



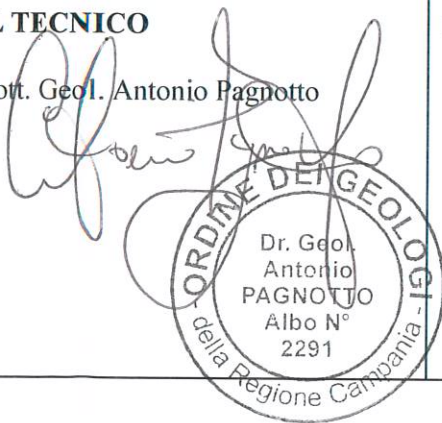
# PROVINCIA DI BENEVENTO

**LA VORI DI RISANAMENTO MOVIMENTI FRANOSI IN ATTO  
LUNGO LA S.P. 95 "CASALDUNI – ZINGARA MORTA"**

## RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA

### IL TECNICO

Dott. Geol. Antonio Pagnotto



**DATA:** Aprile 2016



**Studio di geologia tecnica, geofisica e di geologia ambientale**  
Dott. Geol. Antonio Pagnotto  
Via Enrico De Nicola 19 84047 Capaccio Paestum (Sa)  
tel. e fax: 0828725843 Cell.: 3281569310  
email: antonio.pagnotto@gmail.com  
pec: geologopagnotto@epap.sicurezzapostale.it  
sito web: antoniopagnotto.wordpress.com/



## Sommario

---

1. PREMESSA .....	2
2. INDAGINI IN SITU E DI LABORATORIO SVOLTE .....	3
3. STATO ATTUALE DEI LUOGHI .....	4
4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE .....	5
5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI .....	7
6. MODELLO GEOLOGICO LOCALE .....	9
7. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	11
8. PROBLEMATICHE DA RISOLVERE MEDIANTE GLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE E RISANAMENTO .....	12
9. PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO AUTORITA' DI BACINO LIRI - GARIGLIANO .....	14
10. FATTORI DI INSTABILITA' .....	15
11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA .....	15
11. PERICOLOSITA' SISMICA .....	18
12. VERIFICHE DI STABILITA' .....	23
12.1 Verifica di stabilità ante operam in condizioni sismiche .....	24
12.2 Verifica di stabilità post operam in condizioni sismiche .....	28
13. CONCLUSIONI .....	32
ALLEGATO N. 1: Relazione descrittiva sulle indagini (INGEO s.r.l) .....	33
ALLEGATO N. 2: Stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo .....	54
ALLEGATO N. 3: Prove di Laboratorio .....	57
ALLEGATO N. 4: Carta Geolitologica con ubicazione del movimento franoso e delle indagini scala 1:2500 .....	77



## 1. PREMESSA

La Provincia di Benevento, Settore Infrastrutture, con Determina Dirigenziale n° 267/06 del 22/04/2015, ha conferito allo scrivente l'incarico per la stesura della relazione geologica a supporto del progetto di "Lavori di risanamento movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 - Casalduni - Zingara morta".

L'incarico é stato espletato nelle seguenti fasi:

- Raccolta di dati esistenti sulle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche dell'area in oggetto;
- Rilievo geologico di superficie;
- Esecuzione delle indagini geognostiche in situ e di laboratorio con direzione e sorveglianza da parte dello scrivente;
- Relazione definitiva;

La presente relazione, sulla base dei dati ricavati dalle indagini in situ e di laboratorio, fornisce i seguenti elementi:

- caratteristiche geologiche e stratigrafiche dell'area;
- caratteristiche geotecniche dell'area e parametri fondamentali per la progettazione definitiva e strutturale delle opere di mitigazione prescelte;
- caratteristiche idrogeologiche dell'area e livello della falda acquifera;
- caratterizzazione sismica del terreno;

L'obiettivo del presente studio è quello di fornire i dati geotecnici necessari al fine di ripristinare e stabilizzare la sede stradale interessata dal dissesto mediante una paratia ubicata in corrispondenza della nicchia di distacco che ha interessato una parte della sede stradale e non ha certo la pretesa di consolidare il movimento franoso, che per le caratteristiche geometriche, meccaniche e cinematiche, avrebbe bisogno, ai fini della stabilizzazione e/o mitigazione, di ben altri interventi (sistemazione idraulica nei terreni privati a valle e a monte della strada, palificata in diversi punti del corpo di frana, opere di ingegneria naturalistica e riprofilatura del versante). Pertanto le verifiche di stabilità riportate nei paragrafi successivi verteranno esclusivamente nell'analisi del sistema sede stradale - paratia e pendio immediatamente a valle della infrastruttura stradale.

Le indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio sono state eseguite dalla INGENEO srl. I lavori sono stati iniziati in data 08/03/2016 e terminati in data 10/03/2016. Gli elaborati con i risultati delle indagini e delle prove di laboratorio sono stati consegnati allo scrivente in data 04/04/2016. Alla presente relazione si allegano i seguenti elaborati:

- 1) Relazione descrittiva sulle indagini;
- 2) Stratigrafie sondaggio a carotaggio continuo S1 e S2;
- 3) Prove di Laboratorio;
- 4) Carta Geolitologica con ubicazione delle indagini e del movimento franoso in scala 1:2500;

## 2. INDAGINI IN SITU E DI LABORATORIO SVOLTE

### INDAGINI E PROVE IN SITU

Elementi e parametri	Prove	numero
- stratigrafia del terreno; - prelievo di campioni indisturbati; - rilievo della falda acquifera; - esecuzione di SPT;	Perforazione a carotaggio continuo fino alla profondità di 20.00 m	1
- determinazione indiretta di alcuni parametri meccanici	Esecuzione di S.P.T. nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo	2
- caratterizzazione sismica del terreno ai sensi del D.M. 14/01/2008 e s.m.i.	Prova geofisica mediante tecnica MASW	1
- prelievo di campioni indisturbati	Sono descritte nella tabella successiva	2

n. campione	Profondità (m)	Litotipo indicativo	Prove di laboratorio
S1C1	2,80 - 3,30	Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa	- analisi granulometrica - peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) - peso specifico (Gs) - contenuto d'acqua (w) - limiti di Atterberg - prova di taglio diretto consolidata drenata ( $c'$ e $\phi'$ ) - prova di permeabilità (K)
S1C2	6,00 - 6,50	Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa	- analisi granulometrica - peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) - peso specifico (Gs) - contenuto d'acqua (w) - limiti di Atterberg - prova di permeabilità (K) - prova di taglio diretto consolidata drenata ( $c'$ e $\phi'$ )



### 3. STATO ATTUALE DEI LUOGHI

L'area, collocata in una zona scarsamente urbanizzata lungo la S.P.95 a NE dell'abitato di Casalduni (BN), è ubicata sulle pendici di un versante, con pendenza variabili da 3 a 10°. Il movimento di massa in questione ha provocato il cedimento di una parte della carreggiata della S. P. 95 limitando fortemente il traffico veicolare. Il versante per tutta l'area interessata e per un'area circostante notevolmente ampia si presenta lavorato (aratura, vangatura) senza le indispensabili opere di raccolta e smaltimento delle acque piovane (solchi a cielo aperto, ecc.).



Figura 1 - fotoaerea dell'area in esame



#### 4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area in studio presenta delle forme del versante tipiche di litotipi a forte componente argillosa: concavità e convessità caratterizzano senza soluzioni di continuità l'area in oggetto lungo tutta la strada sottoposta ad intervento, a testimonianza di una morfogenesi degli stessi per movimenti di massa.



Foto 1 - fronte del movimento di massa che ha coinvolto parte della carreggiata della S.P. 95



Foto 2 - lesioni interessanti il muretto di sostegno a monte della S.P. 95



Il movimento di massa, in base al materiale coinvolto e alla tipologia di movimento, è riconducibile ad un movimento di tipo colamento lento secondo la classificazione di Varnes, 1996. La quota del versante dai varia da 495 a 455 m s.l.m. con pendenze variabili da 3 a 10 gradi (vedi sezione geologica A-A'). Sui versanti circostanti l'area è presente una forte erosione esplicitata dalle acque meteoriche sottoforma di erosione per rivoli (rill erosion) e fossi (gully erosion). E' presente un impluvio di 1° ordine gerarchico che esercita un alto potere erosivo (scalzamento al piede del versante).

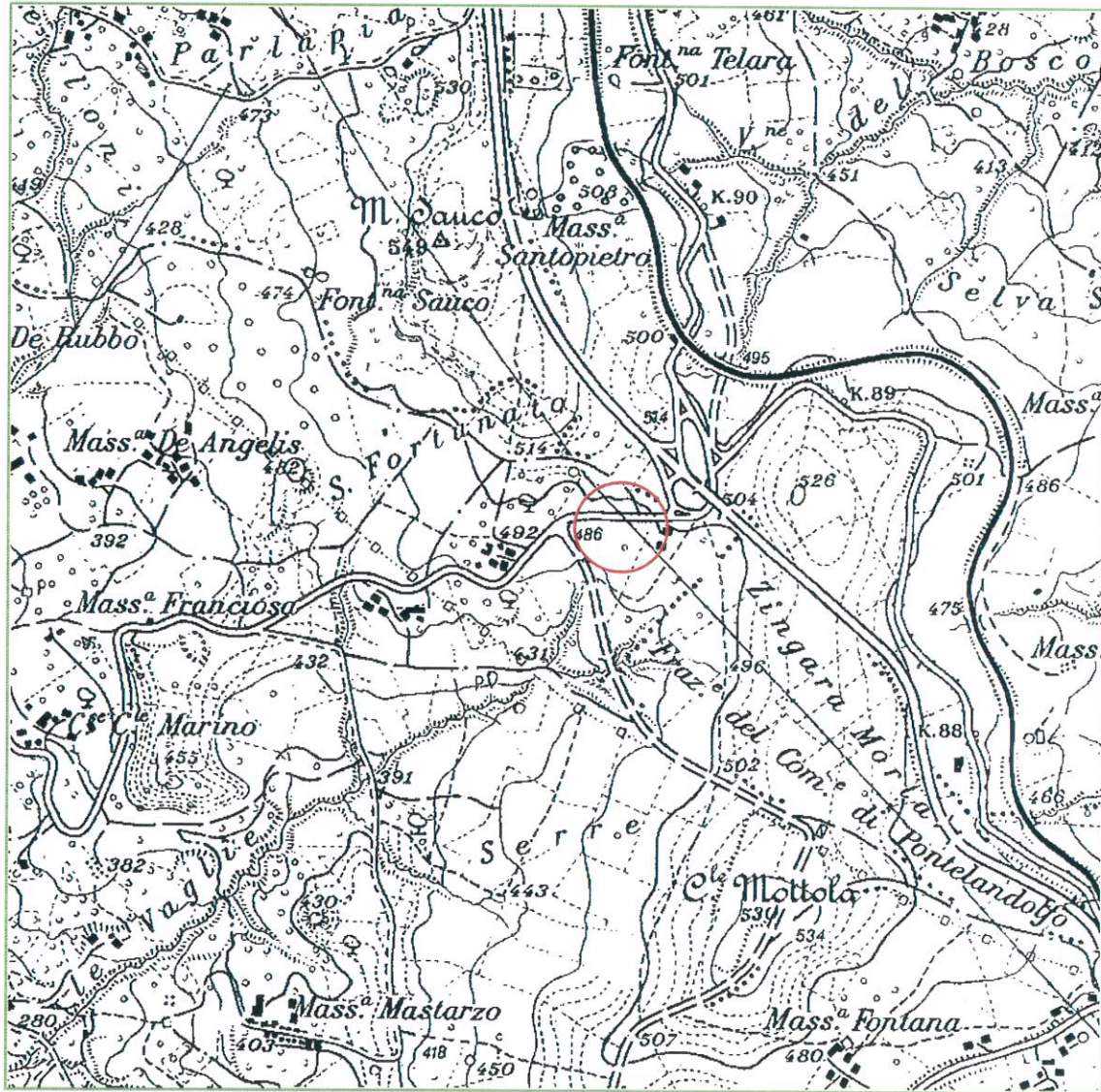


Figura 2 - Stralcio della carta topografica programmatica - Provincia di Caserta -  
TAV. N. 11 Pietrelcina (Quadrante 173-I) scala 1:25000  
Edizione aggiornata all'anno 1984

 area in oggetto

## 5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI

Dal punto di vista geologico la zona oggetto di indagine si colloca nel Foglio 419 (San Giorgio La Molara) della Carta Geologica d'Italia redatta dal Servizio Geologico d'Italia e dall'ISPRA scala 1:50000. (Fig.1). Essa corrisponde alla parte centrale dei Monti del Sannio ubicata nel segmento molisano - sannitico dell'Appennino meridionale. In tale area affiorano quattro unità tettoniche prodotte dalla deformazione e strutturazione di coperture sedimentarie pelagiche di età meso - cenozoica e successioni neogeniche silico-clastiche sinorogeniche. Tale fenomeno testimonia un'articolata evoluzione del foreland basin system sud-appenninico. Le unità tettoniche in questione sono, da occidente verso le aree esterne

- l'Unità del Sannio
- l'Unità del Fortore
- l'Unità Dauna
- L'Unità del Vallone del Toro

Su tali unità poggiano in discordanza depositi sinorogenici, prevalentemente silico-clastici di età compresa tra il Serravalliano ed il Messiniano, e successioni plioceniche. L'area esaminata ricade nell'unità tettonica del Sannio costituita dal basso verso l'alto dalle formazioni del Flysch Rosso, del Flysch Numidico e dalla successione di Fragneto Monforte. L'area indagata ricade nella formazione del Flysch Numidico in particolare nel membro arenaceo-calcareo-marnoso (GGM<sub>1</sub>).



Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"

Relazione geologico - tecnica



**Deposito di frana**

Depositi prevalentemente argillosi e marnosi con frammenti litoidi di calcilutiti, calcareniti ed arenarie, con assetto caotico. Spessore fino a una decina di metri.

**OLOCENE - ATTUALE**



**sintema di Colle Marino**

Conglomerati eterometrici poligenici, paraconglomerati poligenici giallastri a ciottoli arrotondati, con matrice sabbiosa e cemento calcareo; intercalazioni di lenti sabbioso-argillose. Contatto basale inconforme su varie unità (FYR, CPA, GGM e BNA). Depositi alluvionali sospesi a quote di 200 - 250 sul letto fluviale attuale e depositi di glacis (riferito al Riss in letteratura). Spessore circa 50 m.

**PLEISTOCENE MEDIO P-P.**



**flysch numidico**

Quarzeniti a cemento siliceo; sottili intercalazioni di argille siltose e marnose, verso l'alto compiono intercalazioni di strati sottili di arenarie quarzoso-feldspatiche grigiastre. Limite inferiore concordante e graduale su FYR e FYR<sub>2</sub> mentre è sottoposto con limite inconforme solo a depositi quarternari ubiquitari. Depositi bacinali ferrugini da flussi gravitativi ed empelagiti. Associazioni a nannoplancan di glaciis (riferito al Riss in letteratura). Spessore circa 200 m.

**BURDIGALLANO SUPERIORE - LANGHIANO SUPERIORE P-P.**

**membro arenaceo-calcareo-marnoso (GGM<sub>1</sub>)**

Arenarie quarzo-feldspatiche e quarzose a grana media e fine, e subordinati microconglomerati granulari in strati e banchi amalgamati, con intercalazioni di calcareniti, calcari marnosi e marne. Alla base intercalazioni di strati di quarzareniti di tipo numidico. Poggia in continuità su FYN, con passaggio parzialmente eteropico, e su CPA e CPA<sub>0</sub>. Depositi torbiditici di conoidi sottomarina ed empelagiti. Associazioni a nannoplancan della zona MNNA4 ed associazioni a foraminiferi della zona MNI5a. Spessore circa 60 - 100 m.

**BURDIGALLANO SUPERIORE - LANGHIANO SUPERIORE**

**formazione di Corietto Perticara**

Calcilutiti a frattura concorde, in strati medi e spessi; marne argillose e marne calcaree, interessate da clivaggio di fratturazione; calcareniti laminarie con sequenze di Bouma T<sub>1</sub>-C<sub>1</sub>; argille ed argille marnose, marne calcaree silticizzate (pasesiniforme). Verso l'alto arenarie arcoseo-litiche micacee in strati da medi a spessi, con controimpromonte alla base, e clay clumps. La successione è eteropica alla litofacies pelitico-calcareo (CPA<sub>0</sub>), formata da argille e argille siltose, calcilutiti con locali intercalazioni di arenarie vulcanoclastiche, e da alternanze di argilliti, marne silticizzate, calcari marnosi, calcareniti grigio-chiaro, argille scogliose rosse, marne salicifere rosse e violacee, marne calcaree pasesiniformi; calcareniti e calcari arenacei, inglobanti olistoliti carbonatici. Contatto eteropico con AV limite superiore sia netto che graduale a FYN e GGM base non esposta. Ambiente di bacini, con apporti torbiditici e empelagiti. Nella formazione associazioni a nannoplancan della zona NP13, della zona NP18, della zona NP24 e della zona MNND4 e della zona MNNA4, nella litofacies associazioni a nannoplancan riferibili al Cretaceo superiore (Campaniano - Maastrichtiano) all'Eocene medio ed alla zona MNP25b. Spessore circa 1 000 m.

**CRETACICO SUPERIORE - MIOCENE INFERIORE**

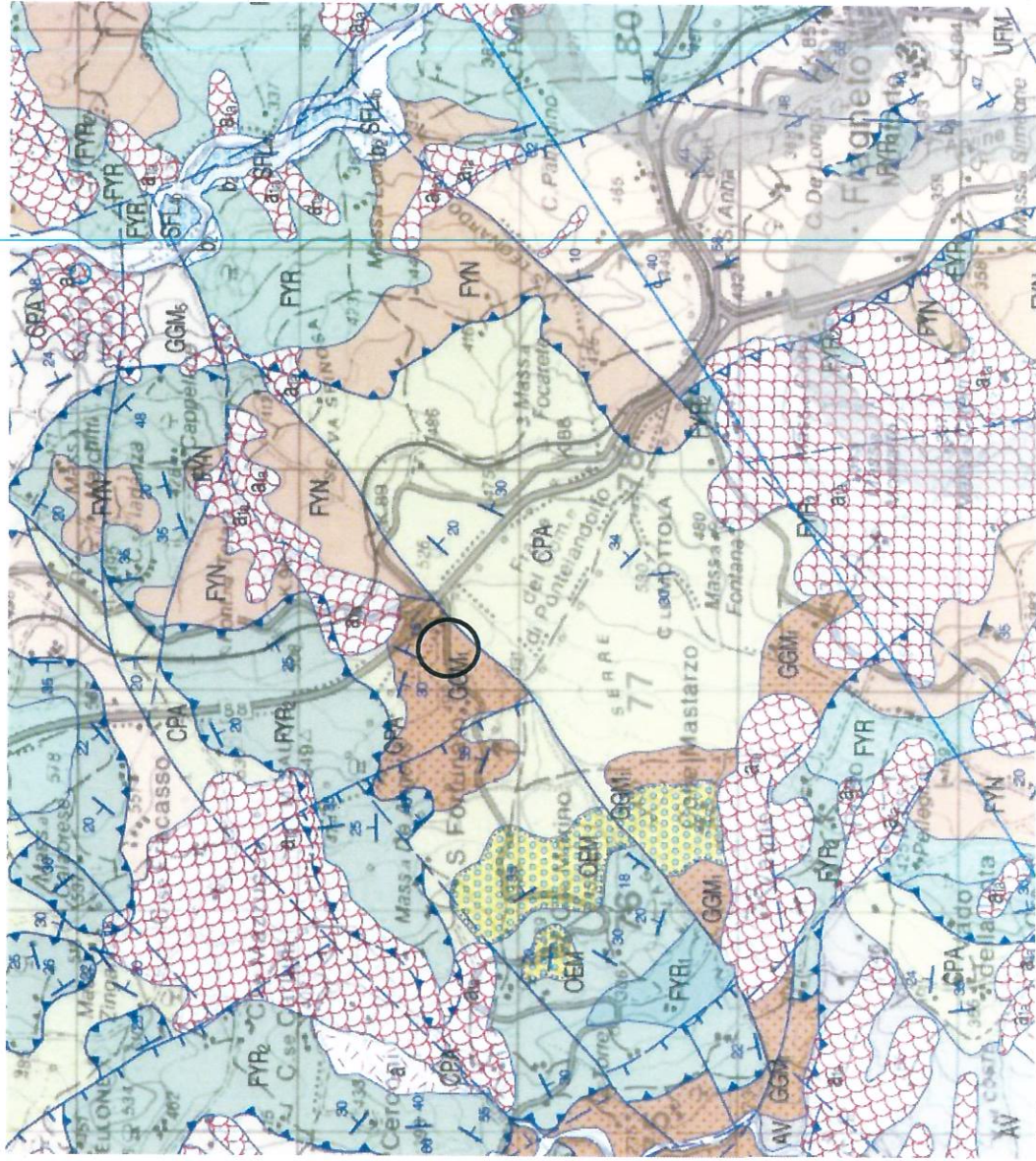


Fig.1 - Stralcio carta geologica scala 1:50000 (Foglio 419 - San Giorgio La Molara)



area in oggetto



## 6. MODELLO GEOLOGICO LOCALE

In base alla campagna di indagine geognostica e geofisica eseguita, sommata al rilevamento geologico di superficie è stato possibile ricostruire la seguente situazione litostratigrafica dell'area esaminata:

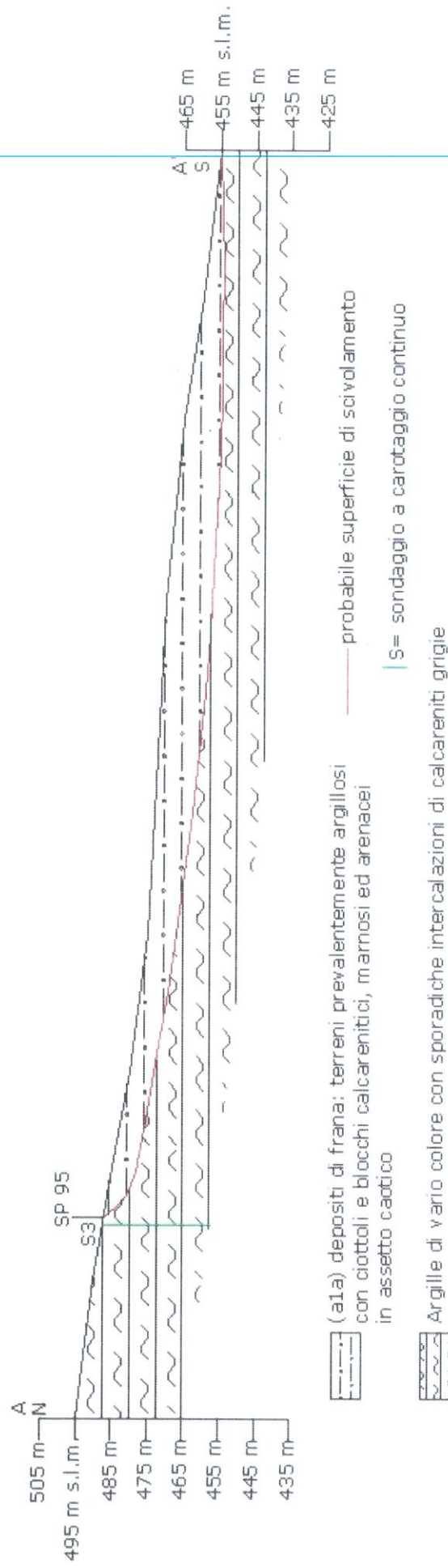
- terreno rimaneggiato ed alterato prevalentemente argilloso con inclusi clasti, ciottoli e blocchi di natura calcarea fino ad una profondità di 6,50 m dal p.c. ascrivibile deposito di frana (corpo di frana);
- dai 6,50 m di profondità dal p.c. fino ad una profondità di 30 m dal p.c. è presente la formazione di fondo costituita da argille di vario colore con sporadiche intercalazioni di livelli di calcareniti grigie.

Dalla terebrazione eseguita non è stata rilevata la presenza di falda acquifera libera e/o sospesa fino a 30 m di profondità dal piano di campagna.

Tale situazione litostratigrafica è rappresentata nelle colonne stratigrafiche dedotte dal sondaggio a carotaggio continuo S3 (vedi allegato n.2) e dalla sezione geologica A-A' di seguito riportata.



### SEZIONE GEOLOGICA A - A'



scala 1:2000

## 7. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Dal punto di vista idrogeologico, i terreni dell'area in oggetto, sono ascrivibili al complesso idrogeologico argilloso-marnoso caratterizzato da un grado di permeabilità basso per fratturazione. Tuttavia la probabile presenza, in orizzontale ed in profondità di strati, lenti, pacchi di strati di litotipi litoidi molto fratturati quali quarzoareniti e calcari marnosi, determina la costituzione di siti permeabili attraverso i quali possono costituirsi ed alimentarsi canali di drenaggio sotterraneo preferenziali (permeabilità secondaria), capaci di convogliare l'acqua in profondità ed innescare e riattivare fenomeni di dissesto.

La rete naturale di drenaggio è costituita da due impluvi con direzione NE-SW e con alveo diretto prevalentemente secondo le linee di massima pendenza e, considerata la natura dei terreni incisi, l'elevata pendenza del versante, la scarsissima presenza di vegetazione spondale e di adeguato franco di coltivazione, le capacità erosive degli stessi, sia di sponda e sia di fondo alveo, sono altissime.

Non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera e/o accumuli d'acqua (falde sospese) durante l'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 20 m dal p.c.

Sono state eseguite prove di permeabilità in laboratorio su campioni indisturbati di terreno prelevati durante le operazioni di carotaggio. I valori riscontrati sono i seguenti:

- per il corpo di frana è stato rilevato un coefficiente di permeabilità ( $k$  in cm/s):

$$k = 5.504 \times 10^{-4}$$

- per la formazione di fondo è stato rilevato un coefficiente di permeabilità ( $k$  in cm/s):

$$k = 5.659 \times 10^{-5}$$

Dai dati sopra riportati si evince che la permeabilità ha delle piccole variazioni con la profondità passando da un grado di permeabilità basso nel corpo di frana ad un grado di permeabilità molto basso nella formazione di fondo.



## 8. PROBLEMATICHE DA RISOLVERE MEDIANTE GLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE E RISANAMENTO

L'area in oggetto é interessata da un movimento di massa le cui caratteristiche essenziali sono evidenziate nella seguente:

### SCHEMA DESCRITTIVA

REGIONE: CAMPANIA

PROVINCIA: BENEVENTO

COMUNE : Casalduni

CODICE:////

COORDINATE UTM WGS84 33N: 477144.00 m E 4568129.00 m N

POSIZIONE DELLA FRANA RISPETTO AI NUCLEI URBANI: ESTERNA

ALTRI INSEDIAMENTI PRESENTI NELLA ZONA DELLA FRANA: S.P.95

ANNO DELL'ULTIMO EVENTO FRANOSO: N.D.

FRANA CONTINUA O PERIODICA: CONTINUA CON ACCELERAZIONI/RIATTIVAZIONI LOCALI

SEGNI PREMONITORI: MORFOLOGIA DEL VERSANTE (gibbosità, concavità, rottura di pendenza, contropendenze)

DANNI PROVOCATI DALLA FRANA: crollo di parte della carreggiata della S.P.95 (f).

STIMA DELLE PERSONE DANNEGGIATE: abitanti Comune di Casalduni (BN) per le frequenti interruzioni dell'arteria e le difficoltà di transito dovute al dissesto ed ai conseguenti lavori di ripristino della transitabilità.

INTERVENTI ESEGUITI: n.d.

NUMERO DEI CITTADINI INTERVISTATI: 2

\*\*\*\*\*DEGLI INFORMATORI QUALIFICATI: 2

ANNOTAZIONI:

TIPO: colamento lento - Classificazione utilizzata: Varnes, 1996

LUNGHEZZA (Lu): 297 m

LARGHEZZA (La): 33 m

STIMA PROFONDITA' MASSIMA DELLA SUPERFICIE DI SCORRIMENTO: 6,50 m

STIMA SUPERFICIE: 9801 m<sup>2</sup>

VOLUME: 63706 m<sup>3</sup>

Legenda:

ALTRI INSEDIAMENTI NELLA ZONA DELLA FRANA:

CS=case sparse IP=impianti produttivi

AP=alberghi o pensionati ST=strade

PF=prefabbricati FE=ferrovie

DANNI PROVOCATI DALLA FRANA

a=edifici distrutti

b=\*\*\*\*\* lesionati

c=insegniamenti industriali distrutti

d="....." lesionati

e=coltivazioni danneggiate

f=strade interrotte o lesionate

---

g=ferrovia interrotta

h=acquedotti danneggiati

i=fognature danneggiate

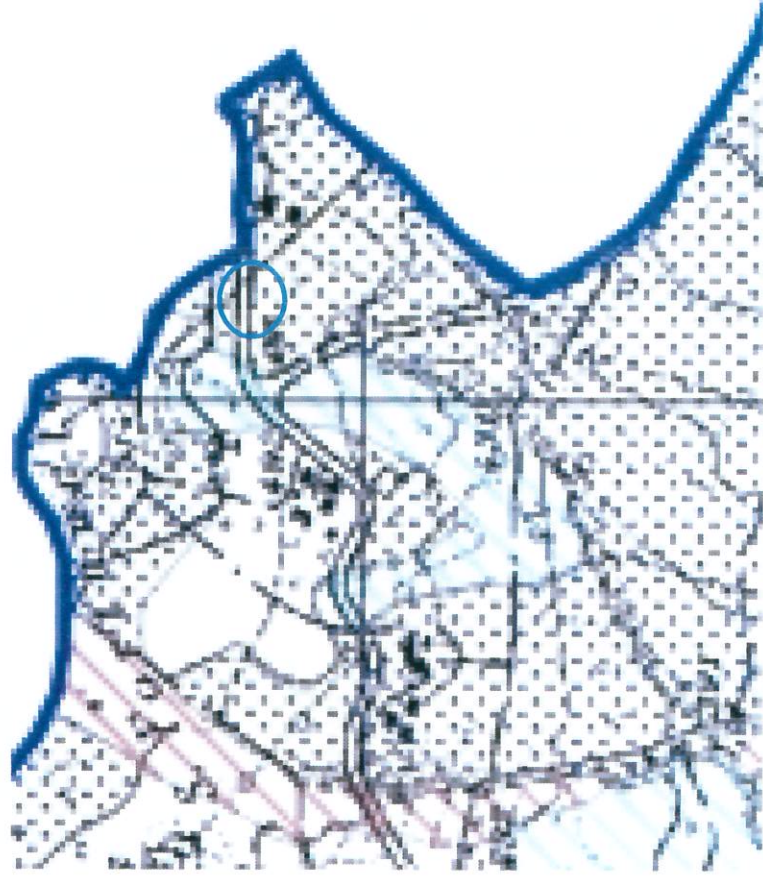
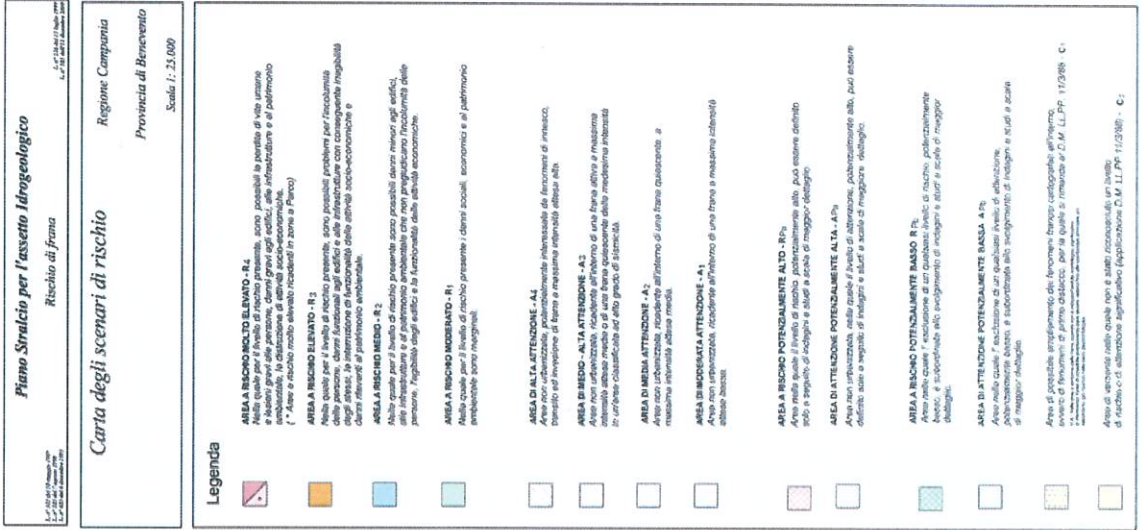
l=ponti danneggiati

m=invasi danneggiati

n=pascoli danneggiati



9. PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO AUTORITA' DI BACINO LIRI - GARIGLIANO



area in oggetto

Scenari di rischio presenti: Aree di possibile ampliamento dei fenomeni franosi cartografati all'interno, ovvero di fenomeni di primo distacco, per la quale si rimanda D.M. L.L.P.P. 11/3/88)

## 10. FATTORI DI INSTABILITA'

Dall'indagine effettuata e dal rilevamento geologico di superficie è stato possibile individuare i seguenti fattori d'instabilità:

### *fattori predisponenti*

- a) caratteristiche geologiche: coltre eluvio colluviale di elevato spessore in giacitura caotica poggiante sulla formazione di fondo
- b) infiltrazione di acqua soprattutto per quanto riguarda il materiale rimaneggiato;
- e) erosione di sponda dei torrenti (l'area è collocata tra due impluvi con elevata capacità erosiva)

### *fattori determinanti*

- a) assenza di una rete di raccolta e convogliamento delle acque in scarichi naturali nell'area a monte e a valle della S.P. 95;
- b) aumento della pressione interstiziale in coincidenza dei periodi di maggiore piovosità e parallelo aumento di peso del materiale in frana;

## 11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA

L'indagine eseguita sull'area ha permesso di ricostruire la situazione litostratigrafica e litotecnica del sottosuolo indagato ed allo stesso tempo di determinare i valori medi delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessati dal movimento in massa. Le profondità raggiunte dalle indagini in situ (sondaggi a carotaggio continuo) sono riassunte nella tabella seguente:

Sondaggio	Tipo	Profondità dal p.c. (m)
S3	Sondaggio a carotaggio continuo	20

In base alle indagini geognostica (sondaggio+prova SPT), geofisica (Masw) ed alle prove di laboratorio eseguite su n. 2 campioni indisturbati di terreno, sono state distinte due unità litotecniche fondamentali.

Campione S3C1 (2,80 m - 3,30 m): argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa (definizione granulometrica)

Unità Litotecnica 1 (profondità da 0 m a 6,00 m dal p.c.): deposito di frana

$\gamma_n$  (peso dell'unità di volume)= 1,98 g/cm<sup>3</sup>

$w_n$  (contenuto d'acqua naturale)= 25,1 %

$\gamma_{sat}$  (peso dell'unità di volume saturo)= 1,99 g/cm<sup>3</sup>

$n$  (porosità) = 40,50 %

$e$  (indice dei vuoti)= 0,680

$S$  (grado di saturazione) = 97,70 %

CA (contenuto in argilla < 2 $\mu$ )= 30 %

OCR (rapporto di sovraconsolidamento)=8,77 (moderatamente sovraconsolidato)



$k$  (conducibilità idraulica) =  $5,504 \times 10^{-5}$  cm/sec

LL (limite di liquidità) = 59,20 %

LP (limite di plasticità) = 23,2 %

IP (indice di plasticità) = 36 % (terreno plastico)

Ic (Indice di consistenza) = 0,95 (solido-plastica)

A (Indice di attività) = 1,20 (argille normali)

$c'$  (coesione efficace) = 0,175 kg/cm<sup>2</sup>

$\phi'$  (angolo di resistenza al taglio) = 25,7°

$\phi'_{res}$  (angolo di resistenza al taglio residuo da back analysis) = 13°

Ed (modulo edometrico) = 17,13 Kg/cm<sup>2</sup> (relazione di Mlinarek - 2005)

Classificazione del terreno in base alla carta di plasticità di Casagrande: argille inorganiche di alta plasticità (CH);

Campione S3C2 (6,00 m - 6,50 m): argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa (definizione granulometrica)

Unità Litotecnica 2 (profondità da 6,00 m a 30 m dal p.c.):

$\gamma_n$  (peso dell'unità di volume) = 1,88 g/cm<sup>3</sup>

$w_n$  (contenuto d'acqua naturale) = 21,8 %

$\gamma_{sat}$  (peso dell'unità di volume saturo) = 1,95 g/cm<sup>3</sup>

$n$  (porosità) = 41 %

$e$  (indice dei vuoti) = 0,694

$S$  (grado di saturazione) = 82,7 %

CA (contenuto in argilla < 2 $\mu$ ) = 28,91 %

$k$  (conducibilità idraulica) =  $5,659 \times 10^{-5}$  cm/sec

LL (limite di liquidità) = 60,3 %

LP (limite di plasticità) = 25,50 %

IP (indice di plasticità) = 34,80 % (terreno plastico)

Ic (Indice di consistenza) = 1,11 (terreno molto consistente)

A (Indice di attività) = 1,20 (argille normali)

$c'$  (coesione efficace) = 0,207 kg/cm<sup>2</sup>

$\phi'$  (angolo di resistenza al taglio) = 23,6°

Ed (modulo edometrico) = 32,3 kg/cm<sup>2</sup> (relazione di Mlinarek - 2005)

Classificazione del terreno in base alla carta di plasticità di Casagrande: argille inorganiche di alta plasticità (CH)

*Valori medi dei parametri meccanici e fisici scaturiti dalle prove SPT  
(Standard Penetration Test)*

S.P.T.	Profondità (m)	NSPT	Unità Litotecnica n.	Coesione non drenata Cu <sup>1</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )
S3/ SPT1	3,30 - 3,75	4/5/8 13	1	0,52
S3/ SPT2	6,50 - 6,95	9/12/13 25	2	1,0

<sup>1</sup> Relazione di Stroud & Butler (1975);



## **11. PERICOLOSITA' SISMICA**

Al fine di valutare la risposta sismica locale del sito oggetto di intervento è necessario tenere conto delle modifiche apportate allo scuotimento del suolo, in caso di sisma, provocate dalle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali attraverso la valutazione dei processi di amplificazione stratigrafica e topografica.

L'Ordinanza P.C.M. 3274 del 2003 suddivideva il territorio nazionale in quattro zone sismiche individuate da valori di accelerazione sismica di picco orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ovvero con tempi di ritorno di 475 anni, secondo tale classificazione l'area in oggetto Comune di Casalduni (Bn) viene inserito nella prima categoria (Zona 1) a cui corrisponde un valore di accelerazione orizzontale al suolo  $a_g=0.35g$ .

Nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 viene invece introdotta una griglia di riferimento da cui determinare il valore di accelerazione massima orizzontale al suolo  $a_g$  per ogni singolo sito di interesse.

La nuova norma prende in considerazione, inoltre, l'amplificazione dell'azione sismica locale in relazione alla tipologia di terreno ( $S_s$ ) ed alle condizioni topografiche (ST).

In relazione a quanto detto la normativa propone di incrementare l'azione sismica al suolo di un fattore di amplificazione  $S_s$  relativo alla diversa tipologia di terreno di fondazione.

E' necessario definire, quindi, la categoria del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione in base alla velocità delle onde trasversali  $V_{s30}$  o in alternativa in base al valore di  $NSPT_{30}$  e  $cu_{30}$ .

La normativa prevede 5 categorie principali di sottosuolo di fondazione:

**A** - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessore 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).

**C** - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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  $NSPT_{30}<15$  nei terreni a grana grossa e  $70<cu_{30}<250$  kPa).

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

In più la normativa introduce due sottosuoli speciali S1 ed S2:

S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Il parametro  $V_{s30}$  rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 metri di profondità

È calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

$V_i$ : velocità delle onde S dello strato i-esimo

$h_i$ : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati presenti nei primi 30 metri



Dall'elaborazione dell'indagine sismica (prova masw) è stato possibile determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo e definire quindi la categoria di sottosuolo di fondazione, in ottemperanza alle Norme Tecniche delle Costruzioni del 14/01/2008 e s.m.i..

PROFILO VERTICALE $V_s$			
Sismostrati n.	$V_s$ (m/s)	Spessore (m)	Profondità (m)
1	191	2.2	2.2
2	153	3.0	5.2
3	339	9.5	14.7
4	480	15.3	30.0
Misfit			0.025
Vs30 (m/s)			329

Tabella 1 - Risultati della prova masw

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S (tabella 1) portano alla determinazione di una Vs30 pari a 329 m/sec indicando, per il sito in esame un sottosuolo di tipo C.

Dalla Tabella I delle succitate N.T.C. 08 è possibile, quindi, ricavare quanto segue:

#### Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

#### Sito in esame.

latitudine: 41,265249

longitudine: 14,727868

Classe: 2

Vita nominale: 50

#### Siti di riferimento

Sito 1 ID: 31209	Lat: 41,2787 Lon: 14,6878	Distanza: 3671,089
Sito 2 ID: 31210	Lat: 41,2780 Lon: 14,7543	Distanza: 2624,073
Sito 3 ID: 31432	Lat: 41,2280 Lon: 14,7533	Distanza: 4654,180
Sito 4 ID: 31431	Lat: 41,2287 Lon: 14,6868	Distanza: 5314,722

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,062	g
Fo:	2,430	
Tc*:	0,280	[s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,083	g
Fo:	2,362	
Tc*:	0,296	[s]

#### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,265	g
Fo:	2,302	
Tc*:	0,372	[s]

#### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,362	g
Fo:	2,322	
Tc*:	0,391	[s]



### Coefficienti Sismici

#### SLO:

Ss: 1,500  
Cc: 1,600  
St: 1,000  
Kh: 0,019  
Kv: 0,009  
Amax: 0,909 m/s<sup>2</sup>  
Beta: 0,200

#### SLD:

Ss: 1,500  
Cc: 1,570  
St: 1,000  
Kh: 0,025  
Kv: 0,012  
Amax: 1,226 m/s<sup>2</sup>  
Beta: 0,200

#### SLV:

Ss: 1,330  
Cc: 1,450  
St: 1,000  
Kh: 0,099  
Kv: 0,049  
Amax: 3,452 m/s<sup>2</sup>  
Beta: 0,280

#### SLC:

Ss: 1,200  
Cc: 1,430  
St: 1,000  
Kh: 0,122  
Kv: 0,061  
Amax: 4,263 m/s<sup>2</sup>  
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

Coordinate WGS84

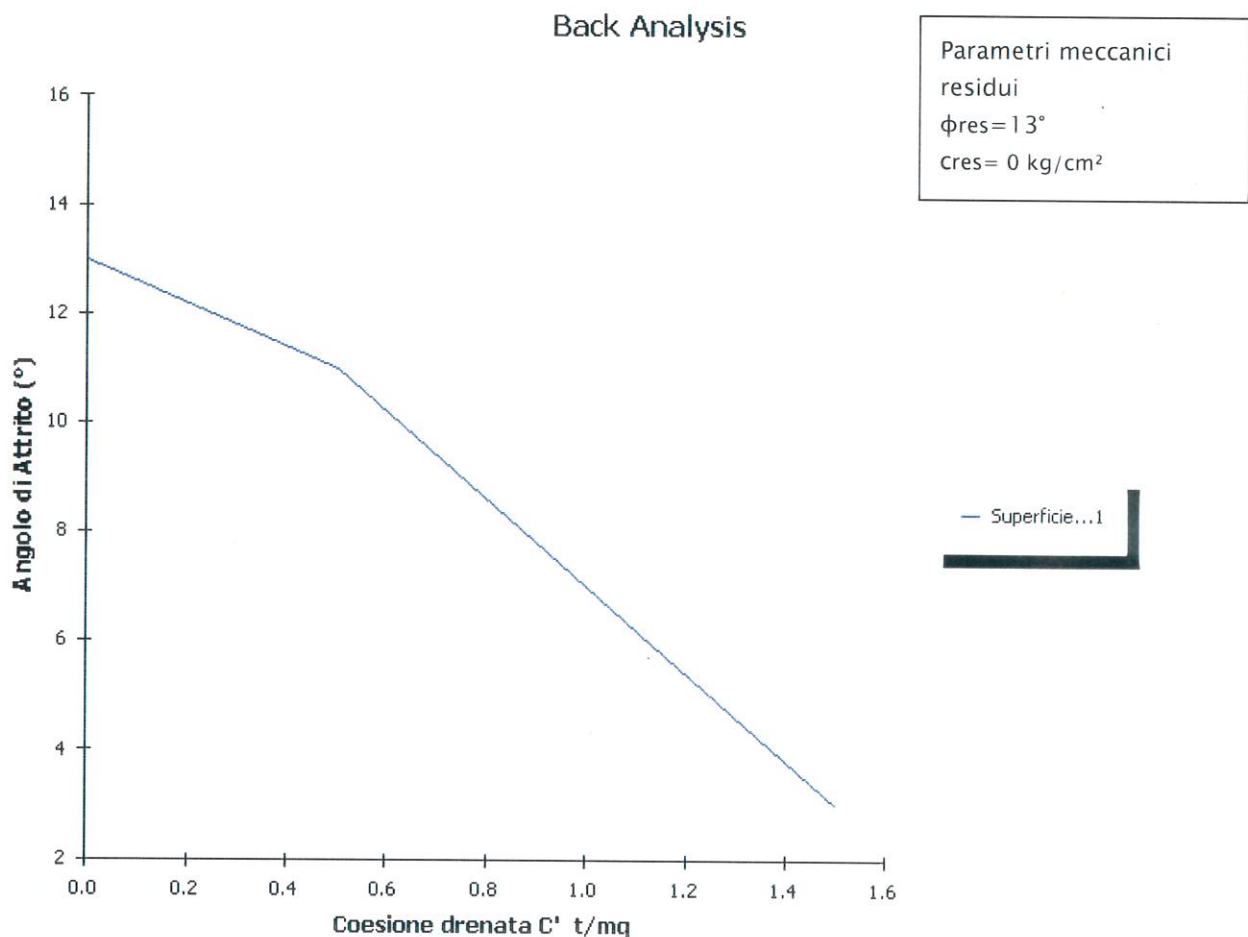
latitudine: 41.264262

longitudine: 14.727001

## 12. VERIFICHE DI STABILITA'

Le verifiche di stabilità hanno interessato il sistema sede stradale - versante immediatamente a valle con e senza paratia. Sono stati considerati i profili interessati da un movimento futuro con sbalzo della sede stradale pari alla profondità della superficie di scivolamento dedotta dall'indagine eseguita. L'analisi è stata condotta in condizioni sismiche con i metodi dell'equilibrio limite (LEM) e secondo i dettami delle N.T.C 2008 (D.M. 14/01/2008) e s.m.i. Nel calcolo, sono stati utilizzati, i parametri meccanici residui ( $\phi'_{res}$ ) per il materiale in frana e quelli di picco ( $\phi'_p$ ,  $c'_p$ ) per quanto riguarda la formazione in posto.

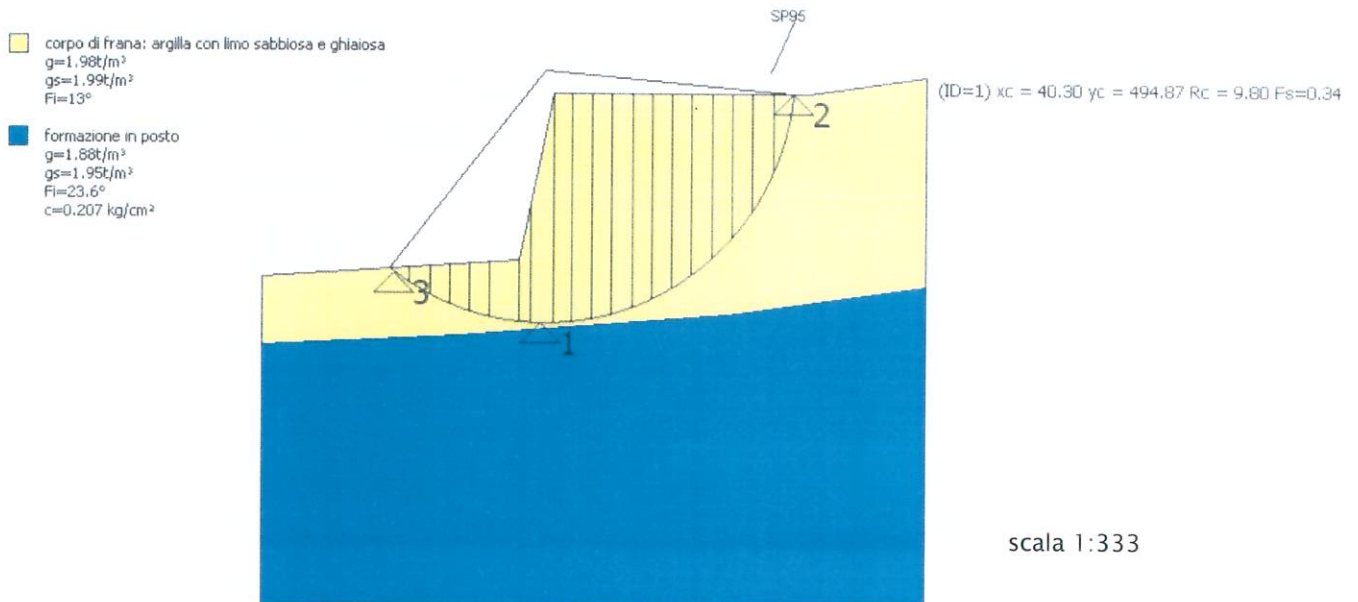
I parametri residui ( $\phi'_{res}$ ) sono stati ricavati, mediante il metodo della back analysis considerando la probabile superficie di scorrimento dedotta dall'indagine ed il profilo topografico antecedente al movimento franoso, ponendo  $F=1$ .





12.1 Verifica di stabilità ante operam in condizioni sismiche

ANALISI DI STABILITA' ANTE OPERAM IN CONDIZIONI SISMICHE



Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

Lat./Long.	41.264262/14.727001
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	33.25 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	497.04 m
Ascissa vertice destro superiore xs	42.23 m
Ordinata vertice destro superiore ys	504.29 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

*Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"*  
*Relazione geologica - tecnica*

=====  
 =====  
**Coefficienti sismici [N.T.C.]**  
 =====  
 =====

**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50.0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.61	2.43	0.28
S.L.D.	50.0	0.81	2.36	0.3
<b>S.L.V.</b>	<b>475.0</b>	<b>2.6</b>	<b>2.3</b>	<b>0.37</b>
S.L.C.	975.0	3.55	2.32	0.39

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.915	0.2	0.0187	0.0093
S.L.D.	1.215	0.2	0.0248	0.0124
<b>S.L.V.</b>	<b>3.4687</b>	<b>0.28</b>	<b>0.099</b>	<b>0.0495</b>
S.L.C.	4.246	0.28	0.1212	0.0606

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.099  
 Coefficiente azione sismica verticale 0.05

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	29.24	486.87
2	39.34	487.5
3	40.66	494.0
4	50.66	494.0
5	55.26	494.67

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

N	X (m)	y (m)
1	29.24	484.17



*Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"*  
*Relazione geologico - tecnica*

2	36.92	484.61
3	47.49	485.43
4	55.26	486.5

**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	Si

=====

=====

**Stratigrafia**

c: coesione;;  $\phi_p$ : Angolo di attrito di picco;  $\phi_{res}$ = angolo di attrito residuo; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_{res}$ (°)	$\phi_p$ (°)	G (t/m <sup>3</sup> )	Gs (t/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	13	13	1.98	1.99	corpo di frana: argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa	
2	0.207	-	23.6	1.88	1.95	formazione in posto	

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

=====

=====

Fs minimo individuato	0.34
Ascissa centro superficie	40.3 m
Ordinata centro superficie	494.87 m
Raggio superficie	9.8 m

=====

=====

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.

*Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"*  
*Relazione geologico - tecnica*

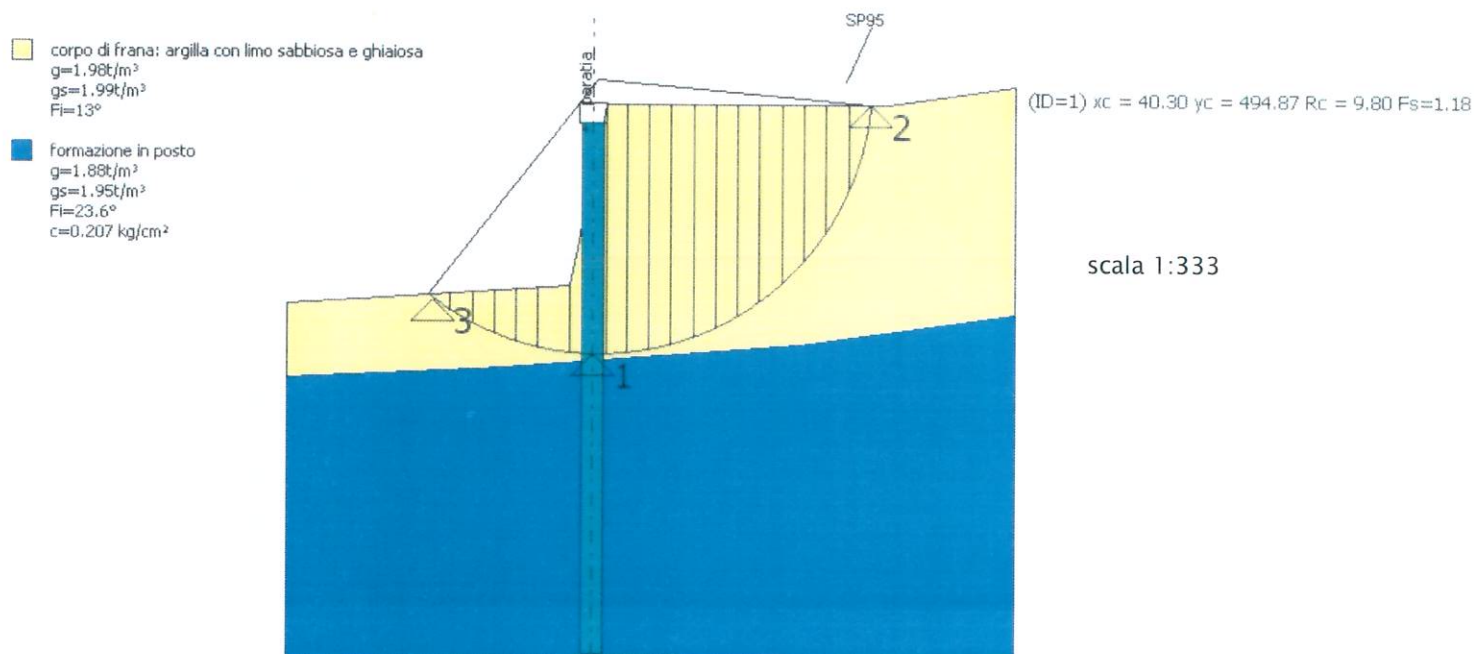
(ID=1)  $x_c = 40.304$   $y_c = 494.866$   $R_c = 9.796$   $F_s = 0.336$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh·Wi (t)	Kv·Wi (t)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	0.79	-35.5	0.97	0.5	0.05	0.03	0.0	10.5	0.0	1.0	0.6
2	0.79	-30.0	0.91	1.38	0.14	0.07	0.0	10.5	0.0	2.2	1.3
3	0.79	-24.7	0.87	2.09	0.21	0.1	0.0	10.5	0.0	3.0	1.6
4	0.79	-19.7	0.84	2.68	0.27	0.13	0.0	10.5	0.0	3.5	1.8
5	0.79	-14.9	0.82	3.14	0.31	0.16	0.0	10.5	0.0	3.7	1.9
6	1.16	-9.1	1.17	5.19	0.51	0.26	0.0	10.5	0.0	5.7	2.9
7	0.43	-4.3	0.43	2.92	0.29	0.15	0.0	10.5	0.0	3.0	1.5
8	0.89	-0.5	0.89	11.85	1.17	0.59	0.0	10.5	0.0	11.9	5.9
9	0.69	4.1	0.7	12.23	1.21	0.61	0.0	10.5	0.0	11.8	5.9
10	0.79	8.5	0.8	13.83	1.37	0.69	0.0	10.5	0.0	13.0	6.6
11	0.79	13.2	0.81	13.59	1.35	0.68	0.0	10.5	0.0	12.5	6.4
12	0.79	18.0	0.83	13.24	1.31	0.66	0.0	10.5	0.0	12.0	6.3
13	0.79	23.0	0.86	12.78	1.26	0.64	0.0	10.5	0.0	11.5	6.2
14	0.79	28.1	0.9	12.18	1.21	0.61	0.0	10.5	0.0	10.9	6.2
15	0.79	33.5	0.95	11.45	1.13	0.57	0.0	10.5	0.0	10.3	6.2
16	0.79	39.3	1.02	10.53	1.04	0.53	0.0	10.5	0.0	9.7	6.2
17	0.79	45.6	1.13	9.4	0.93	0.47	0.0	10.5	0.0	8.9	6.4
18	0.79	52.8	1.31	7.97	0.79	0.4	0.0	10.5	0.0	7.9	6.6
19	0.79	61.4	1.65	6.07	0.6	0.3	0.0	10.5	0.0	6.6	6.9
20	0.79	75.6	3.18	3.16	0.31	0.16	0.0	10.5	0.0	4.3	8.6



12.2 Verifica di stabilità post operam in condizioni sismiche

ANALISI DI STABILITA' POST OPERAM IN CONDIZIONI SISMICHE



Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

=====

Lat./Long.	41.264262/14.727001
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	33.25 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	497.04 m
Ascissa vertice destro superiore xs	42.23 m
Ordinata vertice destro superiore ys	504.29 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

*Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"*  
*Relazione geologico - tecnica*

=====  
=====  
**Coefficienti sismici [N.T.C.]**  
=====  
=====

**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
Classe d'uso: Classe II  
Vita nominale: 50.0 [anni]  
Vita di riferimento: 50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.61	2.43	0.28
S.L.D.	50.0	0.81	2.36	0.3
<b>S.L.V.</b>	<b>475.0</b>	<b>2.6</b>	<b>2.3</b>	<b>0.37</b>
S.L.C.	975.0	3.55	2.32	0.39

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.915	0.2	0.0187	0.0093
S.L.D.	1.215	0.2	0.0248	0.0124
<b>S.L.V.</b>	<b>3.4687</b>	<b>0.28</b>	<b>0.099</b>	<b>0.0495</b>
S.L.C.	4.246	0.28	0.1212	0.0606

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.099  
Coefficiente azione sismica verticale 0.05

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	29.24	486.87
2	39.34	487.5
3	40.66	494.0
4	50.66	494.0
5	55.26	494.67

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

N	X (m)	y (m)
1	29.24	484.17



**Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"**  
**Relazione geologico - tecnica**

2	36.92	484.61
3	47.49	485.43
4	55.26	486.5

**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	Si

=====

=====

**Stratigrafia**

c: coesione;;  $\phi_p$ : Angolo di attrito di picco;  $\phi_{res}$ = angolo di attrito residuo; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo;

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_{res}$ (°)	$\phi_p$ (°)	G (t/m <sup>3</sup> )	Gs (t/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	13	13	1.98	1.99	corpo di frana: argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa
2	0.207	-	23.6	1.88	1.95	formazione in posto

**Pali...**

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)
1	39.76733	493.3299	0.8	19	90	2.4

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

=====

=====

Fs minimo individuato	1.18
Ascissa centro superficie	40.3 m
Ordinata centro superficie	494.87 m
Raggio superficie	9.8 m

=====

=====

*Lavori di risanamento movimenti franosi lungo la S.P. 95 "Casalduni - Zingara Morta"*  
*Relazione geologico - tecnica*

(ID=1) xc = 40.304 yc = 494.866 Rc = 9.796 Fs=1.176

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (t)	Kh·Wi (t)	Kv·Wi (t)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (t)	N'i (t)	Ti (t)
1	0.79	-35.5	0.97	0.5	0.05	0.03	0.0	10.5	0.0	0.7	0.1
2	0.79	-30.0	0.91	1.38	0.14	0.07	0.0	10.5	0.0	1.7	0.3
3	0.79	-24.7	0.87	2.09	0.21	0.1	0.0	10.5	0.0	2.5	0.4
4	0.79	-19.7	0.84	2.68	0.27	0.13	0.0	10.5	0.0	3.0	0.5
5	0.79	-14.9	0.82	3.14	0.31	0.16	0.0	10.5	0.0	3.4	0.5
6	1.16	-9.1	1.17	5.19	0.51	0.26	0.0	10.5	0.0	5.4	0.8
7	0.43	-4.3	0.43	2.92	0.29	0.15	0.0	10.5	0.0	3.0	0.4
8	0.89	-0.5	0.89	11.85	1.17	0.59	0.0	10.5	0.0	11.9	1.7
9	0.69	4.1	0.7	12.23	1.21	0.61	0.0	10.5	0.0	12.1	1.7
10	0.79	8.5	0.8	13.83	1.37	0.69	0.0	10.5	0.0	13.7	2.0
11	0.79	13.2	0.81	13.59	1.35	0.68	0.0	10.5	0.0	13.5	2.0
12	0.79	18.0	0.83	13.24	1.31	0.66	0.0	10.5	0.0	13.3	2.0
13	0.79	23.0	0.86	12.78	1.26	0.64	0.0	10.5	0.0	13.1	2.0
14	0.79	28.1	0.9	12.18	1.21	0.61	0.0	10.5	0.0	12.8	2.1
15	0.79	33.5	0.95	11.45	1.13	0.57	0.0	10.5	0.0	12.5	2.1
16	0.79	39.3	1.02	10.53	1.04	0.53	0.0	10.5	0.0	12.2	2.2
17	0.79	45.6	1.13	9.4	0.93	0.47	0.0	10.5	0.0	11.7	2.4
18	0.79	52.8	1.31	7.97	0.79	0.4	0.0	10.5	0.0	11.1	2.6
19	0.79	61.4	1.65	6.07	0.6	0.3	0.0	10.5	0.0	10.1	3.0
20	0.79	75.6	3.18	3.16	0.31	0.16	0.0	10.5	0.0	8.1	4.7



### 13. CONCLUSIONI

La S.P. 95 è interessata da un movimento gravitativo che ha coinvolto parte della sede stradale. Come detto in precedenza l'intervento verte esclusivamente sul ripristino dell'infrastruttura stradale e non sul consolidamento dell'intero pendio in frana. La paratia di progetto sarà impostata in corrispondenza della sede stradale in modo da mitigare un eventuale futuro distacco della stessa. Non si esclude che si possano avere futuri movimenti sulla parte di pendio a valle dell'opera di sostegno. Tuttavia dall'analisi di stabilità in condizioni sismiche del sistema sede stradale-paratia si evince che il coefficiente di sicurezza è maggiore di 1,1 e quindi in situazione stabile. Sarà comunque necessario al fine preservare la stabilità dell'opera e quindi della sede stradale, allontanare le acque meteoriche dall'area in oggetto mediante la regimazione delle acque di ruscellamento superficiale a monte e a valle della S.P. 95;

Si consiglia di utilizzare, per il calcolo geotecnico della paratia, i parametri di resistenza al taglio residui ( $\phi'_{res}$ ) riportati in precedenza, riferiti al corpo di frana e quelli di picco riferiti alla formazione in posto.

#### IL TECNICO

Dott. Geol. Antonio Pagnotto



ALLEGATO N. 1: Relazione descrittiva sulle indagini (INGEO s.r.l)

## COMUNE DI CASALDUNI (BN)



### COMMITTENTE

Provincia di Benevento – Servizio Tecnico – Servizio Appalti – Assistenza  
Amministrativa EE.LL.  
Largo Giosuè Carducci – 82100 - Benevento

### OGGETTO

Lavori di esecuzione di indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio  
occorrenti per l'esecuzione dei lavori di risanamento movimenti franosi in atto  
lungo la S.P. N.95 "Casalduni – Zingara Morta" e lungo la S.P. 94 "Casalduni"

DATA: 30/03/2016  
PROT. LAV.: 04 /16

**RELAZIONE DESCRITTIVA**



---

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INDAGINI IN SITO.....</b>	<b>2</b>
2.1 Sondaggi a carotaggio continuo.....	2
2.2 Prelievo di campioni.....	3
<b>3. INDAGINE SISMICA MASW .....</b>	<b>5</b>
3.1. Indagine Geofisica M.A.S.W. ....	5
3.2 Strumentazione Impiegata.....	6
3.3 Acquisizione ed elaborazione dati .....	7
3.4 Risultati Masw .....	8
Elaborazione Masw 1 .....	9
Elaborazione Masw 2.....	13

## TAVOLE E ALLEGATI

- Tavola
- Allegato 1: Stratigrafie e allegati fotografici dei sondaggi a c.c.
- Allegato 2: Analisi di laboratorio

**INGEO srl**

80146 Napoli - Via Ferrante Imparato 190 – Complesso Napoli Est – Fabb. F4  
www.ingeosrl.it - info@ingeosrl.it Tel 081 5593198 - Fax 081 5598233  
Partita I.V.A. e C.F. 07457550635 Capitale sociale Euro 100.000 i.v.a



INGEO srl - Via Ferrante Imparato 190 - 80146 Napoli - Italia

---

## 1. PREMESSA

Gli scriventi sono stati incaricati dalla Provincia di Benevento di eseguire una campagna di indagini per l'esecuzione dei lavori di risanamento movimenti franosi in atto lungo la S.P. N.95 "Casalduni – Zingara Morta" e lungo la S.P. 94 "Casalduni".

La campagna indagini ha previsto l'esecuzione di:

- N° 3 Sondaggi a carotaggio continuo;
- N° 4 Prelievi di campioni di terreno;
- N° 2 Indagini sismiche di tipo Masw.

## 2. INDAGINI IN SITO

### 2.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Sono stati realizzati n° 3 sondaggi a carotaggio continuo verticale, spinti alla profondità di 20m ognuno.

Le perforazioni sono state eseguite con una sonda a rotazione, modello DC 100, mediante l'uso del carotiere semplice, di diametro pari a 101 mm.

Il materiale estratto (carote) con il carotiere singolo, è stato sistemato in apposite cassette catalogatrici in pvc dove sono state riportate le indicazioni necessarie.



*Figura 1: postazione sonda (S3)*

Per ogni sondaggio è stata fornita una documentazione grafica dei materiali attraversati completa di una breve descrizione (Allegato 1 "Stratigrafie"); nei profili stratigrafici dei sondaggi sono riportate le quote relative le quote dei prelievi dei campioni di terreno e di Rifiuto Medio Composito.

È stata eseguita, inoltre, una documentazione fotografica a colori di ciascuna cassetta catalogatrice aperta, con il materiale carotato e le indicazioni bene evidenti.



## 2.2 Prelievo di campioni

Nel corso delle perforazioni sono stati prelevati N° 4 campioni di terreno.

Nella seguente tabella vengono riportate le profondità esatte di prelievo dei campioni, con le relative sigle:

Prof. (m)	sigla
2,80-3,30	S1C1
2,80-3,30	S2C1
2,80-3,30	S3C1
6,00-6,50	S3C2

Su ogni campione è stato riportato:

- la designazione del committente, del cantiere e del sondaggio;
- la profondità del prelievo;
- la data del prelievo.

Le analisi di laboratorio realizzate sui campioni, i cui certificati sono riportati nell'Allegato 2 che costituisce un'appendice alla presente relazione, sono le seguenti:

1. su **S1C1** ed **S2C1** prelevati lungo la Sp. 94:
  - ✓ Analisi granulometrica con setacci per caratteristiche fisiche e meccaniche Per via umida su quantità  $\leq 5\text{kg}$ , con un massimo di 8 vagli;
  - ✓ Determinazione della percentuale di materiale passante al vaglio n. 200 (0,074 mm) Determinazione dei limiti di liquidità e di plasticità, congiuntamente;
  - ✓ Caratteristiche fisiche e meccaniche Prova di taglio diretto consolidata drenata con tempo di deformazione finale  $< 8\text{h}$  (procedura standard 3 provini);
2. su **S3C1** ed **S3C2** prelevati lungo la Sp. 95:
  - ✓ *Analisi granulometrica con setacci per caratteristiche fisiche e meccaniche Per via umida su quantità  $\leq 5\text{kg}$ , con un massimo di 8 vagli;*

- ✓ ~~Determinazione della percentuale di materiale passante al vaglio n. 200 (0,074 mm)~~  
*Determinazione dei limiti di liquidità e di plasticità, congiuntamente;*
- ✓ *Caratteristiche fisiche e meccaniche Prova di taglio diretto consolidata drenata con tempo di deformazione finale <8h (procedura standard 3 provini).*
- ✓ *Caratteristiche fisiche e meccaniche Prova di permeabilità con edometro, compresa la saturazione.*

## 2.2 Prove S.P.T. in foro

Le n. 6 prove sono state realizzate con campionatore Raymond di lunghezza 711 mm, diametro esterno 50.8 mm, diametro interno 34.9 mm ed un dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio di peso 63.5 Kg ( $\pm 0,5$  Kg), che assicura una corsa a caduta libera di 0.76 m ( $\pm 0,02$ m).

La prova consiste nell'infiggere a battuta nel terreno una punta metallica conica, misurando il numero di colpi forniti da un maglio, necessari per ottenere un avanzamento predeterminato valutando in questo modo la resistenza offerta da un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore, lo stato di addensamento dei terreni incoerenti e la consistenza dei terreni coerenti.

Nella tabella seguente si riportano sinteticamente le risultanze delle prove S.P.T. eseguite.

Prof. (m)	sigla	SPT (n. colpi)
3.30-3.75	S1(SPT1)	5-10-12
6.00-6.45	S1(SPT2)	26-16-52
3.30-3.75	S2(SPT1)	4-5-6
6.50-6.95	S2(SPT2)	9-10-11
3.30-3.75	S3(SPT1)	4-5-8
6.50-6.95	S3(SPT2)	9-12-13

### 3. INDAGINE SISMICA MASW

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame tramite l'esecuzione di un profilo sismico tipo M.A.S.W. (multichannel analysis of surface waves) per determinare il valore del Vs30, ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03 e succ. mod. ed integr.; D.M. 14/09/2005; D.M. 14/01/2008.

A tale scopo è stata eseguita la seguente indagine:

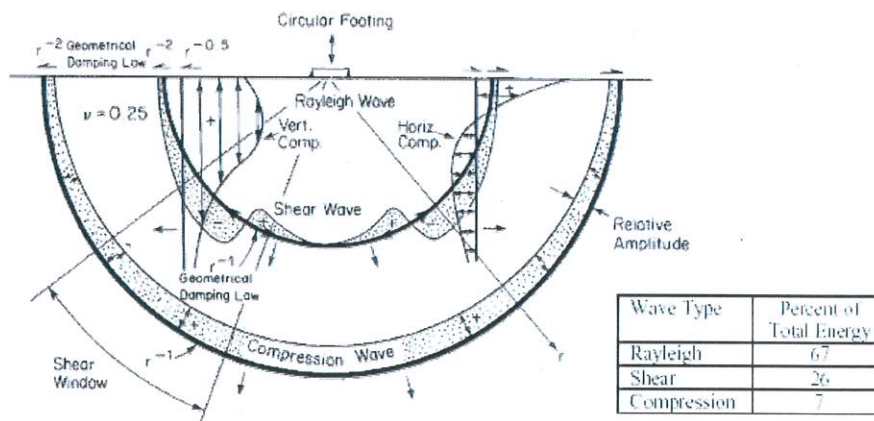
- n° 2 profili sismici tipo M.A.S.W. delle onde Rayleigh (multichannel analysis of surface waves) con direzione azimutale N 200.

#### 3.1. Indagine Geofisica M.A.S.W.

L'indagine sismica MASW (multichannel analysis of surface waves) è una tecnica non invasiva utilizzata per individuare il profilo verticale della velocità delle onde sismiche in particolare delle onde di taglio (VS) utile al calcolo del parametro Vs30 così come richiesto dalla nuova normativa tecnica (NTC 2008).

Tale indagine fu messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al.,1999) che attraverso lo studio delle onde di superficie (Rayleigh e Love) ricavarono le velocità onde di taglio in funzione della profondità, infatti la velocità delle onde di Rayleigh vale circa il 90% delle velocità delle onde di taglio.

Lo studio delle onde superficiali è consigliato principalmente perché i 2/3 dell'energia delle sollecitazioni provocate sul terreno viene trasformata in onde superficiali mentre la rimanente parte genera onde P ed S.





La metodologia MASW si distingue in attiva e in passiva:

- Nel metodo attivo le onde superficiali vengono generate da una energizzazione puntuale creata generalmente da una massa battente o esplosione controllata.
- Nel metodo passivo (REMI), messo a punto dal Prof. Luie, 2001, si sfrutta il rumore di fondo (microtremori) prodotto dalle attività antropiche e naturali.

### 3.2 Strumentazione Impiegata

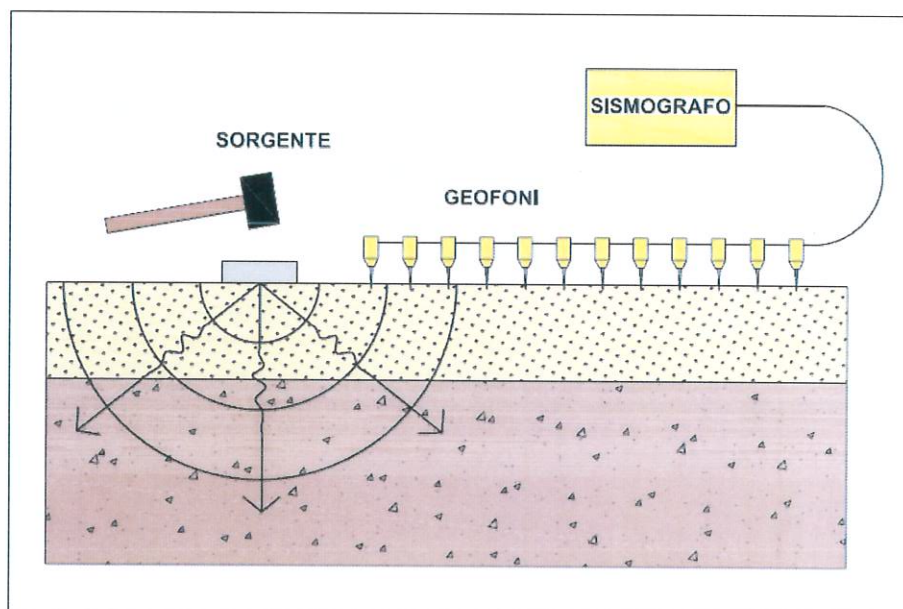
L'esecuzione dell'indagine è avvenuta utilizzando un sismografo a trasmissione digitale del segnale, fabbricato dalla SARA electronic instruments modello DOREMI, con trattamento del segnale a 16 bit. Tale sismografo, collegato ad un notebook, tramite una speciale interfaccia di comunicazione, consente, tramite software di gestione, la memorizzazione in automatico delle acquisizioni dei vari sismogrammi, permette l'impostazione dei guadagni per ogni singolo canale sia in modo automatico che manualmente, l'attivazione di filtri "passa alto", "passa basso" e filtro a "fase zero", inoltre, è provvisto della funzione stacking che permette di attenuare eventuale rumore di fondo presente nel sito in esame.



*Sismografo DOREMI della Sara Electronic Instruments s.r.l.*

### 3.3 Acquisizione ed elaborazione dati

L'acquisizione del set di dati per l'analisi delle onde superficiali di tipo Rayleigh è stata eseguita utilizzando la classica strumentazione per un'indagine sismica a rifrazione, disponendo sul terreno un array lineare da 24 geofoni verticali da 4,5Hz con una spaziatura di 1.0 metri. Per l'esecuzione della prova è stato usato come sistema di energizzazione una mazza da 5 kg battente su un piattello in alluminio posto ad una distanza di offset dal primo geofono di 4 e 5 metri.



I dati sperimentali, acquisiti in campagna e memorizzati dal PC, vengono in seguito elaborati ed interpretati attraverso l'utilizzo del pacchetto software GEOPSY (<http://www.geopsy.org/>). L'elaborazione dei dati consiste nel calcolo dello spettro F-K (frequenza - numero d'onda) in 2D sul quale è possibile, attraverso un picking manuale e/o automatico, posizionare i punti interpolanti della curva di dispersione. Tale curva è stata poi sottoposta al processo di inversione con il Software Dinver (dello stesso pacchetto Geopsy) dalla quale si è ricavato il modello del sottosuolo. Durante la modellizzazione è possibile inserire, se noti, oltre che la  $V_s$  e le  $V_p$  anche lo spessore dello strato, il coefficiente di Poisson e il peso di volume. Procedendo per tentativi modificando opportunamente i vari

dati sopraindicati, si ottiene una sovrapposizione tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica corrispondente il modello del terreno individuato, il grado di adattamento delle due curve è rappresentato dal valore di “misfit” fornito dal software.

$$misfit = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{oi} - v_{Ri})^2}{n \cdot \sigma_i^2}}$$

(Wathelt et al. 2004)

$V_{oi}$  = Velocità della frequenza  $i$ -esima nella curva di dispersione sperimentale

$V_{Ri}$  = Velocità di fase del modo fondamentale delle onde Rayleigh alla frequenza  $i$ -esima

### 3.4 Risultati Masw

I dati ed i risultati ricavati dalle elaborazioni delle indagini MASW, denominate M1 e M2, vengono di seguito riportate attraverso i seguenti tabelle e grafici.

- ✓ Tabella riassuntiva dei sismostrati ricavati e con misfit e categoria di suolo;
- ✓ Sismogrammi;
- ✓ Curva di dispersione sperimentale;
- ✓ Grafico confronto curva di dispersione teorica – sperimentale;
- ✓ Grafico  $V_p$  e  $V_s$ ;

L'ubicazione degli stendimenti sismici di tipo Masw sono rappresentate nella seguente tabella con coordinate WGS 84 :

ID Masw	Coordinate Sondaggio
M1	33 T - 4564689.00 m N – 473527.00 m E
M2	33 T - 4568127.00 m N – 477178.00 m E



## Elaborazione Masw 1



*Ubicazione stendimento sismico masw con direzione azimutale N 160*

Dall'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh è stato possibile ricostruire il profilo verticale delle onde sismiche di taglio Vs individuando 3 sismostrati riportati nella seguente tabella riassuntiva:

PROFILO VERTICALE Vs			
Sismostrati n.	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità (m)
1	252	5.2	5.2
2	390	16.4	21.6
3	476	8.4	30.0
Misfit			0.005
Vs30 (m/s)			373

Dal profilo verticale delle onde Vs si è determinato il valore del parametro  $V_{s30}=373$  m/s calcolato dal piano campagna.

```
# 5100 run_0icasaldunil.report  
# Layered model 4952: value=0.00553019  
Us30 373.005 Class B
```

Nel rispetto delle norme tecniche delle costruzioni ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03 e s.m.i. ; D.M. 14/09/2005; D.M. 14/01/2008, il sito in esame ricadrebbe nella categoria B ossia:

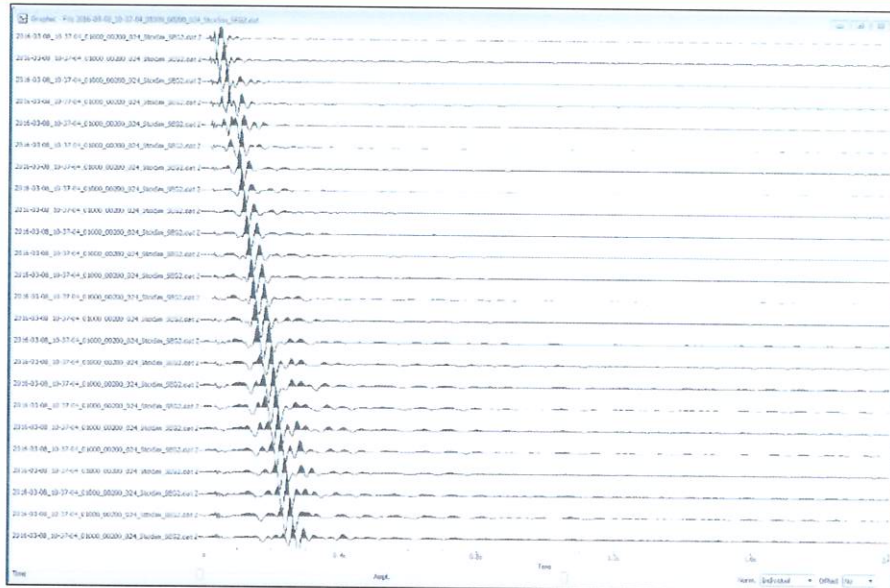
*“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).”*

```
# 5100 run_0icasaldunil.report  
# Layered model 4952: value=0.00553019  
# Us  
251.653338219442 0  
251.653338219442 5.21612569147448  
389.890938833908 5.21612569147448  
389.890938833908 21.6479551564164  
475.741040231096 21.6479551564164  
475.741040231096 1e+99
```

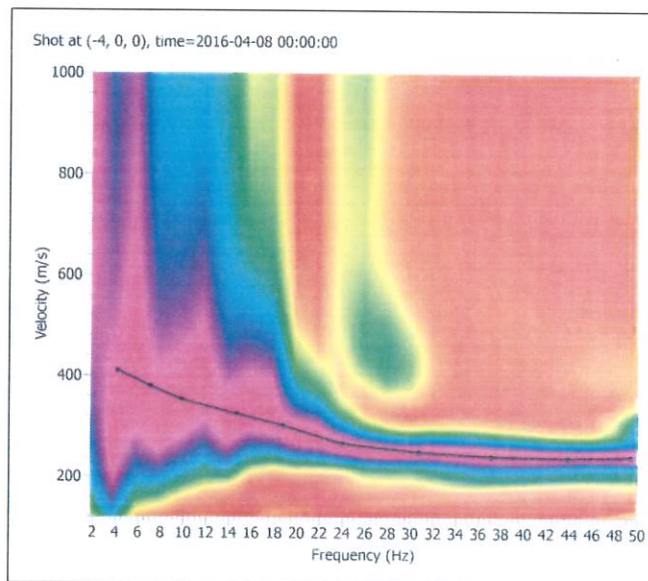
Restituzione del profilo delle Vs con le profondità

```
# 5100 run_0icasaldunil.report  
# Layered model 4952: value=0.00553019  
# Up  
568.557303674299 0  
568.557303674299 5.21612569147448  
797.445389452197 5.21612569147448  
797.445389452197 21.6479551564164  
935.067434164509 21.6479551564164  
935.067434164509 1e+99
```

Restituzione del profilo delle Vp con le profondità

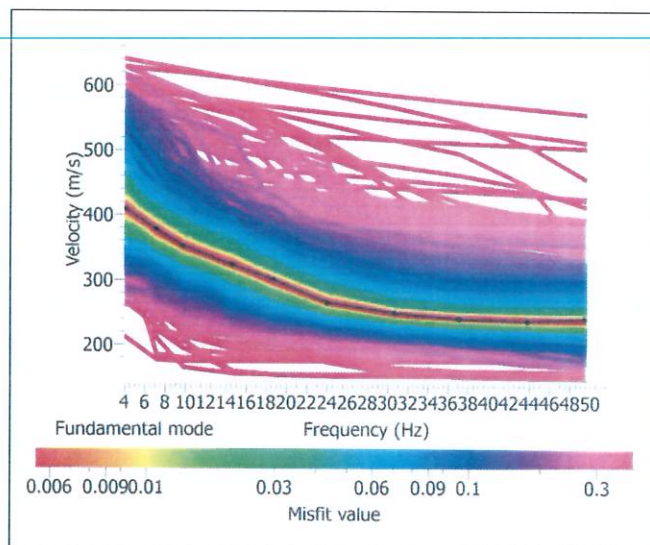


*Sismogrammi MASW 1*

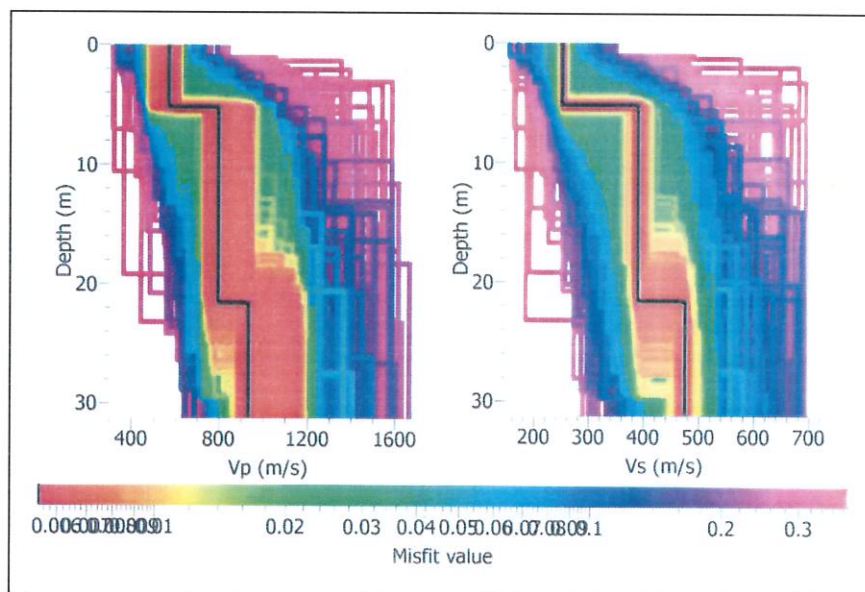


*Curva di dispersione sperimentale - MASW1*





*Confronto tra curva di dispersione sperimentale e teorica – MASW 1*



*Profilo velocità onde P e S – MASW 1*

## Elaborazione Masw 2



*Ubicazione stendimento sismico masw con direzione azimutale N 90*

Dall'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh è stato possibile ricostruire il profilo verticale delle onde sismiche di taglio  $V_s$  individuando 4 sismostrati riportati nella seguente tabella riassuntiva:

PROFILO VERTICALE $V_s$			
Sismostrati n.	$V_s$ (m/s)	Spessore (m)	Profondità (m)
1	191	2.2	2.2
2	153	3.0	5.2
3	339	9.5	14.7
4	480	15.3	30.0
Misfit			0.025
$V_{s30}$ (m/s)			329

Dal profilo verticale delle onde Vs si è determinato il valore del parametro  $V_{s30}=329$  m/s calcolato dal piano campagna.

```
# 7650 run_03casalduni2.report
# Layered model 6210: value=0.025627
Vs30 329.431 Class C
```

Nel rispetto delle norme tecniche delle costruzioni ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/03 e s.m.i. ; D.M. 14/09/2005; D.M. 14/01/2008, il sito in esame ricadrebbe nella categoria C ossia:

*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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).”*

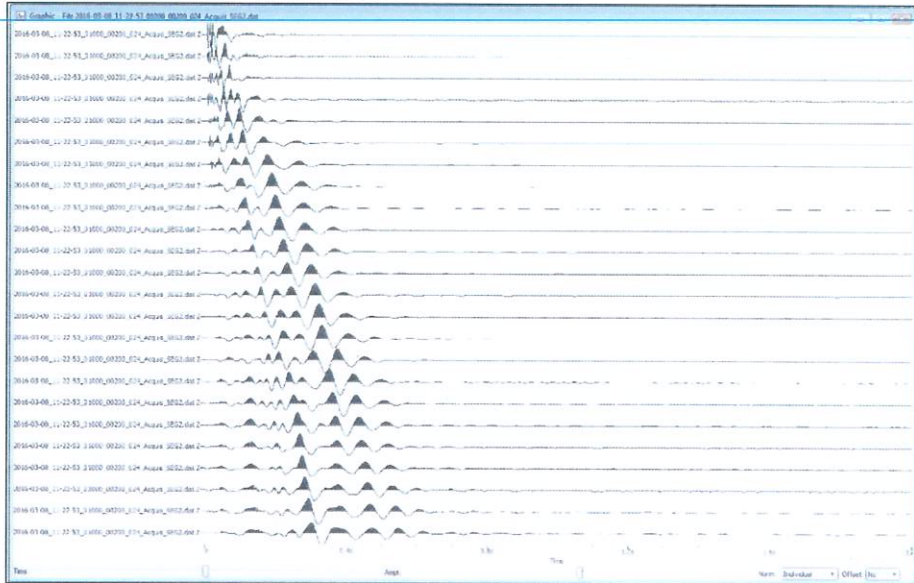
```
# 7650 run_03casalduni2.report
# Layered model 6210: value=0.025627
# Us
190.936648817435 0
190.936648817435 2.17303717007574
153.015 2.17303717007574
153.015 5.21747562371697
339.190678958979 5.21747562371697
339.190678958979 14.6891167577983
480.498450633407 14.6891167577983
480.498450633407 1e+99
```

*Restituzione del profilo delle Vs con le profondità*

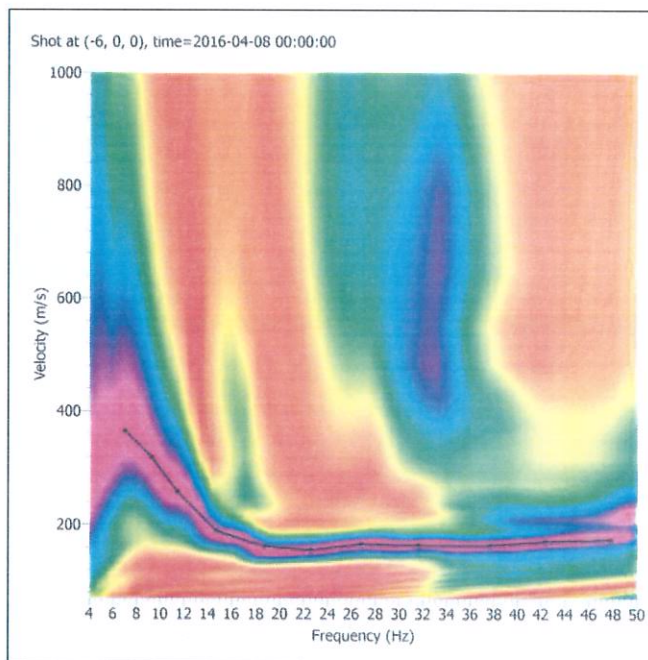
```
# 7650 run_03casalduni2.report
# Layered model 6210: value=0.025627
# Up
378.092373895911 0
378.092373895911 2.17303717007574
356.180119314595 2.17303717007574
356.180119314595 5.21747562371697
707.692293060621 5.21747562371697
707.692293060621 14.6891167577983
992.5929235364 14.6891167577983
992.5929235364 1e+99
```

*Restituzione del profilo delle Vp con le profondità*

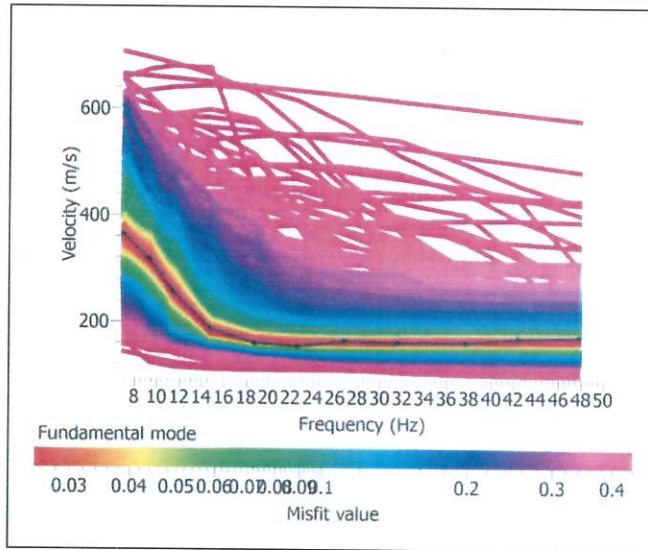




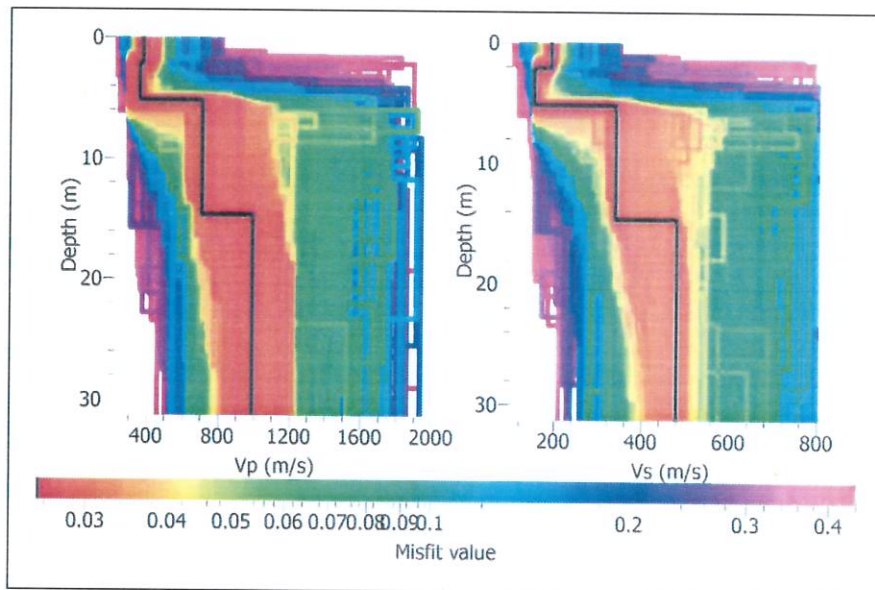
**Sismogrammi - MASW 2**



**Curva di dispersione sperimentale - MASW 2**



*Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e teorica – MASW 2*



*Profilo velocità onde P e S – MASW 2*

## Allegato fotografico



**Masw 1**



**Masw 1**



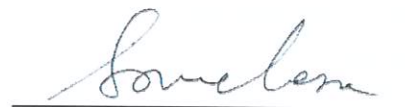


**Masw 2**



**Masw 2**

Napoli, 30/03/2016



**INGEO srl**  
L'administratore Unico  
Dott. Geol. Domenico Massa

**ALLEGATO N. 2: Stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo**



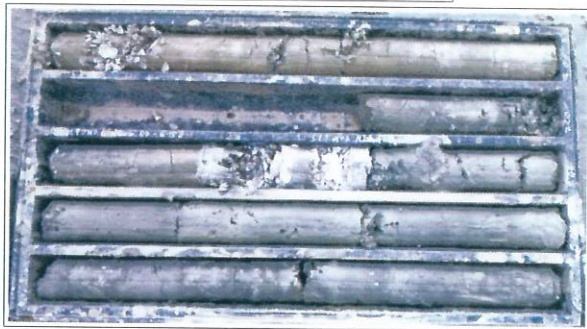


RICHIEDENTE: Provincia di Benevento (BN)	ATTREZZATURA: Sonda DC100	Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, ai sensi della Circolare n. 7619 del 08/09/2010. Certificazione n° 5036 
COMUNE: Benevento (BN)	METODO DI PERF.: Carotaggio continuo	
CANTIERE: S.P. 95 - Casalduni - Zingara Morta	QUOTA INIZ.: Piano campagna	N° ACCETTAZIONE: 04/16 DATA ESECUZIONE: 10/03/2016 <b>Sigla: S3</b>
UBICAZIONE: Lat. 41°15'51.34"N - Lon. 14°43'37.71"E	PROFONDITA': 20.00 m	
OGGETTO: Lavori di risanamento movimenti franosi in atto		PAGINE: 2 di 2

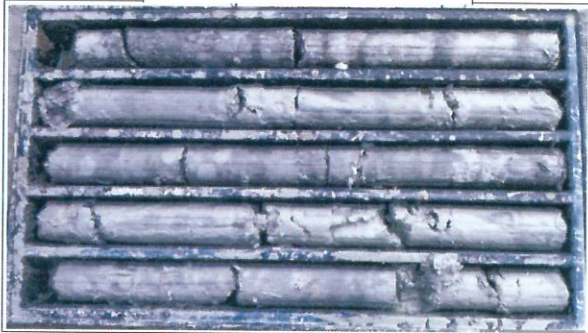
DATA: 10/03/2016  
 COMM.TE: Comune di Benevento (BN)  
 CANTIERE: SP. 95 - Casalduni  
 SONDA. N°: S3 CASSETTA N° 1  
 DA m 0.00 a m 5.00




DATA: 10/03/2016  
 COMM.TE: Comune di Benevento (BN)  
 CANTIERE: SP. 95 - Casalduni  
 SONDA. N°: S3 CASSETTA N° 2  
 DA m 5.00 a m 10.00

DATA: 10/03/2016  
 COMM.TE: Comune di Benevento (BN)  
 CANTIERE: SP. 95 - Casalduni  
 SONDA. N°: S3 CASSETTA N° 3  
 DA m 10.00 a m 15.00

DATA: 10/03/2016  
 COMM.TE: Comune di Benevento (BN)  
 CANTIERE: SP. 95 - Casalduni  
 SONDA. N°: S3 CASSETTA N° 4  
 DA m 15.00 a m 20.00




Postazione sonda



Responsabile del sito



Dr. Gianna Maria Minin

Direttore del laboratorio



Dr. Giosafatte Nocerino



**ALLEGATO N. 3: Prove di Laboratorio**



COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,80 - 3,30

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	25,1	%
Peso di volume	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	15,5	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	19,5	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	26,0	kN/m <sup>3</sup>
Indice dei vuoti	0,680	
Porosità	40,5	%
Grado di saturazione	97,7	%
Limite di liquidità	59,2	%
Limite di plasticità	23,2	%
Indice di plasticità	36,0	%
Indice di consistenza	0,95	
Passante al set. n° 40	SI	
Limite di ritiro		%
Classif. CNR-UNI		

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	12,8	%
Sabbia	21,2	%
Limo	27,6	%
Argilla	38,4	%
D 10		mm
D 50	0,031390	mm
D 60	0,066035	mm
D 90	3,426645	mm
Passante set. 10	87,2	%
Passante set. 40	79,0	%
Passante set. 200	66,0	%

### PERMEABILITA'

Coefficiente k 5,504E-04 cm/sec

### COMPRESSIONE

$\sigma$	kPa	$\sigma_{Rim}$	kPa
----------	-----	----------------	-----

### SCISSOMETRO

$\tau$	kPa	$\tau$	kPa
--------	-----	--------	-----

### TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c	17,5	kPa	$\phi$ 25,7 °
c Res		kPa	$\phi_{Res}$ °

### COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	$c_d$	kPa	$\phi_d$ °
C.U.	$c'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$ °
	$c_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$ °
U.U.	$c_u$	kPa	$\phi_u$ °

### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	Cv cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde - beige, con presenza di sostanza organica, in cui si rinvencono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa







CERTIFICATO DI PROVA N°: 1301	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016	Inizio analisi: 15/03/2016
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16		Apertura campione: 15/03/2016	Fine analisi: 16/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.		
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)		
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 2,80 - 3,30

### PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377

#### Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 19,4 kN/m<sup>3</sup>**

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde - beige, con presenza di sostanza organica, in cui si rinvencono litici eterometrici (d<sub>max</sub> = 1,5 cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa

CERTIFICATO DI PROVA N°: 1301	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016	Inizio analisi: 17/03/2016
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16		Apertura campione: 15/03/2016	Fine analisi: 18/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.		
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)		
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 2,80 - 3,30

### PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854

$\gamma_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m<sup>3</sup>) = 26,01

$\gamma_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m<sup>3</sup>) = 26,00

Metodo:  A  B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 22,0 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde - beige, con presenza di sostanza organica, in cui si rinvencono litici eterometrici (d<sub>max</sub> = 1,5 cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa





ISOGEA S.r.l.

Laboratorio Geotecnico

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2008 CERTIF. DA QUALITYAUSTRIA

Certificazione Ufficiale - Settore «A» - Prove di laboratorio sulle terre AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI Decreto 0007474 del 27/07/2012 Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 1301	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016	Inizio analisi: 22/03/2016
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16		Apertura campione: 15/03/2016	Fine analisi: 23/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.  
 RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)  
 SONDAGGIO: S3 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 2,80 - 3,30

### LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

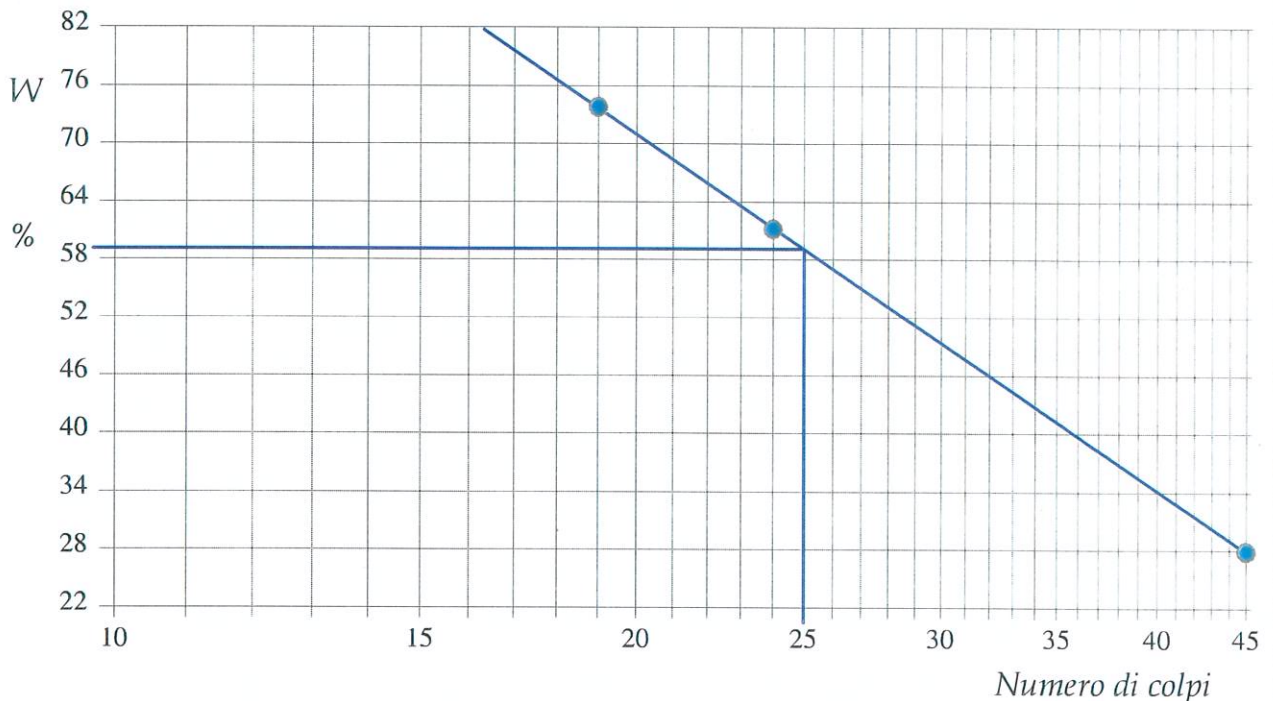
Modalità di prova: Norma ASTM D4318

Limite di liquidità	59,2 %
Limite di plasticità	23,2 %
Indice di plasticità	36,0 %

La prova è stata eseguita sulla frazione granulometrica passante al setaccio n° 40 (0,42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'				LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	19	24	45	Umidità (%)	23,3	23,1
Umidità (%)	73,8	61,2	27,9	Umidità media (%)	23,2	

#### Determinazione del Limite di liquidità



Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde - beige, con presenza di sostanza organica, in cui si rinvencono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
 Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa

Il responsabile della sperimentazione  
Dott.ssa Lucia Occorsio

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Roberto Lubrano









**ISOGEA S.r.l.**

Laboratorio Geotecnico

AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIF. DA QUALITYAUSTRIACertificazione Ufficiale - Settore «A» - Prove di laboratorio sulle terre  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 0007474 del 27/07/2012 Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010CERTIFICATO DI PROVA N°: 1301 Pagina 1/2  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016 Inizio analisi: 21/03/2016  
Apertura campione: 15/03/2016 Fine analisi: 22/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

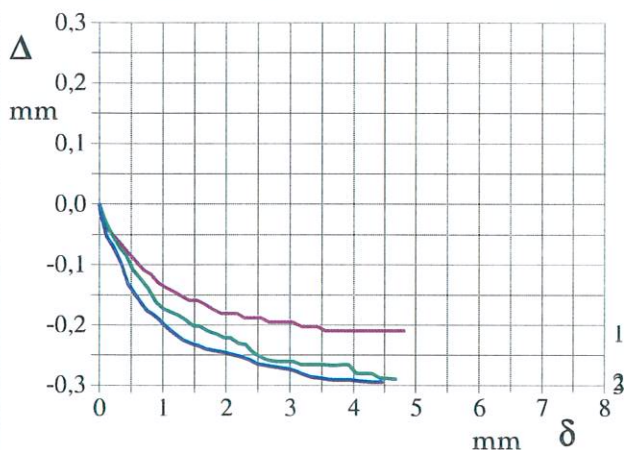
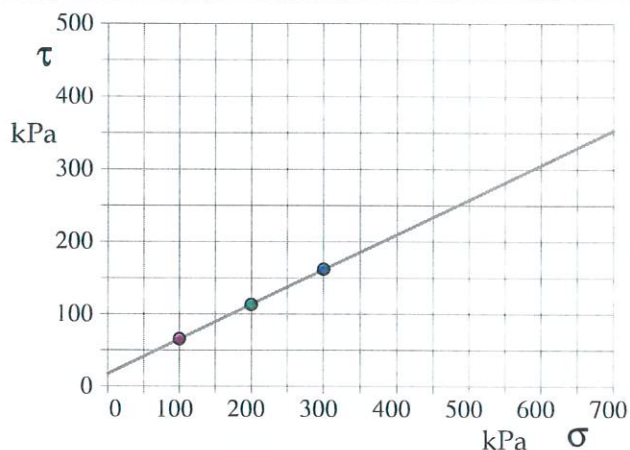
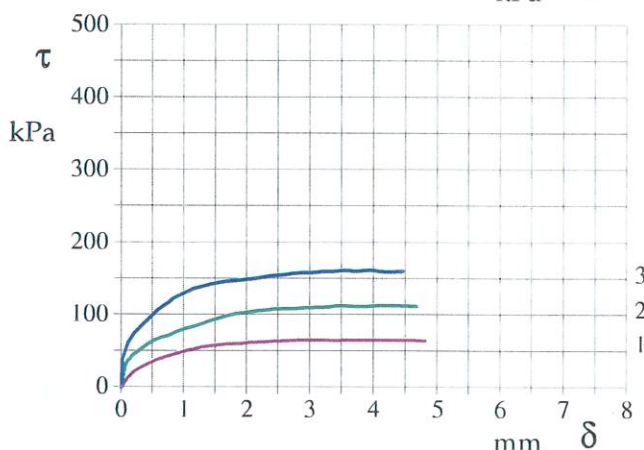
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 2,80 - 3,30

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	100	200	300
Tensione a rottura (kPa):	66	113	162
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	3,55 -0,21	4,17 -0,28	3,96 -0,29
Umidità iniziale e umidità finale (%):	25,1 26,0	25,1 25,1	25,1 24,9
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,7 19,8	19,6 19,6	19,5 19,5
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	101,7 105,7	100,8 101,2	100,0 99,5

**DIAGRAMMA**Tensione - Pressione verticaleCoesione: 17,5 kPa  
Angolo di attrito interno: 25,7 °Tipo di prova: Consolidata - lenta  
Velocità di deformazione: 0,004 mm / min  
Tempo di consolidazione (ore): 24DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde - beige, con presenza di sostanza organica, in cui si rinvencono litici eterometrici (dmax = 1,5 cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.

Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa





COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

### MODULO RIASSUNTIVO

#### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	21,8	%
Peso di volume	18,5	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	15,2	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	19,2	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	25,8	kN/m <sup>3</sup>
Indice dei vuoti	0,694	
Porosità	41,0	%
Grado di saturazione	82,7	%
Limite di liquidità	60,3	%
Limite di plasticità	25,5	%
Indice di plasticità	34,8	%
Indice di consistenza	1,11	
Passante al set. n° 40	SI	
Limite di ritiro		%
Classif. CNR-UNI		

#### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	10,3	%
Sabbia	14,9	%
Limo	34,6	%
Argilla	40,2	%
D 10		mm
D 50	0,017606	mm
D 60	0,060354	mm
D 90	2,117959	mm
Passante set. 10	89,7	%
Passante set. 40	83,1	%
Passante set. 200	74,8	%

#### PERMEABILITA'

Coefficiente k 5,659E-05 cm/sec

#### COMPRESSIONE

$\sigma$	kPa	$\sigma_{Rim}$	kPa
----------	-----	----------------	-----

#### SCISSOMETRO

$\tau$	kPa	$\tau$	kPa
--------	-----	--------	-----

#### TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c	20,7	kPa	$\phi$ 23,6 °
c Res		kPa	$\phi$ Res °

#### COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	$c_d$	kPa	$\phi_d$ °
C.U.	$c'_{cu}$	kPa	$\phi'_{cu}$ °
	$c_{cu}$	kPa	$\phi_{cu}$ °
U.U.	$c_u$	kPa	$\phi_u$ °

#### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	$C_v$ cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde, in cui si rinvencono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
 Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa





CERTIFICATO DI PROVA N°: 1302	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016	Inizio analisi: 15/03/2016
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16		Apertura campione: 15/03/2016	Fine analisi: 16/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.		
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)		
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

### CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216

**$W_n$  = contenuto d'acqua allo stato naturale (media delle tre misure) = 21,8 %**

Struttura del materiale:

- Omogeneo
- Stratificato
- Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde, in cui si rinvencono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 1302	Pagina 1/1	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 24/03/2016	<b>Inizio analisi:</b> 15/03/2016
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 044/16 del 15/03/16		<b>Apertura campione:</b> 15/03/2016	<b>Fine analisi:</b> 16/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3                                      CAMPIONE: C2                                      PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

### PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

**Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 18,5 kN/m<sup>3</sup>**

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde, in cui si rinvencono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa



CERTIFICATO DI PROVA N°: 1302	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016	Inizio analisi: 17/03/2016
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16		Apertura campione: 15/03/2016	Fine analisi: 18/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.		
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)		
SONDAGGIO: S3	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

### PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854

$\gamma_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m<sup>3</sup>) = 25,79

$\gamma_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m<sup>3</sup>) = 25,78

Metodo:  A  B

Capacità del picnometro: 50 ml

Temperatura di prova: 22,0 °C

Dimensione massima delle particelle: 0,84 mm

Disaerazione eseguita per bollitura

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde, in cui si rinvengono litici eterometrici (d<sub>max</sub> = 1,5 cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.  
Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa





**ISOGEA S.r.l.**

Laboratorio Geotecnico

AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIF. DA QUALITYAUSTRIACertificazione Ufficiale - Settore «A» - Prove di laboratorio sulle terre  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 0007474 del 27/07/2012 Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010CERTIFICATO DI PROVA N°: 1302 Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016 Inizio analisi: 21/03/2016  
Apertura campione: 15/03/2016 Fine analisi: 21/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

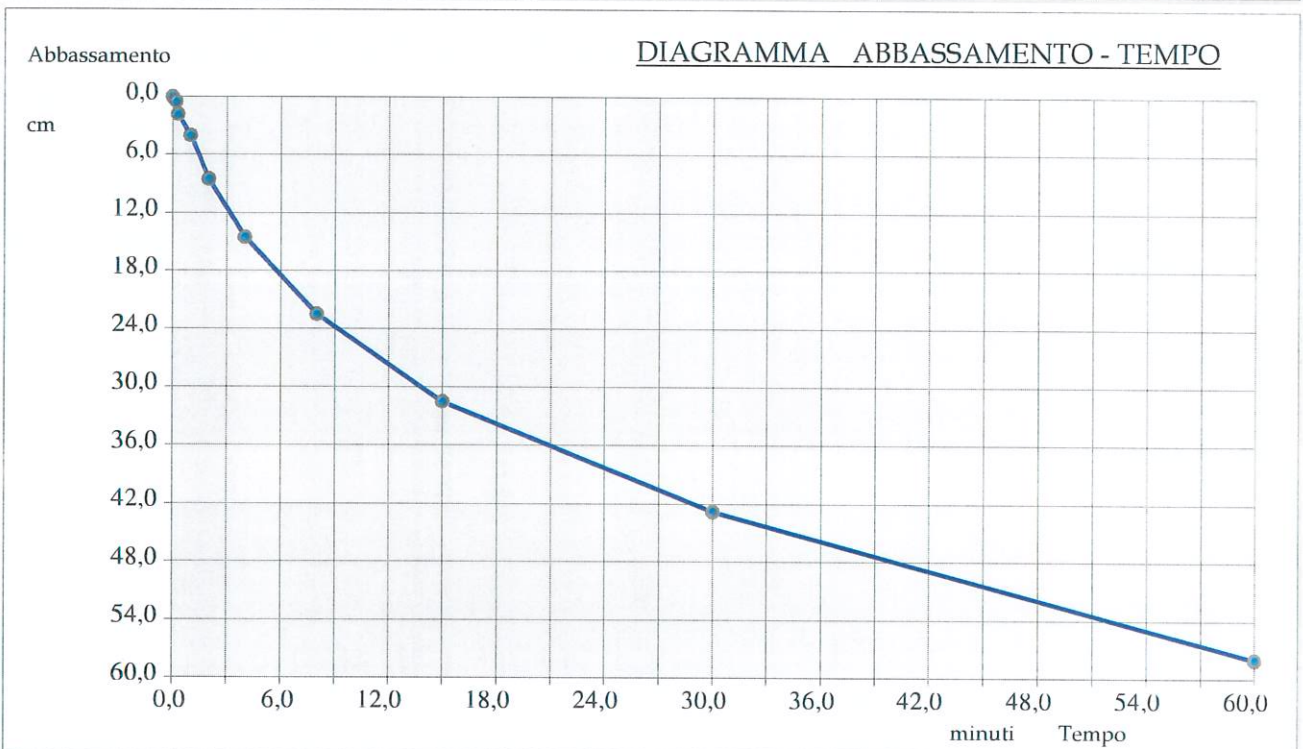
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3 CAMPIONE: C2 PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

**PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE IN EDOMETRO**

Modalità di prova: Norma ASTM D2435

CARATTERISTICHE DEL PROVINO			Tempo minuti	Abbassamento tot. cm	Abbassamento parz. cm	Permeabilità cm/sec
Altezza del provino	2,00	cm	0,2	0,5	0,5	6,62E-05
Diametro del provino	5,05	cm	0,3	1,8	1,3	1,16E-04
Sezione del provino	20,03	cm <sup>2</sup>	1,0	4,0	2,2	6,09E-05
Volume del provino	40,06	cm <sup>3</sup>	2,0	8,5	4,5	6,62E-05
Massa del provino	75,8	g	4,0	14,5	6,0	4,90E-05
Peso di volume	18,5	kN/m <sup>3</sup>	8,0	22,5	8,0	3,82E-05
Umidità del provino	21,8	%	15,0	31,5	9,0	2,89E-05
Carico idraulico iniziale	60,00	cm	30,0	42,8	11,3	2,66E-05
Coeff. di permeabilità	5,66E-05	cm/sec	60,0	58,0	15,2	5,66E-05



Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde, in cui si rinvengono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.

Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa



CERTIFICATO DI PROVA N°: 1302 Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16

DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016 Inizio analisi: 16/03/2016  
Apertura campione: 15/03/2016 Fine analisi: 21/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

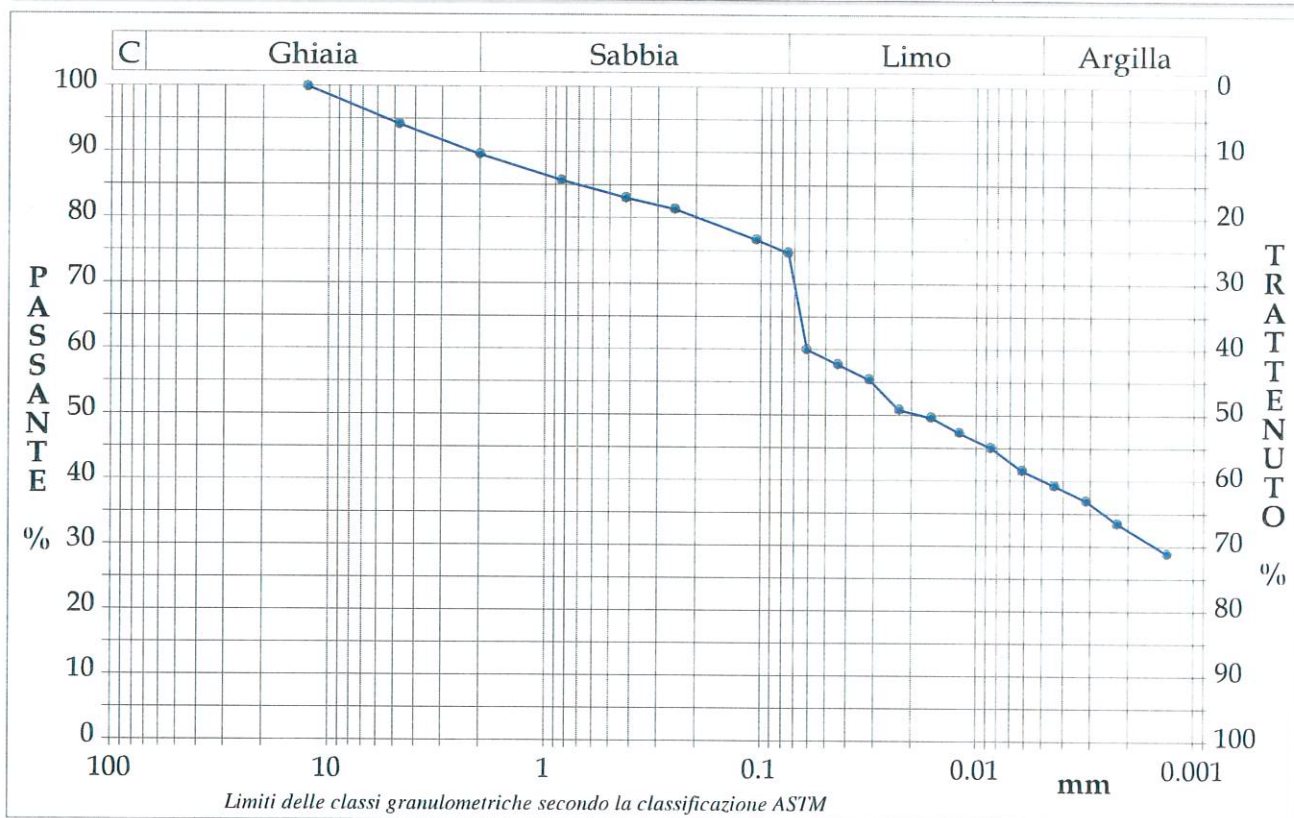
RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduni - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3 CAMPIONE: C2 PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D2217 - D422

Ghiaia	10,3 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	89,7 %	D10	--- mm	
Sabbia	14,9 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	83,1 %	D30	0,00150 mm	
Limo	34,6 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	74,8 %	D50	0,01761 mm	
Argilla	40,2 %			D60	0,06035 mm	
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura	---	D90	2,11796 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
12,5000	100,00	0,2500	81,40	0,0315	55,50	0,0062	41,63		
4,7500	94,28	0,1050	76,80	0,0228	50,88	0,0044	39,31		
2,0000	89,70	0,0750	74,79	0,0162	49,72	0,0031	37,00		
0,8410	85,73	0,0615	60,13	0,0120	47,41	0,0023	33,53		
0,4200	83,10	0,0440	57,81	0,0086	45,10	0,0013	28,91		

Deposito argilloso - limoso - sabbioso di colore verde, in cui si rinvencono litici eterometrici ( $d_{max} = 1,5$  cm) di origine calcarea, a spigoli vivi.

Definizione granulometrica: Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa







**ISOGEA S.r.l.**

Laboratorio Geotecnico

AZIENDA CON  
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'  
UNI EN ISO 9001:2008  
CERTIF. DA QUALITYAUSTRIACertificazione Ufficiale - Settore «A» - Prove di laboratorio sulle terre  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI  
Decreto 0007474 del 27/07/2012 Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 1302 Pagina 2/2

DATA DI EMISSIONE: 24/03/2016

Inizio analisi: 22/03/2016

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 044/16 del 15/03/16

Apertura campione: 15/03/2016

Fine analisi: 23/03/2016

COMMITTENTE: Ingeo s.r.l.

RIFERIMENTO: Esecuz. lavori di risanam. movimenti franosi in atto lungo la S.P. 95 Casalduini - Zingara Morta (BN)

SONDAGGIO: S3

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 6,00 - 6,50

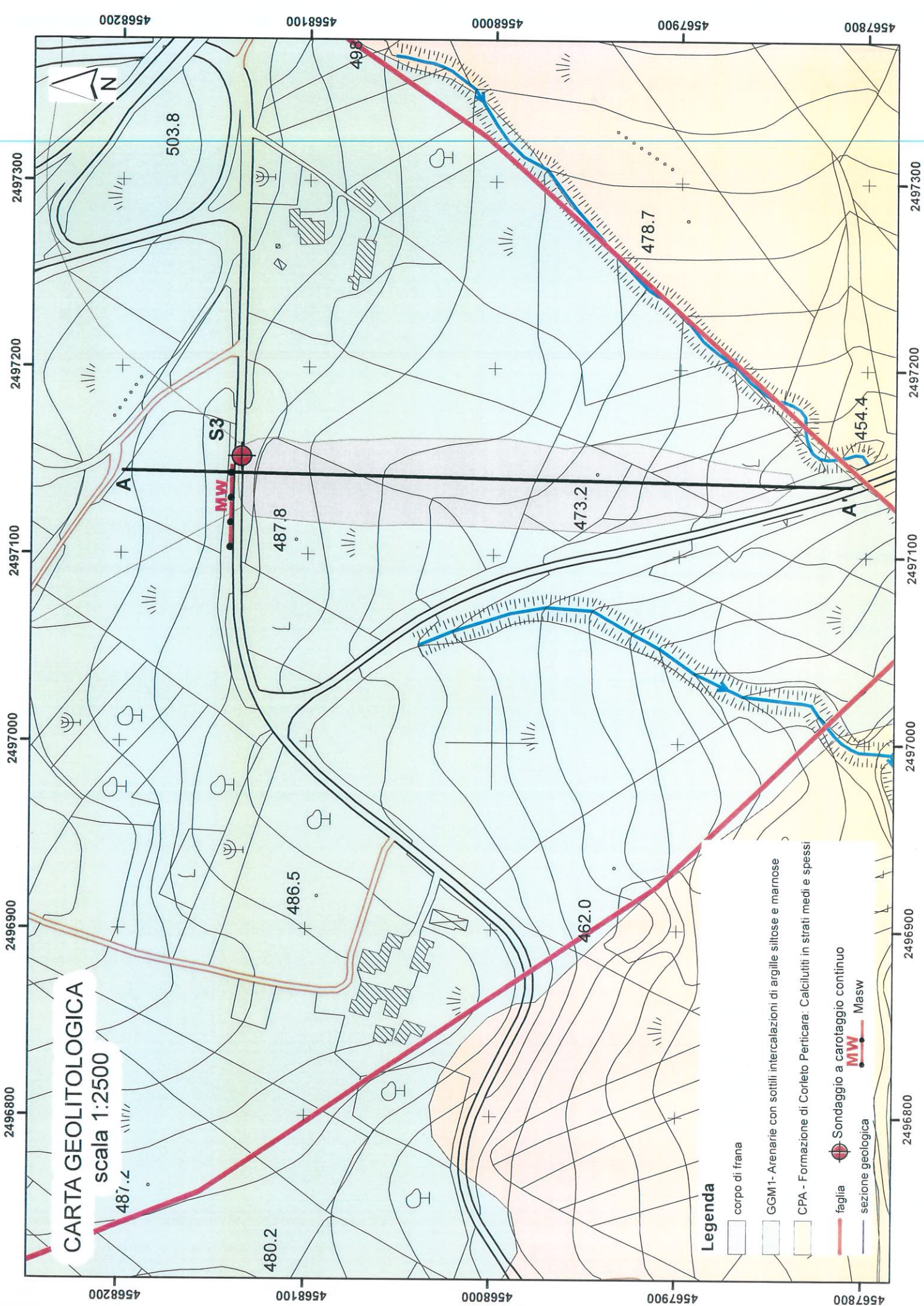
**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,120	15	-0,02	0,059	22	-0,02	0,115	39	-0,06
0,240	24	-0,04	0,152	36	-0,06	0,188	48	-0,08
0,360	31	-0,05	0,268	46	-0,09	0,188	49	-0,08
0,480	37	-0,06	0,375	53	-0,11	0,190	49	-0,09
0,600	41	-0,07	0,497	58	-0,14	0,224	51	-0,11
0,720	46	-0,08	0,624	62	-0,16	0,303	59	-0,14
0,840	49	-0,08	0,745	67	-0,18	0,393	66	-0,16
0,970	53	-0,09	0,852	72	-0,20	0,485	73	-0,19
1,090	53	-0,11	0,966	76	-0,21	0,589	78	-0,22
1,220	57	-0,11	1,072	79	-0,23	0,711	85	-0,26
1,340	60	-0,12	1,180	82	-0,24	0,823	92	-0,28
1,470	61	-0,12	1,303	85	-0,25	0,933	98	-0,31
1,600	62	-0,12	1,431	87	-0,26	1,048	103	-0,34
1,720	63	-0,12	1,568	90	-0,26	1,170	109	-0,36
1,840	63	-0,12	1,692	91	-0,27	1,290	114	-0,39
1,960	63	-0,13	1,821	93	-0,27	1,383	119	-0,41
2,080	65	-0,13	1,940	95	-0,27	1,500	123	-0,42
2,210	65	-0,13	2,064	96	-0,28	1,635	127	-0,45
2,340	65	-0,13	2,196	97	-0,28	1,753	131	-0,47
2,470	63	-0,13	2,314	98	-0,28	1,870	134	-0,48
2,590	64	-0,13	2,433	100	-0,28	1,998	138	-0,49
2,720	64	-0,13	2,547	101	-0,28	2,114	140	-0,50
2,850	65	-0,13	2,664	102	-0,28	2,238	143	-0,51
2,970	65	-0,13	2,785	102	-0,29	2,364	145	-0,52
3,100	65	-0,13	2,889	103	-0,29	2,485	147	-0,52
3,220	65	-0,13	3,006	104	-0,30	2,604	148	-0,53
3,340	64	-0,13	3,129	104	-0,30	2,716	150	-0,53
3,470	65	-0,14	3,254	104	-0,30	2,800	152	-0,53
3,590	65	-0,14	3,382	104	-0,30	2,855	152	-0,53
3,710	64	-0,14	3,495	105	-0,30	2,973	152	-0,53
3,830	64	-0,14	3,627	106	-0,30	3,104	150	-0,53
3,950	64	-0,14	3,751	106	-0,30	3,230	150	-0,54
4,080	64	-0,14	3,881	106	-0,30	3,372	148	-0,54
4,200	64	-0,14	4,007	108	-0,30	3,516	147	-0,55
4,320	63	-0,14	4,123	107	-0,31	3,668	146	-0,55
4,450	63	-0,14	4,253	106	-0,31	3,790	144	-0,56
4,560	63	-0,14	4,383	106	-0,31	3,907	144	-0,56
4,670	65	-0,14	4,523	107	-0,31	4,032	143	-0,56
4,780	65	-0,15	4,639	107	-0,31	4,160	142	-0,56
			4,750	107	-0,31	4,275	140	-0,56

**ALLEGATO N. 4: Carta Geolitologica con ubicazione del movimento franoso e delle indagini scala 1:2500**





**CARTA GEOLITOGICA**  
 scala 1:2500

- Legenda**
- corpo di frana
  - GGM1- Arenarie con sottili intercalazioni di argille siltose e marnose
  - CPA - Formazione di Corfeto Pericorato. Calcilutiti in strati medi e spessi
  - faglia
  - Sondaggio a carotaggio continuo
  - sezione geologica
  - Masw