

PROVINCIA DI BENEVENTO

Comune di Arpaize - SP1 Ciardelli

**Intervento di ripristino del
tratto di strada provinciale SP1
interrotto a seguito dell'evento
franso del 04/12/2010.**

***Consulenza Geotecnica
per
il Progetto preliminare***

Napoli, Giugno 2015

(prof. ing. Armando Lucio Simonelli)

Armando Lucio Simonelli

CONSULENZA GEOTECNICA

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA	4
3	INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
	3.1 PROGRAMMA DELLE INDAGINI.....	8
	3.2 SONDAGGI E PROVE IN SITO.....	9
	3.2.1 Sondaggi geotecnici.....	9
	3.2.2 Prove penetrometriche SPT	17
	3.2.3 Misure piezometriche.....	17
	3.2.4 Indagini geofisiche in foro: Down-Hole.....	19
	3.3 INDAGINI IN LABORATORIO	21
	3.3.1 Impostazione del programma di prove	21
	3.3.2 Risultati delle prove.....	22
	3.4 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA	23
	3.5 CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA	24
4	MONITORAGGIO INCLINOMETRICO.....	25
	4.1 DANNI ALLA STRUMENTAZIONE	26
	4.2 RISULTATI AL GIUGNO 2015.....	26
	4.3 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI.....	28
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	30

CONSULENZA GEOTECNICA

1 PREMESSA

La Provincia di Benevento deve predisporre il progetto preliminare per il ripristino del tratto di strada provinciale SP1 Ciardelli, ricadente in località Covini del Comune di Arpaise, il cui funzionamento è stato interrotto dall'evento franso del 04/12/2010; ha pertanto invitato il sottoscritto a fornire una consulenza per la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo del tratto in questione.

A tal uopo il sottoscritto ha predisposto un apposito piano di indagini, rivolte sia alla conoscenza della stratigrafia e delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei singoli terreni, sia ad un monitoraggio inclinometrico, con l'obiettivo di individuare lo spessore del volume di terreno in movimento. Dopo una serie di difficoltà incontrate sia nell'attuazione del piano predisposto, modificato e ridotto più volte, sia nel corso delle indagini stesse, a causa di un "sabotaggio" in corso d'opera da parte di ignoti, è stato finalmente completato un programma di prove, e si è proceduto all'analisi dei dati ottenuti.

I risultati dello studio sono illustrati nella presente relazione allo scopo di fornire ai tecnici della Provincia di Benevento elementi utili alla redazione del progetto preliminare dell'intervento di ripristino della strada.

2 INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

Il tratto di strada provinciale SP1 oggetto dello studio si trova in località Covini del Comune di Arpaise, nella parte alta di un versante (vedi foto di Figura 1) franato poi verso valle nel dicembre 2010, a seguito degli intensi e continui eventi piovosi verificatisi nell'autunno dello stesso anno.

L'area interessata dall'evento era classificata nel P.S.A.I. (Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano-Volturno come "area a rischio medio R2" e "area di media attenzione A2 (area non urbanizzata ricadente all'interno di una frana quiescente)" con D.P.C.M. del 12/12/2006; antecedentemente tale zona era comunque considerata, sotto il profilo idrogeologico, a rischio frana quiescente.



Figura 1 – Strada SP1 e versante prima della frana (foto satellitare del 2007)

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento franoso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

La strada SP1 è ubicata nella parte sommitale del versante, alla quota di circa 460 m s.l.m. (vedi stralcio planimetrico di Figura 2). A monte della strada il pendio è molto acclive; alla sua sommità si sviluppa un pianoro, sede del Cimitero Comunale di Arpaise.

A valle la strada borda un'area di proprietà privata, del sig. Leopoldo Parente, nella quale sono presenti due manufatti: un primo edificio più piccolo, preesistente, adibito ad albergo, è adiacente alla strada, nella parte a sinistra della zona franata (guardando verso valle); l'altro manufatto, più grande e più recente, adibito ad abitazione del Parente, era ubicato a circa una decina di metri dalla strada verso valle, proprio lungo l'asse dell'area poi franata (vedi Figure 1 e 2).

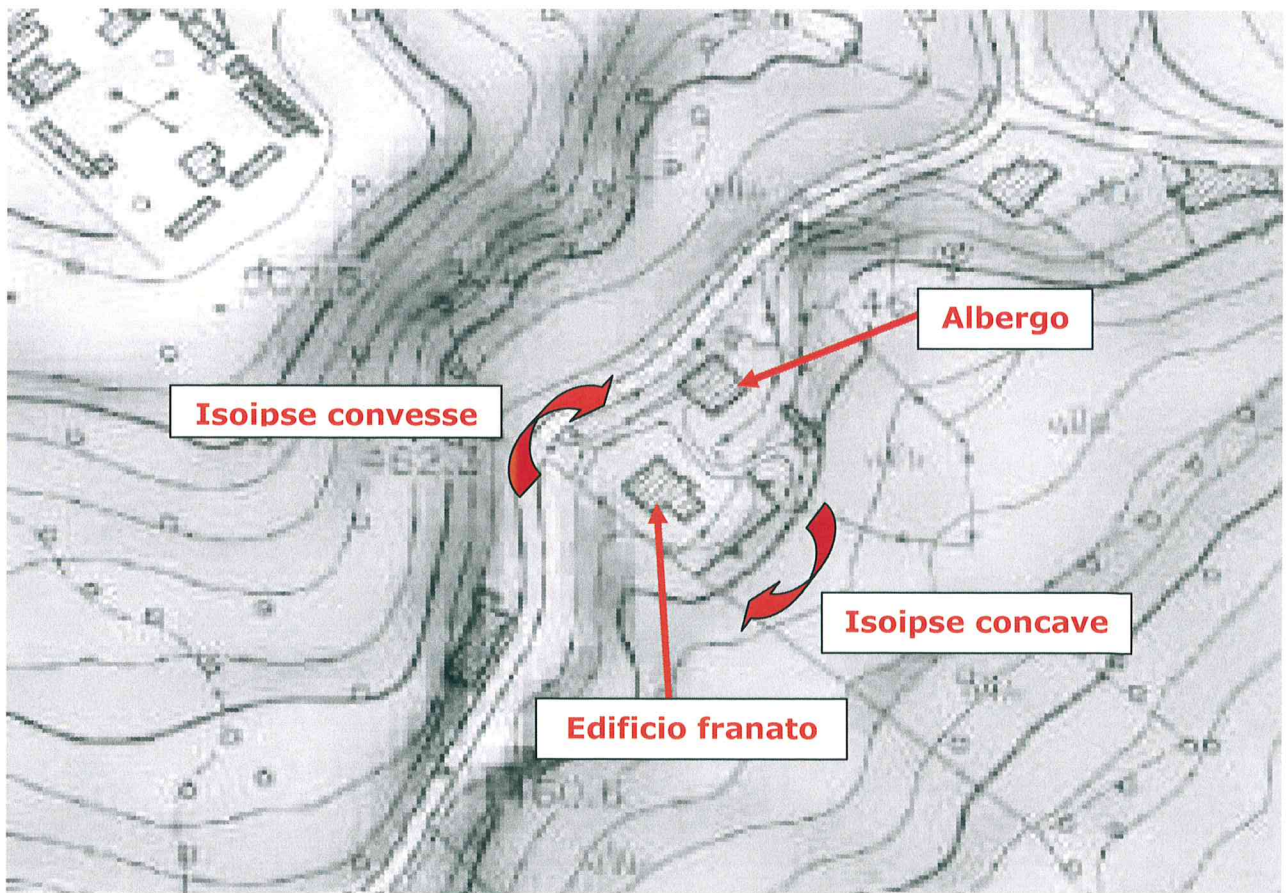


Figura 2 – Stralcio planimetrico dell'area franata in cui ricade la strada SP1

CONSULENZA GEOTECNICA

Dall'esame delle curve di livello della cartografia di Figura 2 si evince che la strada era ubicata tra due isoipse convesse, in una configurazione alquanto stabile, così come il piccolo edificio preesistente (che non ha subito effetti significativi indotti dal fenomeno franoso).

Al contrario l'abitazione del sig. Parente è bordata a valle da isoipse concave, probabilmente per effetto di un terrazzamento realizzato proprio per la costruzione dell'edificio. Tale manufatto, originariamente a monte nella zona franata (vedi foto di Figura 3), è traslato e ruotato sensibilmente verso valle, esibendo un intenso ed articolato quadro fessurativo.

Immediatamente dopo l'evento franoso, le cui cause non sono oggetto della presente relazione, furono effettuati idonei interventi per arrestarne il movimento: ripristino e pulizia dei canali laterali per il deflusso delle acque (canali a tratti completamente oblitterati) e trincee e drenaggi sub-superficiali.



Figura 3 – Strada SP1 e versante dopo la frana (foto satellitare del 2007)

CONSULENZA GEOTECNICA

Gli interventi, realizzati in buona parte dalla Provincia di Benevento, e conclusi nella primavera del 2011, ebbero esito positivo, con l'arresto temporaneo del movimento franoso, così come confermato dal monitoraggio degli spostamenti superficiali effettuato mediante rilievo con GPS. Da allora sono stati programmati, a più riprese, diversi piani di indagini, con diversi gradi di approfondimento in funzione delle diverse capacità economiche prospettate, piani tutti finalizzati allo studio dell'intero versante ed alla individuazione degli opportuni interventi per la sua stabilizzazione definitiva.

Purtroppo per varie cause (che non sono oggetto della presente relazione) non è stato possibile avviare, ad oggi, uno studio "generale" dell'area, che sarebbe stato effettuato in collaborazione con il Comune di Arpaise. Pertanto la Provincia di Benevento ha deciso di procedere, per suo conto, allo studio geotecnico della sola zona di competenza della Strada Provinciale SP1, al fine di avviare, poi, la progettazione degli interventi per il ripristino della viabilità. A tal uopo il sottoscritto predispose un primo piano di indagini, che prevedeva anche una piccola postazione nella proprietà Parente immediatamente a valle della sede stradale, per una più efficace interpretazione del fenomeno di instabilità. Non avendo avuto dal Parente il consenso alla realizzazione di alcuna indagine nella sua proprietà, è stato predisposto un secondo piano di indagini, leggermente ridotto, con postazioni ubicate esclusivamente nell'area di pertinenza della SP1.

La Provincia di Benevento ha affidato l'esecuzione delle indagini e del successivo monitoraggio alla ditta Geoproject s.r.l. di Marano di Napoli. Le indagini di sito e di laboratorio sono state eseguite e completate nell'autunno 2014, ed è stata predisposta la verticale inclinometrica per le successive misure. Sono state quindi effettuate letture inclinometriche per circa 6 mesi a partire dal Dicembre 2014, sebbene in forma ridimensionata rispetto al programma, a causa dei già citati danni (le misure, peraltro, si protrarranno fino al prossimo autunno).

CONSULENZA GEOTECNICA

3 INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

3.1 PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Sulla base delle somme messe a disposizione della Provincia di Benevento, per le indagini a farsi esclusivamente nell'area di pertinenza del tratto stradale della SP1, sono state programmate indagini in sito ed in laboratorio, della tipologia indicata in Tabella I, con l'obiettivo di caratterizzare il sottosuolo sia nell'area franata, ed individuare eventuali movimenti lenti ancora in atto, sia nelle aree laterali alla frana, anch'esse di interesse per il progetto delle opere di stabilizzazione.

Tabella I – Tipologia di indagini e monitoraggio

Ditta	Oggetto
Geoproject s.r.l.	Sondaggi, prelievo di campioni e prove SPT
	Misure geofisiche in foro Down-Hole
	Prove geotecniche di laboratorio
	Misure piezometriche ed inclinometriche

In particolare le indagini sono consistite in:

- N.3 verticali di sondaggio a carotaggio continuo (S1, S2 ed S4), di cui una al centro del tratto interessato dalla frana (S4), e le altre due sulla sede stradale stabile, immediatamente alla sinistra (S1) ed alla destra (S2) del tratto franato, guardando da monte verso valle.

Nel corso delle perforazioni sono state effettuate, con discreta continuità, n. 32 prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test).

CONSULENZA GEOTECNICA

Nel sondaggio S4 è stata installata una tubazione inclinometrica fino alla massima profondità del foro (40 m), per le misure inclinometriche da eseguirsi successivamente.

Nel sondaggio S1, profondo 30 m, è stato installato un piezometro Casagrande alla profondità di 12 m.

Il sondaggio S2 è stato rivestito con una tubazione in PVC, per la esecuzione successiva di misure Down-Hole fino alla massima profondità di 30 m.

- N.1 verticale di sondaggio a distruzione di nucleo (S3DN), in prossimità del sondaggio S4, per l'installazione di n.2 piezometri Casagrande, alle profondità di 9 e 20 m. Nel corso della perforazione sono state effettuate n. 7 prove penetrometriche SPT.

- Prelievo di n.6 campioni indisturbati e n.2 campioni rimaneggiati, per l'esecuzione di prove fisiche e meccaniche di laboratorio.

In particolare, per quanto concerne le prove meccaniche, sono state eseguite n. 2 prove di compressione edometrica, n.5 prove di compressione triassiale (drenate e non drenate) e n.3 prove di taglio diretto, con determinazione sia della resistenza di picco, sia della resistenza residua.

3.2 SONDAGGI E PROVE IN SITO

3.2.1 Sondaggi geotecnici

I 4 sondaggi geotecnici (S1÷S4) sono stati ubicati tutti sull'asse stradale della SP1, come da ubicazione riportata nella planimetria della Tav. 1 "Carta ubicazione indagini" della relazione Tecnica-Geofisica della Geoproject, allegata alla presente. Per comodità, nella seguente Figura 4 è comunque riportato uno stralcio della suddetta planimetria, con l'indicazione delle verticali d'indagine.

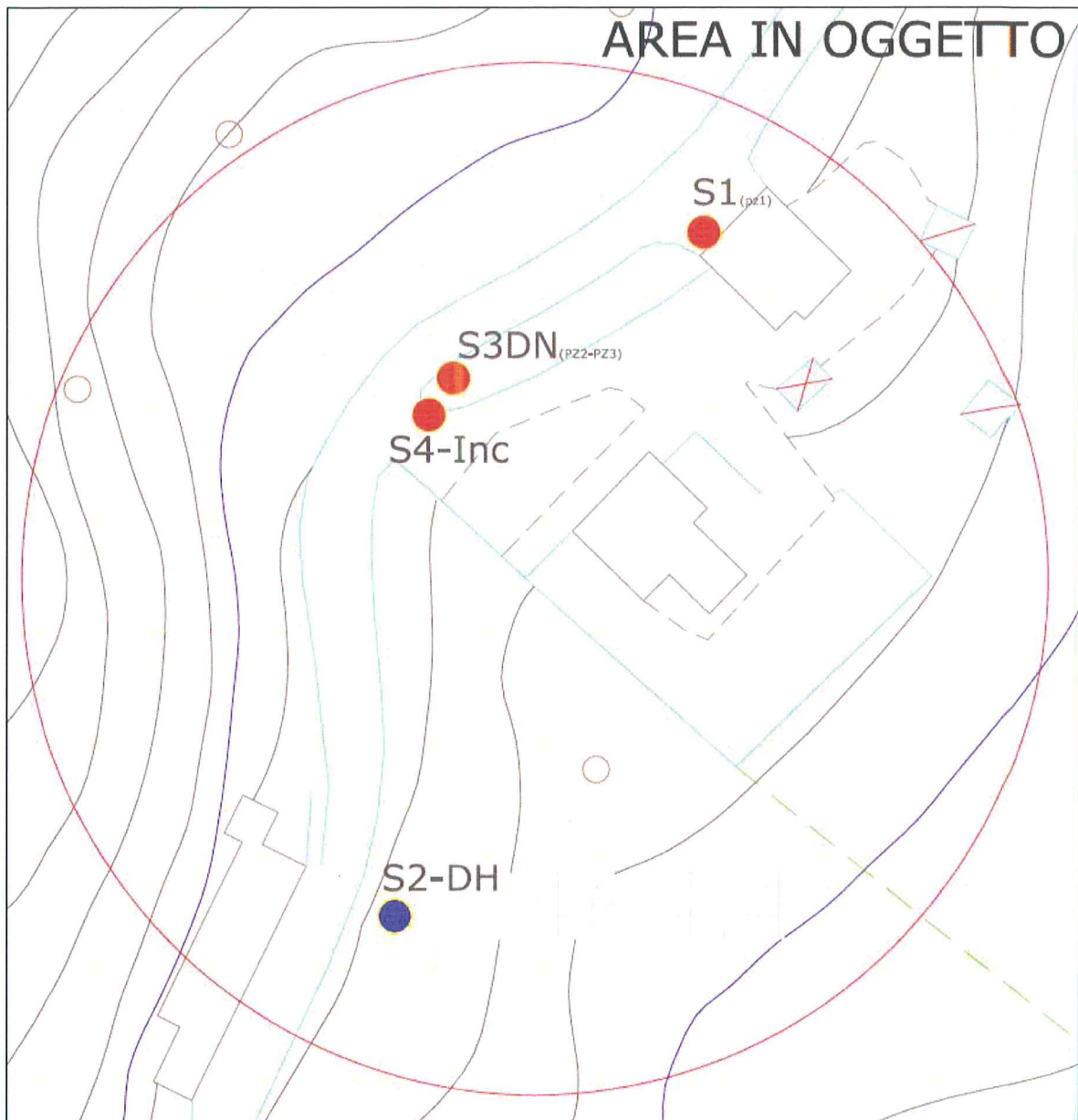


Figura 4 – Planimetria con ubicazione delle verticali di indagine

Le informazioni sui sondaggi e sul numero di prove SPT e di campioni prelevati sono sintetizzate in Tabella II.

I sondaggi sono stati realizzati tutti a carotaggio continuo, eccetto il sondaggio S3DN, eseguito a distruzione di nucleo, allo scopo di installare due piezometri per il rilievo della falda.

CONSULENZA GEOTECNICA

Tabella II – Indagini insito

Sondaggio	L (m)	N° prove SPT	N° campioni	Piezometri Casagrande
S1	30	8	1	-12 m
S2°	30	13	3	-
S3DN ⁺	~25	7	-	-9m, -20 m
S4 [#]	40	11	2+2*	-

°con tubazione per successive prove DH; +a distruzione di nucleo;

#con tubazione per successivo monitoraggio inclinometrico; * rimaneggiati

I 4 sondaggi, con le 3 stratigrafie opportunamente interpretate e confrontate con il rilevatore geologo in cantiere, e con l'indicazione classica delle altre prove effettuate nel corso delle perforazioni, sono rappresentati singolarmente nell'Allegato A alla Relazione Tecnica-Geofisica della Geoproject. Per comodità, esse sono riprodotti, in formato ridotto, nelle seguenti Figure 5÷8.

Una ubicazione schematica dei 4 sondaggi in sezione è riportata invece nella Tav. 2 "Carta sezioni indagini" della già citata relazione Tecnica-Geofisica della Geoproject, allegata alla presente. Tale rappresentazione, che non può essere tuttavia considerata una sezione stratigrafica, è riprodotta nella seguente Figura 9: essa ha lo scopo essenziale di rappresentare in un unico grafico le differenze di quote assolute tra i tre sondaggi a carotaggio continuo.

Di seguito, sono sinteticamente descritte le due unità litologiche principali, identificate nei sondaggi, procedendo dal fondo foro verso il piano campagna.

❖ A Argille grigio-azzurre di base

Si tratta di argille limose e sabbiose, generalmente compatte, a luoghi marnose. Esse si rinvencono in tutti e tre i sondaggi a carotaggio continuo, alle seguenti profondità:

- nel sondaggio laterale S1, situato più a Nord, il tetto della formazione argillosa è a -7.7 m dal piano campagna (che è a quota assoluta di 465.8 m s.l.m.);

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento franoso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

Ø mm	R v	Pz metri	LITOLOGIA	prof. m	Speci. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test		Campioni	
							m	S.P.T. N		
		1		1.3	1.3	Materiale di riporto antropico costituito da clasti calcarei a spigoli vivi di diametro centimetrico immersi in poca matrice sabbiosa sciolta.				
		2				Alternanza di livelli decimetrici di limo e sabbie fini sciolte di colore beige. nello specifico si osservano: -Limo e sabbie da 1.30-1.60m di profondità dal p.c. -Sabbie debolmente limosa con clast millimetrici 1.60-2.90m di profondità dal p.c. -Limo alternato a livelli argillosi 2.90-3.80m di prf. dal p.c. -Limo sabbioso medio grossolano umido debolmente argilloso da 3.80 a 5.00m di prf. dal p.c. -Livello dimoso debolmente argilloso da 5.00-7.70 di prf. dsal p.c.	4.5	12-19-30	49	
		3								
		4								
		5								
		6						6.5	13-21-33	54
		7								
		8		7.7	6.4					
		9				Livelli argilloso limoso debolmente sabbioso / sabbioso limoso debolmente argilloso molto consistente di colore grigio azzurro Nello specifico si osservano: -Argilla debolmente sabbioso molto consistente da 7.70- 9.20m di profondità dal p.c. -Limo argilloso debolmente sabbioso con inclusi clasti lapidei centimetrici da 9.20-11.60m di profondità dal p.c. -Livello con prevalenza di frazione fine qualè limo e argilla debolmente sabbioso da 11.60 a 30.00m di prf. dal p.c. con tratti marnosi inclusi	8.5	30-50/3cm	Flf	
		10								
		11						10.5	21-27-38	65
		12								
		13								
		14								
		15								
		16						16.5	19-30-44	74
		17								
		18						19.0	19-30-44	74
		19								
		20								
		21					21.5	33-50/1cm	Flf	
		22								
		23								
		24								
		25								
		26								
		27					27.5	34-46-50/2cm	Flf	
		28								
		29								
		30		30.0	22.3					

Figura 5 – Sondaggio S1, ubicato più a Nord

- nel sondaggio centrale S4 le argille si rinvencono a -6.0 m dal p.c.; considerando che il p.c. è a circa 463.8 m s.l.m., il tetto delle argille è più o meno alla stessa quota assoluta (circa 458 m s.l.m.) cui si trova anche nel sondaggio S1;
- nel sondaggio laterale S2, situato più a Sud, il tetto si rinviene invece a -11.7 m dal p.c., a quota assoluta di circa 425.4 m s.l.m., e quindi circa 5.5 m più in basso rispetto agli altri due sondaggi.

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento franoso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

Ø mm	R metri ban.	LITOLOGIA	prof. m	spess. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test			Campioni	
						m	S.P.T.	N		
	1		0.9	0.7	Asfalto					
	2				Materiale di riporto antropico costituito da clasti calcarei a spigoli vivi di diametro centimetrico immersi in poca matrice sabbiosa sciolta.	2.0	13-13-15	28		
	3				Livello di sabbioso medio fine limoso moderatamente addensato di colore beige asciutto alternato a tratti limosi sabbiosi.	4.0	14-15-18	34		
	4					6.0	13-17-20	37		
	5					8.0	14-17-39	56	1) Shia < 7.50 8.00	
	6					10.5	11-15-21	36	2) Shia < 10.00 10.50	
	10		10.0	9.1	Livello di sabbie medio -medio fine sciolta umida - poco bagnata di colore grigiastro					
	11				Livello argilloso limoso debolmente sabbioso / sabbioso limoso debolmente argilloso molto consistente di colore grigio azzurro. A partire da i 16 metri di profondità aumentano notevolmente i tratti a prevalenza fine consistente marnosi argillosi.	12.0	29-50/1cm	Flf		
	12		11.7	1.7			14.0	50/2cm	Flf	
	13						16.0	40-50/2cm	Flf	3) Shia < 14.50 15.00
	14						18.0	50/3cm	Flf	
	15						20.0	50/2cm	Flf	
	16						22.0	36-50/2cm	Flf	
	17						24.0	45-50/1cm	Flf	
	18						26.0	36-50/2cm	Flf	
	19									
	20									
	21									
	22									
	23									
	24									
	25									
	26									
	27									
	28									
	29									
	30		30.0	18.3						

Figura 6 – Sondaggio S2, ubicato più a Sud

Le prove penetrometriche SPT in queste argille vanno quasi sempre a rifiuto, a conferma della buona consistenza di questi materiali. Le prove in laboratorio, come si vedrà, hanno fornito risultati talora contraddittori (soprattutto per quanto concerne lo stato di sovraconsolidazione desumibile dalle prove di compressione edometrica); si ritiene che i risultati siano in parte condizionati dal campionamento e dalla provinatura, e probabilmente da qualche incertezza operativa nella fase di sperimentazione in laboratorio; pertanto si suggerisce un approfondimento della sperimentazione in laboratorio nel corso delle indagini della fase esecutiva.

CONSULENZA GEOTECNICA

Pz	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	spess. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test		
						m	S.P.T.	N
	1.					2.0	10-11-16	27
	2.							
	3.							
	4.					4.0	10-13-19	32
	5.							
	6.					6.0	12-26-33	59
	7.							
	8.					8.5	50/4cm	RII
	9.							
	10.							
	11.				DISTRUZIONE DI NUCLEO			
	12.					12.0	50/2cm	RII
	13.							
	14.							
	15.					15.0	50/2cm	RII
	16.							
	17.					17.5	50/3cm	RII
	18.							
	19.							
	20.							
	21.							
	22.							
	23.							
	24.							
	25.							
	26.							
	27.							
	28.							
	29.							
	30.		30.0	30.0				

Figura 7 – Sondaggio S3DN, ubicato nella zona centrale in frana

❖ **LS Alternanze di Limi sabbiosi e Sabbie limose**

Si tratta dello strato limoso-sabbioso di copertura delle argille, con spessore variabile dai 5-6 m (sondaggi S1 ed S4) fino ad oltre 10 m (S2). Sono materiali discreti, come desumibile sia dai valori del numero di colpi NSPT desunti dalle prove penetrometriche, abbastanza elevati, sia dai risultati delle prove di laboratorio, in generale discreti.

Nei sondaggi S1 ed S2, al di sopra dei terreni LS, sono stati rinvenuti modesti spessori di materiali antropici, di circa 1m; il loro spessore è ovviamente maggiore nel sondaggio S4, ubicato nel corpo di frana.

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento franoso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

Ø mm	R v	metri m	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Standard Penetration Test			Campioni	
							m	S.P.T.	N		
		1				Materiale di riporto antropico costituito da clasti calcarei a spigoli vivi di diametro centimetrico immersi in poca matrice sabbiosa scioltà.	2.0	10-6-11	17		
		2		2.0	2.0	Materiale di riempimento fortemente compattato limoso sabbioso fine asciutto passante a circa 4-6m di profondità a probabile materiale movimentato dalla frana di natura limoso sabbioso fine sciolto poco addensato.	5.0	11-16-13	29	1) She < 4.50 5.00	
		3									
		4									
		5									
		6		6.0	4.0						
		7				Livelli argilloso limoso debolmente sabbioso / sabbioso limoso debolmente argilloso molto consistente di colore grigio azzurro. Nello specifico si osservano i seguenti liveletti: -Sabbia limosa debolmente argillosa da 6.00-7.00m di profondità dal p.c. -Sabbia fine limosa 7.00-8.00m di prof. dal p.c. -Sabbia molto fine limosa da 8.00-9.00m di prof. dal p.c. -Sabbia con limo 9.00-9.50 di prof. dal p.c. -Alternanza di Argilla sabbiosa con tratti cementati centimetrici inclusi e sabbie limose debolmente argillose da 9.50-37.00m di profondità. Alla quota 33m si osservano sporadici lapideei inclusi con trovante di natura calcareo marnoso di diametro decimetrico. -Marna argillosa a consistenza lapidea da 37.00-39.00m di profondità dal p.c. -Livello limoso argilloso debolmente sabbioso	7.0	34-50/1cm	Flf		
		8					8.5	50/2cm	Flf		
		9									
		10									
		11									
		12						12.0	50/1cm	Flf	2) She < 11.50 12.00
		13									
		14									
		15									
		16						16.5	50/2cm	Flf	
		17									
		18									
		19						19.0	50/2cm	Flf	
		20									
		21									
		22									
		23									
		24					24.0	50/1cm	Flf		
		25									
		26									
		27									
		28					28.0	50/3cm	Flf		
		29									
		30									
		31									
		32					32.0	50/1cm	Flf		
		33									
		34									
		35									
		36									
		37					37.0	50/2cm	Flf		
		38									
		39									
		40		40.0	34.0						

Figura 8 – Sondaggio S4, ubicato nella zona centrale in frana

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento franoso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

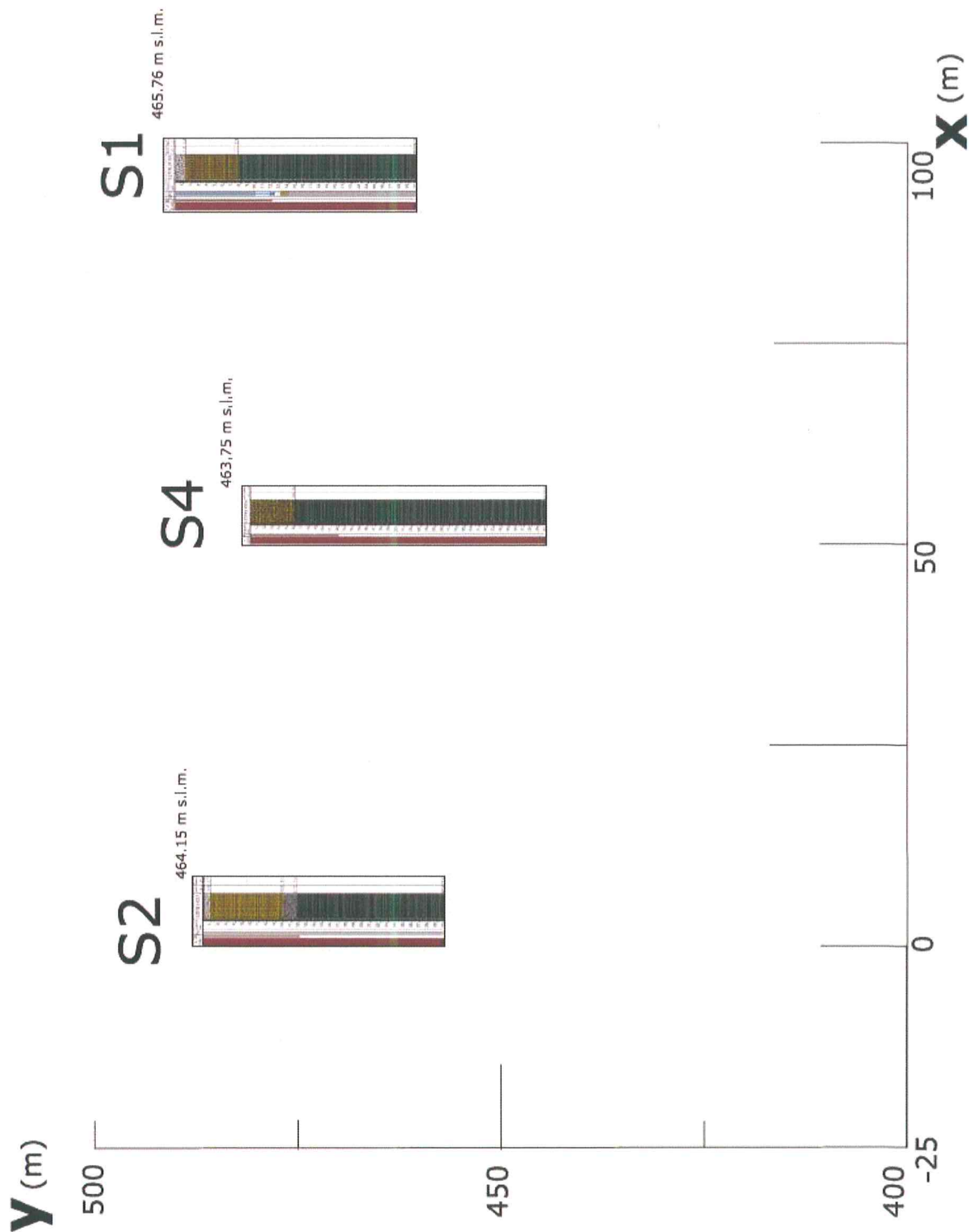


Figura 9 – Rappresentazione schematica dei tre sondaggi a carotaggio continuo, in un piano verticale

CONSULENZA GEOTECNICA

3.2.2 Prove penetrometriche SPT

Nel corso di tutte e quattro le perforazioni di sondaggio sono state effettuate misure penetrometriche SPT, allo scopo di ottenere indicazioni qualitative sullo stato di addensamento nei terreni sabbiosi, e sulla consistenza nei terreni argillosi; tali indicazioni sono certamente affidabili, in quanto la possibilità di errori sperimentali nella fase esecutiva è molto ridotta.

I risultati delle prove sono riportati tutti insieme in Figura 2, distinti per i materiali di copertura LS e per la formazione di base A.

E' evidente la differenza nella risposta dei due terreni. Nelle argille inferiori la prova va quasi sempre a rifiuto ($N_{SPT}=100$), indicando una consistenza elevata. Anche nei materiali di copertura LS i valori, in generale compresi tra i 30 ed i 50 colpi, sono comunque medio-alti per le profondità (ed i modesti stati tensionali efficaci) di misura, ed indicano pertanto un discreto stato di addensamento dei terreni.

3.2.3 Misure piezometriche

Le misure dei livelli di acqua in foro, come già anticipato, sono state effettuate mediante tre piezometri Casagrande installati in:

- sondaggio S1, piezometro Pz1 a quota -12 m dal p.c.
- sondaggio S3DN, piezometri Pz2 e Pz3 a quote -9 e -20 m dal p.c.

Per il dettaglio delle misure si rimanda alla relazione Geoproject; in sintesi, le misure effettuate nel tempo evidenziano quanto segue:

- nel sondaggio S1 il pelo libero della falda è sostanzialmente poco al di sopra del tetto della formazione argillosa di base, a circa -7 m dal p.c., con una certa escursione verso l'alto nei mesi invernali (come confermato dalla lettura del 12/03/2015, con livello piezometrico a -5.35 m dal p.c.)

Standard Penetration Test

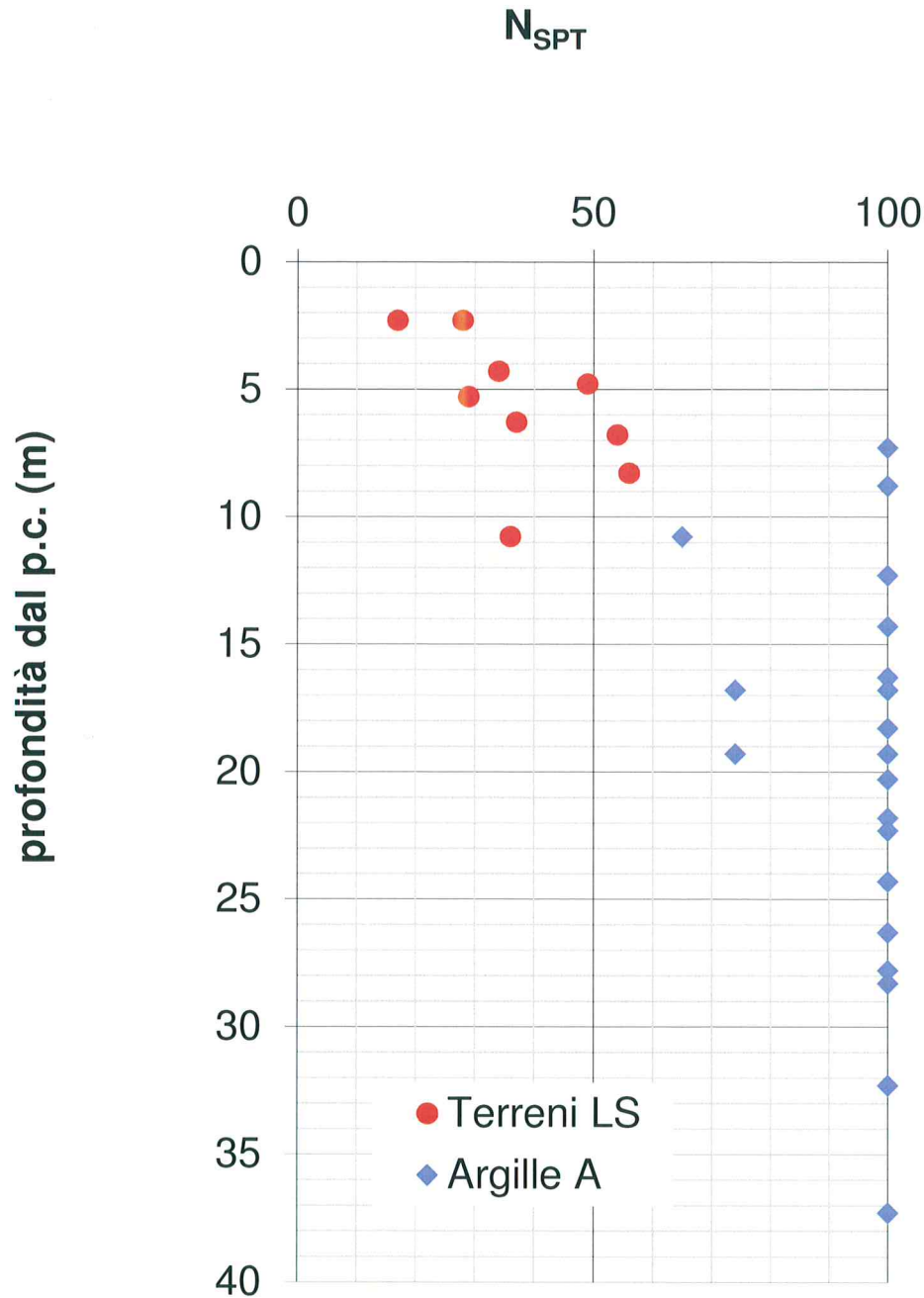


Figura 10 – Risultati delle prove SPT nei terreni di copertura (LS) e nella formazione argillosa di base (A)

CONSULENZA GEOTECNICA

- nel sondaggio S3DN, con doppio piezometro Pz2 a -9m e Pz3 a -20 m dal p.c., si rileva anzitutto una sistematica differenza nelle altezze piezometriche misurate lungo la verticale: in Pz2 la quota è di circa 1÷2 m più alta rispetto a quella rilevata in Pz3, ubicato in verticale 11 m più sotto. Ciò indicherebbe un moto di filtrazione con componente di velocità dall'alto verso il basso.

Il pelo libero della falda, sulla base delle letture effettuate in Pz2, si troverebbe circa 4-5 m al di sopra del tetto delle argille di base, all'interno dei materiali LS.

Dal confronto fra le letture piezometriche lungo le due verticali S1 ed S3DN emergerebbe che le quote piezometriche in S1 (sulla strada "stabile", e quindi a quota assoluta più alta di circa 2 m) sono sistematicamente (nel tempo) più elevate rispetto a quelle in S3DN, per cui ci sarebbe anche un moto di filtrazione con componente di velocità diretta verso il corpo frana.

Tali evidenze dovranno essere suffragate da un più fitto monitoraggio delle quote piezometriche nel corso delle indagini geotecniche della fase esecutiva.

3.2.4 Indagini geofisiche in foro: Down-Hole

Nel sondaggio S2, ubicato lateralmente alla frana (in direzione Sud), è stata eseguita una verticale di prove Down-Hole (DH), dalla superficie fino a fondo foro (30 m), tese essenzialmente alla misura della velocità di propagazione V_s delle onde di taglio SH.

I risultati delle misure DH sono illustrati in dettaglio nella "Relazione tecnica - geofisica" della Geoproject, allegata alla presente.

In sostanza, anche le prove DH confermano la buona qualità dei terreni del sottosuolo, avendo fornito nei primi 30 m investigati una velocità equivalente $V_{s30}=617$ m/s. A tale valore corrisponderebbe, ai fini della valutazione dell'amplificazione sismica locale in accordo con le NTC2008, una classe di sottosuolo tipo "B".

CONSULENZA GEOTECNICA

Nel dettaglio, nella relazione Geoproject si individuano, dalla interpretazione dei dati sperimentali, 3 sismostrati a differente velocità:

- un primo sismostrato più superficiale, di spessore 7 m circa, e quindi ricadente interamente nei materiali di copertura LS (è infatti classificato da Geoproject come "Limo sabbioso-argilloso"), con una velocità V_s di circa 480 m/s;
- un secondo sismostrato, tra i 7 ed i 24 m, classificato come "Argilla", con una velocità V_s di circa 549 m/s; in realtà esso ricade nella parte superiore, per circa 5 m, nei materiali di copertura LS, e per la rimanente parte, circa 12 m, nelle porzione superficiale delle argille di base;
- un terzo ed ultimo sismostrato, fino a fondo foro, che essendo molto più rigido, con velocità V_s di oltre 2000 m/s, è classificato come "Argilla molto consistente".

E' evidente che nella fase di interpretazione dei dati non si è valutata una "eventuale" corrispondenza tra "rigidezza sismica" e caratteristiche stratigrafiche, come atteso; cionondimeno le misure sperimentali confermano comunque la elevata "rigidezza sismica" dei materiali nel loro complesso.

E' infine da notare che, dall'esame dei dati sperimentali grezzi, rappresentati come tempi di viaggio delle onde in funzione della profondità, emergerebbero delle cadute di velocità "localizzate" tra i 6 ed i 7 m, e tra i 16 ed i 17 m circa (vedi diagramma a pag. 32 della "Relazione Tecnica-geofisica").

Tali punti sperimentali sono stati "obliterati" dalla interpolazione lineare dei dati, probabilmente in considerazione del fatto che a tali profondità non sono state riscontrate anomalie stratigrafiche. Nel corso delle indagini della fase esecutiva sarà comunque opportuno verificare tale assunzione.

3.3 INDAGINI IN LABORATORIO

3.3.1 Impostazione del programma di prove

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati 8 campioni di terreno, di cui n. 6 campioni indisturbati (CI) e n.2 campioni rimaneggiati (CR), allo scopo di pervenire alla caratterizzazione fisica e meccanica dei singoli terreni.

E' stato pertanto redatto un apposito programma di prove, sia per i 6 CI prelevati nelle Argille di base e nei materiali di copertura LS, sia per i 2 CR prelevati nella fascia di terreno intremedia, probabile sede dello scorrimento in occasione dell'evento franso.

Nei materiali di copertura LS sono stati prelevati n. 3 CI.

L'obiettivo primario della sperimentazione è stata la determinazione delle caratteristiche di resistenza, con particolare attenzione alla resistenza residua. Pertanto, su 2 campioni sono state effettuate prove di taglio diretto (TD), spinte fino al residuo, mentre sul terzo campione è stata effettuata una prova di compressione triassiale consolidata drenata (TX-CID), in considerazione delle caratteristiche granulometriche prevalenti nello strato.

Nelle argille di base A sono stati prelevati n. 3 CI.

Un primo obiettivo della sperimentazione è stata la valutazione del grado di sovraconsolidazione del banco, per poi scegliere congruentemente i valori delle tensioni di confinamento da applicare nelle prove triassiali; pertanto su due campioni sono state effettuate prove di compressione edometrica (ED), che hanno fornito anche indicazioni sulla compressibilità dei terreni.

Un altro precipuo obiettivo è stato la determinazione, per questi materiali a granulometria fine, delle caratteristiche di resistenza sia in condizioni non drenate (a breve termine), sia in condizioni drenate (a lungo termine). A tal fine sono state effettuate sia n. 2 prove di compressione triassiale consolidate

CONSULENZA GEOTECNICA

drenate (TX-CID), sia n. 2 prove di compressione triassiale non consolidate non drenate (UU).

Nell'intorno del passaggio stratigrafico tra i materiali di copertura e le argille di base sono stati prelevati n. 2 CR, per effettuare una ulteriore valutazione della resistenza, ed in particolare di quella residua, all'interfaccia. Su uno di questi campioni è stato possibile effettuare una prova di taglio diretto (TD), spinta ovviamente fino al residuo.

3.3.2 Risultati delle prove

I risultati delle prove di laboratorio sono illustrati in dettaglio, con tabelle e diagrammi, nell' Allegato B della relazione della Geoproject, "Certificati Analisi e Prove di Laboratorio Geotecnico". Di seguito, in Tabella III, sono riportati l'elenco dei campioni ed i principali risultati delle prove di laboratorio.

Tabella III – Campioni e caratteristiche principali

Parametri/ campioni	MATERIALI LS			INTER FACCIA	ARGILLE DI BASE A		
	S2-C1	S2-C2	S4-C1	S4-CR1	S1-C1	S2-C3	S4-C2*
z (m)	7.5	10.0	4.5	6.0	10.0	14.5	11.5
γ_n (kN/m ³)	20.4	20.5					17.9
γ_{sat} (kN/m ³)			20.6		20.7	21.0	16.8
OCR						~ 1	~ 1
C' (kN/m ²)	6.4	16.9	19.0	36.4		15.3	13
φ' (gradi)	26.6°	33.5°	20.5°	29.5°		20.8°	20°
C'r (kN/m ²)		11.6	11.2	29.6			
$\varphi'r$ (gradi)		26°	12.2°	24.4°			
Cu (kN/m ²)						89.1	72.0

Grado di saturazione S=50% ! (campionamento difficile)

γ_n e γ_{sat} pesi dell'unità di volume naturale e saturo; OCR grado di sovraconsolidazione;

c' e φ' , c'r e $\varphi'r$ parametri di resistenza di picco e residua, in tensioni efficaci;

cu resistenza non drenata

3.4 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Le successione stratigrafica dei terreni rinvenuti nei diversi sondaggi è stata già illustrata nel par. 3.2.1. "Sondaggi geotecnici", in cui sono rappresentate anche le singole colonne stratigrafiche. In sintesi, a partire dal piano campagna, al di sotto di un eventuale modesto ricoprimento di terreni di riporto naturale o antropico, si rinvencono in successione le due diverse formazioni già descritte al par. 3.2.1. :

❖ **LS Alternanze di Limi sabbiosi e Sabbie limose**

❖ **A Argille grigio-azzurre di base**

Dalle stratigrafie dei singoli sondaggi, emerge che la superficie di separazione fra le due unità ha quota variabile, e tenderebbe ad immergersi spostandosi verso Sud, laddove il tetto delle argille di base si rinviene a quota inferiore di oltre 5 m (cfr. sondaggi S4 ed S2).

Pertanto, ai fini della progettazione delle opere per il ripristino della funzionalità della SP1, nella parte centrale dell'area (interessata dalla frana) sarà necessario, nella fase esecutiva, integrare le verticali di indagine; in tal modo sarà possibile definire con la necessaria precisione una sezione stratigrafica lungo l'asse stradale (laddove attualmente si dispone dell'unica verticale S4).

Nelle due zone laterali all'area in frana (laddove si dispone dei sondaggi S1 ed S2), le informazioni già acquisite in questa fase preliminare potrebbero invece ritenersi sufficienti (potrebbero essere suffragate da eventuali indagini indirette, quali ad es. prove penetrometriche statiche CPT, soprattutto nei materiali limo sabbiosi di copertura).

Per quanto concerne la falda, le misure effettuate indicano una sua oscillazione all'interno della formazione superiore (LS), qualche metro al di sopra del tetto delle argille di base. In questa fase si ritiene opportuno considerare, cautelativamente, la condizione di falda al tetto della formazione LS, soprattutto per la progettazione degli interventi all'interno della zona franata.

CONSULENZA GEOTECNICA

3.5 CARATTERIZZAZIONE FISICA E MECCANICA

Prima di procedere alla caratterizzazione dei terreni, è opportuno evidenziare che i campioni prelevati, soprattutto quelli contenenti una più significativa frazione a granulometria sabbiosa, potrebbero aver sofferto un apprezzabile grado di disturbo in fase di campionamento e/o provinatura (con potenziali effetti negativi o finanche positivi sulla loro risposta meccanica).

Tale circostanza spiegherebbe la discreta variabilità nei risultati ottenuti dalle prove fisiche e meccaniche. Peraltro nel caso dei terreni afferenti al deposito identificato come LS, tale variabilità, più accentuata, potrebbe dipendere in parte anche dalla eterogeneità intrinseca dei terreni afferenti alla formazione.

Nelle argille di base, invece, le maggiori perplessità derivano dalle prove edometriche, che fornirebbero l'indicazione di un banco normalmente consolidato (grado di sovraconsolidazione prossimo all'unità) e moduli edometrici mediocri, in contrasto con quanto emerge dalle prove in sito (penetrometriche e Down-Hole) su terreni indisturbati, che indicano materiali di consistenza molto elevata.

In questa fase della progettazione, è comunque possibile pervenire ad una caratterizzazione della resistenza dei terreni, valida ad effettuare valutazioni del comportamento di opere geotecniche allo stato limite ultimo.

In ogni caso, allorquando si procederà alla fase esecutiva, sarà opportuno prevedere un approfondimento delle indagini in laboratorio, per la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni.

Nella Tabella IV che segue si propone una duplice caratterizzazione, per ciascuna delle due formazioni **LS** ed **A**, distinguendo i terreni nell'area franata da quelli delle zone stabili. Tale caratterizzazione si basa essenzialmente sulla valutazione dei risultati delle prove di laboratorio riepilogati in Tabella III, valutazione confortata dai risultati delle altre prove in sito (prove penetrometriche dinamiche SPT e prove Down-Hole).

**Tabella IV – Limi sabbiosi (LS) ed Argille di base (A):
 caratterizzazione fisica e meccanica**

<i>Parametri</i>	LIMI SABBIOSI LS		ARGILLE DI BASE A	
	<i>Zone stabili (S1 ed S2)</i>	<i>Area in frana (S4)</i>	<i>Zone stabili (S1 ed S2)</i>	<i>Area in frana (S4)</i>
γ_{sat} (kN/m ³)	20	20	21	21
C' (kN/m ²)	0	0	15	13
ϕ' (gradi)	27°	20°	20°	20°
$C'r$ (kN/m ²)		0		
$\phi'r$ (gradi)		12°		
C_u (kN/m ²)			90	70

γ_{sat} peso dell'unità di volume saturo

c' e ϕ' , $c'r$ e $\phi'r$ parametri di resistenza di picco e residua, in tensioni efficaci;

C_u resistenza non drenata

4 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

Come già detto al par. 3.1, il programma delle indagini prevedeva un monitoraggio inclinometrico nell'area interessata dalla frana. Proprio a tal fine il sondaggio S4 è stato spinto fino a 40 m di profondità, per avere la certezza di penetrare nel sottosuolo stabile per un tratto sufficientemente lungo da poter rappresentare la parte fissa, rispetto alla quale leggere facilmente gli eventuali movimenti più superficiali.

Il sondaggio è stato pertanto rivestito con una tubazione inclinometrica fino a 40 m. Quindi, una volta avvenuta la presa della cementazione di fissaggio della tubazione all'interno del foro, è stata programmata la prima lettura di zero ad inizio Dicembre 2014.

CONSULENZA GEOTECNICA

4.1 DANNI ALLA STRUMENTAZIONE

Il 12 Dicembre 2014 la Geoproject si è recata sul sito, per effettuare la lettura di zero della verticale inclinometrica. Purtroppo ha dovuto constatare che l'inclinometro, calato nel foro, si arrestava alla profondità di 15 m, per la presenza di oggetti che ne ostruivano la discesa; tali oggetti erano stati evidentemente inseriti forzatamente nel foro, dopo averne manomesso il chiusino in superficie. E' da aggiungere che durante il sopralluogo venivano rilevati altri danni procurati alle attrezzature, e precisamente alle tubazioni dei piezometri Casagrande Pz1 e Pz3 (ed ovviamente ai chiusini in plastica dei fori stessi). Per i danni riscontrati la Provincia di Benevento inoltrava regolare denuncia contro ignoti ai Carabinieri di Ceppaloni competenti di zona.

Il 18 Dicembre 2014 la Geoproject, come da accordi con la provincia di Benevento, procedeva alla videoispezione eseguita della tubazione inclinometrica, che confermava chiaramente l'ostruzione a 15 m, dovuta alla presenza di rami di albero, sassi e carote di terreno. Sono state provate varie manovre e operazioni per liberare la tubazione dai materiali che la ostruivano, ma con esito negativo.

A questo punto, verificata l'impossibilità, dal punto di vista economico, di procedere ad una integrazione delle indagini per realizzare una nuova verticale inclinometrica profonda, si è deciso di effettuare le misure successive fino alla massima profondità possibile, di 15 m.

4.2 RISULTATI AL GIUGNO 2015

Dopo la prima misura di zero, effettuata nel Dicembre 2014, sono state effettuate ulteriori 3 misure inclinometriche, secondo il seguente calendario:

- 21 Gennaio 2015 (1ª lettura)
- 12 Marzo 2015 (2ª lettura)
- 8 Maggio 2015 (3ª lettura)

Le misure, protratte fino a 15 m di profondità, sono sintetizzate in Figura 11.

In essa sono diagrammate, in funzione della profondità, le componenti dello spostamento secondo due assi ortogonali, A e B, nel piano orizzontale.

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento franoso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

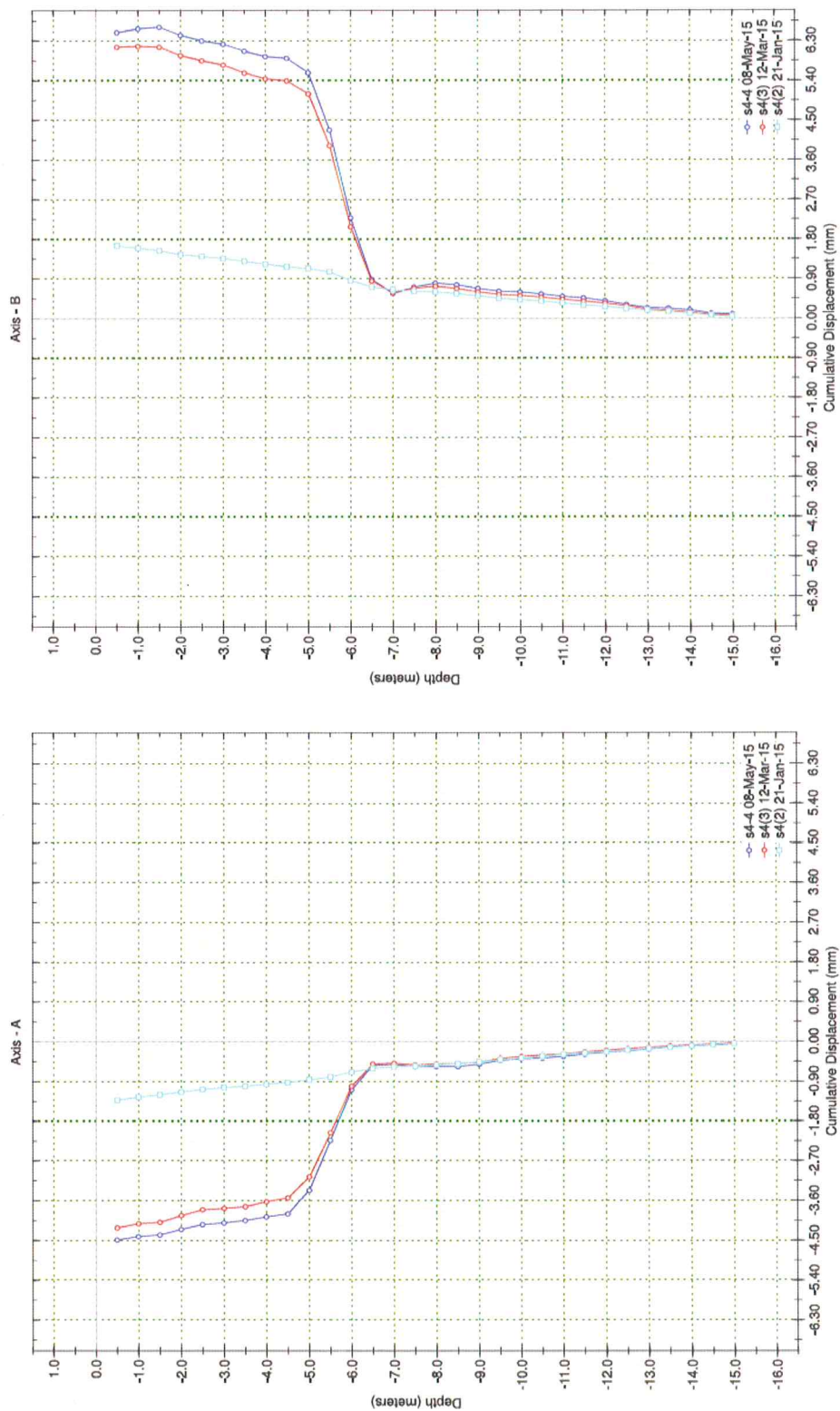


Figura 11 – Misure inclinometriche in S4; spostamenti cumulati nelle direzioni A e B

CONSULENZA GEOTECNICA

I diagrammi sono congruenti fra loro, evidenziando che, nel periodo tra il 21 Gennaio ed il 12 Marzo 2015, si è accumulato uno spostamento "traslativo" di uno strato più superficiale del sottosuolo; tale traslazione si è poi incrementata ulteriormente, ma con un gradiente minore, tra il 12 Marzo e l'8 Maggio.

Per una lettura più chiara del fenomeno, in Figura 12 è rappresentato, ingrandito, uno dei due diagrammi (quello secondo l'asse B).

Si evince chiaramente che il banco superficiale in movimento è di circa 5 m, con "scivolamento" concentrato in uno strato di circa 1.5 m, tra i 5 ed i 6.5 m di profondità. Nel periodo tra il 21 Gennaio ed il 12 Marzo 2015 la componente dello spostamento lungo l'asse B è di circa 4.5 mm; componendola con quella lungo l'asse A (di circa 2.7 mm), si ha uno spostamento totale di circa 5.2 mm, con un gradiente di circa 3.5 mm/mese. Tale gradiente, però, diminuisce sensibilmente nell'arco temporale tra il 12 Marzo e l'8 Maggio 2015 (poco più di 2 mm/mese).

Orientando il vettore nel piano, risulta che lo spostamento avviene proprio nella direzione EST-SUDEST del vecchio fenomeno franoso (a circa 135° da Nord).

4.3 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

In definitiva, le misure inclinometriche indicano chiaramente che, nel corso del fenomeno franoso, si è sviluppata una netta superficie di scorrimento a 5-6 m di profondità, lungo la quale persistono movimenti piccoli e lenti. Dal confronto con la stratigrafia del sondaggio S4, emerge che lo scivolamento si verifica proprio in una fascia di terreni all'interfaccia tra i materiali LS di ricoprimento e le argille di base A.

Tale indicazione è senz'altro di grande utilità per i progettisti, quale che sia la tipologia di opera strutturale che intendano adottare.

E' però doveroso ribadire che purtroppo, per i motivi prima esposti, le misure inclinometriche si arrestano a 15 metri di profondità.

Intervento di ripristino del tratto di strada provinciale SP1 interrotto a seguito dell'evento
franso del 04/12/2010

CONSULENZA GEOTECNICA

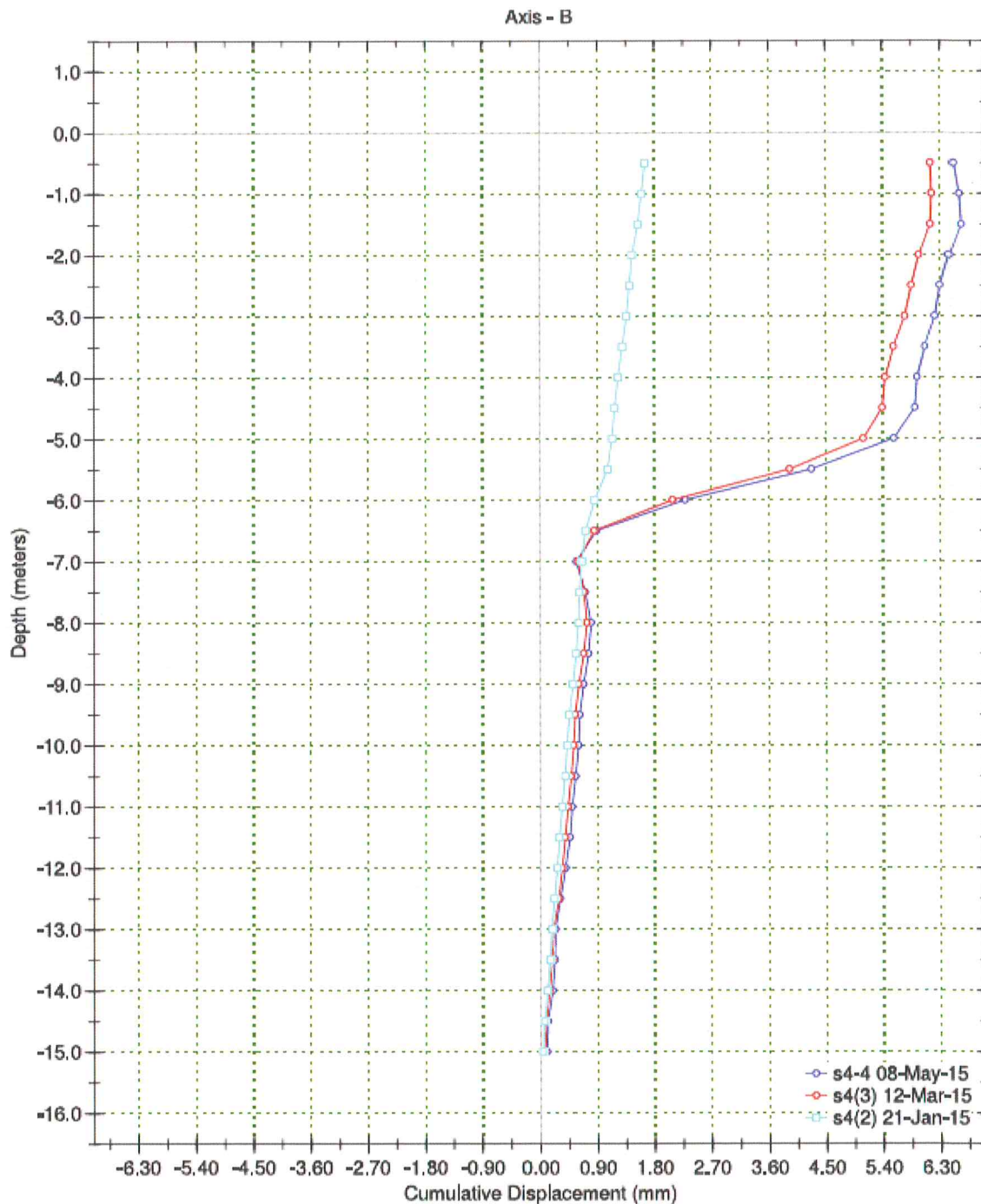


Figura 12 – Misure inclinometriche in S4; componente dello spostamento in direzione B

CONSULENZA GEOTECNICA

Pertanto, se in occasione del fenomeno franoso si fosse sviluppata anche una superficie di scivolamento più profonda (oltre i 15 metri), questa non sarebbe di fatto potenzialmente intercettabile dal monitoraggio in corso.

A parere di chi scrive, è probabile che quella intercettata dalle misure inclinometriche (a $-5\div 6$ m dal p.c.) sia l'unica superficie di scivolamento esistente, in quella parte di sottosuolo ubicata nella zona alta del versante.

Tuttavia è doveroso verificare tale ipotesi, nel corso delle indagini della fase esecutiva, predisponendo immediatamente un ulteriore monitoraggio spinto ad almeno 40 m (come d'altra parte lo scrivente aveva già fatto in questa fase delle indagini), al fine di escludere o meno, con certezza, ulteriori movimenti più profondi.

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel Dicembre 2010 la strada provinciale SP1, in località Covini del Comune di Arpaise (BN), è stata interrotta da una frana. Oggi la Provincia di Benevento sta predisponendo il progetto preliminare per il ripristino del tratto stradale, per cui ha affidato al sottoscritto una consulenza per lo studio geotecnico del sottosuolo dell'area.

Dopo varie fasi nella programmazione delle indagini, è stato infine realizzato un programma di prove e monitoraggio esclusivamente nelle aree di pertinenza della sede stradale.

Le indagini in sito hanno consentito di individuare, nel sottosuolo, due formazioni principali: una superiore, di materiali limosi e sabbiosi (**LS**), ed una di base, argillosa (**A**).

È stato possibile ricostruire la stratigrafia, seppure con riferimento a tre sole verticali di indagine. Una ricostruzione di dettaglio, necessaria per la progettazione esecutiva delle opere, dovrà essere effettuata nel corso delle indagini della fase esecutiva.

CONSULENZA GEOTECNICA

Per quanto concerne la caratterizzazione fisica e meccanica, sono stati utilizzati sia risultati acquisiti in laboratorio, sia i risultati di diverse prove in sito (prove penetrometriche SPT e prove sismiche Down-Hole in foro).

In sintesi, si tratta di terreni discreti (materiali **LS**) ovvero buoni (Argille **A**), sebbene alcune prove di laboratorio abbiano fornito risultati decisamente più modesti.

Qui viene fornita una caratterizzazione meccanica per la progettazione preliminare. Si raccomanda, nella fase esecutiva, una integrazione delle indagini, e soprattutto della sperimentazione in laboratorio.

Le misure inclinometriche, pianificate nel foro S4 nel corpo di frana fino ad una profondità di 40 m, si sono invece arrestate alla profondità di 15 (a causa del sabotaggio della tubazione inclinometrica, ad opera di ignoti). I risultati delle misure evidenziano una superficie di scorrimento (nel corpo di frana) ubicata a circa 5-6 m di profondità dal p.c.; a tale profondità corrisponde proprio il passaggio stratigrafico dai materiali limo-sabbiosi più superficiali (**LS**) alla formazione argillosa di base (**A**).

Al fine di accertare la presenza o meno di eventuali ulteriori superfici di scorrimento a profondità maggiori dei 15 m investigati, sarà necessario, nella fase esecutiva, predisporre un ulteriore monitoraggio inclinometrico profondo.

Napoli, Giugno 2015

(*prof. ing. Armando Lucio Simonelli*)



