessore varia da punto a punto ma generalmente si aggira sui 50 metri. Concrezioni e crostoni calcarei sono presentino a volte nella parte superiore della serie.

- CIOTTOLAME INCOERENTE CON INTERCALAZIONI SABBIOSE (QC₂)

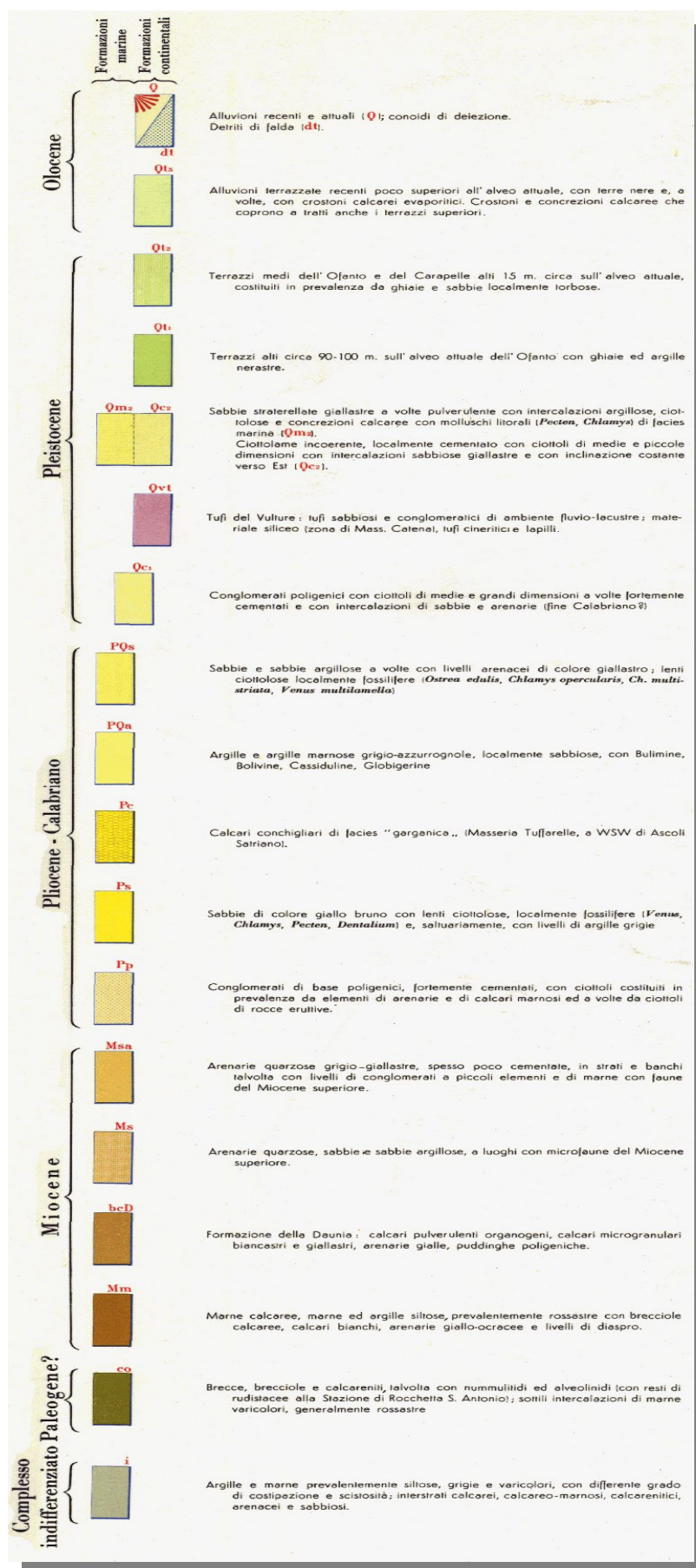
Tale formazione risulta essere il terreno fondale dell'intervento di progetto, essa pur essendo costituita dagli stessi elementi arenacei e calcarei della formazione (QC₁) si differenzia da quest'ultima sia dal punto di vista tettonico che granulometrico. Tra i due complessi (QC₁ E QC₂) infatti rinveniamo un gradino morfologico che si riscontra con un a certa costanza lungo la direttrice NO-SE fra il torrente Carapelle ed il fiume Ofanto. Anche la natura litologica risulta essere la stessa ma a differenza della formazione precedente si presenta molto incoerente con elementi e clasti di modeste dimensioni (10-15 cm) ed intercalazioni di sabbie finissime di colore giallo-oro.

STRALCIO CARTA GEOLOGICA FOGLIO 174-175



Intervento di progetto

Legenda



5. INQUADRAMENTO P.A.I.

L'area interessata dall'intervento di progetto ed i territori ad essa circostanti, sono caratterizzati da una morfologia molto blanda.

Essa è inserita nelle area a **Pericolosità Geomorfologica (PG1) e (PG2)** ovvero rispettivamente **Media e Moderata(PG1) ed Elevata (PG2)**

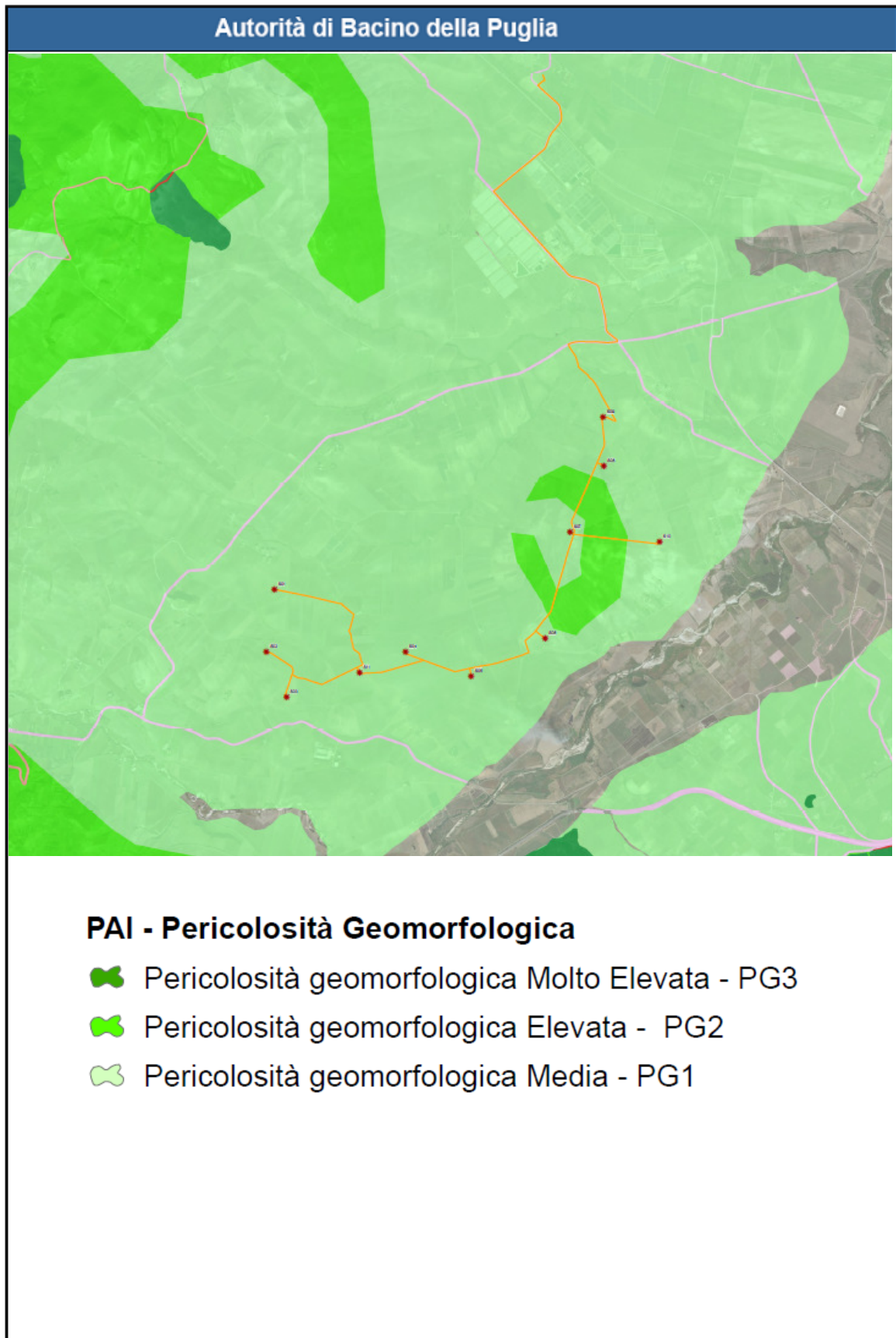
La campagna d'indagine eseguita sul sito di studio, ha evidenziato in affioramento, e per i primi metri di spessore, la presenza di terreni incoerenti costituiti da conglomerati in matrice sabbioso-argillosa passante in profondità ad argille limose.

La presenza di tali litologie in aree di versante collinare rientranti in Perimetrazioni **P.A.I. PG1, e PG2** ai fini della compatibilità con l'intervento, ha reso necessario effettuare un rilievo plano-altimetrico di dettaglio e la successiva verifica di stabilità del versante. **(Cfr. Rilievo plano-altimetrico).**

Dal citato studio plano-altimetrico è risultato chiaro che la topografia e le variazioni altimetriche, son tali da non provocare movimenti gravitativi superficiali nonché profondi.

L'area è ubicata su quote comprese tra 300 e 400 metri s.l.m. ed è contraddistinta da basse pendenze che non superano mai il 4,5%.

L'attività tettonica riguardante questa porzione di territorio, si è avuta a partire dal Pliocene (neotettonica) ed ha riguardato esclusivamente dei lenti movimenti areali, sia di innalzamento che di abbassamento conferendo alla regione l'assetto strutturale odierno.



6. VERIFICHE DI STABILITÀ

Trovandosi su un versante collinare con una morfologia poco accidentata e con pendenze molto basse si è ritenuto opportuno effettuare la verifica lungo **una sezione più significativa (Cfr. Rilievo plano-altimetrico con ubicazione traccia Sezione S1), ovvero quelle avente pendenze più elevate, attraversate dalla sede stradale e rientrate in pericolosità geomorfologica Elevata PG2**

Per la sezione di studio è stata effettuata la verifica di stabilità in condizioni **post-opera**, ipotizzando un **carico distribuito (passaggio automezzo pesante) di 20,00 KN/m²**.

il coefficiente di sicurezza richiesto è di **1,00**

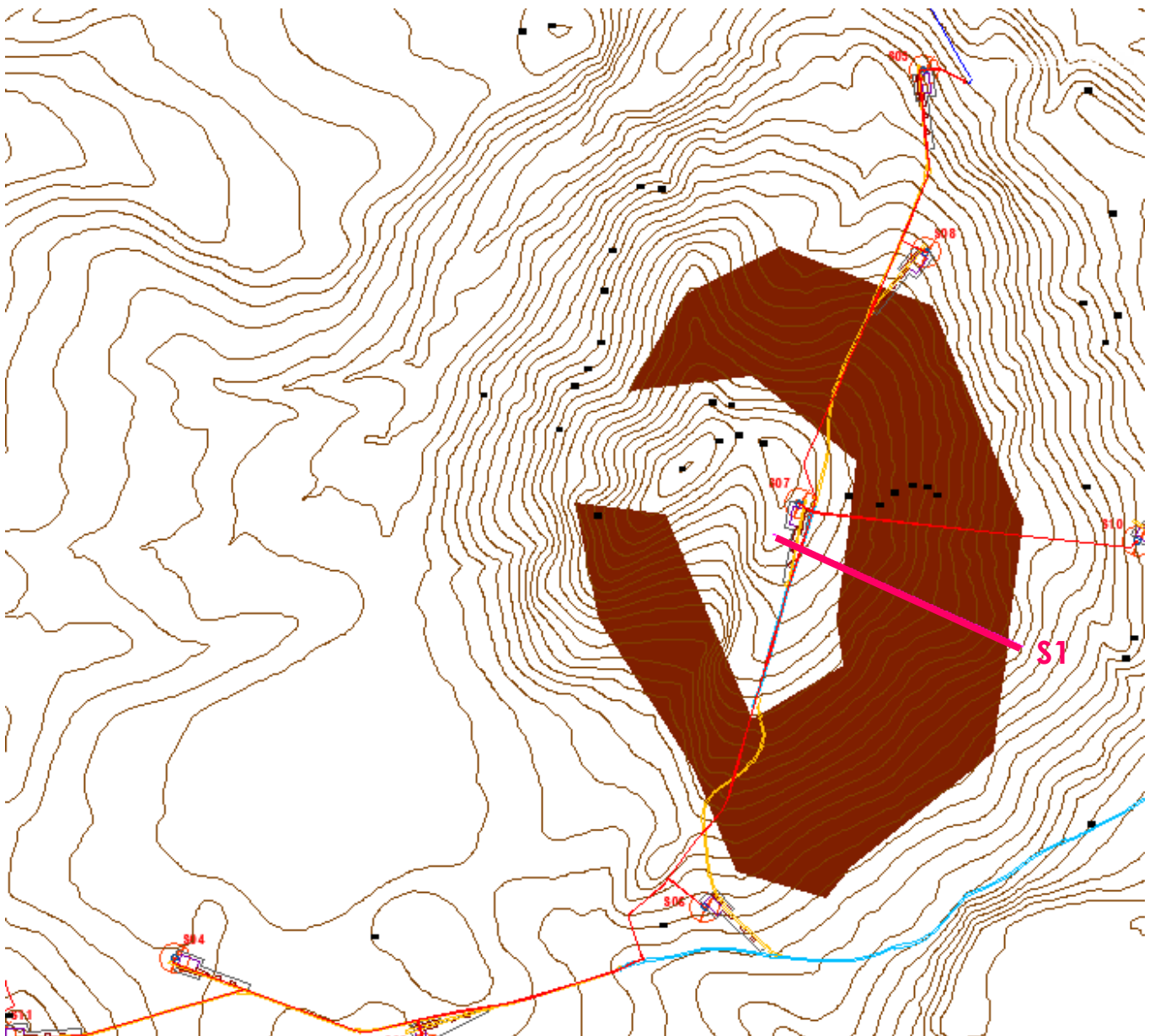
Di seguito in tabella è riportato il valore del Coefficiente di sicurezza come risultanza della verifica di stabilità in condizioni post opera, ovvero al passaggio dell'automezzo pesante.

| | POST-OPERA |
|-----------|------------|
| Sezione 1 | 1,11 |

si evince che in la stabilità del versante è verificata.

Le calcolazioni e le metodologie utilizzate dal Software sono riportate in allegato:

RILIEVO PLANO-ALTIMETRICO CON INDICAZIONE DELLA SEZIONE VERIFICATA



AREA CON PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA PG2



S1

TRACCIA DELLA SEZIONE SU CUI È STATA EFFETUATA LA VERIFICA

7. CONCLUSIONI

Il presente **STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA (VERIFICA DI STABILITÀ VERSANTE)** rientra nell'ambito del **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)**.

I dati acquisiti attraverso l'esecuzione di la campagna di indagini geognostiche hanno permesso di ricostruire un modello geologico e sismico adeguato alle esigenze ingegneristiche dei progettisti e contribuito allo svolgimento del seguente studio di stabilità.

Il modello geologico e geotecnico ottenuto dalla totalità delle indagini effettuate, può essere schematizzato e semplificato in due macro litologie , a tratti, entrambe intercalate da livelletti di brecce calcaree.

I parametri geotecnici caratteristici delle due litologie principali possono essere così schematizzati:

LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO (da 1.00 a 7.00 metri circa)

- un angolo di attrito interno di $\Phi=23^\circ$;
- peso di volume $1,95 \text{ Kg/cm}^3$
- coesione pari a $0,33 \text{ Kg/cm}^2$

LIMO ARGILLOSO DI COLORE GRIGIO VERDE (da 7.00 a 15 metri circa)

- un angolo di attrito interno di $\Phi=20^\circ$;
- peso di volume $1,95 \text{ Kg/cm}^3$
- coesione pari a $0,42 \text{ Kg/cm}^2$

Dal punto di vista della risposta sismica locale del sito la V_{S30} è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i/V_i}$$

Da tale relazione è emerso un valore di V_{S30} 260.98 m/sec per cui è associata una categoria di suolo :

Categoria C -Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < C_u < 250 \text{ kPa}$)

In allegato alla presente norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE
DI SANT'AGATA DI PUGLIA (FG)**

| Stato Limite | Tr (anni) | Ag (g) | Fo | Tc (s) |
|--|-----------|--------|-------|--------|
| Operatività (SLO) | 30 | 0.053 | 2.420 | 0.283 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.068 | 2.502 | 0.317 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.213 | 2.394 | 0.416 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.296 | 2.399 | 0.425 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica | 50 | | | |

Trovandosi su un versante collinare con una morfologia poco accidentata e con pendenze molto basse si è ritenuto opportuno effettuare la verifica lungo **una sezione più significativa (Cfr. Rilievo plano-altimetrico con ubicazione traccia Sezione S1), ovvero quelle avente pendenze più elevate, attraversate dalla sede stradale e rientrante in pericolosità geomorfologica Elevata PG2**

Per la sezione di studio è stata effettuata la verifica di stabilità in condizioni **post-opera**, ipotizzando un **carico distribuito (passaggio automezzo pesante) di 20,00 KN/m²**.

il coefficiente di sicurezza richiesto è di 1,00

Di seguito in tabella è riportato il valore del Coefficiente di sicurezza come risultanza della verifica di stabilità in condizioni post opera, ovvero al passaggio dell'automezzo pesante.

| | POST-OPERA |
|------------------|-------------|
| Sezione 1 | 1,11 |

si evince che in la stabilità del versante è verificata.

Le calcolazioni e le metodologie utilizzate dal Software sono riportate in allegato:

Maruggio, Novembre 2018

Il Geologo

Dott. Antonio Mattia FUSCO



ALLEGATI:

- **1-RELAZIONE DI CALCOLO - SEZIONE S1 POST-OPERA;**

Relazione di calcolo

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

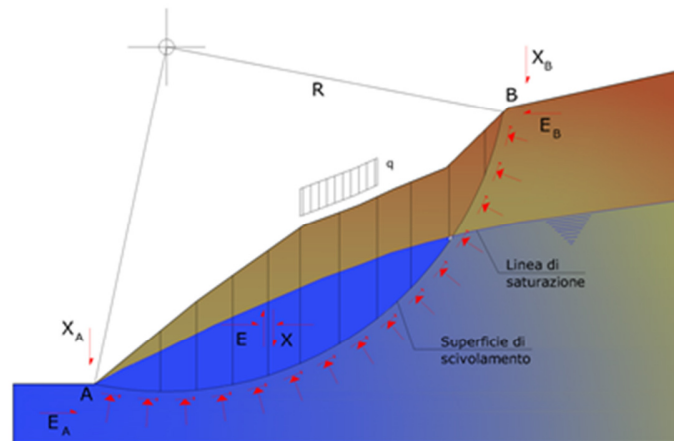
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).



Metodo dei concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;

- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

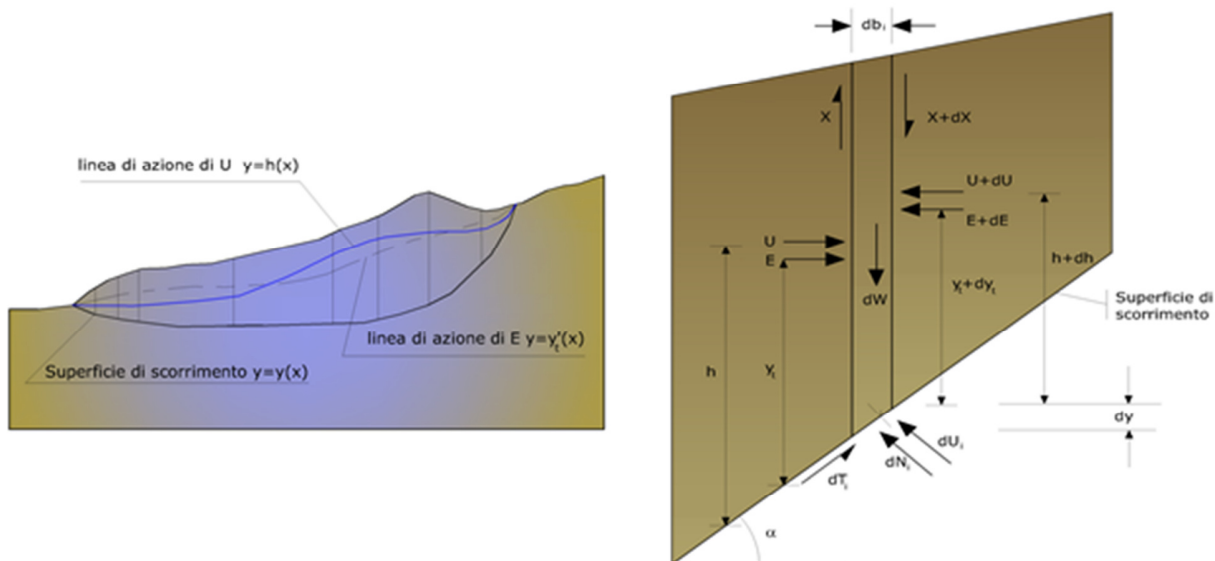
Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$\begin{aligned} c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \phi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \\ = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right) \end{aligned}$$



Azioni sul concio i -esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta “**equazione dei momenti**”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- W peso concio;
- K_x coefficiente sismico orizzontale;
- K_y coefficiente sismico verticale.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)

| | |
|---|--------------------|
| Normativa | [A2+M1+R2] |
| Numero di strati | 2,0 |
| Numero dei conci | 50,0 |
| Grado di sicurezza ritenuto accettabile | 1,3 |
| Coefficiente parziale resistenza | 1,0 |
| Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito: | Picco |
| Analisi | Condizione drenata |
| Superficie di forma circolare | |

Maglia dei Centri

| | |
|---|----------|
| Ascissa vertice sinistro inferiore x_i | 50,63 m |
| Ordinata vertice sinistro inferiore y_i | 237,11 m |
| Ascissa vertice destro superiore x_s | 582,39 m |
| Ordinata vertice destro superiore y_s | 495,71 m |
| Passo di ricerca | 10,0 |
| Numero di celle lungo x | 30,0 |
| Numero di celle lungo y | 20,0 |

Sisma

| | |
|---|-------|
| Coefficiente azione sismica orizzontale | 0,082 |
| Coefficiente azione sismica verticale | 0,041 |

Vertici profilo

| Nr | X (m) | Y (m) |
|----|----------|----------|
| 1 | 0,0 | 20,0 |
| 2 | 30,06 | 25,0 |
| 3 | 64,09 | 30,0 |
| 4 | 98,57 | 35,0 |
| 5 | 138,09 | 40,0 |
| 6 | 192,93 | 45,0 |
| 7 | 200,0 | 45,0 |
| 8 | 261,41 | 50,0 |
| 9 | 357,68 | 60,0 |
| 10 | 398,41 | 65,0 |
| 11 | 435,03 | 70,0 |
| 12 | 475,96 | 75,0 |
| 13 | 528,78 | 80,0 |
| 14 | 574,6 | 85,0 |
| 15 | 629,0 | 90,0 |
| 16 | 637,0 | 90,0 |
| 17 | 678,75 | 95,0 |

Falda

| Nr. | X | Y |
|-----|---|---|
|-----|---|---|

| | (m) | (m) |
|----|--------|-------|
| 1 | 0,0 | 17,99 |
| 2 | 30,06 | 22,99 |
| 3 | 64,09 | 27,99 |
| 4 | 98,57 | 32,99 |
| 5 | 138,09 | 37,99 |
| 6 | 192,93 | 42,99 |
| 7 | 200,0 | 42,99 |
| 8 | 261,41 | 47,99 |
| 9 | 357,68 | 57,99 |
| 10 | 398,41 | 62,99 |
| 11 | 435,03 | 67,99 |
| 12 | 475,96 | 72,99 |
| 13 | 528,78 | 77,99 |
| 14 | 574,6 | 82,99 |
| 15 | 629,0 | 87,99 |
| 16 | 637,0 | 87,99 |
| 17 | 678,75 | 92,99 |

Vertici strato1

| N | X (m) | Y (m) |
|----|----------|----------|
| 1 | 0,0 | 13,0 |
| 2 | 30,06 | 18,0 |
| 3 | 64,09 | 23,0 |
| 4 | 98,57 | 30,0 |
| 5 | 138,09 | 32,0 |
| 6 | 192,93 | 39,0 |
| 7 | 261,41 | 40,0 |
| 8 | 357,68 | 52,0 |
| 9 | 398,41 | 56,0 |
| 10 | 435,03 | 63,0 |

| | | |
|----|--------|------|
| 11 | 475,96 | 68,0 |
| 12 | 528,78 | 75,0 |
| 13 | 574,6 | 80,0 |
| 14 | 629,24 | 83,0 |
| 15 | 678,75 | 87,0 |

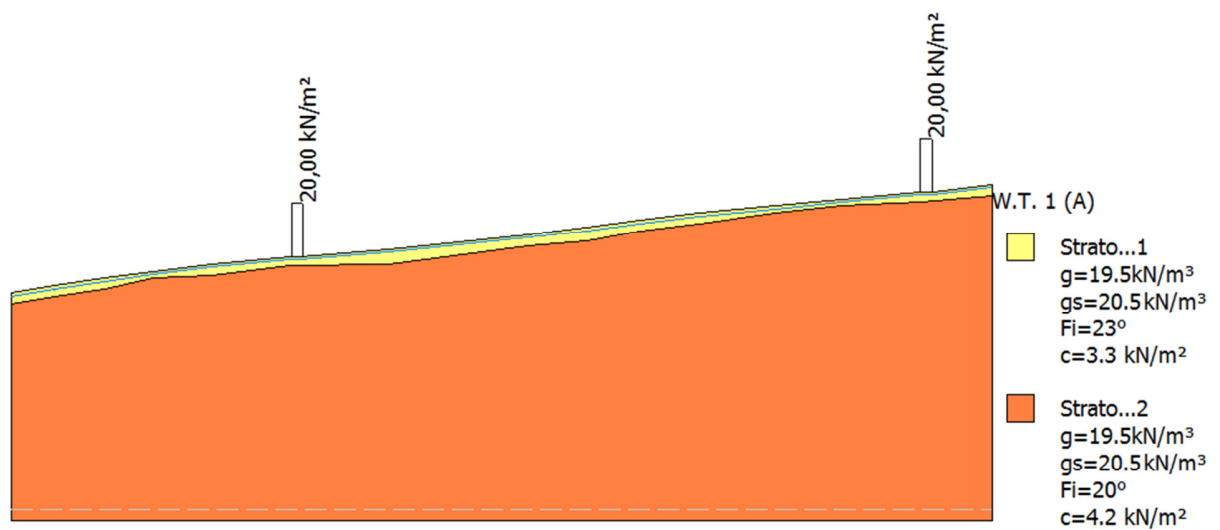


Figura 1- Modello geotecnico di calcolo

Coefficienti parziali azioni

| | | |
|------------------------------------|-----|-----|
| Sfavorevoli: Permanenti, variabili | 1,0 | 1,0 |
| Favorevoli: Permanenti, variabili | 1,0 | 1,0 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| | |
|---|------|
| Tangente angolo di resistenza al taglio | 1,25 |
| Coesione efficace | 1,25 |
| Coesione non drenata | 1,4 |
| Riduzione parametri geotecnici terreno | No |

Stratigrafia

| Strato | Coesione (kN/m ²) | Angolo resistenza al taglio (°) | Peso unità di volume (kN/m ³) | Peso saturo (kN/m ³) | |
|--------|----------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| 1 | 3.3 | 23 | 19.5 | 20.5 | |
| 2 | 4.2 | 20 | 19.5 | 20.5 | |

Carichi distribuiti

| N° | xi (m) | yi (m) | xf (m) | yf (m) | Carico esterno (kN/m ²) |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| 1 | 194 | 45 | 202 | 45 | 20 |
| 2 | 629 | 90 | 637 | 90 | 20 |

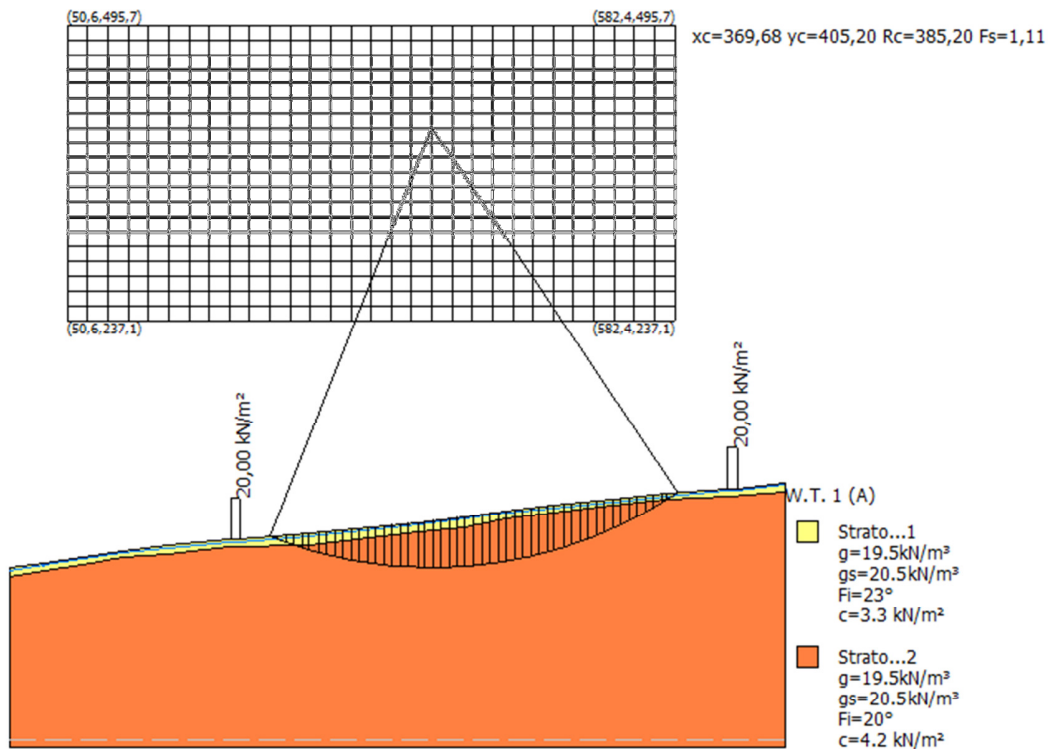


Figura 2 - Visualizzazione risultati analisi

Risultati analisi pendio

| | |
|----------------------------|----------|
| ===== | |
| Fs minimo individuato | 1,11 |
| Ascissa centro superficie | 369,68 m |
| Ordinata centro superficie | 405,2 m |
| Raggio superficie | 385,2 m |
| ===== | |

xc = 369,685 yc = 405,201 Rc = 385,201 Fs=1,11

Lambda = -0,134

| Nr. | B m | Alfa (°) | Li m | Wi (kN) |
|-----|--------|-------------|---------|------------|
| 1 | 7,16 | -21,1 | 7,67 | 236,26 |
| 2 | 7,16 | -19,97 | 7,61 | 712,76 |

SLOPE

| | | | | |
|----|------|--------|------|---------|
| 3 | 7,16 | -18,84 | 7,56 | 1168,07 |
| 4 | 7,16 | -17,72 | 7,51 | 1600,37 |
| 5 | 5,36 | -16,74 | 5,6 | 1467,61 |
| 6 | 8,95 | -15,63 | 9,3 | 2958,93 |
| 7 | 7,16 | -14,39 | 7,39 | 2804,66 |
| 8 | 7,16 | -13,3 | 7,35 | 3172,47 |
| 9 | 7,16 | -12,2 | 7,32 | 3519,2 |
| 10 | 7,16 | -11,12 | 7,29 | 3844,94 |
| 11 | 7,16 | -10,03 | 7,27 | 4150,03 |
| 12 | 7,16 | -8,95 | 7,25 | 4434,77 |
| 13 | 7,16 | -7,88 | 7,23 | 4699,19 |
| 14 | 7,16 | -6,81 | 7,21 | 4943,61 |
| 15 | 7,16 | -5,73 | 7,19 | 5168,02 |
| 16 | 7,16 | -4,67 | 7,18 | 5372,61 |
| 17 | 7,16 | -3,6 | 7,17 | 5557,57 |
| 18 | 8,59 | -2,43 | 8,6 | 6885,81 |
| 19 | 5,73 | -1,36 | 5,73 | 4712,12 |
| 20 | 7,16 | -0,4 | 7,16 | 6020,59 |
| 21 | 7,16 | 0,66 | 7,16 | 6147,04 |
| 22 | 7,16 | 1,73 | 7,16 | 6254,06 |
| 23 | 7,16 | 2,79 | 7,17 | 6341,55 |
| 24 | 6,38 | 3,8 | 6,39 | 5707,26 |
| 25 | 7,94 | 4,87 | 7,97 | 7168,67 |
| 26 | 7,16 | 6,0 | 7,2 | 6509,44 |
| 27 | 7,16 | 7,07 | 7,21 | 6532,55 |
| 28 | 7,16 | 8,14 | 7,23 | 6535,74 |
| 29 | 7,21 | 9,22 | 7,31 | 6567,98 |
| 30 | 7,1 | 10,3 | 7,22 | 6424,88 |
| 31 | 7,16 | 11,38 | 7,3 | 6401,26 |
| 32 | 7,16 | 12,47 | 7,33 | 6307,79 |
| 33 | 7,16 | 13,56 | 7,36 | 6193,27 |
| 34 | 7,16 | 14,66 | 7,4 | 6057,51 |

| | | | | |
|----|-------|-------|-------|---------|
| 35 | 5,2 | 15,61 | 5,4 | 4302,71 |
| 36 | 9,11 | 16,72 | 9,52 | 7295,67 |
| 37 | 7,16 | 17,99 | 7,52 | 5468,47 |
| 38 | 7,16 | 19,11 | 7,57 | 5215,38 |
| 39 | 7,16 | 20,24 | 7,63 | 4939,29 |
| 40 | 7,16 | 21,38 | 7,69 | 4639,58 |
| 41 | 7,16 | 22,53 | 7,75 | 4315,63 |
| 42 | 7,92 | 23,75 | 8,65 | 4368,56 |
| 43 | 6,39 | 24,92 | 7,05 | 3197,41 |
| 44 | 7,16 | 26,04 | 7,97 | 3213,8 |
| 45 | 7,16 | 27,23 | 8,05 | 2801,93 |
| 46 | 7,16 | 28,43 | 8,14 | 2362,18 |
| 47 | 7,16 | 29,65 | 8,24 | 1893,87 |
| 48 | 7,16 | 30,88 | 8,34 | 1395,69 |
| 49 | 3,64 | 31,82 | 4,28 | 508,53 |
| 50 | 10,67 | 33,09 | 12,74 | 645,76 |

Sforzi sui conci

| Nr. | Xi (kN) | Ei (kN) | Xi-1 (kN) | Ei-1 (kN) | N'i (kN) | Ti (kN) | Ui (kN) |
|-----|------------|------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 1 | -29,3 | 218,62 | 0,0 | 0,0 | 185,05 | 93,54 | 0,0 |
| 2 | -85,86 | 640,65 | -29,3 | 218,62 | 406,76 | 178,13 | 206,43 |
| 3 | -163,74 | 1221,84 | -85,86 | 640,65 | 619,47 | 259,28 | 424,33 |
| 4 | -254,53 | 1899,28 | -163,74 | 1221,84 | 844,58 | 305,26 | 631,23 |
| 5 | -318,11 | 2373,73 | -254,53 | 1899,28 | 793,67 | 281,32 | 601,62 |
| 6 | -476,42 | 3555,04 | -318,11 | 2373,73 | 1570,09 | 549,83 | 1247,76 |
| 7 | -599,02 | 4469,9 | -476,42 | 3555,04 | 1529,93 | 529,44 | 1207,48 |
| 8 | -726,81 | 5423,44 | -599,02 | 4469,9 | 1757,67 | 603,96 | 1383,14 |
| 9 | -857,14 | 6395,98 | -726,81 | 5423,44 | 1978,14 | 676,11 | 1549,52 |
| 10 | -987,69 | 7370,11 | -857,14 | 6395,98 | 2190,87 | 745,73 | 1705,06 |
| 11 | -1116,26 | 8329,5 | -987,69 | 7370,11 | 2393,36 | 812,01 | 1850,72 |
| 12 | -1240,78 | 9258,68 | -1116,26 | 8329,5 | 2583,34 | 874,19 | 1987,44 |

SLOPE

| | | | | | | | |
|----|----------|-----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| 13 | -1359,46 | 10144,27 | -1240,78 | 9258,68 | 2760,88 | 932,31 | 2113,64 |
| 14 | -1470,57 | 10973,36 | -1359,46 | 10144,27 | 2923,25 | 985,47 | 2231,08 |
| 15 | -1572,63 | 11734,93 | -1470,57 | 10973,36 | 3070,89 | 1033,81 | 2338,14 |
| 16 | -1664,27 | 12418,71 | -1572,63 | 11734,93 | 3202,09 | 1076,77 | 2435,72 |
| 17 | -1744,2 | 13015,13 | -1664,27 | 12418,71 | 3315,27 | 1113,83 | 2524,71 |
| 18 | -1855,27 | 13843,97 | -1744,2 | 13015,13 | 4125,93 | 1384,94 | 3132,76 |
| 19 | -1864,17 | 13910,33 | -1855,27 | 13843,97 | 2773,18 | 930,68 | 2146,64 |
| 20 | -1903,2 | 14201,62 | -1864,17 | 13910,33 | 3561,43 | 1194,47 | 2746,24 |
| 21 | -1927,03 | 14379,4 | -1903,2 | 14201,62 | 3612,33 | 1211,15 | 2806,17 |
| 22 | -1934,94 | 14438,48 | -1927,03 | 14379,4 | 3642,85 | 1221,16 | 2857,6 |
| 23 | -1926,44 | 14375,03 | -1934,94 | 14438,48 | 3653,65 | 1224,72 | 2899,69 |
| 24 | -1885,42 | 14068,92 | -1926,44 | 14375,03 | 3219,79 | 1079,58 | 2610,39 |
| 25 | -1858,95 | 13871,43 | -1885,42 | 14068,92 | 4050,46 | 1357,82 | 3280,28 |
| 26 | -1799,17 | 13425,34 | -1858,95 | 13871,43 | 3581,0 | 1201,03 | 2980,02 |
| 27 | -1721,97 | 12849,31 | -1799,17 | 13425,34 | 3521,3 | 1181,52 | 2991,09 |
| 28 | -1627,44 | 12143,87 | -1721,97 | 12849,31 | 3442,59 | 1155,78 | 2992,64 |
| 29 | -1516,26 | 11314,26 | -1627,44 | 12143,87 | 3373,61 | 1133,46 | 3006,83 |
| 30 | -1387,58 | 10354,07 | -1516,26 | 11314,26 | 3199,46 | 1076,05 | 2940,19 |
| 31 | -1243,52 | 9279,14 | -1387,58 | 10354,07 | 3089,06 | 1040,17 | 2927,83 |
| 32 | -1084,34 | 8091,29 | -1243,52 | 9279,14 | 2934,46 | 989,6 | 2883,64 |
| 33 | -911,01 | 6797,94 | -1084,34 | 8091,29 | 2766,69 | 934,73 | 2828,58 |
| 34 | -724,64 | 5407,21 | -911,01 | 6797,94 | 2586,08 | 875,67 | 2763,36 |
| 35 | -535,73 | 3997,61 | -724,64 | 5407,21 | 1621,33 | 551,87 | 1961,08 |
| 36 | -317,52 | 2369,35 | -535,73 | 3997,61 | 2958,13 | 1005,64 | 3319,19 |
| 37 | -102,56 | 765,29 | -317,52 | 2369,35 | 1966,23 | 672,97 | 2482,13 |
| 38 | 117,59 | -877,48 | -102,56 | 765,29 | 1745,84 | 600,91 | 2360,39 |
| 39 | 340,66 | -2541,97 | 117,59 | -877,48 | 1523,58 | 528,26 | 2228,45 |
| 40 | 564,0 | -4208,59 | 340,66 | -2541,97 | 1303,64 | 456,39 | 2085,2 |
| 41 | 784,73 | -5855,66 | 564,0 | -4208,59 | 1089,15 | 386,32 | 1930,37 |
| 42 | 1009,73 | -7534,56 | 784,73 | -5855,66 | 1014,94 | 365,41 | 1941,51 |
| 43 | 1204,28 | -8986,26 | 1009,73 | -7534,56 | 565,72 | 212,1 | 1409,63 |
| 44 | 1397,66 | -10429,25 | 1204,28 | -8986,26 | 521,64 | 201,12 | 1403,14 |

SLOPE

| | | | | | | | |
|----|---------|-----------|---------|-----------|--------|--------|--------|
| 45 | 1574,37 | -11747,86 | 1397,66 | -10429,25 | 371,28 | 152,15 | 1206,5 |
| 46 | 1729,57 | -12906,01 | 1574,37 | -11747,86 | 250,06 | 112,75 | 995,72 |
| 47 | 1858,04 | -13864,6 | 1729,57 | -12906,01 | 162,37 | 84,37 | 772,07 |
| 48 | 1953,79 | -14579,08 | 1858,04 | -13864,6 | 117,87 | 70,18 | 533,35 |
| 49 | 1997,8 | -14907,52 | 1953,79 | -14579,08 | 11,1 | 19,85 | 175,17 |
| 50 | 2026,66 | -15122,89 | 1997,8 | -14907,52 | 262,67 | 138,27 | 108,84 |



