



rif:180412

Elaborato n° ____

Progetto per la coltivazione di una Cava di Ghiaia
Relazione Geologica Idrogeologica e Geotecnica

Committente : WINGROUP s.r.l.

Località : Piano Delfico

Comune : Teramo (TE)

Wingroup S.r.l.

Geologo Massucci Dr. Mario



Questo elaborato è di proprietà della Committenza, pertanto non può essere riprodotto nè interamente nè in parte senza l'autorizzazione scritta dello stesso. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

Premessa

Lo studio geologico in oggetto è stato effettuato:

- ✓ su incarico della WINGROUP s.r.l., con sede legale in Via Verona n° 8, Frazione Tottea, in Comune di 64043 Crognaleto (TE), P.IVA 01671240677, in qualità di proprietaria;
- ✓ nell'area distinta al Foglio n° 48, particelle n° 374, 448 e 456 della Mappa Catastale del Comune di Teramo (TE);
- ✓ nell'area sita lungo i terrazzi alluvionali in sinistra idrografica al Fiume Vezzola, in Località Piano Delfico, circa 500 metri a Nord di Torricella S. (TE),
- ✓ Il centro dell'area ricade alle seguenti coordinate Gauss Boaga 33T 389526,89 E - 4724626,64 N

per la caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo, al fine di ottimizzare il progetto di coltivazione di una cava, e del relativo recupero ambientale dell'area al termine dell'estrazione.

I terreni da estrarre sono le sabbie e le ghiaie alluvionali dei terrazzi superiori, che coprono i fianchi del versante collinare in sinistra idrografica T.Vezzola, nel bacino idrografico principale del F. Tordino, così che interessa la scheda n° 2 "sabbie e ghiaie dei terrazzi alluvionali attuali e recenti" della L.R. 57/88.

Al termine della coltivazione, che avverrà in un lotto unico, si procederà al ripristino ambientale mediante parziale ritombamento, utilizzando il materiale reperito durante la coltivazione della cava .

Detto studio, eseguito in ottemperanza a:

⇒ D.M. 11/03/'88;

⇒ L.R. N°54 del 26/07/'83 e s.m.i.;

ha permesso la conoscenza di:

- natura dei materiali costituenti e modello stratigrafico del sottosuolo;
- proprietà fisiche e meccaniche dei terreni;
- condizioni geomorfologiche del sito;
- condizioni idrologiche superficiali e sotterranee del sito;
- la più opportuna modalità di recupero a fine coltivazione.

L'area ricade in territorio considerato in [Zona 2](#) secondo l'O.P.C.M. n. 3274/03.



Modello Geologico Introduttivo

L'ossatura dei rilievi collinari della zona è costituita dai depositi marini flyschoidi terrigeni di età miocenica, rappresentati dall'alternanza torbiditica di arenarie e marne di colore grigio-azzurro (M⁵ nella C.G.d'I. Foglio 133-134 "Ascoli P.-Giulianova").

Le condizioni strutturali sono caratterizzate dalla sostanziale assenza di motivi tettonici, e da una giacitura monoclinale debolmente immergente ad oriente di pochi gradi (10-15 gradi).

Questi terreni del substrato geologico sono coperti da depositi alluvionali terrazzati (a² e a³ nella C.G.d'I), appoggiati al versante sinistro della valle del T.Vezzola; sono costituiti da elementi di granulometria generalmente grossolana, prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa, talora includendo lenti limose, e di natura prevalentemente calcarea e calcareo marnosa, riflettendo la litologia delle rocce della dorsale mesozoica appenninica da cui si originano.

Negli allegati alla presente si riporta lo stralcio della citata Carta Geologica d'Italia, della Carta Geologica d'Abruzzo (Vezzani e Ghisetti) e della Carta Geologica dei Bacini della Laga (Adamoli e Altri), ingrandite per una più agevole comprensione del contesto geologico; si allega quindi anche la Carta Geologica originale di dettaglio, sebbene l'estesa e monotona presenza di alluvioni terrazzate, anche nell'intorno compreso entro 200 metri.

Analisi geomorfologica locale

L'area in esame s'estende lungo il versante settentrionale, in sinistra idrografica della valle del T.Vezzola, a monte della Strada rotabile per Castagneto; il bacino idrografico principale appartiene al F.Tordino.

L'intervento avverrà su pendici prive di fenomeni d'instabilità in atto o incipienti, in un'area in passato già oggetto di attività estrattiva, attualmente non più in atto (autorizzazione scaduta); infatti l'area risulta esterna alle aree individuate come pericolose per "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi" ovvero alle aree soggette a Rischio nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico ... della Regione Abruzzo.



La Scarpata

Anche la scarpata stessa, oggetto di intervento, non presenta significativi fenomeni di erosione, piuttosto che movimenti gravitativi di massa, se si escludono sporadiche cadute di elementi ghiaiosi o ciottoli, che talora raggiungono la sede stradale (ed a cui si porrà rimedio con l'intervento proposto); tuttavia in alcuni tratti di questa scarpata è individuata, nell'All. n° 11 "Carta della Pericolosità" del PAI, con il graficismo lineare *p-scarpate* (linea azzurra) indicante "*Aree interessate da Dissesti tipo Scarpata*", che *individua in modo impreciso e puramente indicativo*, l'orlo superiore di una scarpata, assoggettando le fasce latitanti alle limitazioni di cui al Comma 2 dell'Art. 20 delle Norme di Tecniche del citato PAI... della Regione Abruzzo;

Nelle more della corretta trasposizione della scarpata da parte dell'Ente Locale (Comune di Teramo), nei propri strumenti urbanistici, come indicato nell'Allegato F - *INDIRIZZI TECNICI IN MATERIA DI SCARPATE* alle Norme Tecniche del PAI, in questo studio si è identificata l'esatta posizione dei cigli superiore ed inferiore, utilizzando le rilevazioni topografiche di dettaglio effettuate direttamente sul pendio in esame dal Geom. Tiburzio, che ha controfirmato il Piano Quotato e le Sezioni Longitudinali (profili) allegate, la cui presa d'atto è di esclusiva competenza del Comune.

Si fa presente che tale scarpata può essere considerata di natura antropica, sia per la presenza della Strada provinciale per Crognaleto lungo il ciglio inferiore, sia per le modifiche prodotte dall'attività estrattiva pregressa .

In aggiunta, è stato presentato al Comune di Teramo un progetto per l'eliminazione della pericolosità della scarpata, riducendone l'inclinazione a 30°, quindi ben oltre l'angolo di pendio naturale (angolo di attrito interno) del materiale affiorante, che garantisce sulle condizioni di stabilità della morfologia di progetto; allo stato attuale non sono ancora iniziate le operazioni di eliminazione della pericolosità, tuttavia si allegano i pareri di CdF e Autorità dei Bacini, che condividono le finalità dell'intervento.



Ecologia

La zona in cui ricade il sito in esame mostra una vegetazione d'introduzione antropica, a seguito della generale messa a cultura dei terreni.

Le coltivazioni osservate sono soprattutto seminativi, in genere a frumento e prato; sono altresì presenti olivi, non in forma specializzata, utilizzati per consumo personale dai proprietari, e poche altre presenze arboree di modesto o nullo pregio culturale.

Lungo il perimetro dell'area, l'inaccessibilità delle scarpate ha permesso il permanere di una fascia di vegetazione spontanea di tipo arboreo, arbustivo e idrofila, costituita da specie della flora mediterranea prive di pregi particolari.

Ad ogni modo, essendo esterna all'area d'intervento, in quanto ricadente nella fascia di rispetto larga 10 m. lasciata lungo i compluvi, non verrà interessata dall'intervento.

Geopedologia

Si è in presenza di suoli agrari d'origine antropica, essendo stati realizzati a seguito del ripristino ambientale della attività d'estrazione pregressa; sono pertanto evidenti i segni dell'antropizzazione conseguenti le tecniche agronomiche di coltivazione, e completamente mascherato il naturale processo evolutivo del suolo.

Per la classificazione granulometrica dei costituenti minerali del terreno, si nota una pesante presenza di scheletro (ghiaie e ciottoli), mentre nella frazione fine il limo prevale sulla sabbia; si riscontra una media capacità idrica di ritenuta, una capillarità buona, con movimenti verticali dell'acqua poco rapidi, una discreta capacità di assorbimento per gas, acque ed elementi nutritivi per le piante.

La coesione risulta media così come la plasticità, mentre mediocre è l'areazione.

Il recupero ad uso agronomico, al termine dello sfruttamento, appare, in ultima analisi, la destinazione migliore.



Indagini geognostiche

L'indagine del sottosuolo è stata eseguita mediante:

- ⇒ un accurato rilevamento geologico in sito della zona in esame, grazie alla presenza di ampi ed estesi affioramenti, e supportato da precedenti indagini effettuate a breve distanza, al fine di ricostruire la geologia del sottosuolo; si redige una Carta Geologica originale, nonostante l'estesa e monotona presenza di alluvioni terrazzate, nell'intorno compreso entro 200 metri.
- ⇒ nell'analisi geomorfologica dell'intero terrazzo alluvionale, supportata da un'accurata fotointerpretazione geologico/morfologica, per verificare l'eventuale presenza di problematiche connesse alla stabilità geomorfologica; si redige una Carta Geomorfologica originale.

L'indagine diretta del sottosuolo è stata effettuata mediante n° 3 sondaggi geognostici (nominati S1, S2 e S3), e ubicati come mostrato nella planimetria allegata, che hanno permesso l'esauriente ricostruzione delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche e idrologiche del sottosuolo del sito.

La perforazione geognostica è stata spinta almeno 2 metri al di sotto del fondo dello scavo, per verificare l'assenza di falda e l'esistenza di un sufficiente spessore di materiale permeabile in grado di consentire comunque una eventuale circolazione idrica sotterranea .

Questi sono stati realizzati nel mese di Marzo 2012, quindi nel periodo in cui è stata misurata la quota di massima escursione positiva della falda.

Ci si riserva di realizzare, dopo l'autorizzazione ma prima dell'inizio dei lavori, previa convocazione con adeguato anticipo al Corpo Forestale dello Stato ed all'Ufficio Cave della Regione Abruzzo, e degli Enti preposti al controllo, **ulteriori due sondaggi geognostici attrezzati con piezometri a cielo aperto e protetti con chiusini, ubicati topograficamente con estrema precisione (georeferenziati con sistema WGS84)**, anche per ciò che concerne la profondità del Livello Piezometrico Statico della falda idrica sotterranea.

Per l'ubicazione in planimetria delle indagini effettuate, e per l'ubicazione dei piezometri programmati, si rimanda agli elaborati progetto di cui la presente costituisce parte integrante .



Terreno vegetale (cappellaccio)

questo primo livello è costituito da limo, variamente sabbioso ma talora anche argilloso, generalmente terroso, talora includente ghiaie e ciottoli a granulometria estremamente variabile, alterato da parte degli agenti esogeni, per cui le proprietà meccaniche risultano scadenti. Lo spessore varia da circa un metro a 0.50/1.00 metri .

Sabbie e Ghiaie (giacimento utile)

al di sotto, ovvero lungo la superficie delle scarpate, sono presenti depositi di origine sia alluvionale che colluviale, in giacitura lenticolare, a granulometria generalmente grossolana con eterogeneità sia laterali che verticali; infatti si rinvencono lenti di ghiaia e/o sabbia, le cui dimensioni risultano estremamente eterogenee; il valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, di cui alla Tab. 6.2.II delle NTC pertanto, assume i seguenti valori:

| PARAMETRO | GRANDEZZA | VALORE CARATTERISTICO |
|---|----------------|----------------------------|
| <i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i> | $\tan \phi'_k$ | 0.48 - 0.56 |
| <i>Coesione efficace</i> | c'_k | 0.0 - 10.0 KPa |
| <i>Peso dell'unità di volume</i> | γ | 2.0 - 2.2 t/m ³ |

Tali proprietà permettono la realizzazione di scarpate inclinate di un angolo non superiore all'angolo di attrito, corrispondente, con buona approssimazione, all'angolo di pendio naturale; scarpate con inclinazione maggiore possono realizzarsi solo temporaneamente.

Substrato geologico

alla base della successione stratigrafica, ed oltre 2 metri al di sotto del fondo dello scavo, è presente il substrato geologico, non raggiunto con la perforazione geognostica, sebbene spinta almeno 2 metri al di sotto del fondo dello scavo per verificare l'assenza di falda; è rappresentato dai terreni argilloso-limosi di colore



grigio-azzurro, il valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno assume i seguenti valori medi:

| PARAMETRO | GRANDEZZA | VALORE CARATTERISTICO |
|---|----------------|----------------------------|
| <i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i> | $\tan \phi'_k$ | 0.44 - 0.48 |
| <i>Coesione efficace</i> | c'_k | 70.0 - 90.0 kPa |
| <i>Resistenza non drenata</i> | c_{uk} | 90.0 - 130.0 kPa |
| <i>Peso dell'unità di volume</i> | γ | 2.1 - 2.3 t/m ³ |

Analisi della stabilità dei fronti di scavo

La riduzione dell'acclività delle pendici, con conseguente riduzione delle sollecitazioni al taglio, consente di esimerci dal calcolo del valore del coefficiente di sicurezza alla stabilità dei fronti di scavo, che risulterà sempre maggiore del limite di $F = 1.3$ previsto dalla normativa (D.M. 21/01/81), in quanto le evidenze costituiscono palese verifica .

Ta condizione di stabilità si esplica :

- ☑ **ante operam**, dove l'evoluzione morfologica consiste solo nello sporadico distacco degli elementi clastici, in seguito al degrado della matrice che li aggrega, ad opera degli agenti esogeni cui è esposta sulla superficie a contatto con l'atmosfera, insieme a localizzati fenomeni d'erosione in occasione degli eventi meteorici più aggressivi, ma non movimenti di massa;
- ☑ **post operam**, dove le proprietà meccaniche dei materiali coinvolti offrono garanzie palesi di tenuta .

Le proprietà meccaniche dei terreni oggetto di coltivazione permettono infatti la realizzazione di scarpate inclinate di un angolo non superiore all'angolo di attrito interno ($\phi > 30^\circ$) dei terreni affioranti, corrispondente, con buona approssimazione, all'angolo di pendio naturale; scarpate con inclinazione maggiore possono realizzarsi solo temporaneamente, durante l'estrazione.



Idrogeologia

L'area ricade lungo il versante in sinistra idrografica (esposto a Sud) della valle del T.Vezzola, nel bacino idrografico principale appartiene al F.Tordino.

Il reticolato idrografico risulta costituito da una serie di corsi d'acqua, brevi e numerosi, sostanzialmente paralleli tra loro e perpendicolari al corso d'acqua principale (pattern di drenaggio sub-parallelo).

Nessuno di questi interessa l'area d'intervento, che si manterrà ad almeno 10 m. dall'alveo di ciascuno di essi, per cui non si interferirà con l'attuale reticolato idrografico, in accordo con la normativa vigente.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo, la successione litologica è così sintetizzabile:

- ⇒ lo strato costituito dalla **coltre eluvio-colluviale e dal corpo alluvionale**, presenta valori di permeabilità mediocri, in cui la circolazione idrica avviene solamente in occasione degli apporti meteorici, consentendo l'assorbimento di una ridotta quantità delle acque di deflusso superficiale; inoltre, le stesse condizioni morfologiche di pendio favoriscono il rapido deflusso delle acque di corrivazione superficiale (run off) nel frequente reticolo di drenaggio, ostacolando l'infiltrazione nel sottosuolo;
- ⇒ il livello di base di ogni circolazione idrica sotterranea è rappresentato dal **substrato geologico**, che funge quindi da acquiclude, essendo costituito dai terreni praticamente impermeabili, in cui il valore del Coefficiente di Permeabilità è dell'ordine di $K = 10^{-8} \text{ } 10^{-9} \text{ cm/sec}$.

La profondità massima di escavazione è stata prevista in modo da conservare un distacco superiore a 2.00 m. dalla quota di massima escursione positiva del livello piezometrico della falda idrica, che non è stata raggiunta nella campagna geognostica effettuata.

Infatti, i sondaggi geognostici effettuati, hanno mostrato l'assenza di acqua nei due/tre metri di sottosuolo al di sotto della quota di scavo progettata (quindi sempre > 2.00 m.), come anche sono assenti sorgenti lungo il versante sottostante.



Conclusioni

Dalle analisi geologica, geomorfologica e geotecnica risulta che:

- ✓ l'area risulta esente da problematiche geomorfologiche, anche lungo la scarpata;
- ✓ la successione stratigrafica presenta il substrato marnoso-arenaceo alla base, su cui sono stati sedimentati depositi alluvionali e colluviali, oggetto di coltivazione;
- ✓ i terreni soprastanti il substrato sono dotati di permeabilità, per porosità, e non sono sede di falda acquifera nei due metri sottostanti il fondo dello scavo.

L'attività estrattiva non interferirà né con l'idrografia superficiale, sia principale che di ordine inferiore, né con la circolazione idrica sotterranea, come prescritto dalla legislazione vigente in materia, apportando, altresì, un miglioramento delle caratteristiche agronomiche dell'area per il dissodamento che ne deriva, ritenendo il recupero a scopo agricolo la destinazione finale preferibile, mediante il riempimento degli scavi con materiale idoneo, reperito in loco.

Per ciò che concerne il ripristino e la sistemazione finale dell'area, si consiglia il recupero a scopo agricolo, sagomando le superfici di ripristino con pendenze in grado di impedire impaludamenti.

Per ciò che concerne i dati relativi al volume della coltivazione, alla produttività e al dettaglio della sistemazione finale dell'area, si rimanda agli atti progettuali.

Bellante, Aprile 2012

Geologo Massucci Dr. Mario



Carta Geologica Originale di dettaglio

LEGENDA GEOLOGICA



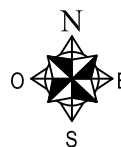
Terrazzi attuali e recenti



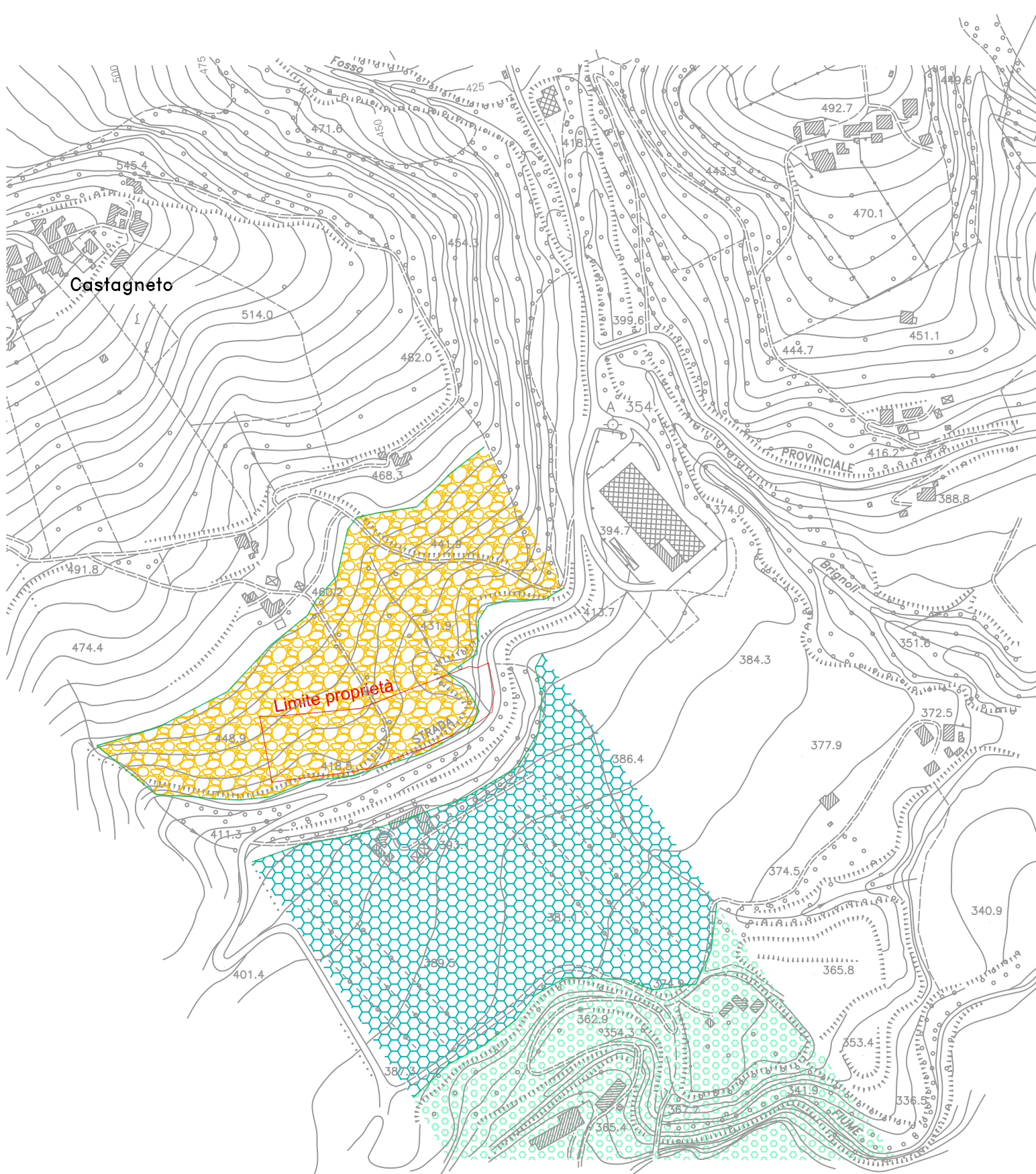
Alluvioni terrazzate



Alluvioni terrazzate antiche



scala 1 : 5000



Carta Geomorfologica Originale di dettaglio

LEGENDA GEOMORFOLOGICA



Corpo di frana di scorrimento rotazionale (non attivo)



Versante interessato da deformazioni superficiali lente (quiescente)



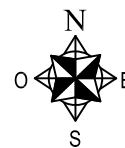
Orlo di scarpata con influenza strutturale



Orlo di scarpata di degradazione e/o di frana (quiescente/non attivo)



Orlo di scarpata di erosione fluviale o torrentizia (quiescente)



scala 1 : 5000



RELAZIONE DI CALCOLO

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

D.M. LL.PP. del 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Norme tecniche per le Costruzioni

Decreto Ministeriale 14 Settembre 2005. Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005.
Supplemento Ordinario n. 159

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

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:

- (a) 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.
- (b) 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.).

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

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:

- 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 conci;

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

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 quando 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.

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;

1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

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

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

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:

$$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0, \text{ Criterio di rottura.}$$

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

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 $\Delta X = 0$ 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 %.

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.

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

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propone inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_o F$$

dove f_o è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

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 σ e τ 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;

ϕ_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.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$ = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno $K_z g$ può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore $(1 - K_z)$.

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F , sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3 .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza F .

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C_3 .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di SARMA (1973)

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica K_c) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = K W_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\Sigma \Delta E_i = 0$$

$$\Sigma \Delta X_i = 0$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i -esima del

concio generico i .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$* \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di K (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione K corrispondente al fattore di sicurezza $F = 1$, ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$$K = K_c \text{ accelerazione critica se } F = 1$$

$$F = F_s \text{ fattore di sicurezza in condizioni statiche se } K = 0$$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne X_i ed E_i tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze X_i :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove Q_i è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i -esima faccia del concio i , e λ rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di K_c , λ e F , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di SPENCER

Il metodo è basato sull'assunzione:

α) le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ .

tutti i momenti sono nulli $M_i = 0 \quad i = 1, \dots, n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$.

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + tg \varphi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0$$

$$\sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia $F_{sm} = F_{sf}$.

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

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, senoide, semisenoide, 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":

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

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta “equazione dei momenti”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria 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.

ANTE-OPERAM

Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

| | | |
|---------------------------------|------|---|
| Numero di strati | 1,0 | |
| Numero dei conci | 10,0 | |
| Zona Sismica | 2 | |
| Categoria profilo stratigrafico | | C |

Coefficiente di amplificazione topografica ST 1,2
 Coefficiente azione sismica orizzontale (Kh) 0,187
 Coefficiente azione sismica Verticale (Kv) 0,094
Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

=====

| | | |
|--|------|--------|
| Ascissa vertice sinistro inferiore xi | (m) | -1,76 |
| Ordinata vertice sinistro inferiore yi | (m) | 430,05 |
| Ascissa vertice destro superiore xs | (m) | 7,1 |
| Ordinata vertice destro superiore ys | (m) | 434,92 |
| Passo di ricerca | 10,0 | |
| Numero di celle lungo x | 10,0 | |
| Numero di celle lungo y | 10,0 | |

=====

Vertici profilo

| N | X (m) | y (m) |
|---|----------|----------|
| 1 | 0,0 | 419,17 |
| 2 | 3,39 | 421,79 |
| 3 | 4,15 | 422,08 |
| 4 | 6,43 | 421,38 |
| 5 | 8,74 | 421,55 |
| 6 | 10,18 | 425,95 |
| 7 | 11,59 | 432,11 |
| 8 | 17,72 | 433,69 |

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

| Strato | c (kg/cm ²) | Fi (°) | G (Kg/m ³) | Gs (Kg/m ³) | K (Kg/cm ³) | Litologia | |
|--------|----------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|--|
| 1 | 0,15 | 33 | 1900 | 2100,00 | 0,00 | | |

Risultati analisi pendio

=====

| | |
|--------------------------------|--------|
| Fs minimo individuato | 0,83 |
| Ascissa centro superficie (m) | 4,44 |
| Ordinata centro superficie (m) | 433,46 |
| Raggio superficie (m) | 11,25 |

=====

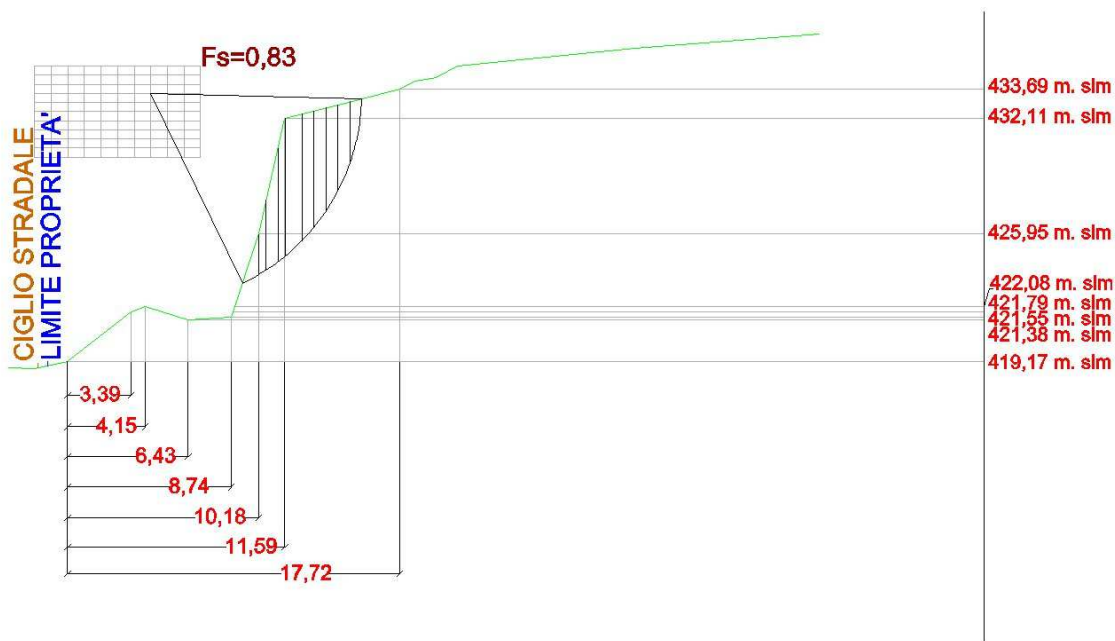
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio;
 Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di
 scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

=====

Analisi dei conci; superficie...xc = 4,438 yc = 433,458 Rc = 11,245 Fs=0,8269

| | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|-------|-------|-----------------------|
| Nr. | B | Alfa | Li | Wi | Kh•Wi | Kv•Wi | c |
| Fi | Ui | N'i | Ti | | | | |
| (°) | (m) | (°) | (m) | (Kg) | (Kg) | (Kg) | (kg/cm ²) |
| | (Kg) | (Kg) | (Kg) | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|---------|--------|--------|----------|---------|-----|---------|--------|
| 1 | 0,86 | 28,3 | 0,97 | 1781,14 | 333,07 | 167,43 | 0,15 | 33,0 | 0,0 | 1558,3 | 1137,1 |
| 2 | | | 0,41 | 31,9 | 0,49 | | 2307,18 | 431,44 | | 216,87 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 1915,1 | 1585,3 | | | | | | |
| 3 | | | 0,64 | 35,2 | 0,78 | | 5896,41 | 1102,63 | | 554,26 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 4636,7 | 4298,8 | | | | | | |
| 4 | | | 0,36 | 38,3 | 0,46 | | 4587,15 | 857,8 | | 431,19 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 3406,0 | 3516,7 | | | | | | |
| 5 | | | 0,91 | 42,6 | 1,24 | | 12196,64 | 2280,77 | | 1146,48 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 8271,3 | 9939,1 | | | | | | |
| 6 | | | 0,64 | 48,2 | 0,95 | | 7811,54 | 1460,76 | | 734,28 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 4601,8 | 6799,9 | | | | | | |
| 7 | | | 0,64 | 53,4 | 1,07 | | 7070,11 | 1322,11 | | 664,59 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 3550,1 | 6464,3 | | | | | | |
| 8 | | | 0,64 | 59,3 | 1,24 | | 6120,65 | 1144,56 | | 575,34 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 2438,5 | 5845,8 | | | | | | |
| 9 | | | 0,64 | 66,5 | 1,59 | | 4834,04 | 903,97 | | 454,4 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 1279,0 | 4793,7 | | | | | | |
| 10 | | | 0,64 | 79,5 | 3,5 | | 2774,74 | 518,88 | | 260,83 | 0,15 |
| 33,0 | | | 0,0 | 40,4 | 2822,8 | | | | | | |



QT.RIF. 400.000

POST-OPERAM

Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

| | |
|---|-------|
| Numero di strati | 1,0 |
| Numero dei conci | 10,0 |
| Zona Sismica | 2 |
| Categoria profilo stratigrafico | C |
| Coefficiente di amplificazione topografica ST | 1,2 |
| Coefficiente azione sismica orizzontale (Kh) | 0,187 |
| Coefficiente azione sismica Verticale (Kv) | 0,094 |

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

| | | |
|--|------|--------|
| Ascissa vertice sinistro inferiore xi | (m) | 16,83 |
| Ordinata vertice sinistro inferiore yi | (m) | 441,62 |
| Ascissa vertice destro superiore xs | (m) | 25,69 |
| Ordinata vertice destro superiore ys | (m) | 446,48 |
| Passo di ricerca | 10,0 | |
| Numero di celle lungo x | 10,0 | |
| Numero di celle lungo y | 10,0 | |

Vertici profilo

| N | X | y |
|---|-------|--------|
| | (m) | (m) |
| 1 | 0,0 | 418,94 |
| 2 | 4,47 | 418,83 |
| 3 | 34,4 | 436,1 |
| 4 | 41,15 | 436,59 |

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

| Strato | c | Fi | G | Gs | K | Litologia | |
|--------|-----------------------|-----|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--|
| | (kg/cm ²) | (°) | (Kg/m ³) | (Kg/m ³) | (Kg/cm ³) | | |
| 1 | 0,15 | 33 | 1900 | 2100,00 | 0,00 | | |

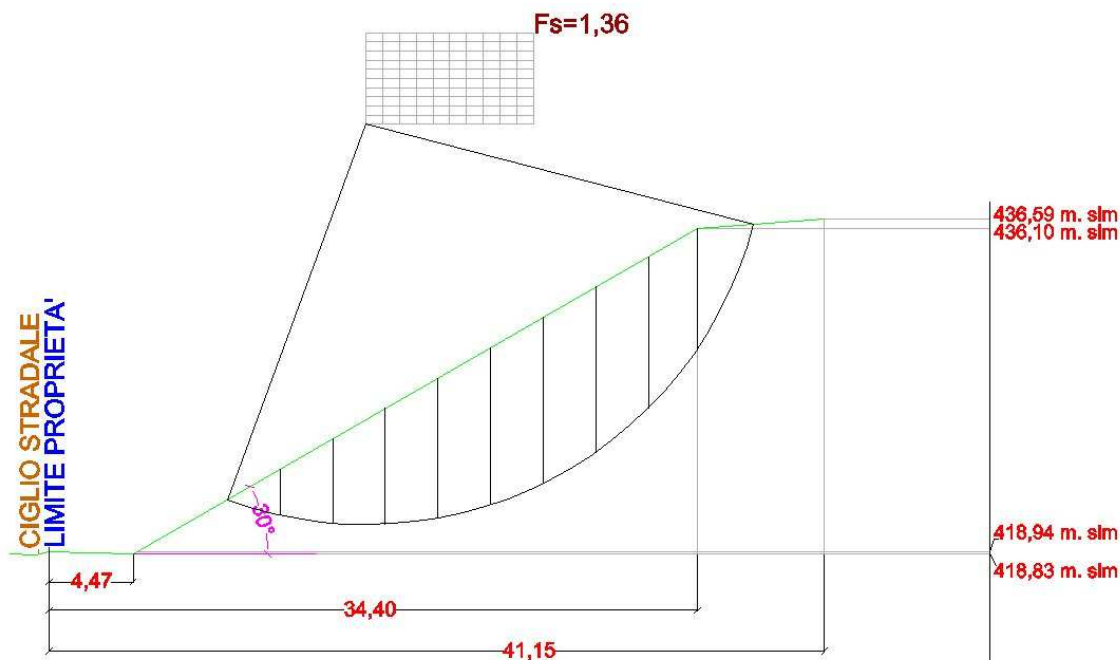
Risultati analisi pendio

| | | |
|-------------------------------|-------|--------|
| Fs minimo individuato | 1,31 | |
| Ascissa centro superficie (m) | 16,83 | |
| Ordinata centro superficie | (m) | 441,62 |
| Raggio superficie | (m) | 21,22 |

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conchi; superficie...xc = 16,826 yc = 441,616 Rc = 21,225 Fs=1,3131

| | Nr. Fi | B Ui (m) (Kg) | Alfa N'i (°) (Kg) | Li Ti (m) (Kg) | Wi (Kg) | Kh•Wi (Kg) | Kv•Wi (Kg) | c (kg/cm²) | | | |
|---|-----------|------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|---------------|---------------|---------------|-----|--------|--------|
| 1 | 2,79 | -16,4 | 2,91 | 6723,0 | 1257,2 | 631,96 | 0,15 | 33,0 | 0,0 | 7411,1 | -688,5 |
| | 2 | 2,79 | -8,6 | 2,82 | 18543,11 | 3467,56 | 1743,05 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 20576,8 | 644,9 | | | | | | | |
| | 3 | 2,79 | -1,0 | 2,79 | 28338,17 | 5299,24 | 2663,79 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 31093,5 | 4781,4 | | | | | | | |
| | 4 | 2,79 | 6,5 | 2,81 | 36175,83 | 6764,88 | 3400,53 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 38551,2 | 10832,2 | | | | | | | |
| | 5 | 2,79 | 14,2 | 2,88 | 42018,25 | 7857,41 | 3949,72 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 42634,0 | 17928,7 | | | | | | | |
| | 6 | 2,79 | 22,2 | 3,01 | 45710,44 | 8547,85 | 4296,78 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 43083,9 | 25165,9 | | | | | | | |
| | 7 | 2,79 | 30,6 | 3,24 | 46930,0 | 8775,91 | 4411,42 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 39707,3 | 31461,4 | | | | | | | |
| | 8 | 2,79 | 39,9 | 3,64 | 45051,8 | 8424,69 | 4234,87 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 32387,7 | 35376,4 | | | | | | | |
| | 9 | 2,61 | 50,4 | 4,08 | 36435,13 | 6813,37 | 3424,9 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 20177,5 | 32406,7 | | | | | | | |
| | 10 | 2,98 | 65,7 | 7,24 | 22210,49 | 4153,36 | 2087,79 | 0,15 | | | |
| | 33,0 | 0,0 | 6205,6 | 21953,7 | | | | | | | |



QT.RIF. 400.000