

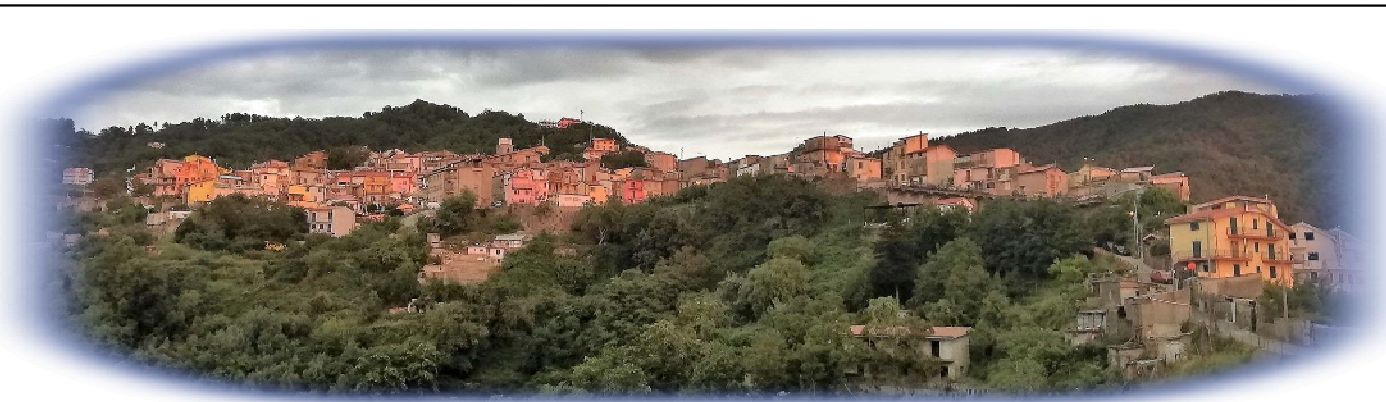


Comune di PENTONE (CZ)

## REGIONE CALABRIA

Decreto Dirigenziale N. 10166 del 17/08/2016 Dipartimento 6 Regione Calabria

Servizi tecnici di Architettura e Ingegneria per Redazione Progettazione Definitiva ed Esecutiva, Direzione dei Lavori, Coordinamento della Sicurezza in fase di Progettazione ed Esecuzione dei lavori di "Completamento della rete di collettamento del capoluogo e Loc. Soppolise e Realizzazione di un nuovo impianto di depurazione a fanghi attivi da 2.200 A.E. in loc. Valle dei Mulini del Comune di Pentone (CZ)  
- CIG: H33H18000000002



## PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO		TITOLO ELABORATO	SCALA
<b>A.04</b>		<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	
FORMATO			DATA
Rev.	Data		Descrizione modifiche
00	12/2019	Prima emissione	

IL Capogruppo / Mandataria: <b>Ing. Giovanni Albanese</b>	IL Mandante <b>Ing. Danilo Serratore</b>	IL Geologo <b>Dott. Ezio Infelise</b>	IL Sindaco: <b>Prof. Vincenzo Marino</b>
--	---	--	---

IL Mandante <b>Arch. Raffaele Riccelli</b>	IL Mandante <b>Ing. Michelangelo Tarantino</b>	IL RUP: <b>Ing. Rodolfo Anacreonte</b>
---	---	---

---

## SOMMARIO

CAPITOLO 1: GENERALITA'.....	2
1.1 Natura della perizia.....	2
1.2 Ubicazione del sito.....	2
1.3 Normativa di Riferimento .....	2
1.4 Elaborati.....	3
CAPITOLO 2: INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA.....	4
2.1 Inquadramento generale.....	4
2.2 Morfologia e tettonica dell'area.....	7
2.3 Condizioni idrauliche superficiali ed idrogeologia .....	9
2.4 Situazione PAI e Vincoli geoambientali.....	10
CAPITOLO 3: CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	11
3.1 Premessa .....	11
3.2 Determinazione dei parametri.....	13
3.2.1 Classificazione del terreno.....	13
3.2.2 Classificazione Topografica.....	13
3.3 Pericolosità Sismica.....	13
3.4 Liquefazione .....	13
CAPITOLO 4. SONDAGGI E PROVE IN SITU .....	17
4.1 Prova Penetrometrica Dinamica .....	17
4.2 Stratigrafia e caratteristiche tecniche dei terreni indagati .....	20
4.3. Analisi di Laboratorio su campioni indisturbati.....	21
4.4 Indagini Geofisiche (Sismica a rifrazione e MASW) .....	21
4.5 Modello Geologico-Geotecnico dei terreni in studio.....	24
CAPITOLO 5: ANALISI DI STABILITA' DEL PENDIO .....	25
5.1. Definizione .....	25
5.2 Introduzione all'analisi di stabilità .....	25
5.3 Metodo equilibrio limite (LEM) .....	25
5.4 Metodo dei conci .....	26
5.5 Metodo di Fellenius (1927).....	27
5.6 Metodo di Bishop (1955).....	27
5.7 Metodo di Janbu (1967).....	28
5.8 Metodo di Bell (1968).....	29
5.9 Metodo di Sarma (1973).....	30
5.10 Metodo di Spencer (1967) .....	32
5.11 Metodo di Morgenstern e Price (1965).....	33
5.12 Valutazione dell'azione sismica .....	34
5.13 Ricerca della superficie di scorrimento critica.....	35
5.14 Risultati e commenti .....	35
CAPITOLO 6: CONCLUSIONI .....	36

## TAVOLE E ALLEGATI

---

## CAPITOLO 1: GENERALITA'

### 1.1 Natura della perizia

Il sottoscritto Dott. Geol. Ezio INFELISE iscritto all'ordine dei geologi con numero di riferimento 729 ha avuto l'incarico dalla Amministrazione Comunale di Pentone (CZ) con determina del Responsabile dell'Area Tecnica n° 187 del 23/10/2019 per la redazione della presente relazione a corredo del *“COMPLETAMENTO DELLA RETE DI COLLETTAMENTO DEL CAPOLUOGO E LOC. SCOPPOLISE E REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE A FANGHI ATTIVI DA 2.200 A.E. IN LOC. VALLE DEI MULINI DEL COMUNE DI PENTONE (CZ)”* .

Inoltre sarà eseguito anche un intervento sulla viabilità di accesso consistente nel realizzare la cunetta stradale con muretto di contenimento del terreno, allargare la sezione stradale di 150 cm al fine di consentire il passaggio dei mezzi di lavoro. Inoltre è previsto la realizzazione del sottofondo stradale con misto stabilizzato.

### 1.2 Ubicazione del sito

Il sito in oggetto, riferito al depuratore, è ubicabile attraverso i seguenti riferimenti geografici, espressi secondo il sistema ED 50,:

<b>Comune</b>	Pentone (CZ)
<b>Latitudine</b>	38.98476° N
<b>Longitudine</b>	16, 588316° E
<b>Quota s.l.m. circa</b>	535 m slm

### 1.3 Normativa di Riferimento

- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana 1977 “Raccomandazioni sulla progettazione e sulla esecuzione delle indagini geotecniche”;
- Piano Stralcio di Bacino per l' Assetto Idrogeologico della CALABRIA,
- **D.M. 17/01/2018 “ Norme Tecniche per le costruzioni”** ;
- Regolamento Regionale del 29/11/2016 n° 15 - PROCEDURE PER LA DENUNCIA, IL DEPOSITO E L'AUTORIZZAZIONE DI INTERVENTI DI CARATTERE

---

STRUTTURALE E PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE IN PROSPETTIVA  
SISMICA” DI CUI ALLA LEGGE REGIONALE N. 37 DEL 28 DICEMBRE 2015.  
(pubblicata sul BURC n. 96 del 31 dicembre 2015)

#### **1.4 Elaborati**

La perizia seguente contiene in dettaglio i dati raccolti ed i risultati ottenuti ed è inoltre corredata dai seguenti elaborati:

- ✓ TAVOLA n° 1: Inquadramento territoriale;
- ✓ TAVOLA n° 2: Inquadramento Geologico;
- ✓ TAVOLA n° 3: Vincoli territoriali e ambientali;
- ✓ TAVOLA n° 4: Carta Idrogeologica e Idrogeologica;
- ✓ Allegato n° 1: Elaborati analitici e grafici relativi alle prova penetrometriche dinamiche superpesanti;
- ✓ Allegato n° 2: Elaborati analitici e grafici relativi alle analisi di laboratorio;
- ✓ Allegato n° 3: Elaborati analitici e grafici relativi alle indagini geofisiche (sismica a rifrazione e MASW);
- ✓ Allegato n° 4: Elaborati analitici e grafici relativi all’analisi di stabilità del pendio ante e post operam.

---

## CAPITOLO 2: INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

### 2.1 Inquadramento generale

Il territorio in studio, ricade al margine meridionale della "Presila Catanzarese" e costituisce inoltre la porzione meridionale del settore settentrionale di quella struttura nota come Arco Calabro – Peloritano; con quest'ultimo termine si identifica la parte estrema della penisola italiana che va dalla Piana di Sibari fino a comprendere l'angolo nord – occidentale della Sicilia (monti Peloritani). Questa tratto di catena può essere considerata, dal punto di vista geologico e tettonico tra i più complessi dell'intero territorio italiano; risulta delimitato da due grandi faglie, la linea di Sanginetto a Nord e la linea di Taormina a Sud e rappresenta l'attuale stato di massima distorsione della catena Appennino – Maghrebide che raccorda gli assi NW – SE dell'Appennino meridionale con quelli E – W delle Maghrebidi, che comprendono l'area siciliana. Tale torsione, con velocità ed entità di espansione massime nella parte meridionale, è legata all'attività geodinamica profonda dovuta alla convergenza tra il blocco euroasiatico e quello africano, che comporta una forte attività tettonica. In tale contesto, l'edificio tirrenico dell'Arco Calabro risulta formato da una serie di falde sovrapposte che iniziano con un basamento cristallino pre-Mesozoico talvolta coperto da una fascia meso-cenozoica con caratteristiche simili a quella delle Alpi. Si tratta di falde derivanti da tale margine alpino impilatesi inizialmente con direzione europea. Questa tendenza evolutiva, fortemente attiva nel Paleocene e Miocene, ha avuto forti impulsi nel Quaternario ed è ancora attiva. L'evoluzione è riconducibile anche alla genesi di importanti discontinuità (faglie e fratture), e alla formazione di strutture a horst e graben, con la deposizione all'interno di quest'ultimi di terreni sedimentari continentali e marini per lo più sabbioso-argillosi e conglomeratici. Il Massiccio della Sila è delimitato a nord dal Graben della Piana di Sibari, ad ovest della Valle del Crati, ad est dal bacino sedimentario del crotonese e a sud dalla Stretta di Catanzaro. Dal punto di vista geologico l'altopiano silano si può suddividere in tre principali unità tettono-stratigrafiche, che dal basso verso l'alto comprendono:

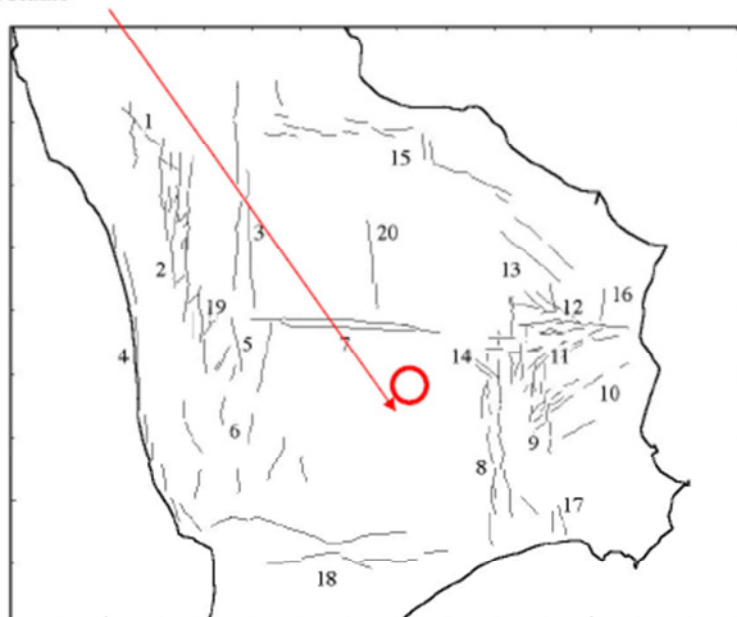
- Il Complesso Panormide, formato da successioni sedimentarie mesozoiche di calcari con selce, dolomie ed evaporiti e con relativo basamento filladico
- Il Complesso Liguride, che consta di due sequenze ofiolitiche, inferiore e superiore, entrambe interessate da metamorfismo
- Il Complesso Calabride si compone di crosta continentale europea, soggetta a metamorfismo da medio ad alto grado, con intrusioni plutoniche. In seguito tale complesso è stato suddiviso in quattro unità tettoniche sovrapposte da punto di vista geometrico :
  - Unità di Bagni
  - Unità di Castagna

- Unità di Polia Capanello
- Unità della Sila

Tali complessi sono in contatto di tipo tettonico e litologico e interessate da un sistema di faglie principali e secondarie concordi con l'assetto geostrutturale delle diverse fasi orogenetiche note in letteratura che vengono di seguito elencate. Il primo evento, di età Tortoniano-Pliocene inferiore, produce una serie di horst e graben attualmente orientati in direzione NW-SE. Questo tipo di tettonica distensiva, ad andamento N-S, ha controllato la sedimentazione fino al Pliocene inferiore. (Lanzafame Tortorici). Il secondo evento, medio-pliocenico, è caratterizzato da una tettonica compressiva responsabile della formazione di pieghe, faglie inverse e faglie trascorrenti con andamento NW-SE. Il terzo evento deformativo crea, a partire dal Pliocene medio superiore, dislocazioni di tipo tensivo con andamento preferenziale NE-SW. A livello locale questa tettonica distensiva e compressiva è evidenziata da una serie di faglie, con medesimo andamento, normali e/o inverse che separano le litologie metamorfiche o sono intraformazionali. Nel territorio in studio, non appaiono tutti i termini tettonico-stratigrafici caratteristici dell'Arco Calabro-Peloritano. In questo settore della Calabria troviamo la seguente serie stratigrafica:

- Complesso Calabride
- Complesso sedimentario Neogenico (post Orogeno)
- Complesso sedimentario olocenico

Area in studio



---

Dall'osservazione invece della carta geologica riportata in Tavola 3, si nota che l'area che ospiterà il depuratore, le opere di collettamento e la strada di accesso al depuratore, poste nel centro abitato, sono caratterizzate da una successione stratigrafica di formazioni metamorfiche. La formazione che caratterizza il sito in studio è così descritta in letteratura:

*Sbg :” Complesso igneo metamorfico di paragneiss e scisti biotitici, spesso con granati visibili ad occhio nudo ed occasionalmente con orneblenda e muscovite, in associazione con vene o segregazioni di rocce granitiche. Sono pure presenti piccoli ammassi, non cartografabili di dioriti. Una buona parte di queste rocce sono alterate e pressoché milonitizzate, da intensi movimenti tettonici. Le rocce sono di solito consistenti e resistenti all'erosione. Permeabilità bassa con aumento della stessa nelle zone di fratturazione.”*

Gli scisti biotitici (sbg), riferibili alla Unità della Sila, e si inquadrano in un ciclo di metamorfismo di alto grado, dovuto a fenomeni di pressione o stress che ha trasformato i graniti in scisti biotitici. L'unità della Sila è l'elemento geometricamente più alto del Complesso calabride che caratterizza il settore settentrionale dell'Arco Calabro Peloritano. Tale litologia è ben visibile nei dintorni dell'area in studio in numerosi affioramenti e lungo la strada comunale posta nelle vicinanze. L'ammasso roccioso appare notevolmente fratturato e alterato con evidenti piani di scistosità lungo i quali sono visibili i minerali principali: quarzo, biotite, plagioclasio e Kfeldspato milonitizzati lungo la medesima direzione. Al di sopra di tale ammasso roccioso poggia una copertura detritica d'alterazione sabbiosa e ghiaiosa mediamente addensata

Per quanto riguarda le opere di collettamento poste nella frazione Visconte-Scoppolise ricadono all'interno degli scisti filladici sf così descritti in letteratura:

*sf: “ Scisti filladici grigi, prevalentemente pelitici ma con locali sottili intercalazioni arenacee (quarziti). Essi sono costituiti principalmente da sericite (o muscovite), clorite e quarzo. Gli scisti contengono vene lenticolari, o segregazioni, di quarzo concordanti con la scistosità. Questo complesso presenta una discreta resistenza all'erosione ed alla degradazione meteorica. Permeabilità bassa, con aumento della stessa nelle zone di fratturazione.*

Gli scisti filladici appartenenti all'Unità di Bagni andando a costituire l'unità geometrica più bassa del Complesso Calabride, noto in letteratura.

Tale unità affiora diffusamente nella Calabria centrale (Sila Grande e Sila Piccola) ed è caratterizzata da un basamento pretriassico ed una copertura mesozoica trasgressiva in facies Verrucano (affiorante in catena Costiera in prossimità di Guardia Piemontese). Il basamento, con spessore apparente di 400-500 metri, è costituito da filladi grigio-scuro o plumbee alternate a

---

metareniti grossolane, metacglomerati e quarziti minute bruno-giallastre o bruno-verdastre, prevalenti nella parte alta. Intercalate a varie altezze affiorano metabasiti generalmente a grana fine e rare rocce anfiboliche minute. Talora, nella parte inferiore dell'intervallo metarenitico, affiorano porfiroidi. Gli eventi, polimetamorfici e polifasici (orogenesi ercinica ed alpina) sono tipici della facies a scisti verdi.

Tale litologia è ben visibile nei dintorni dell'area in studio in alcuni affioramenti lungo la strada. L'ammasso roccioso, di colore marrone scuro, appare notevolmente fratturato e alterato con evidenti piani di scistosità lungo i quali sono visibili i minerali principali: quarzo, biotite, plagioclasio e Kfeldspato milonitizzati lungo la medesima direzione di fratturazione. Sono visibili, inoltre vene di quarzo concordi con i piani di scistosità. Alcune di esse presentano tipiche forme di metamorfismo dinamico che testimoniano l'intensa tettonizzazione dell'area e della formazione rocciosa filladica. Al di sopra di tale ammasso roccioso poggia una copertura detritica d'alterazione sabbiosa e ghiaiosa mediamente addensata.

## **2.2 Morfologia e tettonica dell'area**

L'area interessata è ubicata sul versante sud della Presila Catanzarese, lungo una fascia di territorio delimitata dai bacini idrografici dei fiumi Alli e Corace. La zona ha una morfologia aspra e accidentata, in cui si aprono profonde incisioni vallive separate da dorsali più o meno ampie. Questa tipologia morfologica è omogeneamente distribuita su tutto il territorio ed è stata determinata dalla storia tettonica e climatica del luogo. A questa costanza di caratteri morfologici si contrappone la zona del bacino del Fiume Melito dove le acclività si mitigano. Il territorio in studio è prevalentemente caratterizzato da complessi rocciosi ignei e metamorfici che si presentano variamente alterati e/o tettonizzati. Subordinatamente, ed in aree molto limitate, sono presenti formazioni sedimentarie risalenti al periodo miocenico. Infine, limitatamente ai fondovalle e a poche altre zone sono presenti terreni alluvionali recenti e detriti di frane. Nel territorio comunale di Pentone le forme morfologiche rilevate sono strettamente connesse al modellamento ad opera di agenti naturali, fisici e chimici, e di morfostrutture derivate dalla forte attività tettonica. La variabile litologica evidenzia infine una variazione della loro azione in funzione del diverso grado di resistenza all'erosione e all'alterabilità. Uno degli agenti naturali che maggiormente contribuisce al modellamento del rilievo, ovviamente è la gravità; in particolare, manifesta maggiormente la propria attività nelle zone a pendenza più accentuata che coincidono, in genere, con le scarpate fluviali. In corrispondenza di versanti rocciosi a pendenza elevata maggiore del 50%, si evidenziano aree prive di copertura detritica e con una forte attività di dilavamento e svuotamento di versanti

---

determinando zone a pendenza elevata ma omogenea e a volte ben delimitata da coronamenti morfologici di antiche scarpate. In corrispondenza di coperture detritiche o orizzonti d'alterazione rilevanti, i versanti a pendenza anche inferiore si caratterizzano con aree non in equilibrio morfologico. In esse si rilevano aree di frana per crollo, per scorrimento o frane complesse connesse a diversi fattori di destabilizzazione, (tettonico-clivomentrico-litologico). In generale il territorio è caratterizzato da zone a morfologia diversificata rispetto alle litologie affioranti; si distinguono:

- Aree sommitali di dorsali collinari, sufficientemente ampie per ospitare insediamenti urbani, con pendenze principalmente comprese tra il 20-35%, caratterizzate da selle morfologiche, creste addolcite e terrazzamenti (sovente antropici).
- Aree di versante, pendenze sempre elevate e scarpate di farana a coronamento delle dorsali collinari.
- Aree di fondovalle differenziate da corsi d'acqua incassati, posti al piede di ripidi versanti, con azioni erosive concentrate; solo nell'area del bacino del Melito, si individuano aree sub-pianeggiate caratterizzate da depositi alluvionali e fluvio-lacustri.

Le aree di intervento posizionate nel **centro abitato di Pentone** ricadono all'interno di alcune frane che caratterizzano la valle dei Mulini. Tali frane sono state censite nel PAI e hanno subito, nel corso degli anni, alcune ripermetrazioni e riclassificazioni per quanto riguarda il loro livello di pericolosità. In particolare sono zone franose superficiali e profonde quiescenti, e una frana per scorrimento quiescente come si può ben vedere nella tavola 4 di questa relazione nella quale sono rappresentate. Tali tipologie di frane sono molto comuni nel centro abitato di Pentone ed in alcuni casi sono attive ma comunque ben lontane dalle aree di intervento.

I collettori fognari saranno realizzati lungo percorsi ubicati in prossimità della strada comunale CARBASILE-CULOVI, che "cammina" a metà del versante ad una quota media di circa 590 metri s.l.m. Di recente tale strada ha subito anche interventi di manutenzione straordinaria e ordinaria per renderla percorribile con alcuni mezzi agricoli.

Per quanto riguarda l'area che ospiterà il depuratore essa non ricade all'interno di aree in frana in atto e/o potenziali. È ubicata a ridosso della strada comunale che collega il centro abitato con i vecchi mulini ad una quota di circa 535 metri s.l.m. su un versante che degrada in direzione SUDEST su un terreno incolto. Sono presenti inoltre alcuni muretti a secco utilizzati che hanno permesso di trasformare il territorio e renderlo coltivabile nonostante le elevate pendenze dell'area. Inoltre hanno garantito una buona stabilità ai versanti fino a quando sono stati oggetto di continua manutenzione da parte dei proprietari. Negli ultimi anni l'abbandono dei terreni, delle pratiche agricole e i continui incendi boschivi hanno lesa la stabilità dei versanti consentendo l'innescio di

---

frane per scorrimento superficiale e per crollo che hanno interessato alcune strade statali e comunali, coinvolgendo esigui volumi di terreno.

Nelle frazioni di VISCONTI - SCOPPOLISE l'area è caratterizzata da pendenze più o meno elevate e dalla presenza di una frana per scorrimento quiescente ubicata lungo la strada che ospiterà i collettori della linea con indice di pericolosità PAI P2 (Vedi tavola 3). La strada che collega la frazione di Sant'Elia con Visconte è ubicata ad una quota di circa 620 metri s.l.m ed è caratterizzata dalla presenza di alcuni muretti a secco e in cls che danno una discreta protezione territoriale anche se non mancano rari fenomeni franosi che interessano esigui volumi di terreno.

### **2.3 Condizioni idrauliche superficiali ed idrogeologia**

L'idrografia superficiale appare fortemente condizionata dalle strutture tettoniche ovvero faglie e sovrascorrimenti, e dal repentino sollevamento di tutta l'area. Ciò ha determinato un allungamento del reticolo idrografico impostato sulle principali direttrici dei principali corsi d'acqua. Il fiume più importante è l'Alli. Tale fiume, entra nel territorio in studio dai comuni di Taverna e Sorbo San Basile, costeggiando il margine nord del territorio, per orientarsi verso SE. A NO il territorio è interessato dal fiume Melito, uno dei più importanti affluenti del Fiume Corace. Infine il torrente Fiumarella interessa il lato SO del territorio. Esistono vari fossi e torrenti che affluiscono ai corsi d'acqua principali ora citati. Tra i corsi d'acqua minori una certa rilevanza hanno il torrente Valle dei Mulini e Valle di Fossato affluenti dell'Alli che isolano la dorsale morfologica su cui sorge il paese di Pentone, ed il Sarbato che si apre tra le località Termine e Sant'Elia di Pentone. Quelli elencati sono tutti affluenti del Fiume Alli ed hanno una orientazione da Ovest ad Est. Tra gli affluenti del Melito si evidenziano il fosso Utro, il Fosso Canne, il Valle di Mezzo e il Fosso Patrone. Questi torrenti si localizzano nell'area Nord Ovest del territorio in studio. Importante infine è il torrente Sant'Elia, che attraversa l'abitato omonimo e affluisce nel Fosso Bonaventura (torrente Fiumarella) segnando il confine Sud tra Pentone e Catanzaro. Tutti questi torrenti solcano esclusivamente i complessi cristallini e guidano l'evoluzione geomorfologica ed il modellamento territoriale attuale. Il Fosso Sant'Elia ed il Buonaventura sono entrambi vincolati dall'autorità di Bacino della Calabria con perimetri di aree di attenzione. A differenza dei torrenti prima descritti, quelli in discussione adesso sono vicini ad insediamenti abitativi. Soprattutto il Sant'Elia, che attraversa l'omonima frazione di Pentone, ed è parzialmente occupato da strade come via IV novembre. In questo complesso la circolazione idrica sotterranea e concentrata nella coltre superficiale di alterazione la quale presenta condizioni di permeabilità variabile in funzione del suo stato d'alterazione e/o fatturazione. Superficialmente, fino alla profondità di 10/15 mt, l'elemento di

---

permeabilità è dato principalmente dal grado di alterazione della roccia affiorante, mentre in profondità lo stato fessurativo determina la minore o maggiore permeabilità, variabile questa da luogo a luogo. L'alterazione fisico-chimica svolge un ruolo determinante soprattutto nel territorio calabrese, per la sua storia geodinamica e per il particolare clima che porta alla formazione di una coltre superficiale permeabile per porosità secondaria che si sovrappone alla rete di fratture.

Il passaggio tra la coltre detritica e il substrato roccioso fratturato è generalmente graduale. La coltre superficiale, complessivamente più permeabile della sottostante zona fratturata, ha uno spessore medio di circa 15-20 metri. La circolazione idrica è piuttosto lenta nelle fratture che, costantemente sature d'acqua, risultano beanti fino a profondità massime, nelle zone di faglia, di qualche centinaio di metri; è più veloce, invece, nella zona porosa ed è particolarmente attiva in prossimità del tetto di quella fratturata, per la minore permeabilità di quest'ultima e per la minore accentuazione dei fenomeni di argillificazione. La circolazione idrica è relativamente superficiale e la piezometrica si adatta alla morfologia esterna, ciò provoca l'emergenza delle acque in modo molto diffuso, con recapito preferenziale nei fondovalle dove la stessa piezometrica viene incisa dalla superficie topografica. Si ha quindi, in tutti i fossi, un continuo e costante incremento di portata che può diventare di diverse centinaia di litri al secondo in corrispondenza dello sbocco dei fiumi nelle pianure alluvionali. In queste condizioni di circolazione idrica le sorgenti sono molteplici e quasi tutte di piccola entità. Le sorgenti principali, con portate dell'ordine di alcuni litri al secondo, si trovano spesso in corrispondenza delle faglie e dei contatti tettonici. Tali strutture tettoniche rappresentano quasi sempre delle zone di drenaggio preferenziali a causa della maggiore permeabilità relativa della roccia, dovuta al maggior grado di fratturazione.

Nel centro abitato è stato riconosciuto un unico complesso idrogeologico riferito alle rocce ignee metamorfiche che caratterizzano l'area in studio con permeabilità per fratturazione media.

Nelle frazioni di Visconti - Scoppolise è presente anche il complesso metamorfico filladico con permeabilità per fessurazione medio-bassa.

#### **2.4 Situazione PAI e Vincoli geoambientali**

Le zone che ospiteranno le condotte all'interno del **centro abitato di Pentone** sono ubicate all'interno di una area in frana con indice di pericolosità P4 con rischio associato R4.

Mentre l'area che ospiterà il depuratore non ricade all'interno di perimetri di frane e aree a rischio ad esse associate. (Vedi tavola 3)

Per quanto riguarda la zona di **Scoppolise e Visconte** soltanto un tratto ricade all'interno di una frana con indice di pericolosità P2 con area a rischio ad essa associata R2 (vedi tavola 3)

Le aree in studio non ricadono all'interno di zone vincolate secondo il R.D. 3267/1923

## CAPITOLO 3: CLASSIFICAZIONE SISMICA

### 3.1 Premessa

Tale classificazione vale soltanto per l'area del depuratore per la quale è necessario il nullaosta da parte della Regione Calabria – Lavori Pubblici .

Il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 17 gennaio 2018 definisce (§ par 3.2.2) le categorie del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_{sequ}$  determinando le seguenti categorie di sottosuolo:

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori delle velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{sequ}$  (in m/s) definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_{S30}$  non inferiore a 800m/s

## Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tab. 3.2.III – *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 $i > 30^\circ$

Sulla base della tabella precedente il geologo darà una valutazione generale di concerto con il progettista

## Coefficiente di amplificazione stratigrafica

È un parametro che va scelto dal progettista sulla base del periodo di riferimento  $T_r$  delle opere progettate.

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di FO e  $T_c^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V (che per semplicità qui non sono riportate, vedi D.M. 17/01/2018), nelle quali  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi. Nella relazione sulla pericolosità sismica, allegata alla relazione geologica, saranno forniti i valori  $ag$  FO e  $T_c^*$  ricavati attraverso le coordinate del sito in studio e relazionati ai periodi di riferimento, a cui il progettista può fare riferimento.

---

## 3.2 Determinazione dei parametri

### 3.2.1 Classificazione del terreno

Per la determinazione della categoria del suolo, si è utilizzato il parametro  $V_s$  attraverso l'esecuzione di una prova sismica tipo MASW. Quindi utilizzando la formula seguente:

dove con  $h_i$  si indicano gli spessori degli strati e con  $V_{s,i}$  le  $i$  valori di  $V_s$  misurati nei vari strati, si è rilevato che  $V_{seq}$  è di circa **681** m/s, correlabile ad un profilo di terreno tipo **B**.

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

### 3.2.2 Classificazione Topografica

La categoria topografica considerata è invece **T2**

## 3.3 Pericolosità Sismica

Relativamente al progetto oggetto di questo studio, essendo il costruendo manufatto di classe d'uso III, è stata eseguita una analisi di risposta sismica locale con il metodo monodimensionale e presentata nell'apposito elaborato a firma dello scrivente e rispetta il recente regolamento regionale.

Lo studio di risposta sismica locale tiene conto di tutti i dati raccolti e presentati in questa relazione nonché quelli relativi alla campagna di indagine effettuata in sito attraverso i quali è stato costruito il modello geologico di riferimento.

## 3.4 Liquefazione

L'istaurarsi di fenomeni di liquefazione di un terreno può occorrere se tale terreno, costituito da depositi incoerenti sabbiosi saturi, sia sottoposto ad una sollecitazione sismica che provochi una notevole ed improvvisa riduzione della resistenza al taglio, fino a conferire al terreno una condizione di fluidità simile a quella di un liquido viscoso.

La propagazione delle onde sismiche genera, infatti, delle forti pressioni interstiziali indotte ad andamento ciclico che eguagliando le pressioni efficaci dovute al peso proprio del terreno danno luogo al fenomeno.

---

Il fenomeno della liquefazione è possibile, esistendo una falda acquifera nei primi 15 metri di profondità dal piano di campagna se si ha una delle seguenti condizioni geologico-stratigrafiche:

- sabbie con contenuti in argilla (più fine di  $5 \mu$ ) < al 20%, con indice di plasticità <10;
- sabbie pulite con valori di  $N_{spt} \leq 2z$ , dove N è il numero dei colpi delle prove SPT e z è la profondità;
- sabbie limose con contenuto di limi (più fine di  $74 \mu$ ) < inferiore al 10%.

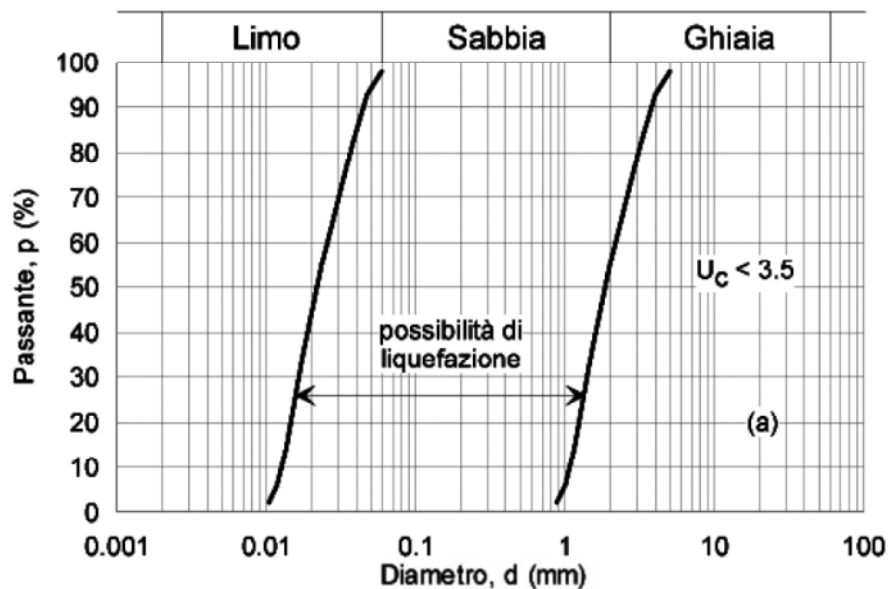
La liquefazione del terreno, che è tanto più possibile quanto più la sabbia è sciolta, ha come conseguenze:

- un generale assestamento del terreno, per morfologie di terreno orizzontali o sub-orizzontali;
- lo scivolamento in caso di terreni depositi con morfologie acclivi.

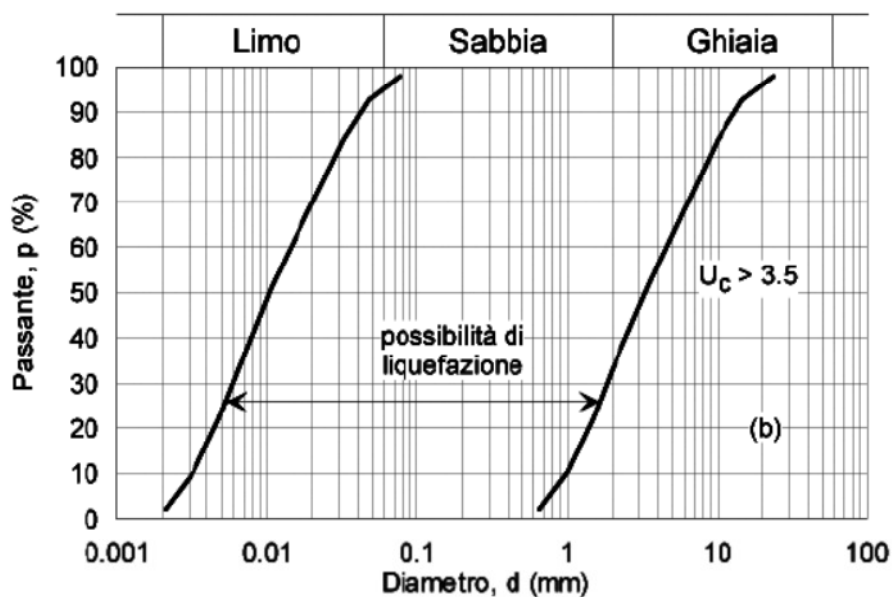
Dalla consultazione della bibliografia, dal sopralluogo e dai sondaggi geognostici eseguiti è stata eseguita la verifica in ottemperanza all'articolo **7.11.3.4.2** (Esclusione della verifica a liquefazione) delle NTC 2018 di seguito riportato.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



a)



b)

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Nel caso in studio la verifica viene eseguita in quanto la falda è superficiale e si hanno a disposizione le analisi granulometriche su campioni prelevati alla profondità di 1.20 metri e 3 metri dal p.c..

Si è calcolato il coefficienti di uniformità, definita al punto 4 su citato, per entrambi i campioni prelevati durante le prove penetrometriche superpesanti.

Dall'esame della curva granulometrica del campione 1 il coefficiente di uniformità è pari 300 dunque superiori ai parametri definiti dalla normativa.

---

**Pertanto non è possibile che ci sia il fenomeno della liquefazione.**

Dalla consultazione della bibliografia, dal sopralluogo non c'è la possibilità che avvenga il fenomeno della liquefazione in quanto non è presente la falda fino a 15 metri dal p.c.

## CAPITOLO 4. SONDAGGI E PROVE IN SITU

Per caratterizzare dal punto di vista geotecnico il terreno di sedime si è ritenuto opportuno e sufficiente eseguire due prove penetrometriche dinamiche in corrispondenza dell'area di interessata. (allegato 1) e due indagini geofisiche (sismica a rifrazione e MASW)

### 4.1 Prova Penetrometrica Dinamica

Lo strumento adoperato è un penetrometro dinamico pesante italiano modello PAGANI T60 (Superpesante) secondo le seguenti norme:

- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing – Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)" (DPSH-B);
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) "Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)" (DPSH);
- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche" (DPSH);

CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO PAGANI TG63-100KN (DPSH)	
MATRICOLA	P001002
TIPO	DPSH
NORMA DI RIFERIMENTO	UNI EN ISO 22476-2:2005
MASSA BATTENTE	63,5 kg
ALTEZZA DI CADUTA	750 mm
DIAMETRO PUNTA CONICA	50,5 mm
APERTURA PUNTA CONICA	90°
AREA DI BASE PUNTA CONICA	20 cm <sup>2</sup>
LUNGH. PARTE CILINDRICA PUNTA CONICA	51 mm
ALTEZZA PARTE CONICA PUNTA CONICA	25,3 mm
LUNGHEZZA ASTE	1 m
PESO ASTE	6 kg
AVANZAMENTO PUNTA	200 mm
NUMERO COLPI PER PUNTA	N <sub>20</sub>
COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE CON N <sub>SPT</sub>	1,515
LAVORO SPECIFICO / COLPO	238 KJ/m <sup>2</sup>

---

La rettilineità delle aste viene verificata all'inizio di ciascuna campagna di prove e anche alla fine di ciascuna verticale di prova. In cantiere si verifica che i vari elementi di prova, la velocità di battuta, l'altezza di caduta libera del maglio, le condizioni della testa di battuta e del sistema di sganciamento del maglio, siano soddisfacenti per tutta la serie di prove.

Le prove penetrometriche continue vengono eseguite, in generale, a partire dal piano di campagna. Il penetrometro ha una posizione verticale tale da impedire il verificarsi di movimenti durante la battitura. L'inclinazione del dispositivo di battitura e delle aste, proiettato al piano di campagna non deve superare il 2% rispetto alla verticale.

La batteria delle aste e la punta conica vengono infisse verticalmente e senza flessioni nel tratto che sporge dal piano di campagna. Nessun carico viene applicato alla testa di battuta o alle aste durante il sollevamento del maglio. La prova è continua e la velocità di battuta viene mantenuta entro i limiti di 15 ÷ 30 colpi al minuto primo. Dato il tipo di prova, DPSH, il numero di colpi viene annotato dopo la penetrazione di ciascun tratto di 200 mm.

A conclusione di ogni singola prova, entro il foro di sondaggio verrà misurato il livello della falda attraverso l'utilizzo del Freatimetro PASI SERIE BFK (100 m). Tale freatimetro è costituito da cavo tondo (diam. 4.7 mm) a quattro conduttori, interno in PVC stampato, anima in kevlar e guaina esterna di protezione graduazione ogni centimetro (stampata sul cavo e protetta dalla guaina esterna in poliuretano antigraffio trasparente). Diametro sonda: 10 mm. Segnalatore acustico e visivo di raggiungimento livello.

La prova penetrometrica si basa sull'infissione nel terreno di una punta conica, mediante la caduta di un maglio da 63,5 Kg su una batteria di aste collegate alla punta. L'indagine, per mezzo di formule empiriche fornisce le caratteristiche meccaniche del terreno, riferite alla resistenza offerta dal terreno all'infissione della punta ( $N_{dp}$  colpi per 20 cm di approfondimento  $N_{dp}$ ).

Prima di iniziare la prova lo strumento è stato messo in stazione. Il sistema è costituito dalla punta, la prima asta, il piatto ed il maglio di 63,5 chilogrammi.

Dai valori di  $N_{dp}$  è possibile determinare la resistenza di rottura dinamica alla punta ( $R_{dp}$ ) tramite una formula empirica comunemente nota come la *Formula degli Olandesi*, di seguito riportata:

$$R_{dp} = M^2 \times H / (A \times e \times (M+P+Pp)) \quad [kg/cm^2]$$

con:

---

**M** = Peso massa battente [kg]

**H** = Altezza caduta libera [cm]

**A** = Area base punta conica [cm<sup>2</sup>];

**e** = Infissione per colpo = 10/N [cm]

**P** = Peso aste impiegate alla specifica profondità [kg];      **Pp** = Peso sistema di battuta [kg]

Dalla resistenza **R<sub>dp</sub>** si può ricavare il valore della tensione ammissibile utilizzando la formula:

$$q_{amm} = R_{dp} / F_s$$

con **F<sub>s</sub>** (fattore di sicurezza) compreso tra 15 e 25.

Si usano valori del fattore di **F<sub>s</sub>** bassi quando ci troviamo su terreni incoerenti con la granulometria delle sabbie, dove la prova dà risultati più attendibili. Nei terreni ghiaiosi la presenza di grossi ciottoli o in terreni eterogenei di grossi trovanti può falsare la prova. Nei terreni coesivi, dove si lavora in condizioni non drenate e dove il terreno oppone una resistenza all'attrito sul sistema d'aste, la prova non ha la stessa affidabilità e si usano valori alti. In questo caso, essendo stati incontrati terreni coesivi si è scelto di lavorare con un valore di **F<sub>s</sub>** pari a 20.

E' inoltre possibile relazionare i valori di **N<sub>dp</sub>** con quelli di una **spt** e ottenere alcuni parametri geotecnici caratteristici del terreno studiato. Per quanto riguarda i terreni incoerenti si determinano i valori del peso di volume secco (**γ<sub>sec</sub>**), della densità relativa (**D<sub>r</sub>**) e dell'angolo di attrito interno (**φ**); mentre nei terreni coesivi il valore più significativo è dato dalla coesione non drenata (**C<sub>u</sub>**).

Il valori della **SPT (N<sub>spt</sub>)** sono ottenuti moltiplicando valori di **N<sub>dp</sub>** per un coefficiente di profondità □ caratteristico dello strumento e della profondità alla quale si opera:

$$N_{spt} = N_{dp} / \alpha$$

Per lo strumento utilizzato, **α** è prossimo a 1,32, e si ricava da una formula che tiene conto dei parametri dello strumento usato e di quelli relativi ad uno strumento S.P.T..

Tale formula è:

$$\alpha = Q1 / Q2 = (m1 \times h1 \times e1 \times A1) / (m2 \times h2 \times e2 \times A2) \quad \text{E. Pasqualini (1983)}$$

dove:

**m1, h1, e1, A1**, sono i dati del penetrometro S.P.T., e

**m2, h2, e2, A2**, sono i dati del penetrometro usato

Le correlazioni tra **N<sub>spt</sub>** e parametri geotecnici sono state ottenute attraverso formulazioni empiriche i cui autori sono riportati in allegato 1.

---

## 4.2 Stratigrafia e caratteristiche tecniche dei terreni indagati

Di seguito verrà descritta la prova penetrometrica eseguita con Sigla **P1**. Per l'ubicazione si rimanda all'allegato 1 di questa relazione.

In base ai valori di Ndp, lo spessore del terreno sondato è divisibile in quattro diversi orizzonti. Di seguito viene riportata la descrizione degli strati con i valori mediati. La prova ha raggiunto la profondità di 7.80 metri dal p.c.:

1. **da 0 a 2,60 metri dal p.c.**: Sono stati registrati valori di Nspt medi di circa 6.56. A questi valori corrispondono un valore medio d'angolo attrito medio pari a 28.97°, il peso specifico del terreno è di 1,60 t/mc e c=0. Il terreno è assimilabile a ***Sabbia ghiaiosa limosa debolmente argillosa***
2. **da 2.60 a 5,40 metri dal p.c.**: Stati registrati valori di Nspt medi di circa 37.91. A questi valori corrispondono un valore medio d'angolo attrito medio pari a 33 °, il peso specifico del terreno è di 2,19 t/mc e c=0. Il terreno è assimilabile ad ***Substrato roccioso molto fratturato e alterato***
3. **da 5,40 a 7,80 metri dal p.c.**: Stati registrati valori di Nspt medi di circa 50.23. A questi valori corrispondono un valore medio d'angolo attrito medio pari a 35°, il peso specifico del terreno è di 2,24 t/mc e c=0. Il terreno è assimilabile ad ***Substrato roccioso moderatamente fratturato e alterato***

Di seguito verrà descritta la prova penetrometrica eseguita con Sigla **P2**. Per l'ubicazione si rimanda all'allegato 1 di questa relazione.

In base ai valori di Ndp, lo spessore del terreno sondato è divisibile in quattro diversi orizzonti. Di seguito viene riportata la descrizione degli strati con i valori mediati. La prova ha raggiunto la profondità di 9.80 metri dal p.c.:

1. **da 0 a 3,40 metri dal p.c.**: Sono stati registrati valori di Nspt medi di circa 6.75. A questi valori corrispondono un valore medio d'angolo attrito medio pari a 29.02°, il peso specifico del terreno è di 1,61 t/mc e c=0. Il terreno è assimilabile a ***Sabbia ghiaiosa limosa debolmente argillosa***
2. **da 3,40 a 9,20 metri dal p.c.**: Stati registrati valori di Nspt medi di circa 17.6. A questi valori corrispondono un valore medio d'angolo attrito medio pari a 32.28°, il peso specifico del terreno è di 1,94 t/mc e c=0. Il terreno è assimilabile ad ***Substrato roccioso molto fratturato e alterato;***

3. **da 9,20 a 9,80 metri dal p.c.:** Stati registrati valori di  $N_{spt}$  medi di circa 36.26. A questi valori corrispondono un valore medio d'angolo attrito medio pari a  $37.88^\circ$ , il peso specifico del terreno è di 2,18 t/mc e  $c=0$ . Il terreno è assimilabile ad ***Substrato roccioso moderatamente fratturato e alterato***

#### 4.3. Analisi di Laboratorio su campioni indisturbati

Durante la prova penetrometrica superpesante è stato prelevato un campione indisturbato di terreno per la determinazione dei vari parametri geotecnici di riferimento eseguite dall'I.P.G. s.n.c. di Castrolibero (CS). Le profondità di prelievo e la loro ubicazione sono riassunte nell'allegato 2 a questa relazione. Il prelievo ha interessato prevalentemente la parte superficiale dei terreni in studio laddove sono state intercettati i terreni di copertura detritica. Comunque il campione è stato sufficiente per le varie determinazioni di seguito riassunti nella tabella.

PARAMETRI GRAVIMETRICI E VOLUMETRICI					
Campione	Sondaggio di prelievo	Profondità di prelievo m dal p.c.	Peso di volume naturale (t/mc)	Peso specifico saturo (t/mc)	Contenuto d'acqua naturale (%)
PIC1	P1	0.5-1.40	2,06	2,71	17.94
PROVA DI TAGLIO DIRETTO					
Campione	Sondaggi o di prelievo	Profondità di prelievo m dal p.c.			
PIC1	P1	0.5-1.40	$\phi$ piccolo	$35.72^\circ$	c (kpa)
			1.819		

#### 4.4 Indagini Geofisiche (Sismica a rifrazione e MASW)

Le modalità di esecuzione e la strumentazione adoperata è riassunta nell'allegato 3 di questa relazione. Dall'elaborazione si evince come dal punto di vista delle velocità delle onde p siano presenti tre strati per lo stendimento A-B

	<b>Profondità max(metri)</b>	<b>Velocità onde p (m/sec)</b>
<b>Sismostrato 1</b>	2	341.86
<b>Sismostrato 2</b>	11	881.82
<b>Sismostrato 3</b>		1423.53

Per quanto riguarda le MASW, le cui modalità di esecuzione e la strumentazione è riassunta nell'allegato 3, sono stati riconosciuti tali dati:

<b>Descrizione</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>
Sabbia e ghiaia poco addensata	3.00	215.58
Sabbia e ghiaia moderatamente addensata	7.95	363.02
Substrato roccioso molto fratturato e alterato	12.96	568.78
Substrato fratturato	18.96	701.74
Substrato consistente	25.96	850.90
Substrato lapideo	30	1255.17

Categoria sottosuolo **B**:  $V_{sequ} = 681$  /sec Il bedrock è superiore ai 30 metri di profondità per un piano di posa di un metro dal p.c.

Le modalità di esecuzione e la strumentazione adoperata è riassunta nell'allegato 3 di questa relazione così come la sua ubicazione sulla strada comunale di accesso. Dall'elaborazione si evince come dal punto di vista delle velocità delle onde p siano presenti tre strati per lo stendimento C-D

	<b>Profondità max(metri)</b>	<b>Velocità onde p (m/sec)</b>
<b>Sismostrato 1</b>	2	284.99
<b>Sismostrato 2</b>	11	458.68
<b>Sismostrato 3</b>		848.32

Per quanto riguarda le MASW, le cui modalità di esecuzione e la strumentazione è riassunta nell'allegato 3, sono stati riconosciuti tali dati:

<b>Descrizione</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>
Sabbia e ghiaia poco addensata	3.00	308.58
Substrato roccioso molto fratturato e alterato	8.87	653.30
Substrato roccioso molto fratturato e alterato	14.12	849.81
Substrato moderatamente consistente	21.76	1120.21
Substrato consistente	28.78	1351.23
Substrato lapideo	∞	1351.64

#### 4.5 Modello Geologico-Geotecnico dei terreni in studio

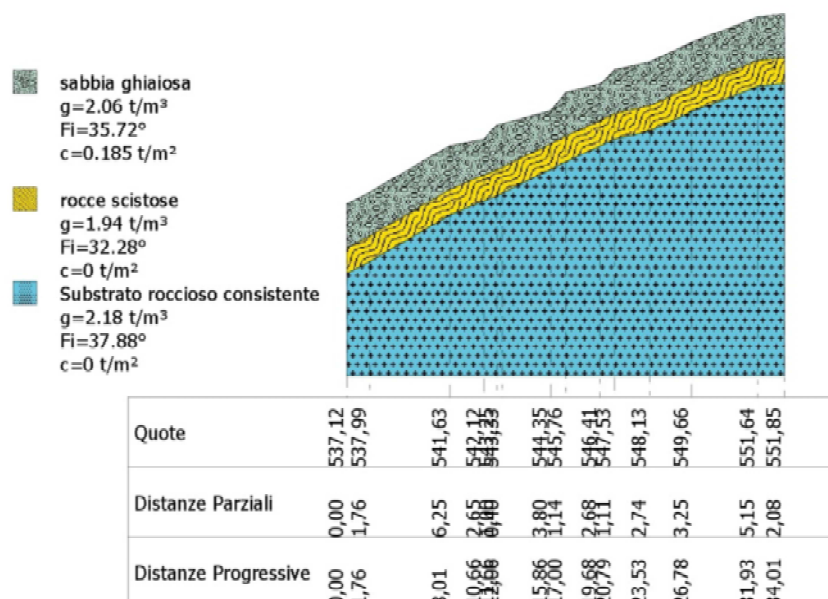
Alla luce della campagna geognostica eseguita nei siti di interesse costituiti da due prove penetrometriche spinte fino alla profondità di circa 9 metri dal piano campagna, durante i quali è stato prelevato un campione per analisi di laboratorio di seguito viene riassunto il modello geologico e geotecnico del terreno che ospiterà l'opera in progetto e la sezione geologica del versante.

Descrizione	Profondità [m]	$\gamma$ [t/mc]	$\phi$ [°]	C' (kpa)
Sabbia ghiaiosa limosa debolmente argillosa	3.4	2.06	35.72	1.819
Substrato roccioso molto fratturato e alterato	5.4	1.94	32.28	0
Substrato consistente	10	2.18	37.88	0

FALDA ASSENTE dai 0 a 15 metri dal PC

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B

CATEGORIA TOPOGRAFICA T2



---

## CAPITOLO 5: ANALISI DI STABILITA' DEL PENDIO

### 5.0. Premessa

Il sito in studio presenta una pendenza superiore a  $15^\circ$  ed è necessario dunque eseguire una analisi di stabilità del pendio in condizioni ante e post operam lungo una sezione A-A' che taglia il versante ed ubicata lungo la linea di massima pendenza.

### 5.1. 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.

### 5.2 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:

- 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 ( $\varphi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### 5.3 Metodo equilibrio limite (LEM)

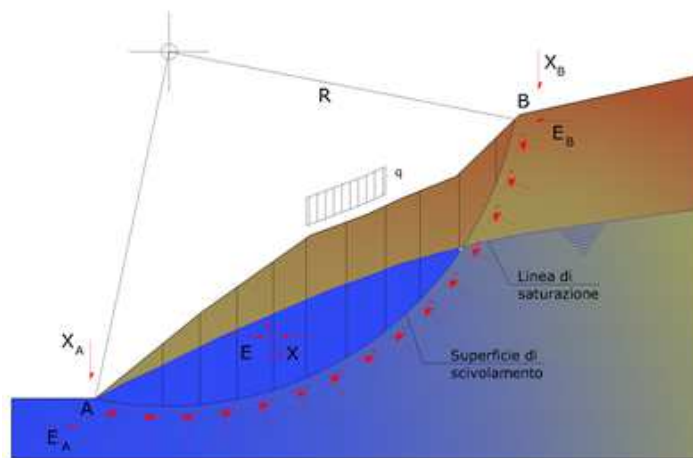
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la

resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), 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.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



#### 5.4 Metodo dei conci

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

$\sum_n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;

$\sum_n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;

$\sum_{(n-1)}$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

$\sum_{(n-1)}$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;

$\sum_n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;

$\sum_{(n-1)}$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;

$\sum$  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.

### 5.5 Metodo di Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;
- $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite  $(2n+1)$ .

Le equazioni a disposizione sono:

- $n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- $n$  equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

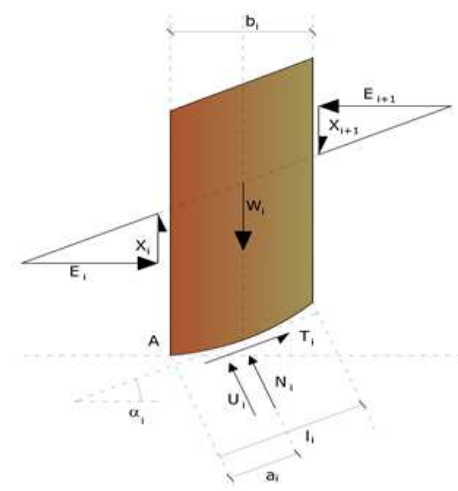
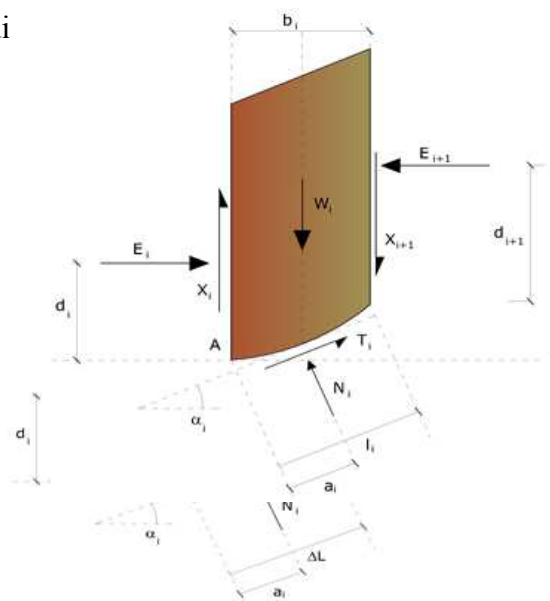
$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

### 5.6 Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$



$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

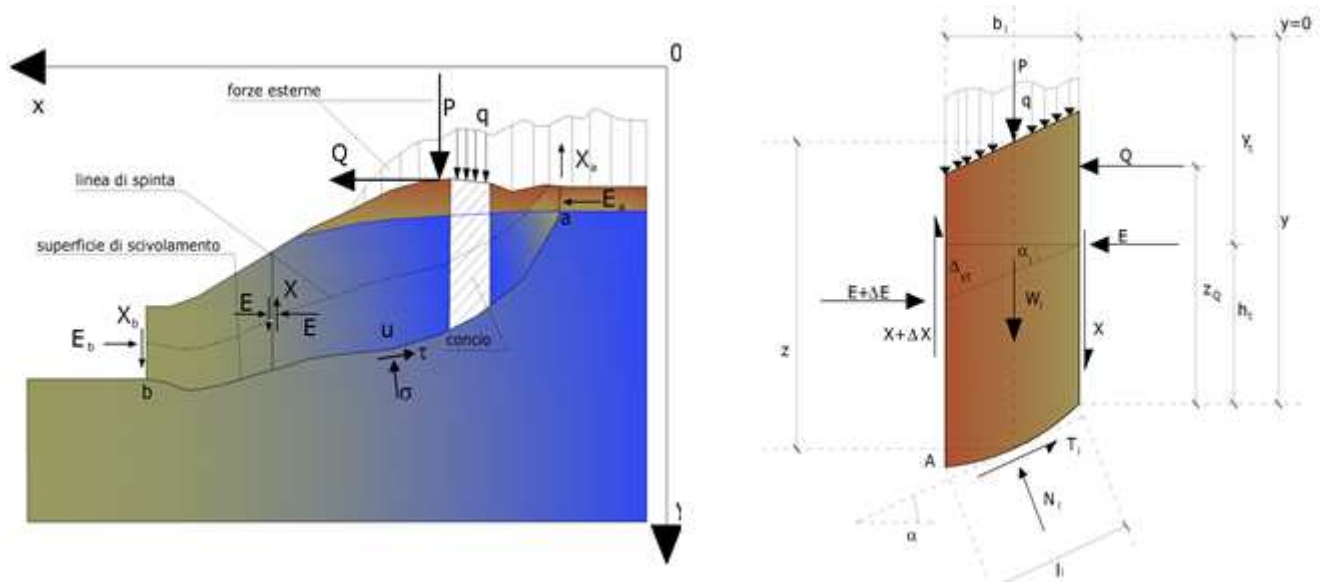
I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### 5.7 Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

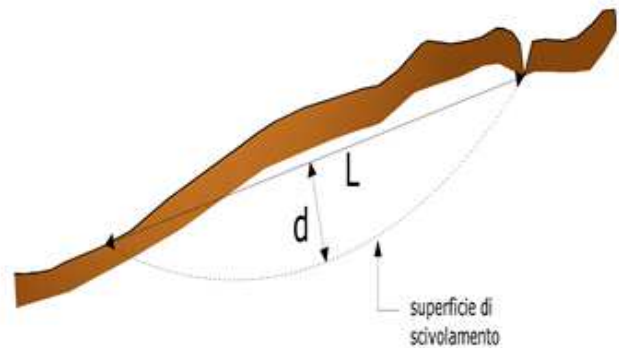
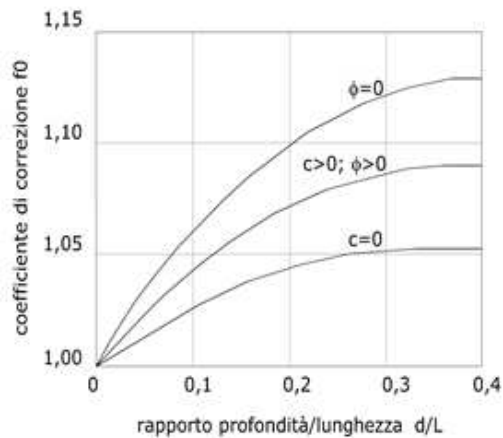


*Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso*

Assumendo ΔXi = 0 si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



### 5.8 Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

in cui:

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\Phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

