



# Agenzia Forestale Regionale

UMBRIA

Sede Legale e Amministrativa in Via Pietro Tuzi, 7 - 06128 Perugia - Tel. 075/5145711 - Fax.075/5008020

## Compartimento I Sede di Perugia

"Eventi alluvionali dell'11,12 e 13 Novembre 2012"  
D.P.C.M. 23 Marzo 2013- Decreto Commissario  
delegato 15 Ottobre 2013 n° 5 e s.m.i.

Manutenzione ordinaria e straordinaria sul Torrente Caina  
ed affluenti nei comuni di Corciano e Perugia.

Elab. C

RELAZIONE GEOLOGICA



Servizio  
Pianificazione e Progettazione

Il Resp. del Compartimento  
Geom. Ferranti Giuliano

Visto il Dirigente

Dott. For. Conticelli Maurizio  
Firmato

Il R.U.P.

Geom. Ferranti Giuliano

I Progettisti

Geom. Ceccuzzi Nello

Geom. Suriani Gilberto

Il Geologo  
Dott. Santioli Luigi

CUP: E92H18000310002

Data: Gennaio 2019

Scala 1 :

File: \_Caina 2019

## **PREMESSA**

La presente relazione Geologica – Geotecnica è stata redatta a corredo del progetto relativo all’esecuzione di interventi diretti a ripristinare le arginature ammalorate durante i fenomeni di piogge intense verificatesi nel novembre 2012 sul bacino idrografico del torrente Genna che ha comportato fenomeni di straripamento delle acque del torrente oltre che ad un ammaloramento dei suoi argini anche per lunghi tratti dell’alveo. Il presente studio si prefigge quindi di verificare la fattibilità idrogeologica e geotecnica delle opere necessarie a ripristinare il corretto deflusso delle acque superficiali.

I due corsi d’acqua sono caratterizzati dalla presenza all’interno e all’esterno dell’alveo e sulle arginature, di un’abbondante vegetazione arborea ed arbustiva ripariale del tipo populus, salix, ulmus, robinia ed associata con esemplari di natura arbustiva di vario genere. L’accrescimento delle essenze vegetali ostacola il corretto deflusso delle acque e crea un ambiente favorevole sia alla formazione di modesti “sbarramenti” formati dallo sradicamento e caduta di tronchi, ramaglie ed altri frammenti legnosi, sia allo stazionamento delle specie animali da tana.

Gli studi di carattere geologico sono stati condotti in ottemperanza del D.M 11/03/88; in applicazione della D.G.R. 226 del 14/03/01, alla D.G.R 852/03 (Approvazione classificazione sismica del territorio regionale dell’Umbria) nonché ai provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (Legge 2/02/74 n.64 ed O.D.P.C.M. 3274/2003), al D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14/09/2005 pubblicato sulla G.U. del 23/09/2005 ed in vigore dal 23/10/2005, al D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.) “Norme tecniche per le Costruzioni” e alla circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.) “Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.

Lo studio interessa una zona di scorrimento del Torrente Formanuova presso la località di Mantignana tributario in riva destra del torrente Genna e il torrente Genna stesso compreso tra le località di Bagnaia, Pilonico Materno e Monticelli così come evidenziato nelle tavole cartografiche progettuali (TAV.1 COROGRAFIA). Gli interventi puntuali ritenuti prioritari, sono stati individuati partendo da monte dello scorrimento torrentizio, nel tratto finale d’asta del Torrente Formanuova affluente di destra del torrente Caina nei pressi dell’abitato di Mantignana nel comune di Corciano e il tratto del Torrente Caina situato presso l’abitato di Pilonico Materno nel comune di Perugia. In particolare, gli studi di carattere idraulico hanno tenuto conto di tutti i bacini idrografici degli affluenti minori del Torrente Genna che drenano le loro acque fino all’abitato di Boneggio-Pila- San Martino in Colle posto al confine meridionale del Comune di Perugia.

In tutte le aree di intervento sono state definite le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, le condizioni di pericolosità sismica locale oltre che le caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti come le aree di sedime degli argini da realizzare e sia il comportamento geomeccanico dei realizzandi nuovi argini.

## **Idrologia**

Il torrente Caina ha un bacino idrografico di circa 240 km<sup>2</sup>, si origina dalla Cresta della Fornace nei pressi San Giovanni del Pantano nelle vicinanze di Monte Tezio e scorre a est del Lago Trasimeno per circa 40 km nei territori dei Comuni di Perugia, Corciano, Magione e Marsciano lungo una pianura alluvionale costituita essenzialmente da sedimentazione continentale di origine fluviale e sedimenti recenti; questi ultimi rimaneggiati dalle lavorazioni agricole. Il torrente Caina è il principale affluente del fiume Nestore, tributario di destra del Fiume Tevere ed ha uno sviluppo pressoché regolare contenuto nei suoi argini grazie alle sistemazioni idrauliche eseguite negli anni. In generale il Torrente Caina e i suoi affluenti hanno un primo tratto con alveo arginato, mentre più a valle l'alveo possiede una sezione di deflusso composita, dove sono ben evidenti l'alveo di magra, le golene e l'alveo di piena contenuto all'interno di rilevati arginali rialzati sul piano campagna. Da alcuni anni inoltre gli argini dei corsi d'acqua sono interessati dalla presenza diffusa di un sistema articolato di tane profonde e cunicoli scavati da volpi, tassi, istrici e soprattutto nutrie (*Myocastor coypus*) e questo ha pericolosamente aumentato la vulnerabilità del rilevato arginale del torrente per fenomeni di erosione e sifonamento.

## **Caratteristiche Geomorfologiche**

La pianura alluvionale del Torrente Caina che rappresenta il collettore drenante principale di una vasta superficie, possiede caratteristiche proprie delle alluvioni recenti come una morfologia pianeggiante caratterizzata da pendenze dell'ordine di circa il 3%. La vallata come anche i versanti circostanti risultano stabili e non sono presenti delle frane significative o comunque riportate in una cartografia ufficiale, ipotesi avvalorata anche dalla forma della valle che presenta un fondo piatto senza interruzioni di continuità in conseguenza del colmamento di una depressione tettonica (graben) da parte dei sedimenti clastici di disfacimento dei rilievi circostanti e dell'opera di livellamento operata dai depositi alluvionali del Caina. Per quanto riguarda la regimazione delle acque superficiali nelle aree contermini, lungo i versanti dei rilievi circostanti, si denota una bassa densità di drenaggio, con un reticolo idrografico superficiale non sempre ben delineato. Le acque meteoriche, spesso non vengono raccolte da impluvi naturali ma da scoline camporili di origine antropica anche se malgrado ciò, non vi sono evidenze di importanti fenomeni erosivi.

Il Torrente Caina allo stato attuale presenta per buona parte del suo deflusso, un alveo arginato artificialmente e talvolta evidenzia azioni erosive con presa in carico del materiale fine sia sulle sponde, sia in alveo.

### **Caratteristiche geologiche**

La cartografia esistente e le indagini svolte in passato consentono di definire con sufficiente accuratezza le condizioni geologiche generali e la stratigrafia locale dei terreni alluvionali presenti.

Le informazioni di carattere geologico sono state reperite in parte da precedenti indagini geognostiche condotte per la progettazione di alcune infrastrutture comunali e in parte per conoscenze personali di indagini geologiche svolte nell'area di intervento; La maggior parte dei dati raccolti risultano correlabili tra loro e hanno consentito, in questa fase di studio commisurata agli interventi in progetto, di estrapolare informazioni utili per la progettazione di questi interventi urgenti per il ripristino del corretto deflusso in alveo del Torrente Formanuova e Caina.

Nell'area il litotipo dominante è rappresentato da sedimenti costituiti principalmente da ghiaie sabbiose con intercalazioni cicliche di argille limose, sedimenti disposti secondo una geometria lenticolare propria delle sedimentazioni fluviali in ambiente continentale. Talvolta possono ritrovarsi al di sotto della coltre alluvionale, sedimenti deposti in facies fluvio-lacustre, con una prevalenza di termini limo-argillosi.

L'esame dei terreni è stato supportato, da indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche) appositamente realizzate in passato per la progettazione di opere pubbliche ed infrastrutturali.

dal punto di vista idrogeologico i sondaggi evidenziano quasi tutti la presenza di depositi lenticolari multi falda (più falde sovrapposte talvolta confinate) proprio per la elevata disomogeneità granulare dei sedimenti e pertanto anche il livello statico della falda risulterà molto variabile

#### *Depositi Alluvionali*

I depositi alluvionali rappresentano il litotipo dominante all'interno della pianura alluvionale di scorrimento del Torrente Formanuova e Caina. Questi sono costituiti prevalentemente da sedimenti argillosi e argilloso-limosi caratterizzati da locali aumenti della frazione sabbiosa o ghiaiosa. Inoltre i depositi sono caratterizzati dalla presenza di inclusi clastici, in genere di piccole dimensioni e da sporadici livelletti ghiaiosi; frequentemente si notano inclusi travertinosi sottoforma di clasti sub-millimetrici e sottili livelli carboniosi di colore nero.

### **Categorie di sottosuolo**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della

risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3 del DM 14/01/2008. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II).

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

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

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, questa si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse.

Nel nostro caso, viste le opere da eseguire, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*)  $NSPT_{,30}$  (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della

resistenza non drenata equivalente  $C_{u,30}$  (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

La resistenza non drenata equivalente  $C_{u,30}$  nel caso di terreni a grana fine è definita dall'espressione

$$C_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{C_{u,i}}}$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT 30 nel caso di terreni a grana grossa è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

Nelle precedenti espressioni vengono indicate con:

- h<sub>i</sub>** spessore (in metri) dell'*i*-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- VS<sub>i</sub>** velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- NSPT<sub>i</sub>** numero di colpi NSPT nell'*i*-esimo strato;
- C<sub>u,i</sub>** resistenza non drenata nell'*i*-esimo strato;
- N** numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- M** numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
- K** numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Da quanto assunto in fase di studio dei dati geotecnici in possesso e per quanto riguarda lo spessore dei sedimenti, dai dati del rilevamento geologico, questi potrebbero non avere uno spessore superiore a metri 30. Pertanto sulla base di questo valore e secondo quanto stabilito dal DM del 14 gennaio 2008, è possibile assegnare cautelativamente al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

### **Categoria di sottosuolo " D "**

#### **Condizioni topografiche**

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella Tab. 3.2.VI del DM 14/01/2008.

**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica**

<b>Categoria topografica</b>	<b>Ubicazione dell'opera o dell'intervento</b>	<b>ST</b>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	1.4

Il sito in esame è ubicato in area pianeggiante e in base a quanto previsto dal DM del 14 gennaio 2008, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

### **Categoria topografica T1.**

#### **Interventi in progetto**

Oltre alle sopra menzionate azioni di studio e verifica delle azioni da intraprendere per regolare il deflusso idrico del torrente, il progetto prevederà i seguenti interventi :

- Interventi di ripristino di rotte arginali e taglio selettivo delle alberature sul Torrente Formanuova presso la Località di Mantignana nel Comune di Corciano;
- Interventi di ripristino di rotte arginali e taglio selettivo delle alberature sul Torrente Caina presso la Località Pilonico Materno nel Comune di Perugia.

I lavori progettati presentano tutti le medesime modalità costruttive e realizzative, interesseranno diversi interventi puntuali dislocati lungo l'asta del Torrente Formanuova e Caina.

In particolare gli interventi riguarderanno la ricostituzione arginale in dx idraulica di un tratto del Torrente Formanuova nel comune di Corciano e il ripristino arginale di due erosioni di sponda e arginali in dx idraulica a monte dell'abitato di Pilonico Materno nel comune di Perugia. Le nuove arginature saranno costituite da rilevati strutturali aventi quote superiori rispetto al piano medio di campagna con la funzione di «tenuta» dell'acqua. Gli argini saranno generalmente realizzati con un rilevato in terra omogenea a granulometria fine classificata A6 o A4 nel sistema di

classificazione CNR UNI 10006. La permeabilità che si attende nella costruzione dell'argine con le terre dianzi indicate è non superiore a  $10^{-6} \div 10^{-8}$  m/s per contenere i fenomeni di filtrazione e possedere un elevato peso di volume per assicurare la stabilità al franamento.

**Torrente Formanuova :** Trattasi di un tratto di corso d'acqua colonizzato da animali da tana, principalmente del genere nutria. Il progetto prevede il taglio meccanizzato e manuale della vegetazione ripariale presente all'interno dell'alveo e sull'argine di destra sul tratto terminale del corso d'acqua in corrispondenza dell'immissione nel torrente Caina per uno sviluppo di circa 1.000 ml. Le associazioni vegetali presenti sono costituite principalmente da giovani colonie di alberature del genere pioppo e robinia, associate ad una massiccia presenza di arbusti. Nelle porzioni di sponde e arginature in destra idraulica dove la presenza di tane e cunicoli è ben riconoscibile e distinguibile, sarà operata una ricostruzione completa della sponda e dell'argine mediante lo scavo con la riprofilatura dell'alveo di magra operando una depressione profonda circa 50 cm e larga circa 80, oltre che uno scavo per movimentazione dei depositi alluvionali trasportati e accumulati dalla corrente idrica. Verrà realizzato inoltre uno scavo per la realizzazione di una di fondazione del paramento spondale ed arginale. Successivamente dovrà essere ricostituita la sponda e il rilevato arginale con materiale appartenente alle classi granulometriche delle terre A6 o A4 proveniente da cave di prestito. Nella messa in opera sarà posta particolare cura affinché il consolidamento e costipamento dovrà essere eseguito per strati successivi per uno spessore massimo di 30 cm. Inoltre l'ammorsamento a monte e a valle del nuovo argine sarà effettuato su porzioni sane della precedente arginatura assicurando quindi la necessaria protezione e coesione.

**Torrente Caina :** L'intervento riguarderà due piccole erosioni che hanno interessato l'argine destro del corso d'acqua ubicate in un suo tratto pressochè rettilineo. Queste hanno rispettivamente uno sviluppo di ml 34,00 e di ml 15,00 e l'intervento riguarderà analogamente a quanto previsto per il Torrente Formanuova, il taglio della vegetazione arbustiva, arborea ed erbacea presente, uno scavo per la riprofilatura dell'alveo di magra operando una depressione profonda circa 50 cm e larga circa 80, uno scavo per movimentazione dei depositi alluvionali trasportati e accumulati dalla corrente idrica e uno scavo di fondazione per la realizzazione del paramento spondale ed arginale. Successivamente dovrà essere ricostituita la sponda e il rilevato arginale con materiale di idonea granulometria proveniente da cave di prestito a cui cura sarà posta particolare cura affinché il consolidamento e costipamento per strati successivi e l'ammorsamento a monte e a valle delle aree di intervento sia operato sulle porzioni sane del rilevato arginale il quale dovrà assicurare la necessaria protezione e coesione onde evitare allagamenti o franamenti. Ad avvenuto risanamento arginale, sarà posta in opera una geostuoia in



juta o similare e successivamente verrà attuata la semina a spaglio con essenze vegetali, per favorire a breve termine la protezione contro l'erosione, e l'inserimento dell'opera nel contesto ambientale specifico e migliorarne allo stesso modo, anche il comportamento statico.

La scelta tipologica è stata compiuta tenendo conto delle esigenze progettuali e delle caratteristiche dell'opera: facilità di adattamento alla situazione morfologica dell'alveo, flessibilità, capacità di rinaturalizzazione e di rapido inserimento nel contesto fluviale.

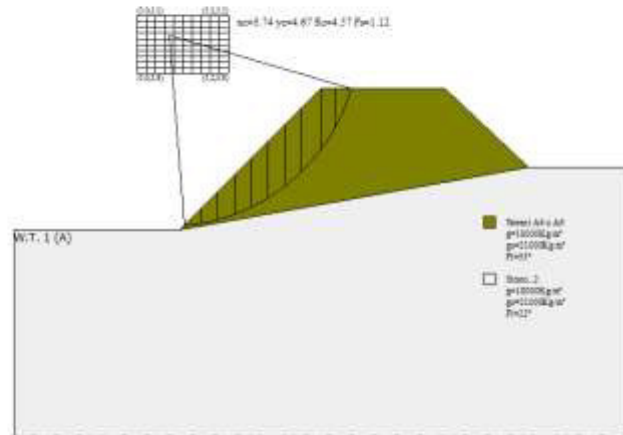
Per quel che riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi del D.lgs. 152/2006 si evidenzia che le terre da scavo prodotte nella fase realizzativa di tutte le opere in progetto saranno riutilizzate ove tecnicamente idonee nell'ambito del cantiere stesso per il ripristino di sponde ed arginature e per la regolarizzazione del fondo alveo. Eventuali esuberanti di terra rispetto alle esigenze del cantiere, ad oggi non preventivabili, verranno gestiti conformemente alle vigenti normative.

## **VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SPONDE**

Le verifiche geotecniche sono state eseguite tramite un software fornito da Geostru (Slope). Il tratto del Caina preso in esame è quello che presenta sezioni arginali con il rilevato che presenta altezze assolute maggiori e pendenza più elevata. Il tratto di interesse è posto tra Bagnaia e Pilonico Materno. In questo tratto i paramenti arginali presentano altezze medie rispetto al fondo dell'alveo comprese tra 2 e 3.5 metri e sponde con elevata pendenza, tra i 35° e i 45° rispetto all'orizzontale. Le sezioni investigate, riportate in SEZIONE INTERVENTO 1 (Torrente Caina) Tavola 3a che sono quelle ritenute di maggiore interesse di indagine dal punto di vista della stabilità della scarpata.

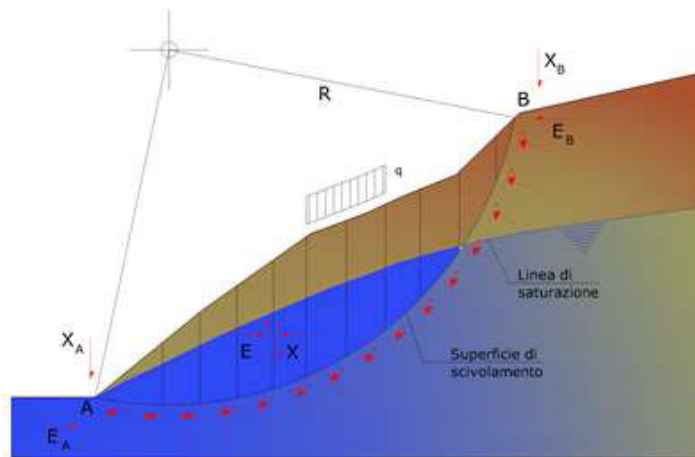
Per la stima delle caratteristiche geotecniche dei terreni costituenti le arginature in esame si è fatto riferimento a caratterizzazioni dei terreni già in possesso derivanti da precedenti studi geotecnici e sono riportati nella relazione di calcolo. Anche per i terreni che verranno riportati per la ricostituzione degli argini franati verranno considerati dei parametri geotecnici desunti da letteratura oltre che derivati da precedenti prove geotecniche effettuate su arginature artificiali ed eseguite a regola d'arte.

## RELAZIONE DI CALCOLO IN CONDIZIONI ORDINARIE



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 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.

### 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:

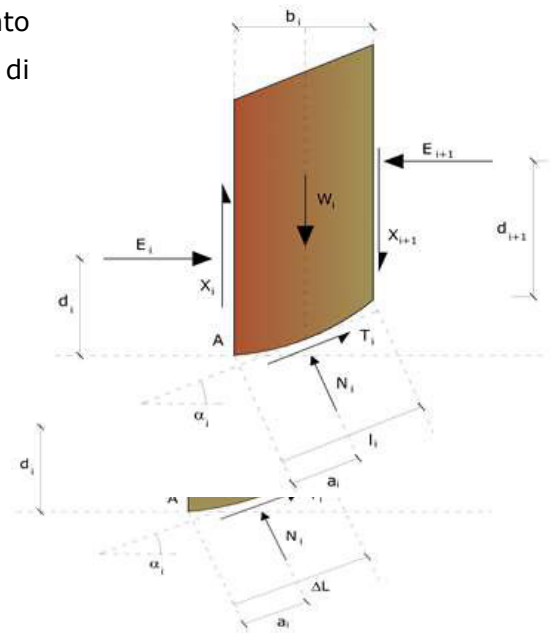
- $n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;
- $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;
- 1 fattore di sicurezza.

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.

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



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

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

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

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

### Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2.97 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3.77 m
Ascissa vertice destro superiore xs	5.18 m
Ordinata vertice destro superiore ys	5.16 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	7.4	3.4
4	10.4	3.4
5	12.4	1.5
6	14.9	1.5

### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
-----	----------	----------

#### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	4.0	0.0
4	12.4	1.5
5	14.9	1.5

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0.2		35	18000	21000	Terreni A4 o A6
2	0.5		22	18000	21000	

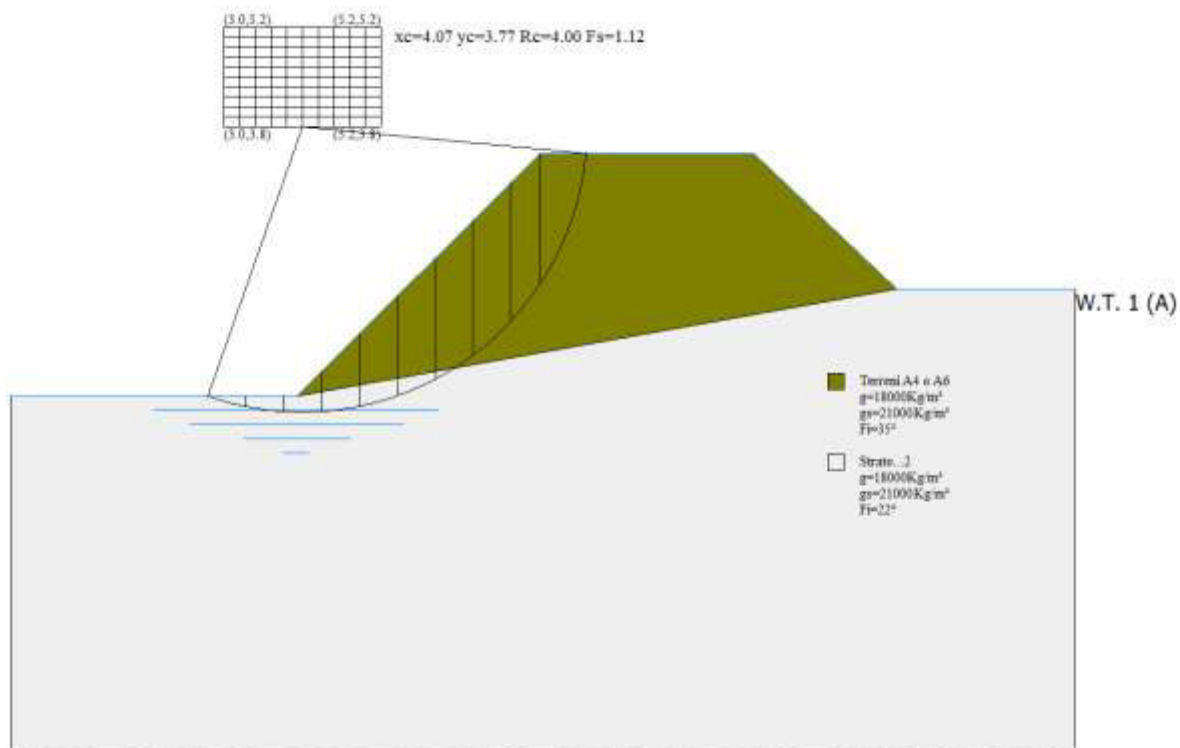
### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	1.19
Ascissa centro superficie	3.74 m
Ordinata centro superficie	4.67 m
Raggio superficie	4.57 m

$$x_c = 3.744 \quad y_c = 4.673 \quad R_c = 4.573 \quad F_s = 1.185$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.4	7.2	0.41	1304.4	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	1294.1	163.4
2	0.4	12.3	0.41	3715.2	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	3629.7	792.4
3	0.4	17.5	0.42	5850.91	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	5579.0	1763.0
4	0.4	22.9	0.44	7690.55	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	7083.6	2994.5
5	0.4	28.5	0.46	9201.43	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	8084.9	4393.3
6	0.4	34.4	0.49	10333.07	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	8521.5	5844.3
7	0.4	40.8	0.53	11004.89	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	8326.8	7195.2
8	0.47	48.6	0.71	12919.85	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	8540.4	9694.5
9	0.33	56.9	0.61	7434.4	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	4058.0	6229.2
10	0.4	67.3	1.04	4026.51	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	1554.2	3714

## RELAZIONE DI CALCOLO IN CONDIZIONI DI RAPIDO SVASO



### Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2.97 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3.77 m
Ascissa vertice destro superiore xs	5.18 m
Ordinata vertice destro superiore ys	5.16 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	7.4	3.4
4	10.4	3.4
5	12.4	1.5
6	14.9	1.5

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	7.4	3.4
4	10.4	3.4
5	12.4	1.5
6	14.9	1.5

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	4.0	0.0
4	12.4	1.5
5	14.9	1.5

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.2		35	18000	21000	Terreni A4 o A6	
2	0.5		22	18000	21000		

**Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1.12
Ascissa centro superficie	4.07 m
Ordinata centro superficie	3.77 m
Raggio superficie	4.0 m



**xc = 4.075 yc = 3.77 Rc = 3.997 Fs=1.117**

---

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.53	-15.4	0.55	794.47	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	765.8	-211.6
2	0.53	-7.7	0.54	1828.05	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	1811.8	-243.5
3	0.53	0.0	0.53	2989.63	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	2989.6	-0.4
4	0.53	7.6	0.54	8453.64	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	8378.6	1123.9
5	0.53	15.4	0.5513449	14	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	12964.4	3578.2
6	0.53	23.5	0.5816586	33	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	15207.0	6622.1
7	0.53	32.2	0.6320210	31	0.0	0.0	0.5	22.0	0.0	17105.1	10764.4
8	0.53	41.8	0.7120667	96	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	15409.8	13773.2
9	0.41	51.6	0.6516422	17	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	10201.1	12869.6
10	0.65	70.5	1.9617222	93	0.0	0.0	0.2	35.0	0.0	5751.6	16234.

---

## **TERRE E ROCCE DA SCAVO**

Per quel che riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi del D.lgs. 152/2006 si evidenzia che le terre da scavo prodotte nella fase realizzativa di tutte le opere in progetto saranno riutilizzate ove tecnicamente idonee nell'ambito del cantiere stesso per il ripristino di sponde ed arginature e per la regolarizzazione del fondo alveo. Eventuali esuberanti di terreno rispetto alle esigenze del cantiere, ad oggi non preventivabili, verranno gestiti conformemente alle vigenti normative.

## **CONCLUSIONI**

Sulla base di quanto esposto, si può concludere che nulla osta all'esecuzione delle opere in quanto l'area si trova in buone condizioni di equilibrio geomorfologico che non verranno compromesse dalla realizzazione delle opere in progetto.

Si intende comunque sottolineare i seguenti aspetti:

1. Per un'efficace attenuazione del rischio idraulico sul tratto d'asta del Torrente Caina Bagnaia-Pilonico Materno si ritiene necessario un generale rafforzamento e ripristino dei paramenti arginali soprattutto attraverso l'utilizzo di scogliere in pietrame e/o palificate in legno che attualmente per l'eseguità delle risorse, non sarà possibile realizzare;
2. le opere da realizzare non trasmetteranno sovraccarichi al substrato; e non interferiranno significativamente con l'equilibrio morfologico dei versanti;
3. Il progetto ha in previsione il miglioramento dell'efficienza del reticolo idrografico superficiale e delle infrastrutture idrauliche in tutta l'area del bacino idrografico del Torrente Caina;
4. Dal punto di vista idraulico verranno effettuati gli interventi necessari ad una minima riduzione del rischio di alluvionamento da parte del Torrente Caina e dei suoi affluenti;
5. per quanto attiene l'aspetto idrogeologico, data la natura ed il tipo delle opere da eseguire interferiranno solo positivamente con la circolazione idrica superficiale locale;

Si resta a disposizione per ulteriori ed eventuali chiarimenti.

Dott.Geol. Luigi Santioli

Carta Geologica Torrente Formanuova



## Carta Geologica Torrente Caina

