STUDIO
ANDREA GHILINO
G E O L O G O

COMUNE DI MOCONESI

PROVINCIA DI GENOVA

OGGETTO

RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE PER L'ESERCIZIO DI UN COMPLESSO ESTRATTIVO ARDESIACO DENOMINATO "RIE'" SITO IN LOC. MONTE CAUCASO

COMMITTENTE

"DONDERO GIAN LUIGI estr. lav. Ardesie"

RELAZIONE GEOLOGICA

In ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008



Cicagna, 17 settembre 2012

dott. geol. Andrea Ghilino

Via Contrada, 15/C - Cicagna (GE)
Telefono 0185.92252 - Cellulare 347.1062253 - andrea.ghilino@yahoo.it

INDICE DEI CAPITOLI

1. INTRODUZIONE

2. MODELLO GEOLOGICO

   2.1 GEOLOGIA

   2.2 GEOMORFOLOGIA

   2.3 IDROGEOLOGIA

3. MODELLO GEOTECNICO E GEOMECCANICO

   3.1 INDAGINE PENETROMETRICA

   3.2 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

   3.3 MODELLO GEOMECCANICO

4. SISMICITA' DELL'AREA

5. VERIFICHE DI STABILITA'

   5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

   5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI ARDESIACI

   5.3 PARAMETRI DI PROGETTO DEI MATERIALI

   5.4 STABILITÀ DEL VERSANTE ALLO STATO ATTUALE

   5.5 STABILITÀ DELLA DISCARICA ALLO STATO FINALE

6. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE

TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE

Tav. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000

Tav. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-STRUTTURALE SCALA 1: 2.5000

Tav. 3: STRALCIO DI CARTA GEOMORFOLOGICA SCALA 1: 2.5000

Tav. 4: STRALCIO DI CARTA IDROGEOLOGICA SCALA 1: 2.5000

Tav. 5: ELABORATI GRAFICI

Tav. 6: CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PENETROMETRO DINAMICO UTILIZZATO E DIAGRAMMI PENETROMETRICI DI INFISSIONE

1. INTRODUZIONE

L'indagine geologica, commissionata dalla Ditta "*DONDERO GIAN LUIGI estr. lav. Ardesie*", tramite il Progettista *geom. Beniamino Colaiuda*, è stata intrapresa a corredo della richiesta di autorizzazione per l'esercizio di un complesso estrattivo ardesiaco denominato *"Riè"*, sito in loc. *Monte Caucaso*, nel *Comune di Moconesi* (Ge).

La presente relazione esamina gli aspetti geologici (s.l.) dell'area, in particolare quelli connessi con la sistemazione della discarica di materiale ardesiaco, proveniente dalle attività di coltivazione delle cave d'ardesia, di proprietà della Committenza.

Saranno quindi discusse le caratterizzazioni geotecniche/geomeccaniche dei materiali coinvolti e le problematiche inerenti la stabilità delle opere di futura realizzazione.

Le indagini sono state svolte mediante rilevamento diretto (metodo osservazionale) effettuato nel corso di ispezioni in situ, integrato dalla rielaborazione di dati e notizie ricavate da opportune ricerche bibliografiche.

Obiettivo dello studio intrapreso è la realizzazione di un *modello geologico (s.l.) di riferimento* del sito su cui si intende intervenire, orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, geotecnico/geomeccanici e di pericolosità geologica del territorio

Il presente lavoro ha dunque la finalità di fornire un parere di fattibilità geologica dell'intervento nonché elementi geologico-applicativi per la sua ottimizzazione tipologica.

3. MODELLO GEOLOGICO

3.1 GEOLOGIA

Con riferimento alla Carta Geologica d'Italia, il bacino del *Torrente Lavagna* risulta caratterizzato dalle seguenti litologie, appartenenti alla successione sedimentaria costituente l'*Unità di M.te Gottero*:

- *Gruppo della Val Lavagna* (*Formazione degli Argilloscisti di Val Lavagna* e *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi*), che occupa sostanzialmente il settore medio-inferiore di entrambi i versanti orografici della Valfontanabuona;

- *Formazione delle Arenarie di M.te Gottero,* costituente le cime più elevate dello spartiacque sinistro (*M.te Ramaceto, M.te Caucaso, ecc.);*

- *Formazione delle Argilliti di Giaiette,* reperibile nella parte bassa della vallata.

Nello specifico, la porzione di versante considerata e quindi il comparto interessato dalle lavorazioni a progetto, è geologicamente caratterizzata dalla presenza della *Formazione delle Ardesie di M.te Verzi* (età Campaniano; ~ 83ma), i cui lineamenti litologici essenziali possono essere così riassunti:

- *Scisti marnosi, scisti ardesiaci ed ardesie* sensu strictu più o meno massiccie, di colore grigio-plumbeo fino a nero, imputabile alla presenza di grafite (carbonio), e grigio-biancastro sulle superfici esposte, dotate di debole scistosità (*"Slaty Cleavage"*) per cui è possibile sfaldarle ottenendo lastre piane e sottili fino a pochi millimetri (le *"ciappe"*); i cosiddetti "filoni" di ardesia presentano potenza variabile da un minimo di pochi decimetri ad un massimo di 10-12 m;

- *Arenarie*, generalmente quarzo-micacee, a cemento siliceo-argilloso, di colore grigio-biancastro, con frequenti vene di calcite e quarzo, lettini e veli di argilliti e spesso "ciottoli molli" di argilla; formano strati variabili da pochi centimetri a qualche metro;

- *Calcareniti compatte*, grigie, con frequenti vene di calcite; si sostituiscono alle arenarie negli affioramenti in versante destro della *Val Lavagna*;

- *Scisti argillosi* finemente arenaceo-micacei, grigio-verdastri o plumbei tipo ardesia, dalla quale si distinguono per la scistosità obliqua rispetto al piano di stratificazione che risulta frequentemente esasperata fino alla fissilità.

La *Formazione delle Ardesie di M.Verzi* è presente nella Liguria Orientale da Uscio-Tribogna-Moconesi fino alla falesia si S. Anna (Cavi di Lavagna) secondo un affioramento continuo ed allineato lungo la direttrice NW-SE.

In *Val Fontanabuona* la formazione suddetta è presente lungo i due versanti vallivi con andamento sub-concordante al corso dell'omonimo torrente ed all'asse della struttura geologica principale ossia una grande piega anticlinale, coricata a NE, con asse NW-SE.

Affioramenti rocciosi significativi, dotati di continuità ed estensione e che hanno permesso di correlare l'ammasso roccioso alla formazione geologica suddetta, sono stati individuati in tutta l'area di rilevamento.

Nel corso del sopralluogo si è proceduto ad una serie di ricognizioni lungo la strada alle cave che risale verso il sito, ove il taglio a mezza costa consente l'osservazione dell'ammasso roccioso in buona esposizione; lungo il percorso è stato possibile individuare nicchie ed imbocchi connessi attività pregresse di coltivazione dell'ardesia.

Per quanto attiene la disposizione geostrutturale degli strati, sono state eseguite misure giaciturali sulla superficie di strato (So) evidenziando l'assetto ad immersione Sud/Est: gli strati presentano direzione di 63° ed inclinazione di 28° e rispetto alla direzione della sezione geologica delineano componenti a giacitura indifferente.

Come si evince dall'allegata Tav. 2, si ha la presenza di una tettonica di tipo fragile distensiva espressa principalmente su lineamenti Nord ed Ovest, che ha delineato l'attuale assetto morfologico dell'area. I corsi d'acqua principali presentano un andamento fortemente influenzato dall'evoluzione tettonica.

3.2 GEOMORFOLOGIA

L'area di interesse ubicata presso la località Provino, si inquadra nelle vicinanze del crinale spartiacque che separa la valle di Cornia con la valle del Torrente Moconesi, in una porzione di versante ad elevata acclività, con pendenze fino al 75%.

L'areale oggetto di studio propone coperture sciolte eluvio-colluviali sottili, di spessore presunto variabile da 0.5 a 2m, disposte sia a declivio naturale che terrazzate e spesso interessate da processi di soliflusso superficiale; il substrato è generalmente affiorante e/o subaffiorante.

I rilevamenti effettuati, integrati dalla consultazione della *C.T.R.* hanno permesso di perimetrare zone di ispessimento fino a 3m delle coltri eluvio-colluviali (cfr. TAV. 3).

In relazione alla formazione geologica caratterizzante questa porzione di territorio, si può riferire di attività estrattive sia in attività che pregresse ed abbandonate nell'ambito del versante e sono quindi presenti numerose discariche dei materiali di risulta.

Dai rilevamenti compiuti si può affermare che l'assetto geomorfologico è parso in buone condizioni di stabilità, in quanto il versante risulta al momento privo di segni tangibili di dissesto attivo e/o quiescente, in accordo con il Piano "183".

3.3 IDROGEOLOGIA

L'idrogeologia generale è condizionata dal contrasto tra le coltri porose, nelle quali si instaura un deflusso ipodermico, ed il substrato a prevalente componente argillitica che, seppur fratturato e dunque semipermeabile, determina un orizzonte di minor pervietà sul quale si attivano infiltrazioni proporzionate alla scala degli eventi meteorologici.

Per tale ragione al passaggio tra i due orizzonti possono manifestarsi fasce di intensa impregnazione (o localmente vere e proprie falde) intensificate in occasione di piogge persistenti.

La filtrazione e il flusso di acqua attraverso la matrice rocciosa si determina nei pori e lungo le fratture e dipende dall'interconnessione tra questi e da altri fattori come il grado di alterazione e l'anisotropia a cui è sottoposto il materiale; bibliograficamente per l'Ardesia viene proposto un coefficiente di permeabilità k pari a 10^{-11}-10^{-13} m/s mentre per l'arenaria k viene assunto pari a 10^{-5}-10^{-10} m/s.

La presenza di famiglie di giunti, di discontinuità singolari come le faglie, di zone alterate, costituiscono le vie preferenziali di circolazione idrica nel sottosuolo e delimitano zone a maggiore conducibilità idraulica.

Il moto dell'acqua all'interno della matrice rocciosa è appunto fortemente influenzato dalle caratteristiche fisiche e geometriche delle discontinuità; in particolare, il moto dell'acqua all'interno di una singola discontinuità è governato, dal punto di vista idraulico, dall'apertura e dalla rugosità, mentre la permeabilità dipende anche dalla frequenza e dalla persistenza delle fratture.

In riferimento a quanto esposto nell'allegata Tavola 2 si possono suddividere e definire almeno tre differenti gradi di permeabilità dei terreni: i detriti ardesiaci di origine antropica (discariche) hanno un'elevata permeabilità per porosità; le coperture detritico-colluviali sono mediamente permeabili anch'esse per porosità; la porzione di territorio a roccia affiorante e/o subaffiorante ha bassa permeabilità per fessurazione e/o fratturazione.

Si segnala che durante il recupero delle aste penetrometriche durante l'indagine meccanica in situ, non sono state riscontrate impregnazioni indicatrici di presenze idriche nel sottosuolo; l'analisi geomeccanica ha riscontrato esclusivamente presenza di umidità lungo la superficie di alcune fratture.

3. MODELLO GEOTECNICO E GEOMECCANICO

Le indagini di superficie sono state svolte mediante rilevamento diretto (metodo osservazionale) effettuato nel corso di ispezioni in situ, integrato dalla rielaborazione di dati e notizie ricavate da opportune ricerche bibliografiche.

Per indagare e per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo, è stata organizzata una campagna geognostica configurata in n°2 penetrometrie dinamiche, per la cui ubicazione si rimanda all'allegata Planimetria Tecnica (cfr. Tav. 5).

Con l'ausilio di tali indagini meccaniche in situ (prove penetrometriche), ci si è inoltre proposti di acquisire maggiori indicazioni circa le caratteristiche stratigrafiche del terreno interferente con i lavori a progetto con lo scopo di affinare la profondità del substrato roccioso nell'area di discarica.

3.1 INDAGINE PENETROMETRICA

Al fine di caratterizzare geotecnicamente le coperture sciolte ed indagare circa la profondità di reperimento del substrato roccioso in settori di difficile interpretazione stratigrafica, si è proceduto ad una campagna geognostica articolata in n°2 penetrometrie dinamiche medio-leggere *(DL030)* continue denominate ***P1, P2*** mediante penetrometro *"DEEP DRILL DL030",* le cui caratteristiche tecniche sono descritte nell'allegata Tav. 5.

L'indagine meccanica in situ, integrata dalle risultanze dei rilevamenti geologico-geomorfologici di superficie, ha permesso di:

- *Ricavare e tarare la sezione stratigrafica interpretativa* (cfr. Tav. 5);
- *Ottenere una caratterizzazione geotecnica degli orizzonti sciolti attraversati (cfr. Tav. 6 - diagrammi numero colpi -).*

La prova penetrometrica dinamica continua consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero dei colpi N necessari: le letture vengono effettuate ogni 10cm (cfr. Tav. 5).

Le elaborazioni sono state effettuate mediante il programma di calcolo automatico *WIN-DIN* che calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con *SPT*).

Tale programma permette inoltre di estrapolare dai dati ottenuti dalla prova penetrometrica (numero di colpi e resistenza alla punta) una serie di parametri geotecnici significativi.

Le profondità di "rifiuto" all'infissione che sono state registrate nel corso delle tre prove penetrometriche sono rispettivamente:

- ***0.70m*** *da p.c.* nel corso della *prova* ***P1****;*
- ***0.80m*** *da p.c.* nel corso della *prova* ***P2****.*

In prima analisi i dati ottenuti fanno supporre che tali rifiuti individuino la quota del "cappellaccio" di alterazione del substrato e/o la presenza di porzioni disarticolate dell'ammasso roccioso (trovanti) all'interno delle coltri di copertura.

Si segnala inoltre, che durante il recupero delle aste penetrometriche, non sono state riscontrate impregnazioni idriche o condizioni di umidità.

4.2 Stratigrafia e Parametrizzazione Geotecnica

Per quanto riguarda la *Ricostruzione Stratigrafica* del comparto interessato dalla realizzazione della discarica a progetto, sulla base delle osservazioni, dei rilievi geologici di superficie compiuti in situ, analizzando sezioni e spaccati del terreno significativi, possono essere distinti i seguenti orizzonti di interesse:

orizzonte eluvio-colluviale) a resistenza dinamica alla punta medio-alta, costituito da scheletro eterometrico da medio a grossolano in matrice argillo-limosa, talvolta con significative frazioni argillose derivanti dall'alterazione e/o disfacimento dei componenti argillitici misto a detriti ardesiaci.

orizzonte individuabile al tetto del basamento roccioso e configurabile come il *"Cappellaccio"* di alterazione del substrato roccioso alternato a livelli e/o "sacche" eluviali; in corrispondenza di tale livello è stata ottenuta una resistenza dinamica alta fino al rifiuto all'infissione (N_{10}>50).

basamento roccioso "sano".

L'indagine penetrometrica ha consentito quindi ulteriori valutazioni circa la stratigrafia del sito e di calcolare i parametri geotecnici: per gli orizzonti sciolti attraversati è possibile proporre la seguente parametrizzazione geotecnica *media*:

Coltri eluvio-colluviali

- *peso dell'unità di volume: γ = 1.8-2.1 t/mc*
- *coesione: c = 0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito: φ = 35°*

4.3 MODELLO GEOMECCANICO

Dal punto di vista *geomeccanico* l'ammasso roccioso è stato classificato con il metodo proposto da Bieniawski: questa classificazione si basa sul rilievo di cinque parametri che determinano un valore base dell'indice *RMR* (Rock Mass Rating).

Il rilievo e l'analisi dei principali parametri da inserire nella classificazione sono stati effettuati nei principali affioramenti rocciosi, alcuni fotografati e riportati nell'allegata Tav. 7; la messa a "nudo" dell'ammasso roccioso, in tali affioramenti, risulta sufficientemente estesa e rappresentativa per ricavare i dati necessari che vengono elencati di seguito:

❖ R1: resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta

La resistenza a compressione uniassiale della roccia è stata valutata basandosi su alcune serie di prove condotte con lo sclerometro per cls. i cui indici di rimbalzo sono stati poi opportunamente correlati a quelli del martello di Schmidt secondo la relazione (Bagalà,1998): $R_N = 22,1 + 0,7\ R_L$

con:

R_N = lettura del rimbalzo allo sclerometro per calcestruzzi

R_L = lettura del rimbalzo al martello di Schmidt

I risultati così ottenuti hanno permesso di ricavare: σ_c = 100-200 MPa

INDICE R1 = 12

❖ *R2: indice RQD*

E' stato valutato indirettamente attraverso la relazione *Priest-Udson* nella forma:

$RQD = 100 \times e^{-0,1n} \times (0,1\ n + 1) = 96\%$

N = numero di fratture a metro = 3

INDICE R2 = 20

❖ *R3: Spaziatura dei giunti*

Valutata sulla base dell'osservazione diretta dell'ammasso roccioso e delle sue caratteristiche strutturali: *s = 0.3cm-1m*

INDICE R3 = 20

❖ R4: Condizione di giunti

Superfici rugose mediamente alterate con persistenza media da 1 a 3m;
pareti di roccia dura.

INDICE R4 = 15

❖ R5: Condizione idrauliche

Umidità

INDICE R5 = 7

Dalla somma algebrica dei coefficienti numerici dei primi cinque parametri si ottiene:

RMRbase = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 74 *(II classe – ammasso roccioso buono)*

Una volta noto il valore *RMR* è possibile effettuare verifiche sulla resistenza geomeccanica dell'ammasso; può essere dunque proposta la seguente parametrizzazione geomeccanica *media*:

Orizzonte (C) – ammasso roccioso

- *peso dell'unità di volume: γ = 2.3 t/mc*
- *coesione: c = 0.5 Kg/cmq*
- *angolo di attrito: φ = 40°*

Orizzonte (D) - basamento roccioso "sano" (materiale roccia)

- *peso dell'unità di volume: γ = 2.8 t/mc*
- *coesione: c = 1.0 Kg/cmq*
- *angolo di attrito: φ = 45°*

4. SISMICITA' DELL'AREA

Ai sensi dell'*Ordinanza* della *Presidenza* del *Consiglio* dei *Ministri* n°3519/2006, ed alla *D.G.R. n°1362 del 19/11/2010*, il territorio comunale di *Moconesi (Ge) è stato classificato sismico ed inserito in zona* ***3*** *(p.g.a. = 0,150g).*

La normativa definisce l'accelerazione sismica orizzontale (*ag*) relativamente alle diverse zone simiche: tale valore è attribuito a formazioni litoidi con velocità media di propagazione nei primi 30m di profondità delle onde sismiche di taglio (Vs30) maggiore di 800 m/s.

In particolare in Zona 3A il valore dell'accelerazione sismica orizzontale è pari a *ag = 0.150g*, tale valore rappresenta l'accelerazione massima orizzontale attesa nel caso in cui le strutture in progetto siano fondate su substrato roccioso di buone caratteristiche geomeccaniche o in prossimità dello stesso ed in condizioni geomorfologiche favorevoli.

Considerato che nel sedime di progetto sono previsti ridotti spessori di coltri di copertura e che il livello di riferimento delle fondazioni dei muri di sostegno sarà rappresentato dal basamento roccioso "sano": si ritiene dunque corretto associare il sito ad un profilo stratigrafico tipico della Categoria di suolo ***A***, che comprende formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3.0 m.

La normativa *(D.M. 14 gennaio 2008)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito, essendo prevista la discarica nella porzione basale di un versante, non si ritiene necessario considerare l'effetto d'amplificazione topografica dell'onda sismica.

Sulla base delle recenti disposizioni previste dalle *"Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/2008),* le tabelle seguenti riepilogano le considerazioni sismiche sulla struttura a progetto, le caratteristiche sismiche del sito, l'analisi dei parametri e dei coefficienti sismici, calcolati con il programma *"GEOSTRU PS"*:

COORDINATE GEOGRAFICHE DELLA LOCALITA' IN ESAME				
Longitudine:			9,225779	
Latitudine:			44,45208	
COORDINATE GEOGRAFICHE DEI 4 PUNTI DEL RETICOLO (SITI DI RIFERIMENTO)				
	ID	LON	LAT	DIST m
Sito 1	16700	9,2180	44,4581	908,097
Sito 2	16701	9,2879	44,4605	5017,018
Sito 3	16923	9,2914	44,4106	6956,254
Sito 4	16922	9,2215	44,4081	4901,099

VITA DELLA STRUTTURA	
Vita nominale delle opere:	$V_N \geq 50$ anni
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso:	$C_U = 1$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_U = 50$
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	
Topografia:	T2
Coefficiente Topografico:	$S_T = 1.20$
Categoria Suolo:	A
Coefficiente Stratigrafico:	$S_S = 1.00$

	PARAMETRI SISMICI						*COEFFICIENTI SISMICI*			
	SL	P_{vr}	T_r	a_g	F_o	T_c^*	Kh	Kv	Amax	Beta
sle	*Operatività (SLO)*	81%	30	0,032g	2.497	0.204	0.008	0.004	0.377	0.200
sle	*Danno (SLD)*	63%	50	0.034g	2.510	0.209	0.008	0.004	0.402	0.200
slu	*Salv.Vita (SLV)*	10%	475	0.085g	2.512	0.279	0.020	0.010	0.995	0.200
slu	*Collasso (SLC)*	5%	975	0.111g	2.493	0.287	0.036	0.018	1.302	0.270

SL = Stato Limite Considerato (sle = stato limite di esercizio; slu = stato limite ultimo); **P_{vr}** = Probabilità di superamento dello Stato Limite Considerato; **T_r** = Tempo di Ritorno (anni); **a_g** = Accelerazione massima al sito; **F_o** = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; **T_c^***= Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec); **Kh** = coefficiente sismico orizzontale; **Kh** = coefficiente sismico verticale; **Amax** = accelerazione massima attesa al sito.

5. VERIFICHE DI STABILITÀ

La stabilità della discarica di materiale ardesiaco è stata valutata in relazione alle condizioni attuali e finali di ultimazione de stessa. Sono state dunque condotte verifiche sulla sezione geologica interpretativa C-D.

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche sono state eseguite con il cosiddetto metodo *"dell'equilibrio limite"*, che consiste nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali soprastanti, considerato come se fosse rigido.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura, si basano tutti sulle ipotesi seguenti:

- il coefficiente di sicurezza (*FS*) è definito come rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato lungo la ipotetica superficie di scorrimento;
- il coefficiente di sicurezza è assunto costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;
- la rottura avviene per il raggiungimento, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento, della resistenza al taglio limite.

Le analisi sono condotte con il metodo di *Bishop*, implementato all'interno di un programma di calcolo specifico per tale tipo di analisi: è stato utilizzato il programma di calcolo "*Slope 2010*" della *Geostru Software.* Il calcolo è stato svolto seguendo le recenti indicazioni delle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (*D.M. 14 Gennaio 2008*)

Secondo queste ultime norme le analisi di stabilità dei rilevati in terreni sciolti o granulari devono essere effettuati verificando che sia soddisfatta la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

avendo indicato con *Ed* il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e *Rd* il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno).

In tal senso, in campo statico i valori caratteristici dei parametri geotecnici dei materiali e delle azioni vengono, rispettivamente, divisi e moltiplicati per i coefficienti parziali previsti dalla combinazione di carico *A2+M2+R2 (dimensionamento GEOtecnico)*, con l'impiego di un coefficiente parziale della resistenza del sistema geotecnico *gR* (corrispondente ad *FS* precedentemente definito) pari ad 1.1.

In presenza di sollecitazioni sismiche (campo pseudostatico) vengono adoperati i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze dei materiali lasciando al giudizio del progettista la scelta dei valori più idonei da assegnare al coefficiente *gR*.

5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI ARDESIACI

Prima di descrivere le analisi effettuate, occorre definire i parametri geotecnici dei materiali che non sono stati trattati nel capitolo 3, in quanto attualmente non presenti in sito.

Il comportamento meccanico dei materiali ardesiaci è, in linea di massima, assimilabile a quello di un materiale granulare; comparando tali materiali alla classificazione dei terreni proposta dal Sistema Unificato di Classificazione dei Terreni (*U.S.C.S.)*, gli stessi possono essere identificati al gruppo *GW* ed in subordine al gruppo *GM.*

Nel primo gruppo *(GW)* rientrano le ghiaie ben classate mentre nel secondo *(GM)* le ghiaie limose: è spesso presente infatti una minima percentuale di frazione fine.

Il peso di volume unitario di tali materiali ardesiaci è valutato intorno a 2.1-2.5 t/mc e, in relazione all'elevato coefficiente di permeabilità (*k≥1cm/sec*), si devono ritenere sostanzialmente sempre in condizioni aride (asciutti).

Per quanto attiene circa le caratteristiche di resistenza al taglio, si evidenzia che si tratta di terreni granulari e, considerate le notevoli dimensioni medie di pezzatura, si giustifica un grado di grado di addensamento da medio ad elevato: si ritiene dunque corretto associare a tali materiali un angolo di attrito pari a 35° e coesione nulla.

Si evidenzia che i detriti ardesiaci presentano un contenuto di carbonati oscillante tra il 20% ed il 40% (*Pandolfi D. e O., 1991, "La Cava", Ed. Sagno*) e pertanto si verifica un discreto grado di cementazione secondaria fra i frammenti lapidei.

5.3 PARAMETRI DI PROGETTO DEI MATERIALI

Le simulazioni di stabilità, sono state eseguite utilizzando le parametrizzazioni fornite nel capitolo 4 e quelle sopra riportate, sulla base dei parametri caratteristici, divisi per i rispettivi coefficienti parziali definiti nelle *Norme Tecniche (D.M. 14 gennaio 2008).*

Si ottengono così i parametri di progetto, in modo che, ai fini della situazione schematizzata, i parametri utilizzati nelle verifiche di stabilità siano, oltre che rappresentativi, adeguatamente cautelativi.

Secondo quando definito dalla *Norme Tecniche e dalle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CNLP)*, nel caso in cui il volume significativo sia notevole e/o quando è coinvolto un notevole volume di terreno possono essere considerati uguali ai parametri medi ($V_M = V_K$). Le Norme Tecniche stabiliscono inoltre l'assoluta responsabilità del progettista sui parametri geotecnici da utilizzare, sulla base della precisione del modello geologico (s.l.) ottenuto.

Ciò premesso, sulla base del rilievo geologico di dettaglio, delle indagini meccaniche in situ e soprattutto sulla scorta dei dati derivanti dalla modellazione del pendio allo stato attuale, si è ritenuto corretto e necessario considerare uguali i valori dei parametri medi a quelli caratteristici. Le analisi di stabilità vengono dunque condotte considerando i valori dei parametri riportati nella tabella seguente:

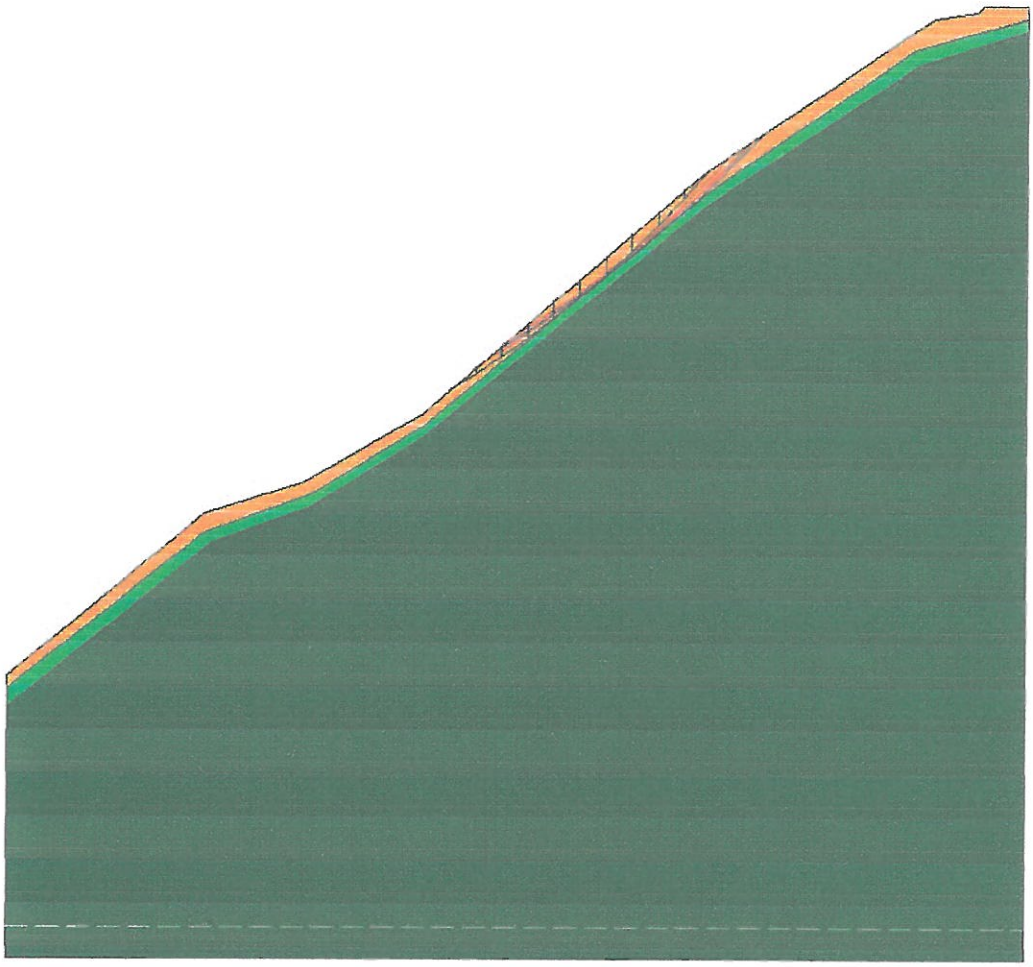
Parametro	**u.m.**	**Valore Caratteristico**	**Valore di Progetto**
Coltri sciolte di copertura miste a detriti ardesiaci			
peso dell'unità di volume (γ)	Kg/m^3	*1800*	*1800*
coesione (c)	Kg/cm^2	*0*	*0*
angolo di attrito (φ)	°	*35*	*28*
Cappellaccio di alterazione			
peso dell'unità di volume (γ)	Kg/m^3	*2300-2400*	*2300-2400*
coesione (c)	Kg/cm^2	*0.5*	*0.3*
angolo di attrito (φ)	°	*35*	*33.6*
Substrato Roccioso			
peso dell'unità di volume (γ)	Kg/m^3	*2700-2800*	*2700-2800*
coesione (c)	Kg/cm^2	*1*	*0.7*
angolo di attrito (φ)	°	*45*	*36*
Detriti Ardesiaci			
peso dell'unità di volume (γ)	Kg/m^3	*2100-2500*	*2100-2500*
coesione (c)	Kg/cm^2	*0*	*0*
angolo di attrito (φ)	°	*35*	*28*

5.4 STABILITÀ DEL VERSANTE ALLO STATO ATTUALE

Onde verificare e tarare i parametri geotecnici sono state eseguite verifiche di stabilità del pendio ossia nelle condizioni attuali della discarica; le verifiche sono state eseguite in condizioni drenate, considerando assenza di falda.

Le analisi riportano una sintesi che mostra le superfici di rottura (superfici "critiche") con fattore di sicurezza minimo pari a 1.01 per quanto attiene alla sezione CD.

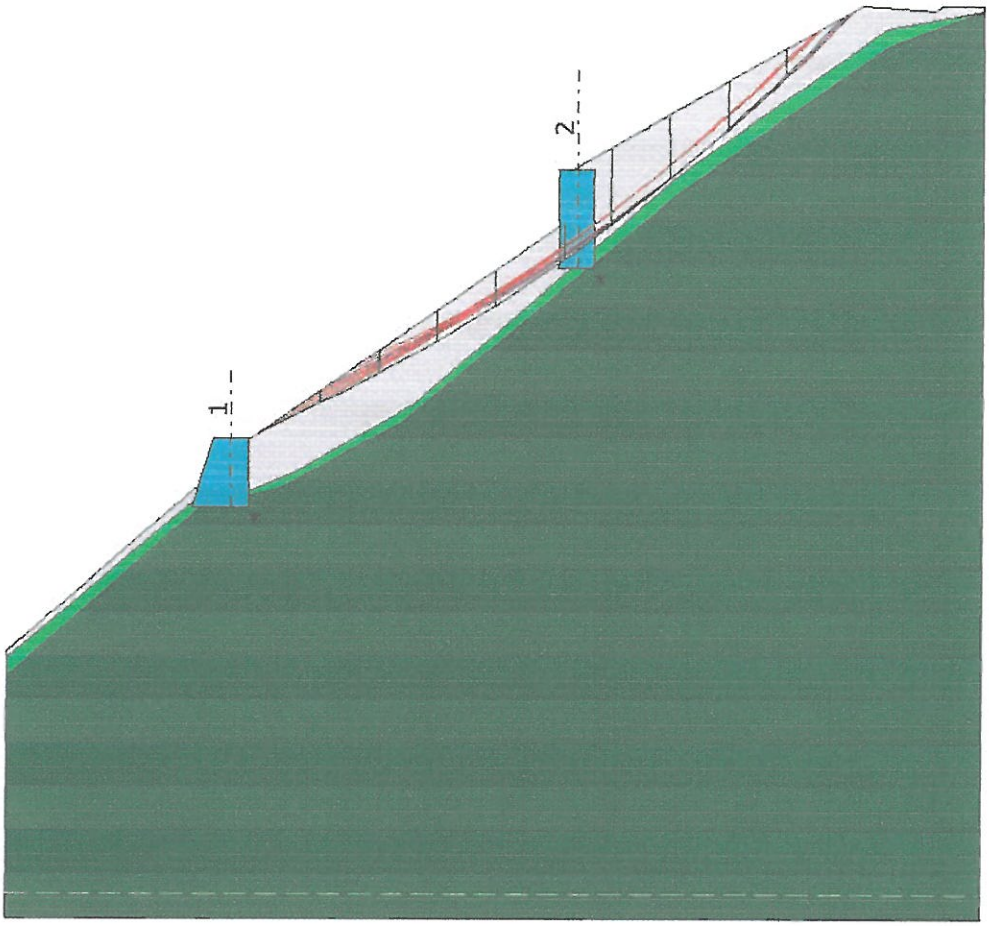
Il valore del fattore di sicurezza aumenta se si considerano superfici di rottura più profonde, che coinvolgono, oltre che alle coperture sciolte, anche il "cappellaccio" superficiale ed il substrato roccioso.



5.5 *Stabilità della Discarica allo Stato Finale*

Per le verifiche di stabilità allo stato di progetto finale della discarica, è stata considerata la sezione CD dopo l'intervento ("stato a progetto"), ossia con la presenza del volume di materiale ardesiaco di scarto.

La verifica di stabilità ha mostrato, come superficie di scorrimento più critica (semicerchio nero), quella passante lungo il muro di sostegno di monte ma con un coefficiente minimo *Fs di 2.16*, comprendente esclusivamente i detriti ardesiaci.



Le analisi di stabilità hanno evidenziato come la ultimazione della discarica, non presentano particolari condizioni di criticità. I fattori di sicurezza ottenuti sono infatti risultati in linea con le prescrizioni delle *Norme Tecniche*.

5. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI COSTRUTTIVE

L'insieme dei dati raccolti e delle analisi effettuate permette di formulare un *positivo parere di fattibilità geologica circa la riattivazione del complesso estrattivo in oggetto ed i lavori di ultimazione della discarica.*

Nonostante il positivo parere di fattibilità sarà comunque necessario rispettare alcune prescrizioni (di seguito riportate) per l'ottimizzazione dell'intervento nonché per la sicurezza del cantiere e delle maestranze.

La realizzazione delle due bastionature a progetto prevede limitati scavi, contestuali alla messa in opera di riporti provenienti dagli stessi: tali operazioni interesseranno sia i materiali sciolti di copertura che le porzioni più alterate e superficiali dell'ammasso roccioso ("cappellaccio").

Si raccomanda, di procedere *sempre con cautela* e di porre attenzione a riprofilare e sagomare il fronte di scavo secondo pendenze di equilibrio, con un angolo di scarpa non superiore a 60° rispetto all'orizzontale, al fine di minimizzare il rischio di instabilità ed evitare pericoli alle maestranze nel corso dei lavori.

Per quanto riguarda la costruzione delle bastionature in blocchi di ardesia si raccomanda che il piano di appoggio dei blocchi stessi sia direttamente attestato sul basamento costituito da roccia in buone condizioni, asportando quindi le sottili coltri e le porzioni disarticolate ed alterate dell'ammasso roccioso.

Si consiglia di eseguire un apposito "scasso" in roccia, dotato di lieve inclinazione verso monte, al fine di aumentare la stabilità della struttura in elevazione; le opere di piede dovranno essere drenanti ed il passaggio delle acque circolanti dovrà essere ottimizzata mediante formazione di dreni fra i vari blocchi.

Relativamente al corpo di discarica, con lo scopo di prevenire eventuali situazione di dissesto idrogeologico, dovuti all'azione erosiva da parte delle acque superficiali, si dovranno regimare le acque superficiali di ruscellamento e subsuperficiali, provenienti dalla strada consortile posta immediatamente a monte della futura discarica, onde evitare scarichi entro il materiale di smarino.

Contestualmente all'esaurimento della discarica, occorrerà procedere agli interventi di sistemazione e recupero ambientale del sito, riprofilando la superficie esterna con terreno vegetale avente caratteristiche fisico-chimiche simili a quelle dei terreni circostanti, favorendo l'inerbimento e l'attecchimento di specie arbustive ed arboree autoctone.

Il corpo dei detriti ardesiaci, dopo la messa in opera del terreno vegetale, dovrà essere protetto dalle acque superficiali mediante la realizzazione di una canalizzazione perimetrale per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche di scorrimento superficiale, al fine di isolare idraulicamente i detriti ed evitare ulteriori spinte sulle opere di sostegno al piede; le acque dovranno essere convogliate nel vicino rio.

Al fine di garantire l'adempimento delle prescrizioni impartite e l'idoneità dei lavori eseguiti in rapporto alla tutela dell'assetto idrogeologico e geotecnico della zona, è necessario affiancare alla Direzione Lavori delle Opere la figura professionale di un Geologo, in modo tale da preparare un rapporto conclusivo tecnico "*di fine lavori*" a firme congiunte.

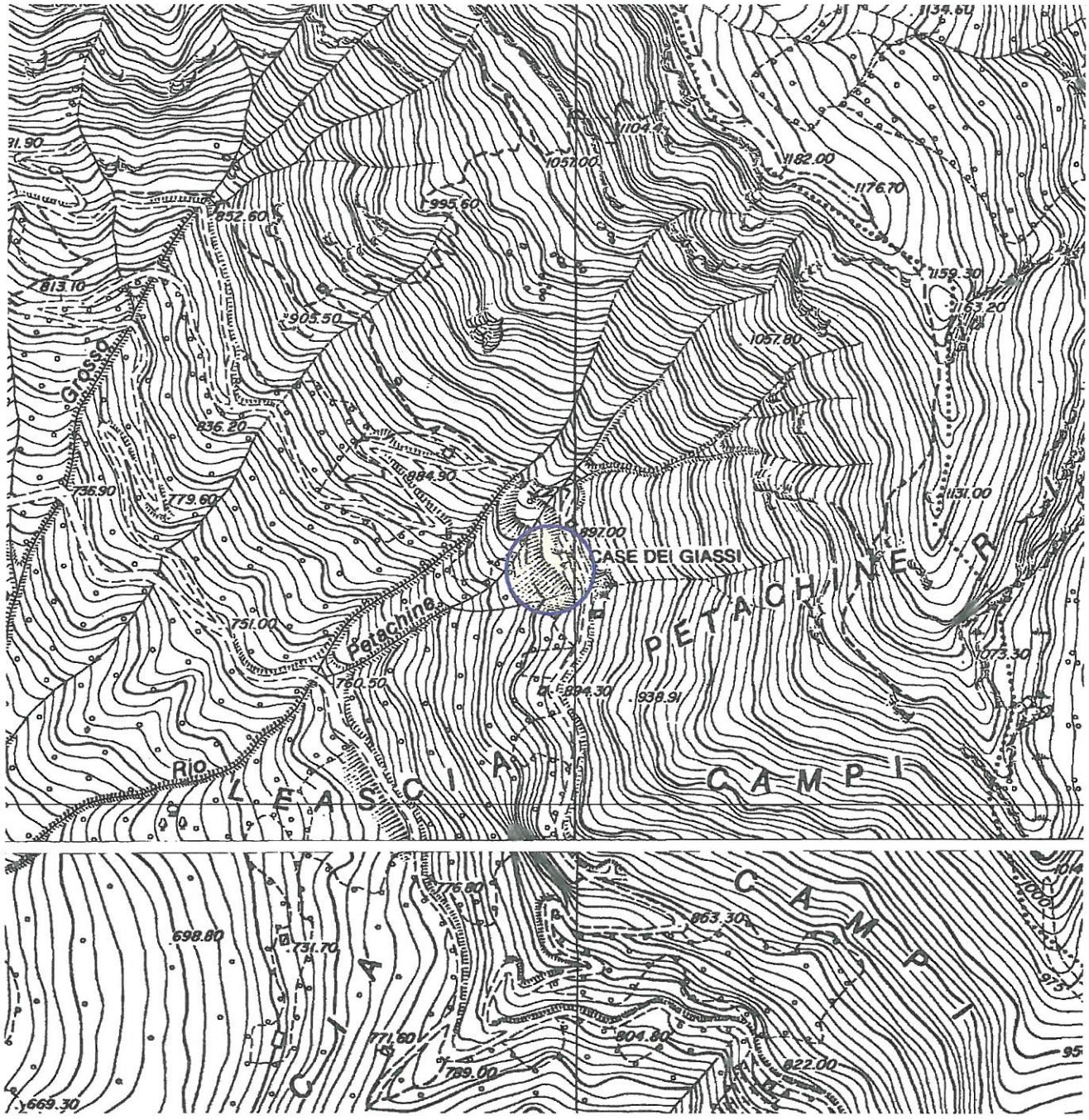
Per eventuali chiarimenti circa le modalità operative e per i necessari controlli in corso d'opera si conferma fin d'ora la più completa disponibilità.



Cicagna, 17 settembre 2012

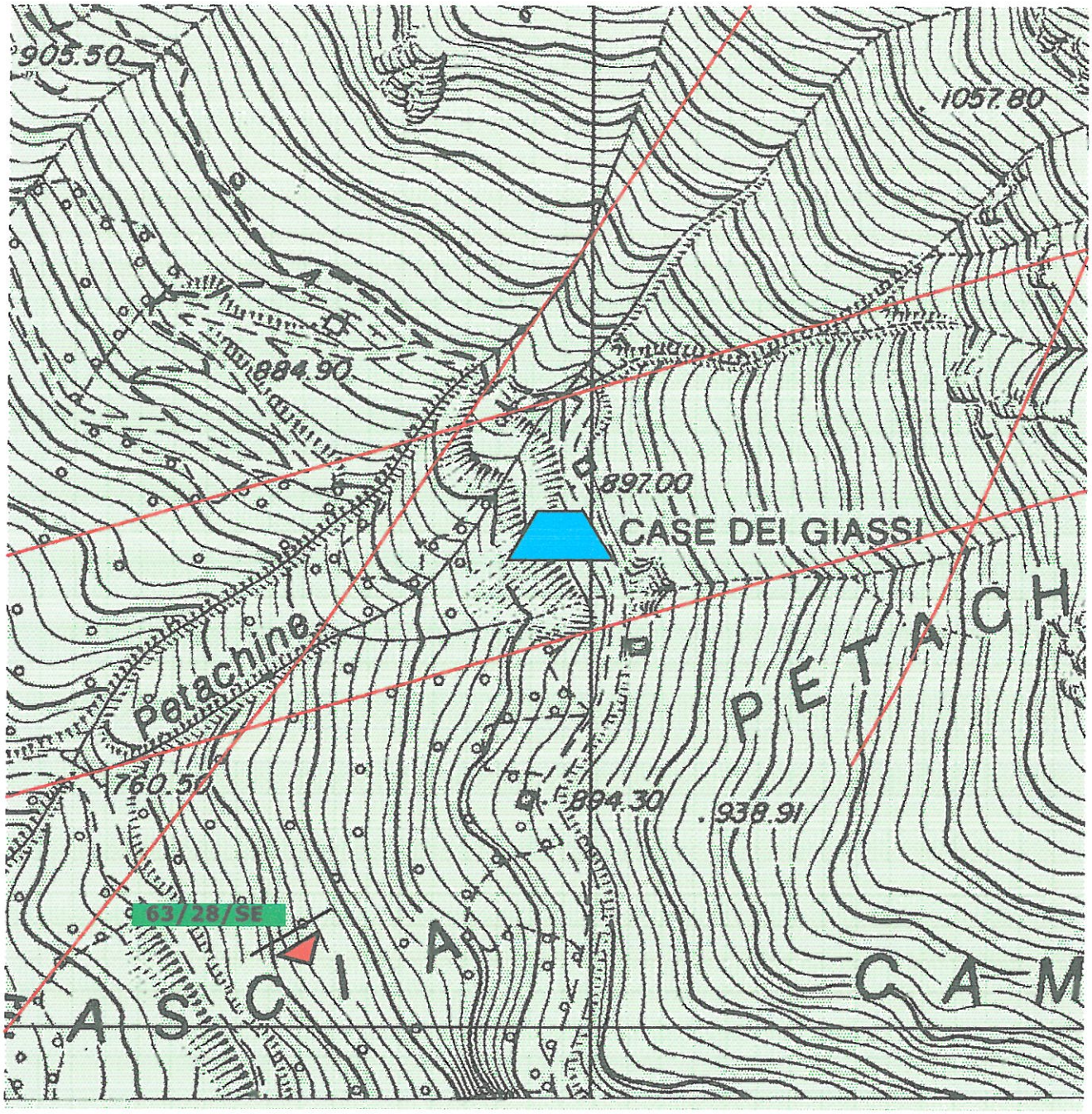
dott. geol. Andrea Ghilino

TAV. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000



UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO RIE'
ELEMENTO N°214112 - M.te CAUCASO

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-STRUTTURALE SCALA 1:2.500



LEGENDA

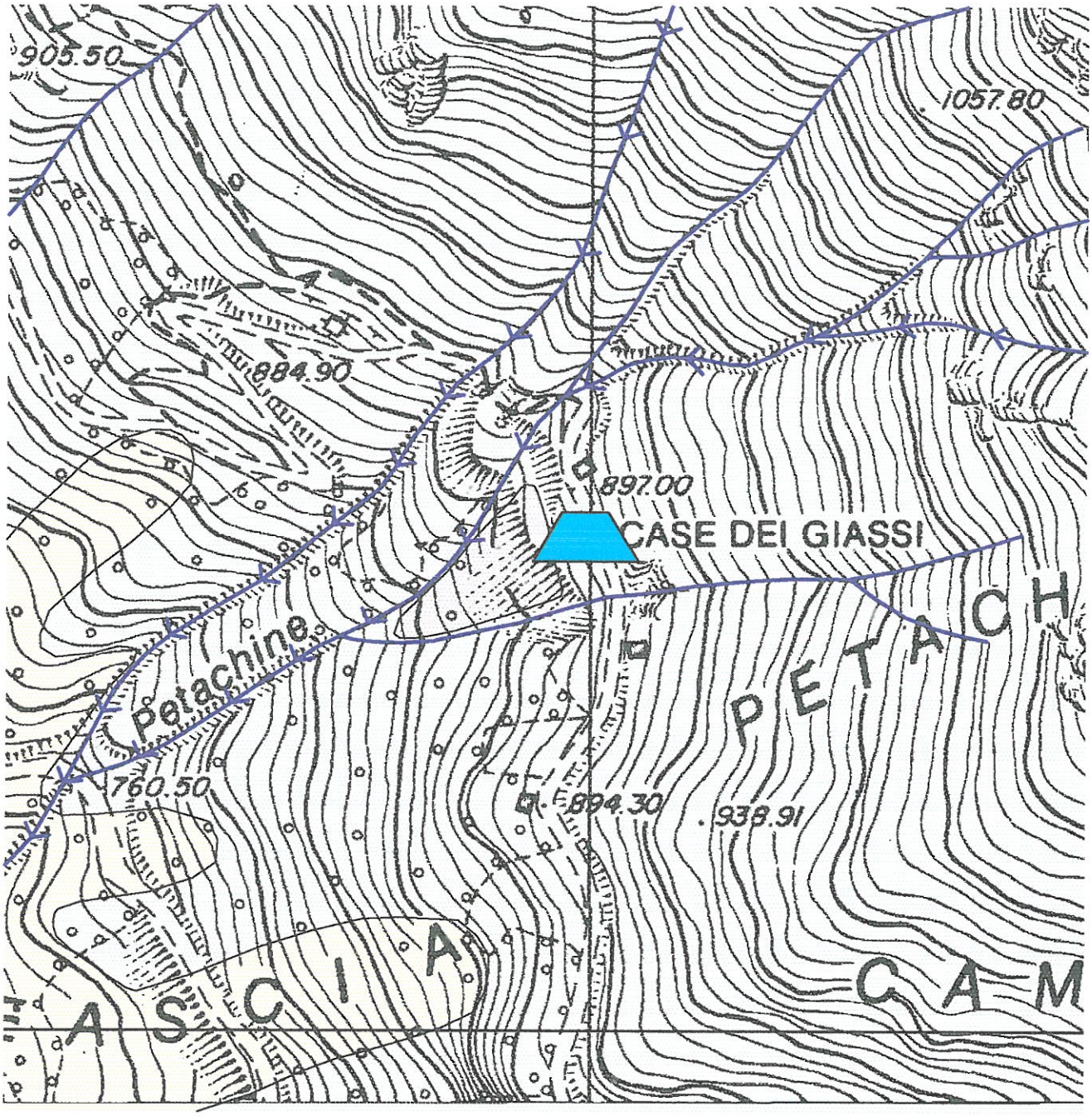
UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO "RIE'"

FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE

PRINCIPALI FAGLIE PRESUNTE

GIACITURA DI STRATO

TAV. 3: STRALCIO DI CARTA IDROGEOLOGICA SCALA 1:2.500



LEGENDA

UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO "RIE'"

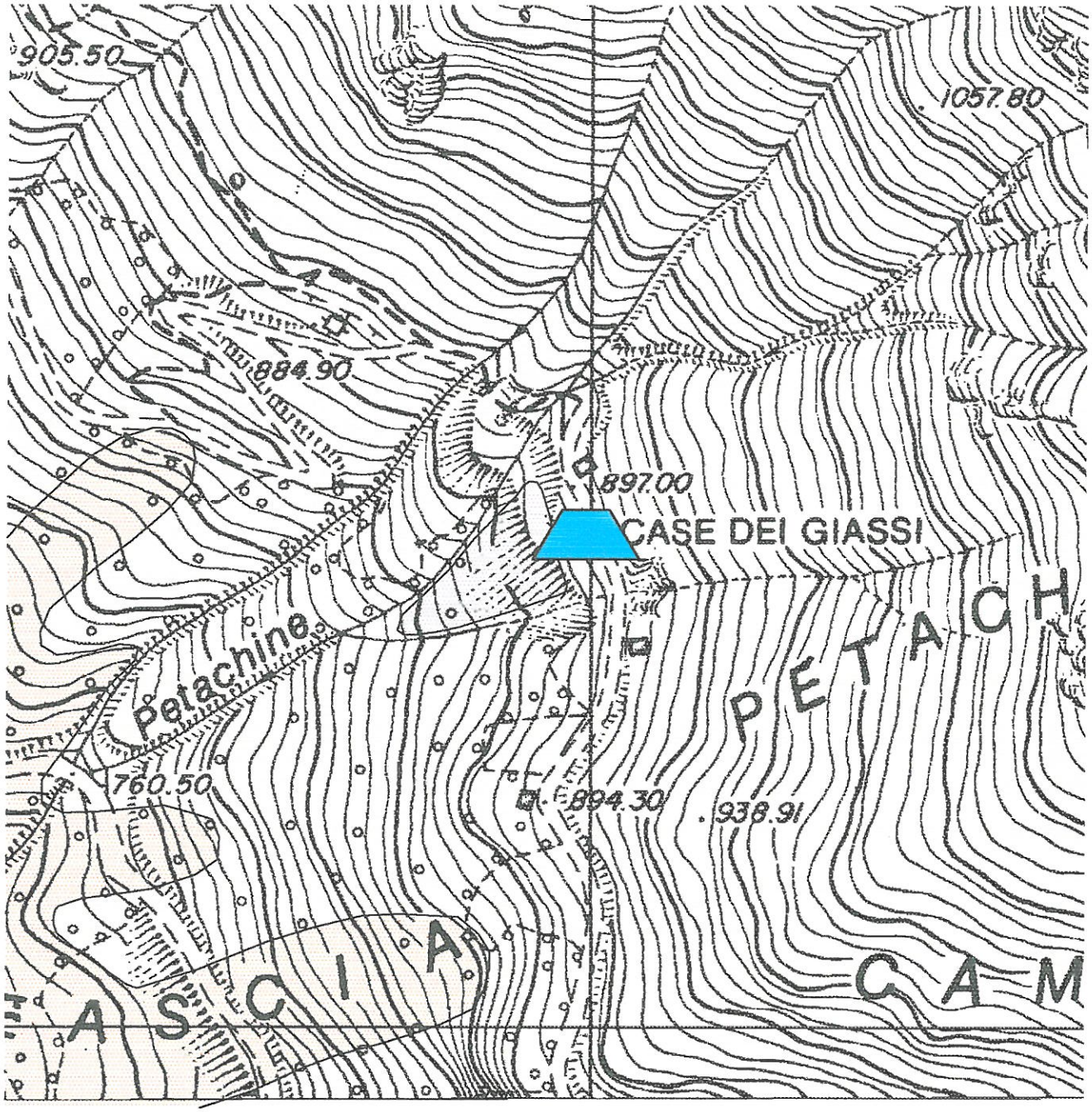
TERRENI PERMEABILI PER FESSURAZIONE E/O FRATTURAZIONE -PERMEABILITA' BASSA-

TERRENI PERMEABILI PER POROSITA' -PERMEABILITA' MEDIA-

TERRENI PERMEABILI PER POROSITA' -PERMEABILITA' ELEVATA-

PRINCIPALI VIE DI DEFLUSSO IDRICO SUPERFICIALE CON EROSIONE CONCENTRATA DI FONDO (INDICATA CON FRECCE)

TAV. 3: STRALCIO DI CARTA GEOMORFOLOGICA SCALA 1:2.500



LEGENDA

UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO "RIE'"

ROCCIA AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE CON COPERTURE ELUVIO-COLLUVIALI SOTTILI DI SPESSORE 1-2M

COPERTURE ELUVIO-COLLUVIALI DI SPESSORE FINO A 3M

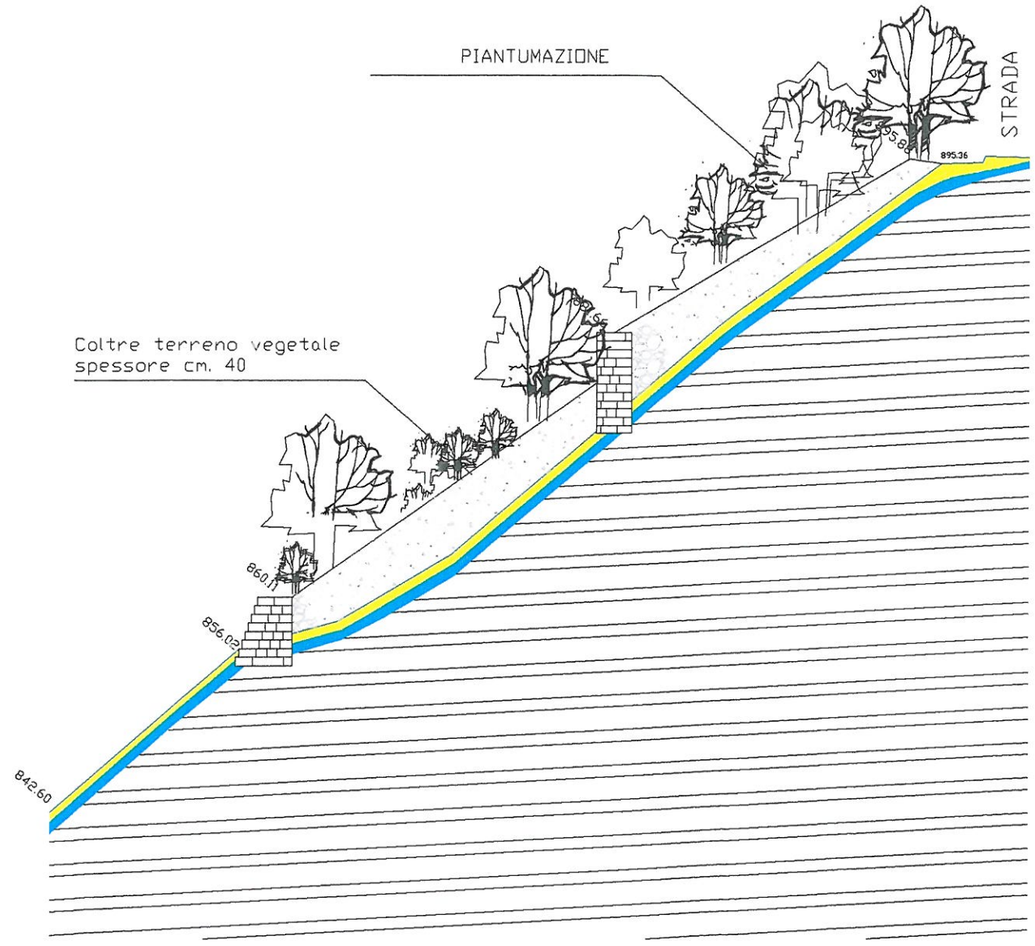
DETRITI ARDESIACI DI ORIGINE ANTROPICA

TAV. 5: ELABORATI GRAFICI

Planimetria scala 1:500



Sezione Geologica Interpretativa C-D scala 1:500



LEGENDA

- P1 — UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE REALIZZATE
- TRACCIA DI SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA C-D
- SUPERFICIE ESTERNA DEI DETRITI ARDESIACI

STRATIGRAFIA

- DETRITI ARDESIACI SISTEMATI AD ULTIMAZIONE DEI LAVORI
- COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI MISTE A DETRITI ARDESIACI
- AMMASSO ROCCIOSO ALTERATO "CAPPELLACCIO"
- BASAMENTO ROCCIOSO "SANO ": FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI

TAV. 6: CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PENETROMETRO DINAMICO UTILIZZATO E DIAGRAMMI PENETROMETRICI DI INFISSIONE

Studio Andrea Ghilino Geologo
Via COntrada n°15 - 16044 Cicagna (GE)
0185-32252 347-1062253

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DM-30 (60°)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DM-30 (60°)

MASSA BATTENTE	M	= 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	= 0,20 m
MASSA SISTEMA BATTUTA	Ms	= 13,60 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D	= 35,70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A	= 10,0000 cm²
ANGOLO APERTURA PUNTA	α	= 60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	= 1,00 m
MASSA ASTE PER METRO	Ma	= 2,40 kg
PROF. GIUNZIONE 1ª ASTA	P1	= 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	δ	= 0,10 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N	= N(10) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI	

RENDIMENTO SPECIFICO x COLPO
$Q = (MH)/(A\delta) = 6{,}00$ kg/cm² (prova SPT : Qspt = 7,83 kg/cm²)

COEFF.TEORICO RENDIMENTO $\beta t = Q/Qspt = 0{,}766$ (teoricamente : Nspt = βt N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$Rpd = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N
M = massa battente (altezza caduta H)
P = massa totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)
1 kg/cm² = 0.098067 MPa =~ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

Studio Andrea Ghilino Geologo
Via COntrada n°15 - 16044 Cicagna (GE)
0185-32252 347-1062253

Rapporto di prova n°: Caucaso

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 1
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

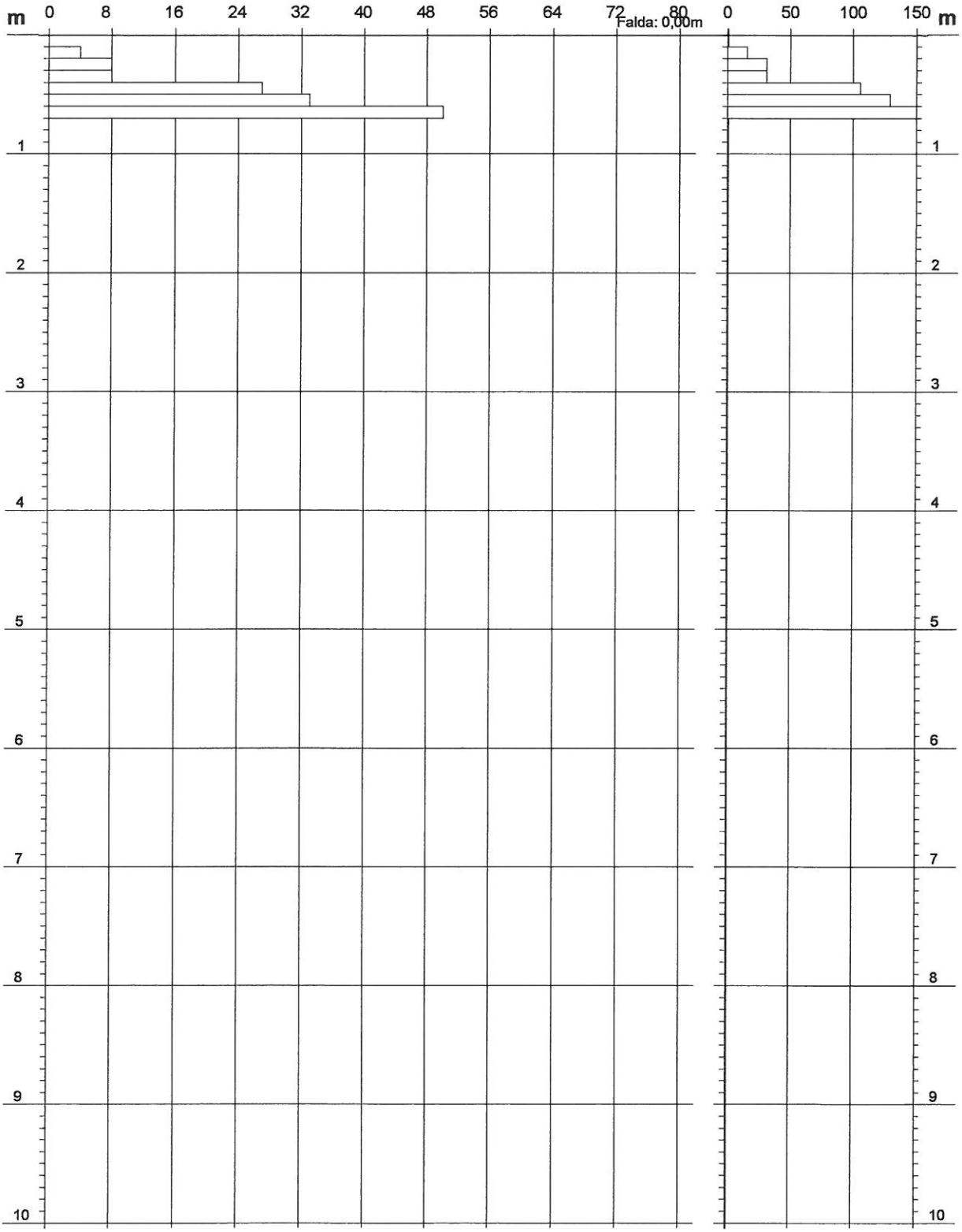
Scala 1: 50

- committente :
- lavoro :
- località :

- data prova : 07/08/2012
- quota inizio :
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio

- note :

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento δ = 10,00 cm Rpd (kg/cm²)



Studio Andrea Ghilino Geologo
Via COntrada n°15 - 16044 Cicagna (GE)
0185-32252 347-1062253

Rapporto di prova n°: Caucaso

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 2
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 50

- committente :
- lavoro :
- località :

- data prova : 07/08/2012
- quota inizio :
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio

- note :

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento δ = 10,00 cm

