

## LA FRANA DI SOLIGNANO. ANALISI DI UN FENOMENO GRAVITATIVO COMPLESSO

Dott. Geol. P. FROLDI

*Responsabile Servizio Geologico-Geotecnico,  
Rocksoil S.p.A., Milano*

Prof. Ing. P. LUNARDI

*Docente di Consolidamento e Difesa  
del Suolo, Università di Parma*

### INTRODUZIONE

La dorsale appenninica presenta, a causa delle sue caratteristiche genetiche, vaste estensioni di terreni a prevalente componente argillitica denominati generalmente con il termine "Argille Scagliose" o "Complesso Caotico".

Le caratteristiche di deformabilità e resistenza di dette argilliti, e soprattutto le loro proprietà plastiche e reologiche, determinano sul territorio estesi dissesti gravitativi di elevata importanza nei confronti sia degli insediamenti abitativi sia delle attività antropiche connesse (reti viarie, servizi, ecc.).

I fenomeni deformativi che interessano i versanti montuosi evidenziano caratteristiche complesse dal punto di vista sia dinamico (tempi e velocità di deformazione) sia cinematico (direzioni dei movimenti); l'evoluzione geologica dei terreni e le loro proprietà geotecniche possono considerarsi gli elementi predisponenti all'instabilità la quale risulta spesso innescata e favorita dagli eventi meteoroclimatici a carattere stagionale.

L'articolo si sviluppa sull'analisi di un fenomeno gravitativo in terreni argillitici caotici che, per le sue caratteristiche dinamiche e cinematiche alquanto complesse, riveste notevole interesse geologico e geotecnico.

### BREVE CRONISTORIA E DESCRIZIONE DEGLI EVENTI

Oggetto del presente studio è l'analisi di due fenomeni gravitativi individuati in corrispondenza dei lavori di realizzazione della Linea Ferroviaria di Potenziamento del "Nuovo Itinerario Pontremolese" presso l'abitato di Solignano (PR), in sinistra idrografica del F. Taro.

Il primo di questi fenomeni, verificatosi in corrispondenza di abbondanti e persistenti precipitazioni meteoriche concomitanti ad alcuni lavori di movimento terra di modeste proporzioni, è riconducibile ad una frana per scorrimento traslazionale e viene identificato nel seguito, per la sua estensione piuttosto ridotta, con il termine "Frana piccola".

Il secondo dissesto, la cui genesi e natura trascende completamente dai lavori di realizzazione della linea ferroviaria, occupa un'estensione piuttosto elevata dell'ordine dell'intero versante vallivo, presenta caratteristiche più complesse del tipo "creep" e viene denominato "Frana grande"; esso comprende, alla sua base, la "Frana piccola".

La denominazione "Frana grande" non deve essere intesa nel senso più stretto del termine ma va genericamente intesa come dissesto gravitativo.

La "Frana piccola" vede il suo evolversi tra la data del 25 Settembre 1989, giorno del suo innesco e il mese di Gennaio 1993 dove la completa realizzazione dell'opera di stabilizzazione al piede del dissesto ne rallenta l'evoluzione fino a bloccarla completamente.

Decisamente più complessa risulta invece l'evoluzione della "Frana grande" ricadente in un versante già diffusamente deformato; di tale fenomeno non se ne può identificare né una data di origine né un periodo di assestamento. Le sue caratteristiche evolutive di "creep di versante" lo rendono inquadrabile come un fenomeno preesistente nell'ambito del modellamento del territorio operato dalla gravità e dagli agenti morfoclimatici.

### QUADRO GEOLOGICO

L'area, secondo quanto riportato dal Foglio Geologico 85 [AA.VV. - Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000], rientra in una zona cartografata come "Caotico" e delimitata da due presunte strutture disgiuntive che la separano da una plaga costituita dalle ben note Argille Scagliose Auct. [AA.VV. - Carta Geologica della Provincia di Parma e zone limitrofe] ("Caotico": "Complesso prevalentemente argilloso di origine pluriformazionale, Cretaceo). I materiali presenti in area frana sono generalmente rappresentati da argille e argilliti scure alternate in profondità a livelli calcareo-silicei chiari. Morfologicamente l'area è contraddistinta dai caratteri tipici dei versanti appenninici i quali mostrano, nell'ambito di un assetto orografico particolarmente articolato per l'estrema varietà dei terreni affioranti, forme per lo più legate ad una dinamica evolutiva del tutto peculiare. Infatti, come evidente da un esame morfologico generale, nell'area sono largamente ricorrenti forme superficiali caratteristiche di dissesti diffusi e generalizzati e anomalie morfologiche dovute a deformazioni del suolo quali gobbe, contropendenze, avvallamenti, ecc.; l'area si presenta inoltre completamente denudata dalla vegetazione. La situazione locale è quindi da vedersi nel quadro di una dinamica evolutiva di tipo attualistico che si esplica attraverso stadi di quiescenza e di movimento indissolubilmente collegati e che non trova, se non nei tempi geologici, soluzione di continuità.

L'area in frana risulta cartografata nel Foglio 85 della Carta Geologica d'Italia.

Da un indagine in situ si è rilevata la presenza di un contorno principale di dissesto (Fig. 1, Foto 1) esteso dalla quota  $\approx$  330 m fino alla quota interessata dai lavori della linea del Potenziamento Itinerario Pontremolese (cfr. area "Frana grande").

L'area sottesa da tale contorno principale è suddivisa al

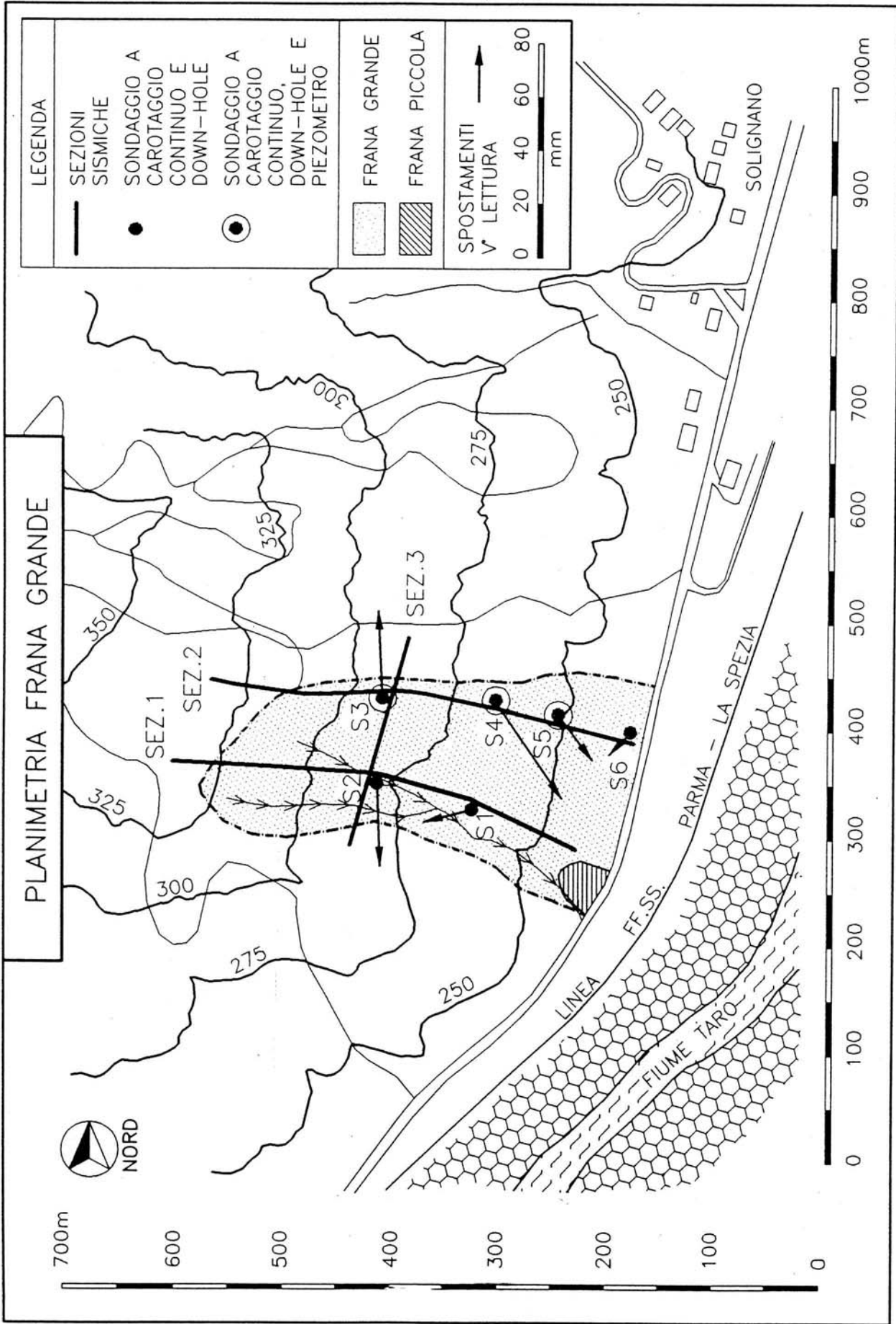


Fig. 1

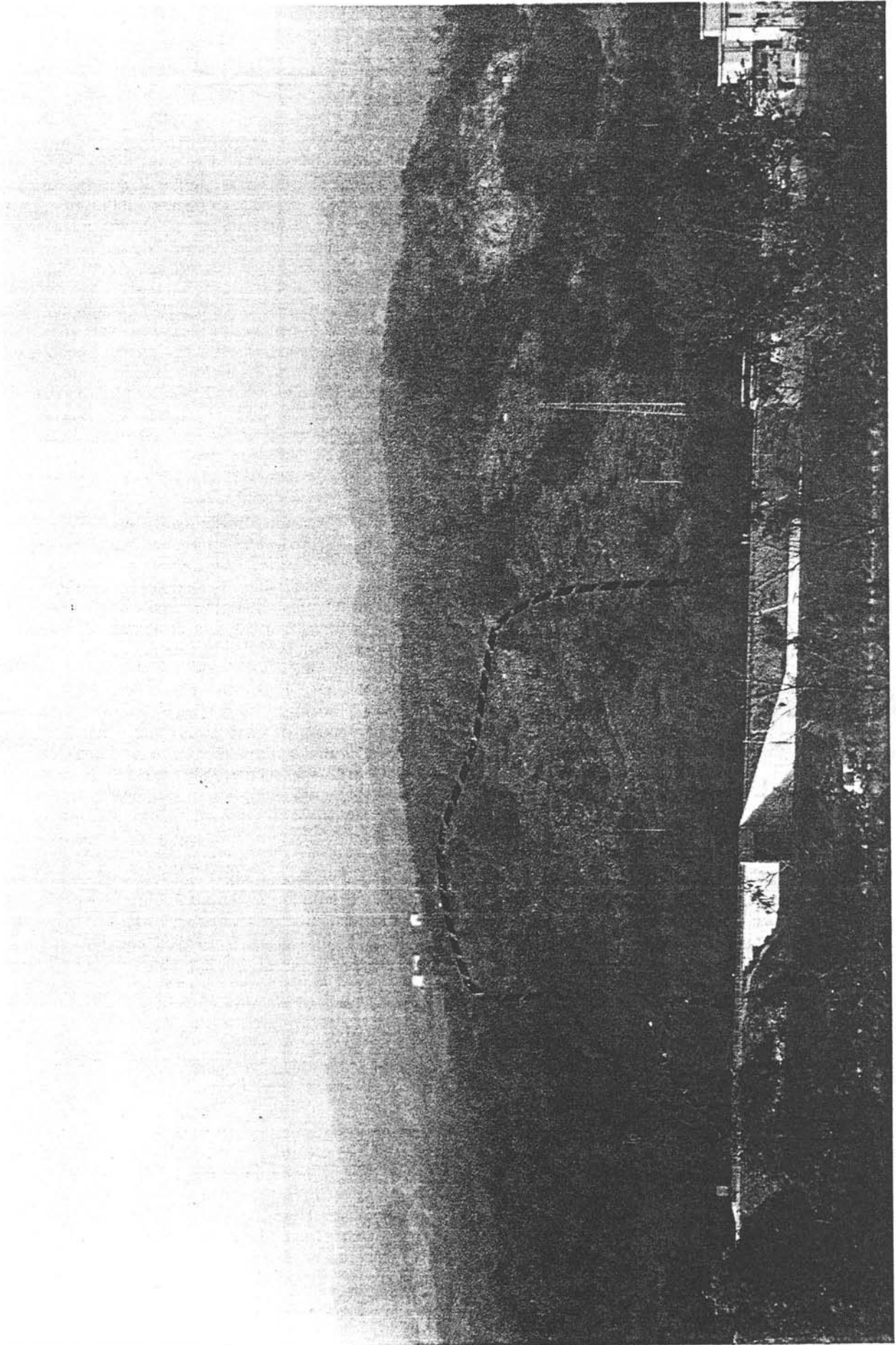


Foto 1

suo interno, in senso longitudinale, da un alto morfologico che genera in tal modo due distinte lingue aventi un'origine comune. In questi due distinti corpi si inseriscono due direttrici superficiali di drenaggio. Nel corpo idrograficamente (rispetto al F. Taro) più a monte (Sud), la direttrice di drenaggio subisce una biforcazione all'altezza della nicchia secondaria di valle contornante la zona denominata "Frana piccola" (Fig. 1).

Litologicamente il materiale risulta alquanto disomogeneo e caoticizzato: in superficie l'ammasso si presenta con un materiale a matrice di natura limoso-argillosa con dispersi ed inglobanti elementi a pezzatura eterogenea e generalmente grossolana, a spigoli vivi e di natura calcareo-marnosa (Foto 2). Esso può essere classificato nel Gruppo B Classe B3 della "Classificazione delle formazioni strutturalmente complesse" [Esu, 1977; AGI, 1979].

Dal punto di vista idrogeologico il materiale appare dotato di una scarsa permeabilità primaria a causa dell'abbondante frazione di materiale fine che caratterizza la matrice principale; la permeabilità secondaria, invece, è evidente laddove la fessurazione superficiale è più elevata e soprattutto in corrispondenza delle fessure superficiali di trazione.

Infine è da sottolineare la frequente presenza, in tutto il pendio compreso tra le citate quote, di discontinuità morfologiche caratterizzanti deformazioni generalizzate, come anche testimoniato dall'assenza di vegetazione sul corpo principale del dissesto.

## DESCRIZIONE DEL FENOMENO "FRANA PICCOLA"

### Campagna geognostica e di laboratorio

Per la caratterizzazione geologico-geotecnica della frana sono stati eseguiti n. 3 sondaggi a carotaggio continuo terebrati fino alla profondità di 30 m e ubicati come da figura 2.

All'interno di ogni sondaggio sono state eseguite:

- prove penetrometriche dinamiche SPT;
- prove di Pocket - Penetrometer (PP), sulle carote estratte;
- posa in opera di tubi inclinometrici fino a fondo foro e tubi piezometrici in un foro a distruzione di nucleo affiancato al foro di sondaggio principale.

Sui 9 campioni indisturbati estratti sono state eseguite:

- determinazione delle caratteristiche fisiche principali (gamma  $G_d$ ,  $G_s$ ,  $G_n$ ,  $W_n$ ,  $a$ ,  $n$ ,  $Sr$ );
- determinazione delle caratteristiche granulometriche (ASTM 10, 40, 200, percentuali granulometriche di Ciottoli, Ghiaia, Sabbia, Limo, Argilla);
- determinazione delle caratteristiche di plasticità (LP, LL, IP);
- determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità (prove di taglio anulare, consolidate e drenate -  $\epsilon_p$ ,  $\epsilon_r$ ,  $C'_p$ ,  $C'_r$ ,  $\phi_p$ ,  $\phi_r$ ).

### Caratterizzazione geotecnica del litotipo

L'esecuzione di un'adeguata campagna di indagini di laboratorio ha permesso di ottenere una dettagliata caratterizzazione dei terreni interessati dal movimento franoso.

Le caratteristiche fisiche principali sono riassumibili con i seguenti valori medi:

$G_s$ (peso specifico)	= 27.8 KN/mc	(9 valori)
$G_n$ (peso di vol. naturale)	= 20.8 ± 0.7 KN/mc	(9 valori)
$G_d$ (peso di vol. secco)	= 16.8 ± 2.5 KN/mc	(9 valori)
$e$ (indice dei vuoti)	= 0.579 ± 0.109	(9 valori)
$n$ (porosità)	= 36.4 ± 4.20	(9 valori)

Nei valori di "e" e "n" i termini maggiori (media + deviazione standard) sono riferibili allo strato "disturbato" e rimaneggiato dal dissesto mentre quelli minori (media - deviazione standard) sono da considerarsi caratteristici del "substrato stabile" (Fig. 2).

Viceversa, anche se con minor evidenza a causa dell'eterogeneità litologica del terreno, può essere assunto per i valori di  $G_n$  e  $G_d$ . Il contenuto naturale d'acqua ( $W_n$ ) e il grado di saturazione ( $Sr$ ), poiché estremamente variabili con la profondità, non sono stati mediati.

Le analisi granulometriche hanno fornito i seguenti valori medi:

Ghiaia (60 mm-2 mm)	= 10 ± 7%	(8 valori)
Sabbia (2 mm-0.06 mm)	= 8 ± 4%	(9 valori)
Limo (0.06 mm-0.002 mm)	= 54 ± 14%	(9 valori)
Argilla (< 0.002 mm)	= 28 ± 11%	(9 valori)

Secondo le Raccomandazioni AGI [AGI, 1977] relative alla classificazione dei terreni, il materiale risulta classificabile come Limo con Argilla, Ghiaioso, debolmente Sabbioso.

L'elevata percentuale complessiva di ghiaia e sabbia (20%) è attribuibile sia alla dispersione nella matrice limoso-argillosa dei clasti lapidei diffusi nella massa, sia (soprattutto per la frazione sabbiosa) per l'oggettiva difficoltà che il trattamento di disaggregazione in laboratorio presenta nei confronti di un materiale spesso sovraconsolidato da intense vicissitudini tettoniche.

Come casi limite si possono rinvenire Ghiaie con Limo Argilloso, debolmente Sabbioso (S2, campione 1, profondità 5 m) (Fig. 3).

Le caratteristiche di plasticità, determinate attraverso la misurazione dei limiti di Atterberg, presentano i seguenti valori medi:

LP (limite plastico)	= 19 ± 1%	(9 valori)
LL (limite liquido)	= 45 ± 5%	(9 valori)
IP (indice plastico)	= 26 ± 5%	(9 valori)

Basandosi sul solo valore di IP il materiale può essere classificato come plastico [LANCELLOTTA, 1991]. Utilizzando la "Carta di plasticità di Casagrande" [CASAGRANDE, 1948] e considerando i dati complessivi dell'intero fenomeno ("Frana grande" e "Frana piccola") il terreno è classificabile come "un'argilla inorganica di media plasticità" (Fig. 4).

Il valore dell'indice di consistenza (IC) a causa della sua elevata variabilità con la profondità non è stato mediato.

La caratterizzazione della resistenza al taglio è stata condotta attraverso l'utilizzo di un'apparecchiatura di taglio anulare in grado di raggiungere elevati livelli di deformazione di taglio. Infatti i materiali sovraconsolidati come quelli in oggetto evidenziano un comportamento al taglio caratterizzato da un forte rammollimento; i valori di resistenza ad elevati livelli deformativi (resistenza residua) risultano di gran lunga inferiori a quelli corrispondenti a bassi livelli deformativi (resistenza di picco).

In particolare il salto di resistenza tra il picco e il residuo cresce all'aumentare sia del grado di consolidazione, sia della frazione argillosa, sia dell'indice di plasticità [SKEMPTON, 1964]. In funzione di quest'ultimo parametro (IP) si possono ottenere, attraverso correlazioni empiriche ricavate dall'elaborazione di dati di laboratorio, i seguenti valori di angolo di attrito residuo ( $\phi_r$ ):

- Lupini et Al., 1981	IP = 26	$\phi_r = 17^\circ$
- Rocksoil, 1993	IP = 26	$\phi_r = 14^\circ$

Quest'ultimo valore è ricavato dalla relazione empirica [ROCKSOIL, 1993] (Fig. 5):

$$\phi_r = [(IP^{**} (-0.476))] * 66.390 \quad (1)$$

Le prove di taglio anulare di tipo consolidato drenato (n. 9) hanno fornito i seguenti risultati (Figg. 6, 7):

$C_p$	(coesione di picco)	= 0.017 MPa
$\phi_p$	(angolo di attrito di picco)	= $16^\circ$
$C_r$	(coesione residua)	= 0.002 MPa
$\phi_r$	(angolo di attrito residuo)	= $10^\circ$ .

Risulta evidente l'elevata discrepanza tra i valori di  $\phi_r$  ottenuti in laboratorio e quelli ottenuti dalle correlazioni empiriche; una spiegazione logica può essere dovuta al fatto che l'apparecchiatura di taglio anulare raggiunge livelli deformativi ben più elevati di quelli risultanti all'utilizzo di apparecchiature di taglio diretto dal quale sono ricavate la maggior parte delle correlazioni.

I livelli deformativi raggiunti a picco e a residuo risultano rispettivamente pari a:

$$\begin{aligned} \epsilon_p &= 1.56 \pm 0.42\% \\ \epsilon_r &= 16.40 \pm 2.23\%. \end{aligned}$$

#### Analisi del dissesto

L'analisi del dissesto è stata eseguita nei rispetti della Normativa Geotecnica vigente [DM 11/3/1988] sulla base delle indagini dirette ed indirette ad oggi eseguite.

L'area interessata dall'evento franoso in oggetto si può considerare come una porzione limitata di un fenomeno di dimensioni maggiori; essa si estende per  $\approx 1450$  mq a fronte di un'estensione planimetrica della "Frana grande" pari a  $\approx 66250$  mq. In entrambi i casi la pendenza media del versante risulta pari a  $\approx 15^\circ$  sull'orizzontale.

Attraverso un'analisi morfologica della topografia locale e in considerazione dell'ubicazione dei sondaggi, sono state individuate 3 sezioni significative, Sez. 1, 2, 3 (Fig. 2), in cui sul fronte della frana è stato modellato l'andamento topografico esistente al momento del dissesto.

In figura 2 sono state montate le stratigrafie dei sondaggi 1, 2, 3 e i logs e/o le rappresentazioni grafiche di alcune delle caratteristiche geotecniche più significative per l'interpretazione del fenomeno (Pocket-Penetrometer, IC, deformata inclinometrica, livello di falda).

Sulla Sezione 2, ritenuta la più significativa tra quelle realizzate nei confronti della comprensione del fenomeno, è stata inoltre evidenziata l'interpretazione stratigrafico-geotecnica utilizzata nelle verifiche di stabilità.

Analizzando i materiali carotati si sono distinte 6 unità

litologiche così caratterizzate (dall'alto verso il basso):

- a - Terreno vegetale;
- b - Zona aerata: argilla marrone-giallastra, da poco compatta a molle, inglobante numerosi elementi calcarei;
- c - argilla grigia, da poco compatta a molle, inglobante elementi calcarei;
- d - Argilla giallo-verdastra, molle e con notevole presenza d'acqua;
- e - Argilla grigio caotica con compattezza crescente in profondità, inglobante elementi calcarei e/o argilliti, presenza d'acqua e livelli molli;
- f - Argilla, argilliti e marne grigio scure intercalate, da compatte a molto compatte, intercalazioni calcaree.

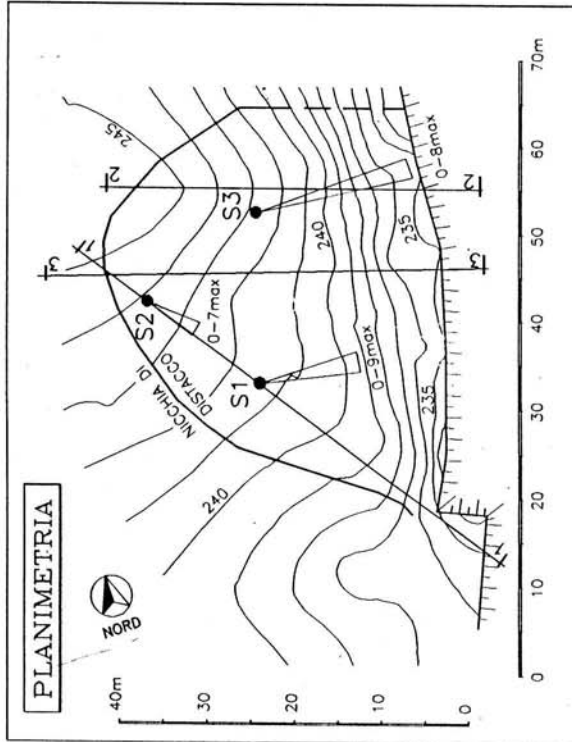
Sono state eseguite tre letture inclinometriche nei tubi 1, 2 e quattro letture nel tubo 3; la quarta lettura non è stata eseguita nei tubi 1 e 2 a causa della loro occlusione dovuta al progredire delle deformazioni. Le date delle letture sono:

- Misura 0 = 9 Febbraio 1990
- Misura 1 = 9 Marzo 1990
- Misura 2 = 11 Aprile 1990
- Misura 3 = 5 Giugno 1990
- Misura 4 = 17 Dicembre 1990

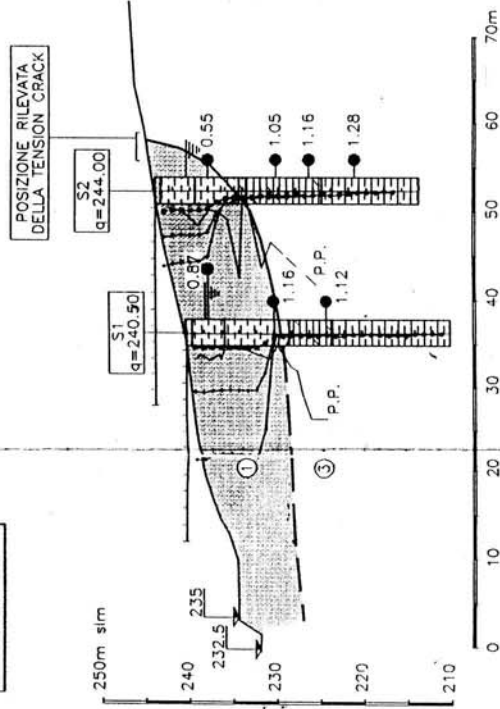
Dall'esame delle sezioni geologico-geotecniche si è evidenziato che:

- le deformate inclinometriche indicano un movimento traslazionale di una placca pressoché rigida (1, massa in frana) che scorre su una fascia di debolezza ben caratterizzata; se per "radice" si intende il tratto in cui la deformata converge a valori prossimi allo zero, le deformate nel settore instabile trovano la "radice" del movimento principale a profondità dell'ordine di  $\approx 10 \div 12$  m. La radice delle deformate mostra un elevato gradiente  $\delta - p$  (deformazione - profondità) facendo presupporre l'esistenza di una fascia di taglio ben definita. Le deformazioni massime, rilevate nel sondaggio S3, sono dell'ordine di  $\approx 12$  cm e denotano un tasso di deformazione di  $\approx 1.2$  cm al mese. Le deformate inclinometriche presentano, al di sotto della zona a spostamento principale, deformazioni sensibili dell'ordine di  $4 \div 5$  mm, misurate nell'arco di tempo Marzo-Ottobre 1990. Parte di queste deformazioni possono essere riferite all'errore strumentale della rilevazione in ragione di un valore massimo di 1-2 mm per ogni 10 m di tubo inclinometrico;
- litologicamente è presente, nella zona di radice delle deformate, un livello plastico di argilla limosa giallo-verdastra molle (2, livello di scorrimento): esso è interessato da una forte alterazione, da una sensibile presenza d'acqua ed è caratterizzato, inoltre, da un abbassamento locale della resistenza non drenata (Pocket Penetrometer) e da una consistenza decisamente plastica come risulta anche dalle indagini di laboratorio. Anche il livello sottostante (3, substrato stabile) presenta, nella sua parte sommitale, caratteristiche analoghe a quelle del livello sovrastante appena citato;
- dal punto di vista della consistenza i materiali si

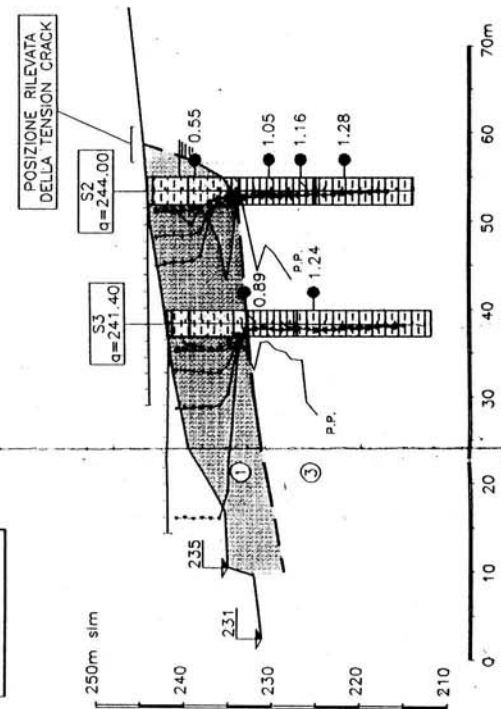
# PLANIMETRIA E SEZIONI FRANA PICCOLA



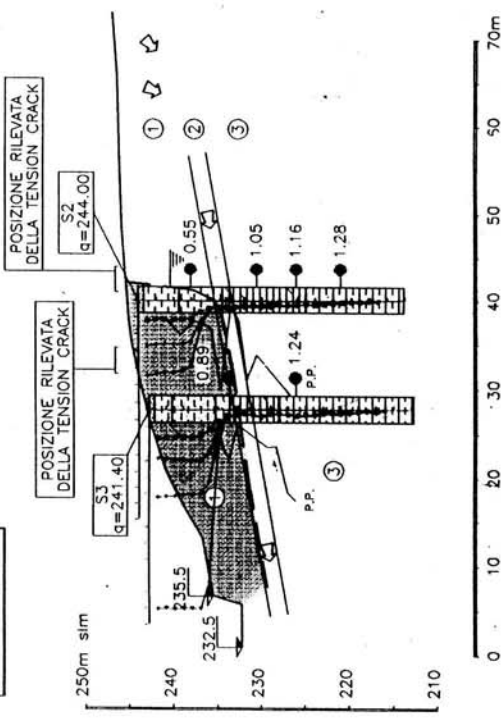
SEZ. 1



SEZ. 3



SEZ. 2



## LEGENDA GEOLOGICA

	TERRENO VEGETALE
	ZONA AERATA : ARGILLA MARRONE GIALLASTRA, DA POCO COMPATTA A MOLLE, INGLOBANTE NUMEROSI ELEMENTI CALCAREI
	ARGILLA GRIGIA, DA POCO COMPATTA A MOLLE, INGLOBANTE ELEMENTI CALCAREI
	ARGILLA GIALLO-VERDASTRA MOLLE CON NOTEVOLE PRESENZA D'ACQUA
	ARGILLA GRIGIO CAOTICA CON COMPATTEZZA CRESCENTE IN PROFONDITA' ED INGLOBANTE ELEMENTI CALCAREI E/O ARGILLITI, PRESENZA D'ACQUA E LIVELLI MOLLI
	ARGILLA / ARGILLITE E MARNE GRIGIO SCURE INTERCALATE, DA COMPATTE A MOLTO COMPATTE, INTERCALAZIONI CALCAREE
	LIVELLO DI FALDA STATICO (MAX MISURATO CON I PIEZOMETRI)
	PROBABILE DEFLUSSO IDRICO

## LEGENDA GEOTECNICA

	POCKET PENETROMETER 0 2 4 6 8 10 Kg/cm <sup>2</sup>
	PRELIEVO CAMPIONE INDISTURBATO (INDICE DI CONSISTENZA) ● 1.28
	DIREZIONE AZIMUTALE DELLE DEFORMAZIONI 0 4 8 12 16cm
	ENTITA' DELLE DEFORMAZIONI 0 5 10 15cm
	MASSA IN FRANA
	LIVELLO DI SCORRIMENTO
	SUBSTRATO STABILE

Fig. 2

CONSORZIO CIRC  
POTENZIAMENTO NUOVO ITINERARIO PONTREMOLESE  
FRANA DI SOLIGNANO (PARMA)  
ANALISI GRANULOMETRICHE

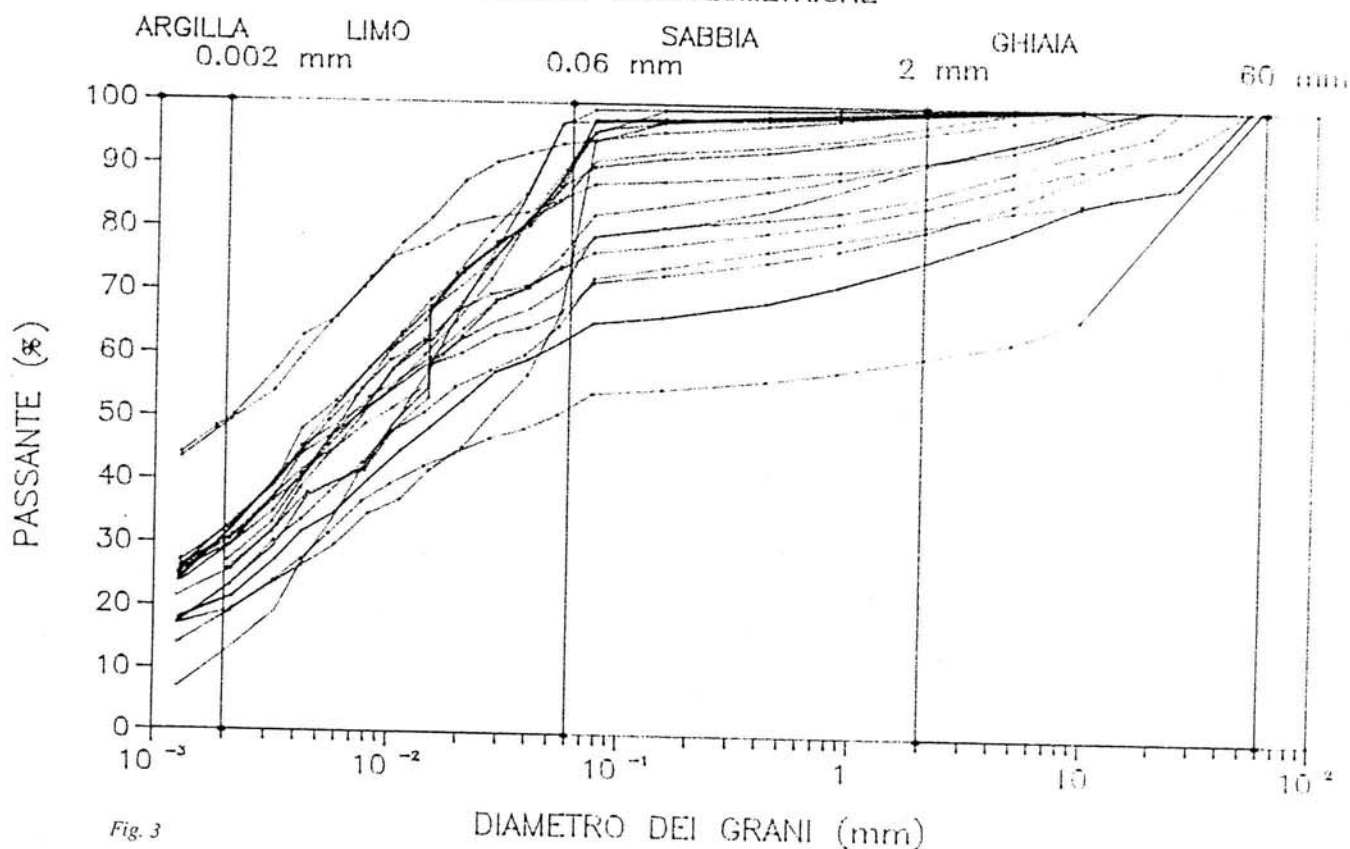


Fig. 3

DIAGRAMMA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

LINEA FERROVIARIA PONTREMOLESE  
FRANA DI SOLIGNANO

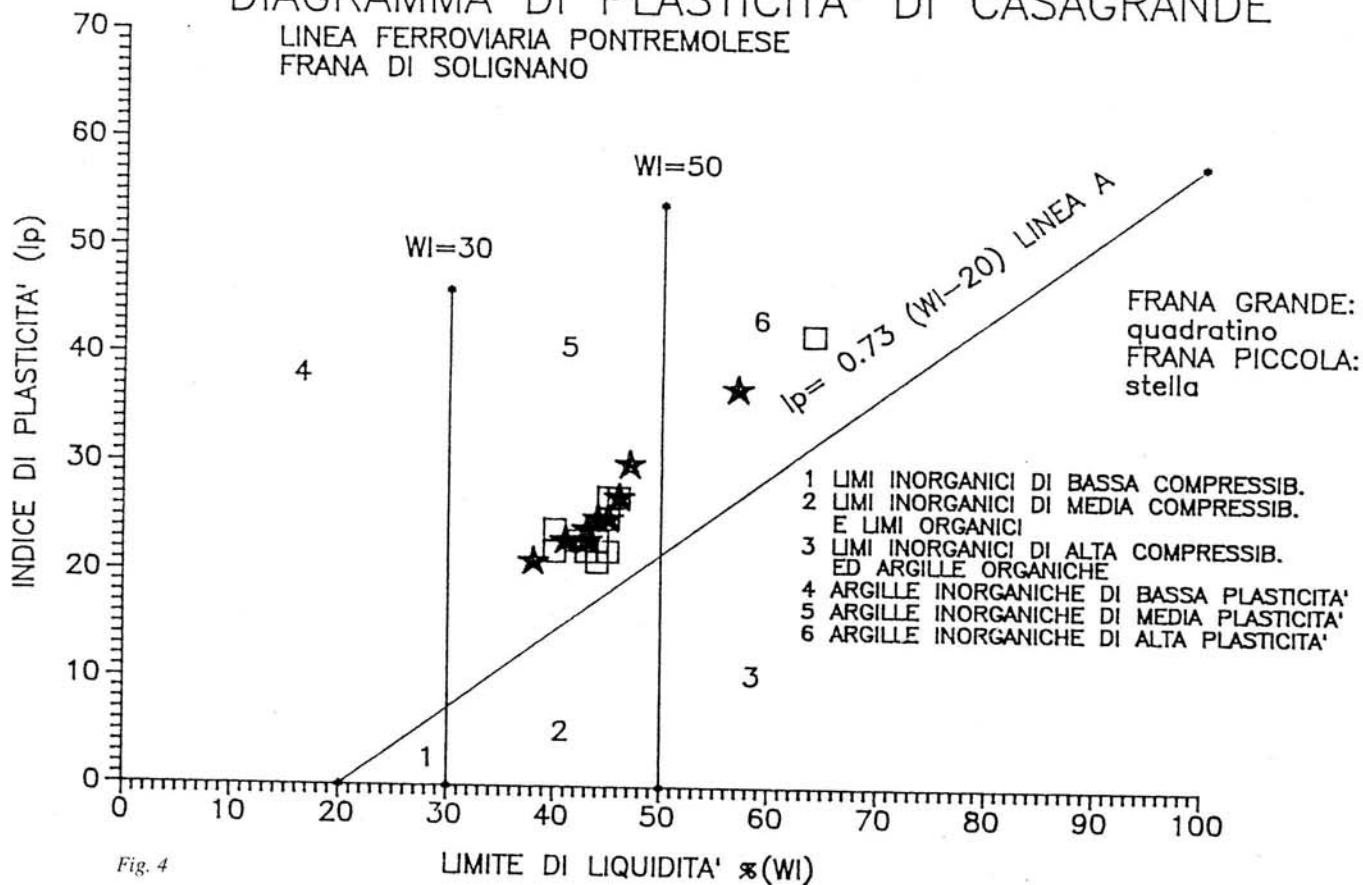


Fig. 4

## BANCA DATI ROCKSOIL PROVE DI LABORATORIO SU ARGILLE CORRELAZIONE IP - PHI residuo

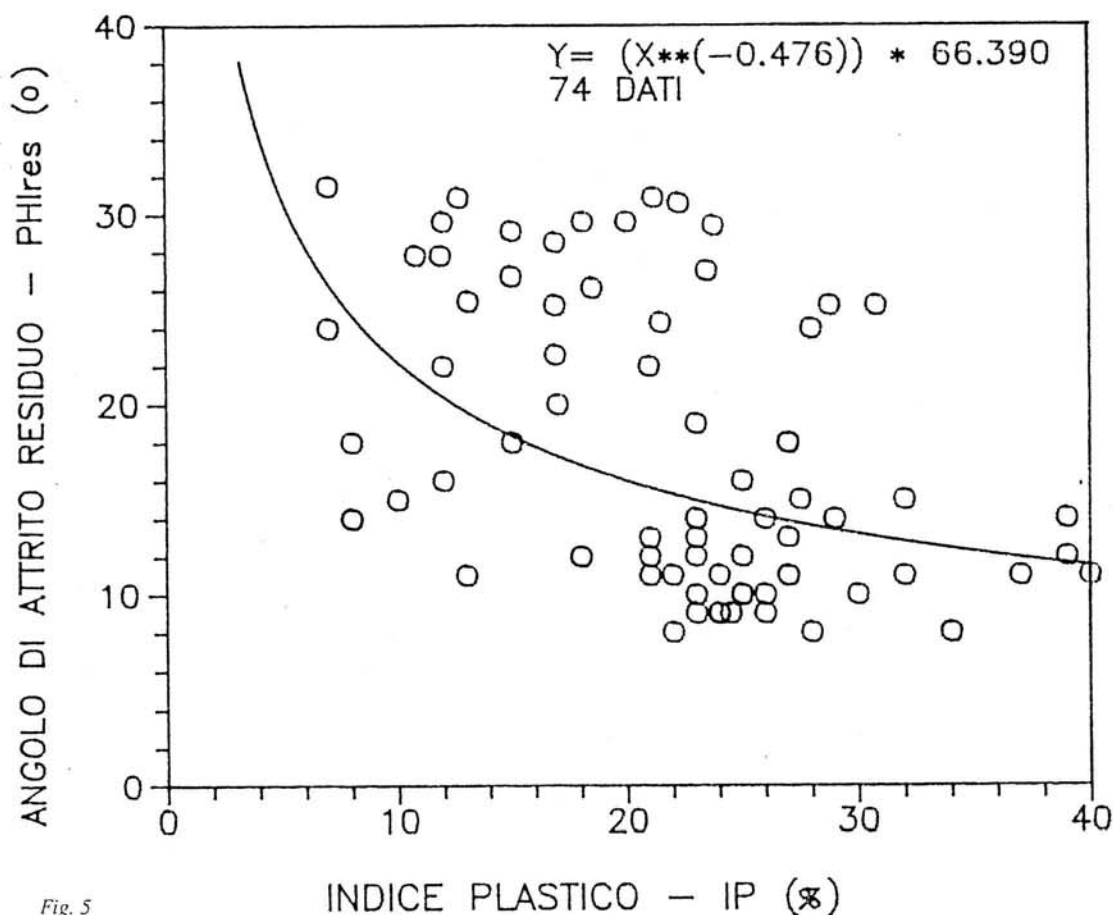


Fig. 5

presentano, generalmente, in campo plastico al di sopra della fascia di taglio innanzi citata, ed in campo semisolido e/o solido nell'orizzonte inferiore (Fig. 2). Il fenomeno è riferibile allo scorrimento di una massa plasticizzata su un livello ben definito che la separa da un substrato in cui il terreno mantiene le sue originali caratteristiche fisico-meccaniche.

Si può osservare che, considerando la profondità media del livello di scorrimento a 10 m dal p.c. (Fig. 8), l'indice di consistenza scende sotto l'unità al di sopra di tale livello evidenziando una massa in fase plastica. Analogamente, nel settore plastico si rinvia un marcato aumento del contenuto d'acqua e del grado di saturazione del terreno.

Anche i valori ottenuti dal Pocket-Penetrometer (PP) evidenziano un deciso innalzamento in corrispondenza del substrato stabile;

dal punto di vista idrogeologico si è individuato un livello di falda statico massimo come rappresentato nei sondaggi di figura 2.

Il grado di saturazione del materiale, pressoché totale in tutto il settore interessato dal movimento ad eccezione del sondaggio n. 1 (causa vicinanza drenaggio naturale), è decisamente più basso nell'orizzonte inferiore (al di sotto della radice delle deformazioni); ciò fa ritenere

che, più che l'esistenza di una vera e propria falda continua, sia ipotizzabile una consistente ritenzione idrica lungo la fascia di scorrimento e nel settore soprastante, che genererebbe, in effetti, una falda sospesa particolarmente soggetta al regime delle precipitazioni meteoriche. Al di sotto di tale livello il materiale non è saturo.

Le misure nei piezometri hanno evidenziato le variazioni di figura 9. Le date delle misure sono:

- Misura 1 = 7 Marzo 1990
- Misura 2 = 5 Giugno 1990
- Misura 3 = 19 Settembre 1990
- Misura 4 = 17 Ottobre 1990
- Misura 5 = 25 Ottobre 1990

Tutte le misure evidenziano l'abbassamento della falda nel periodo estivo.

In base alle considerazioni appena formulate sono state evidenziate nel dissesto le seguenti caratteristiche:

- geometria e cinematismo: il movimento interessa una massa a contorno planimetrico subcircolare ed è caratterizzato da una dinamica traslativa di una massa plasticizzata che si muove quasi rigidamente su una fascia di debolezza preesistente.

Lo sblocco della massa in frana si deve, nella zona



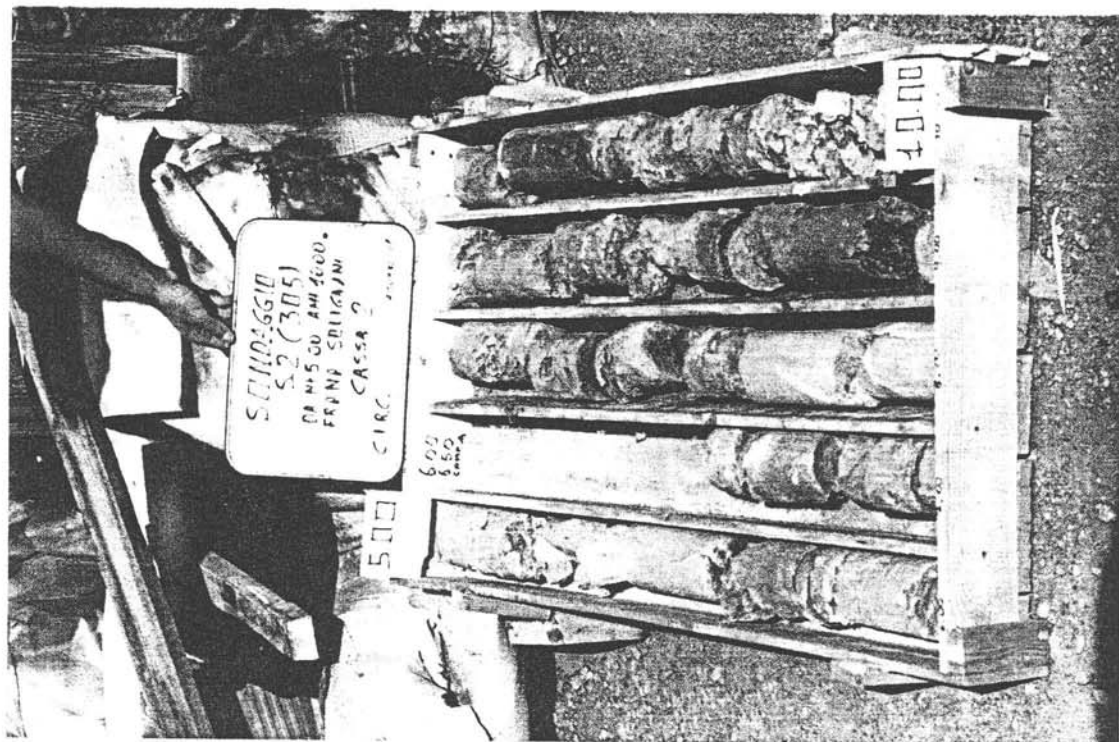


Foto 3

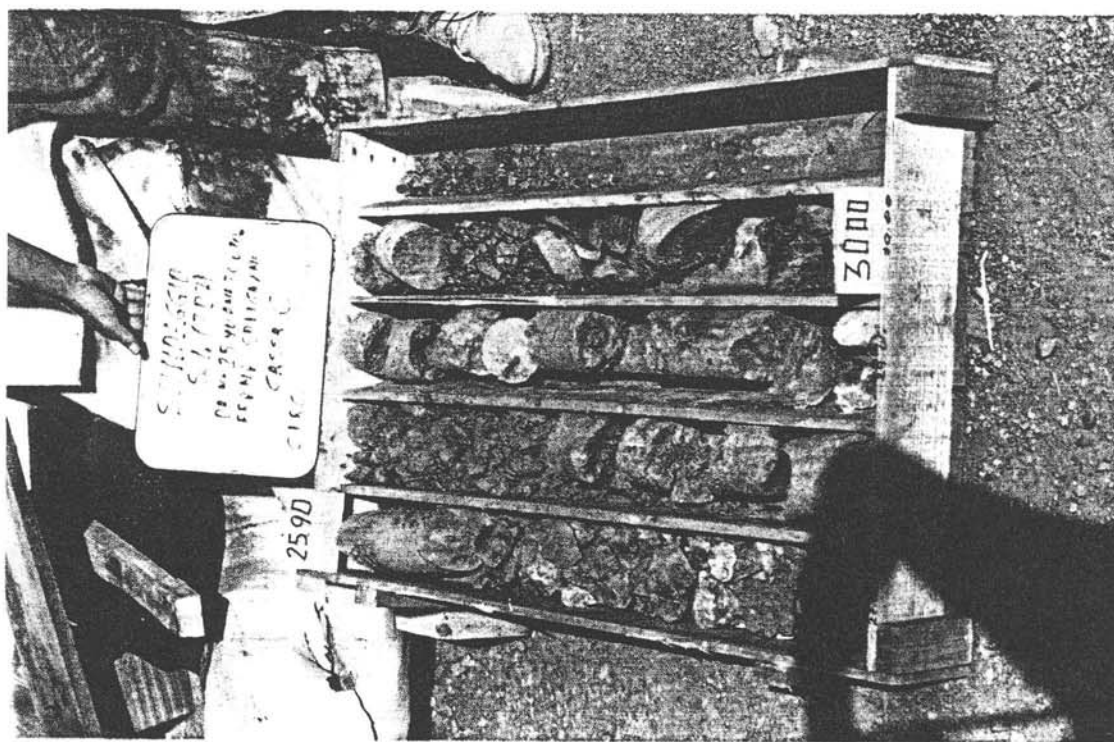


Foto 2

PROVE DI TAGLIO ANULARE  
TIPO CONSOLIDATO DRENATO  
(Resistenza di picco)

NUOVO ITINERARIO PONTREMOLESE  
FRANA DI SOLIGNANO (PARMA)  
(Frana piccola)

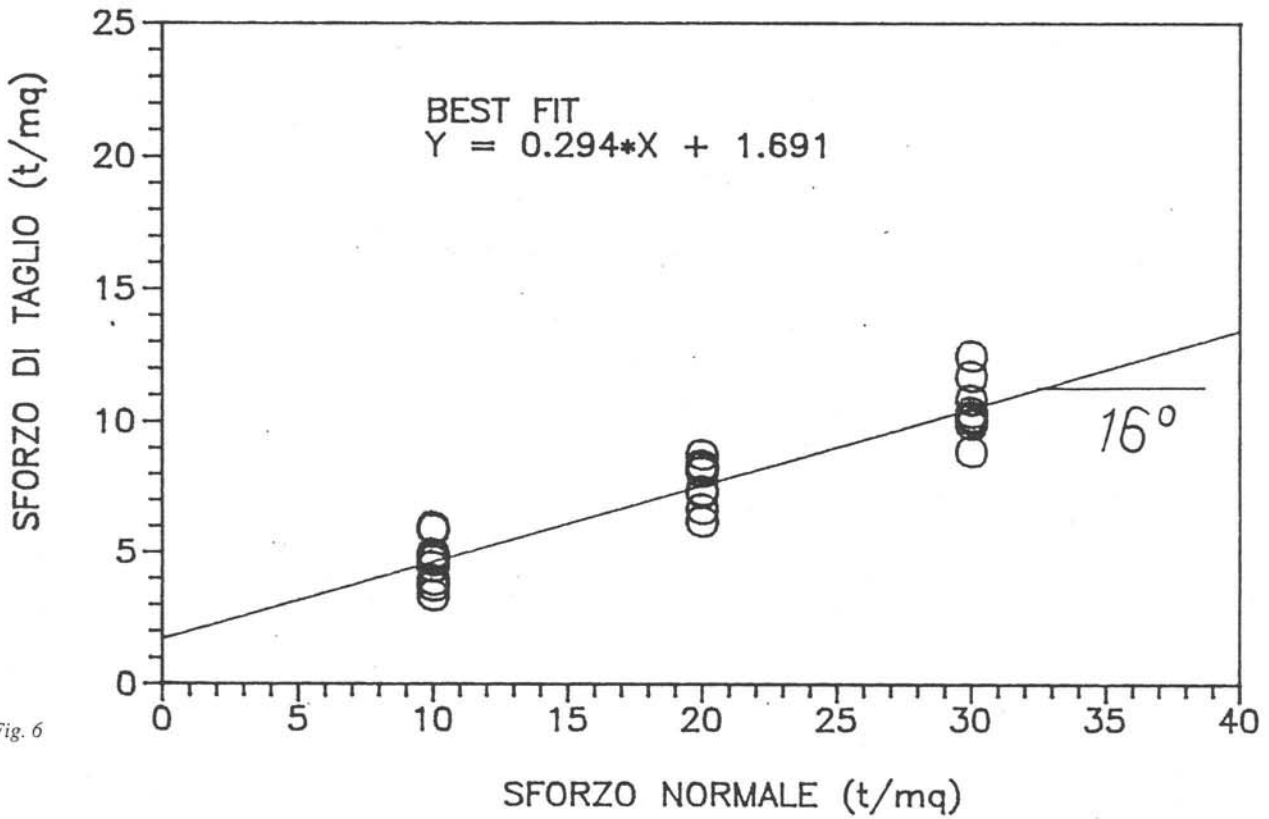


Fig. 6

PROVE DI TAGLIO ANULARE  
TIPO CONSOLIDATO DRENATO  
(Resistenza residua)

NUOVO ITINERARIO PONTREMOLESE  
FRANA DI SOLIGNANO (PARMA)  
(Frana piccola)

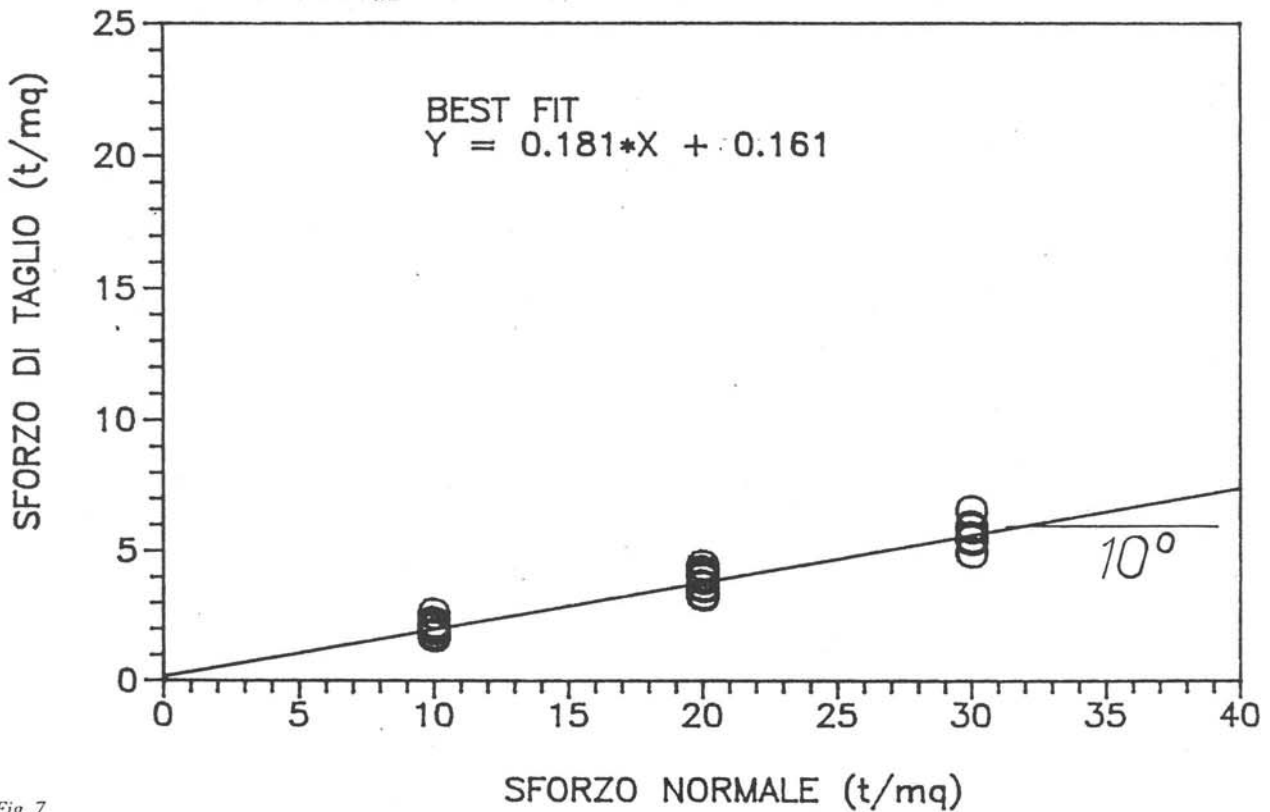
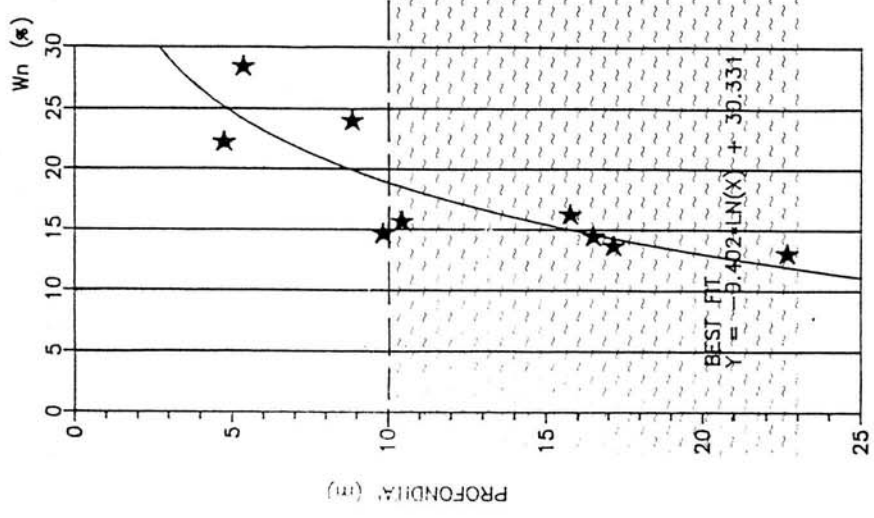
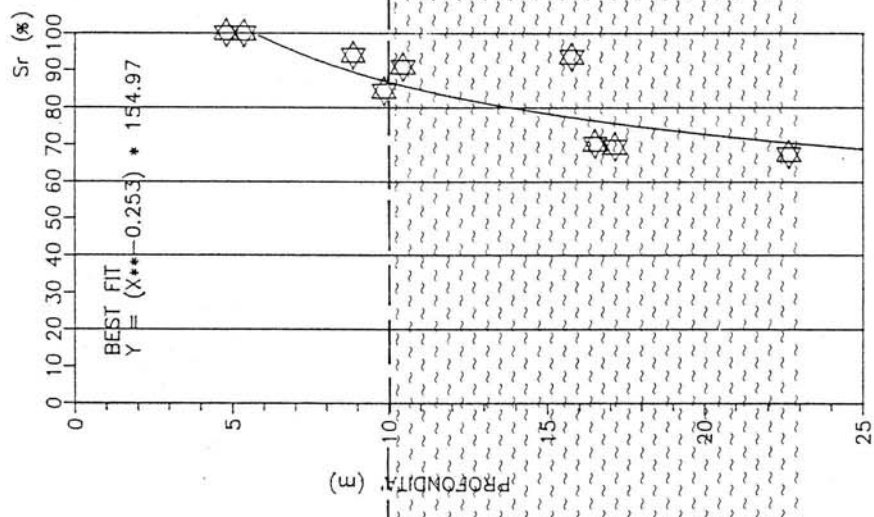


Fig. 7

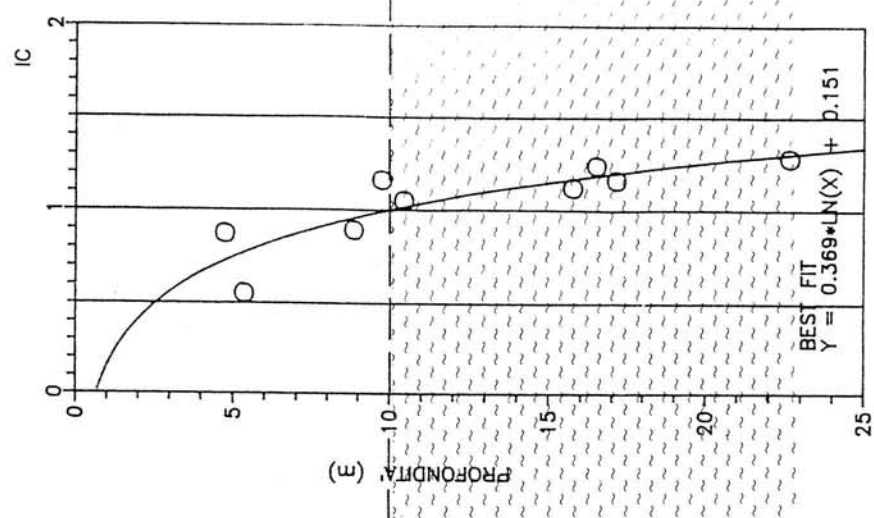
LINEA PONTREMIOLESE: FRANA DI SOLIGNANO  
 DIAGRAMMA  
 PROFONDITA'-CONTENUTO D'ACQUA  
 FRANA PICCOLA



LINEA PONTREMIOLESE: FRANA DI SOLIGNANO  
 DIAGRAMMA  
 PROFONDITA'-GRADO DI SATURAZIONE  
 FRANA PICCOLA



LINEA PONTREMIOLESE: FRANA DI SOLIGNANO  
 DIAGRAMMA  
 PROFONDITA'-INDICE DI CONSISTENZA  
 FRANA PICCOLA



- ① MASSA IN FRANA
- ②
- ③ SUBSTRATO STABILE

Fig. 8

perimetrale di monte, alle fratture di trazione rilevate e disposte al contorno della nicchia di distacco e, lateralmente, alla prosecuzione delle stesse fratture nonché all'incisione presente a Sud dell'area (Fig. 2).

Il cinematismo viene completato al piede con la risalita della fascia di rottura che origina in tal modo un cuneo passivo di punzonamento. Sono stati osservati, dall'esame morfologico della topografia locale e dall'esame delle direzioni orizzontali delle deformate inclinometriche (Fig. 2), i segni di un leggero "spreading" laterale della frana, favorito dalla convessità locale del profilo di base del versante.

Una dinamica di questo genere, con creazione di fratture di trazione a tergo e con evoluzione di tipo retrogressivo, è frequentemente osservabile nei rilievi appenninici;

- evoluzione: il movimento ha mostrato un'evoluzione intermittente, strettamente connessa con la ricarica della falda che avviene, sia attraverso circolazioni "profonde" localizzate all'interno dei livelli plastici di scorrimento, sia attraverso l'infiltrazione superficiale delle acque meteoriche di ruscellamento che percolano nel terreno e nelle fratture di trazione poste ai bordi delle nicchie.

## DESCRIZIONE DEL FENOMENO "FRANA GRANDE"

### Introduzione geologica

L'importante estensione del dissesto denominato "Frana grande" ( $\approx 66.250$  mq) nonché l'ampiezza del bacino idrogeologico sotteso sullo stesso versante ( $\approx 28.950$  mq) hanno suggerito la necessità di analizzare il fenomeno nel suo complesso.

Lo stesso pattern idrografico, fortemente irregolare e contorto, denota la presenza di dissesti diffusi e generalizzati, la cui distribuzione areale, nell'ambito delle zone di omogeneità litologica, risente principalmente delle linee di drenaggio maggiori capaci di un'attività erosiva ai piedi dei versanti che frequentemente costituisce la causa prima dell'innescio dei fenomeni gravitativi.

Un'ulteriore componente essenziale nelle cause di instabilità gravitativa è senza dubbio la scarsissima capacità drenante dei materiali argillitici che, a fronte delle consuete concentrazioni di piovosità nelle stagioni primaverili ed autunnali, non riesce a fornire un adeguato smaltimento delle acque meteoriche creando le premesse per l'accumulo di sovrappressioni idriche nel sottosuolo e quindi per l'espletarsi di forze instabilizzanti.

In particolare la morfologia del dissesto è caratterizzata da un contorno principale esteso dalla quota 330  $\approx$  al ciglio di scarpata alla quota 230  $\approx$  corrispondente al livello del terrazzo alluvionale superiore del F. Taro (pochi metri al di sotto della livelletta locale della costruenda linea ferroviaria) (Fig.1).

A fronte di un dislivello totale pari a  $\approx 100$  m è possibile osservare, nell'ambito di una forma subtrapezoidale del contorno del dissesto, una larghezza media dello stesso pari a  $\approx 180\div 200$  m ed uno sviluppo max longitudinale alla massima pendenza di  $\approx 400$  m.

Un'evidente restringimento nell'estensione del dissesto è osservabile in corrispondenza della sua sezione centrale dove la strozzatura risulta delimitata a Nord e a Sud da due direttrici di drenaggio principali.

Osservando i profili altimetrici (vedi sezioni geologico-

geotecniche 1, 2, 3) del versante si può inoltre notare una debole rottura di pendenza compresa tra le quote 250 $\div$ 260 che verosimilmente contrassegna la "zona di distacco" dividendola dalla "zona di accumulo" del dissesto.

Dal punto di vista litologico il materiale risulta alquanto disomogeneo e caoticizzato; in superficie l'ammasso si presenta a matrice di natura limoso-argillosa con dispersi ed inglobati elementi a pezzatura eterogenea e generalmente grossolana, a spigoli vivi e di natura calcareo-marnosa.

### Campagna geognostica e di laboratorio

Per caratterizzare il fenomeno gravitativo è stata eseguita una campagna geognostica in parte diretta (sondaggi), in parte indiretta (geofisica) costituita da:

- n. 6 (S1 $\div$ S6) sondaggi meccanici a carotaggio continuo (Fig. 1) profondi 30 m, ad eccezione del S6 (25 m) (tot. 175 m); all'interno dei fori di sondaggio sono stati installati tubi inclinometrici per la misura delle deformazioni del versante e sono state eseguite prove penetrometriche SPT. Sulle carote estratte sono state eseguite determinazioni di pocket penetrometer;
- n. 3 (S3bis, S4bis, S5bis) sondaggi a distruzione di nucleo (tot. 90 m), affiancati ai corrispondenti sondaggi a carotaggio continuo, per la presa in opera di piezometri a tubo aperto alle seguenti corrispondenti profondità:  
- 2  $\div$  - 21; - 2  $\div$  - 20;
- n. 6 carotaggi down-hole in foro eseguiti nei sei sondaggi a carotaggio continuo (totale 175 m);
- n. 5 stendimenti di sismica a rifrazione per un totale di 1000 m organizzati in 5 basi da 200 m cadauna di cui 4 longitudinali allo sviluppo della frana.

Sui campioni indisturbati estratti durante il carotaggio sono state eseguite determinazioni analoghe a quelle eseguite per lo studio della "Frana piccola", ad eccezione della determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità (triassiale CU con misura delle pressioni interstiziali, taglio diretto CD -  $E_p$ ,  $E_r$ ,  $C'_p$ ,  $C'_r$ ,  $\phi'_p$ ,  $\phi'_r$ ).

### Caratterizzazione geotecnica del litotipo

I sondaggi, eseguiti in buona parte a secco con carotiere semplice ed a tratti ad acqua con carotiere doppio, hanno evidenziato un materiale di natura argillosa estremamente eterogeneo con abbondante presenza di clasti lapidei di varie dimensioni di natura prevalentemente calcareo-marnosa.

Il materiale di natura argillitica presenta in generale un'elevata fissilità che, tipicamente, si manifesta attraverso la presenza di scaglie e/o sottili laminazioni caotiche, convolute, a struttura estremamente irregolare con frequente presenza di superfici traslucide e untuose al tatto (Foto 3).

Rilevante è risultata la presenza di sottili vene o filetti di calcite secondaria testimonianti una lenta circolazione di fluidi sovrassaturi in carbonato di calcio nelle fessure.

Non è stato possibile, stante l'estrema eterogeneità del materiale, caratterizzare livelli di materiale tra loro

correlabili; da un esame macroscopico delle carote estratte dalle perforazioni è stato possibile individuare al di sotto dello strato detritico superficiale, tre classi di materiali così suddivisi:

- a) argilla detritica grigio-verdastra con elementi lapidei calcarei di varie dimensioni;
- b) argille scagliose di aspetto traslucido di colore grigio con presenza di piccoli elementi calcarei;
- c) argille scagliose di aspetto traslucido di colore grigio con presenza di trovanti calcarei.

In sintesi il materiale, esaminato nel suo complesso, presenta le seguenti caratteristiche:

- natura composizionale-granulometrica prevalentemente argillitico-marnosa;
- elevata frequenza di inclusioni di natura lapidea dalla dimensione di clasti minuti fino a trovanti decimetrici;
- elevata irregolarità della struttura generalmente fessile, da scagliosa a convoluta.

Dal punto di vista geotecnico il materiale ha evidenziato le seguenti caratteristiche fisico-chimiche (n. 12 campioni indisturbati prelevati tra le profondità 2.7 e 12 m):

- indici fisici e di plasticità: sono stati mediati sui 12 campioni gli indici che, per la loro natura, non dipendono, in un fenomeno franoso, dalla profondità. Essi rappresentano caratteristiche intrinseche del materiale:

$$G_n = 19.9 \pm 1.7 \text{ KN/mc}$$

$$LP = 20.1 \pm 2.1\%$$

$$LL = 45.1 \pm 6.2\%$$

$$IP = 25 \pm 5.7\%$$

Il materiale risulta di media plasticità e ascrivibile, secondo la carta di plasticità di Casagrande (Fig. 4), ad un "argilla inorganica di media plasticità".

- caratteristiche granulometriche (12 valori): sono state rinvenute le seguenti percentuali:

$$\text{Ghiaia} = 7 \pm 7\%$$

$$\text{Sabbia} = 13 \pm 6\%$$

$$\text{Limo} = 51 \pm 8\%$$

$$\text{Argilla} = 29 \pm 8\%$$

Secondo le raccomandazioni AGI il terreno si può classificare come "Limo con Argilla, Sabbioso, debolmente Ghiaioso". Per la frazione ghiaioso-sabbiosa valgono le stesse considerazioni espresse precedentemente (cfr. "Frana piccola");

- contenuto naturale d'acqua ( $W_n$ ): tale parametro ha evidenziato una netta dipendenza dalla profondità con valori oscillanti generalmente tra 10 e 20% decrescenti verso il basso (a 10 m si ha  $W_n \approx 10\%$ ) (Fig. 10). La dipendenza dalla profondità riflette evidentemente il progressivo grado di allentamento dell'argillite con conseguenti microfessurazione verso la superficie topografica;
- grado di saturazione ( $S_r$ ): risulta variabile dal 40 al 100% e riflette, nel suo trend con la profondità, il comportamento del parametro  $W_n$  (Fig. 10). Il significato di tale parallelismo risiede nell'osservazione di una saturazione pressoché completa delle leptoclasti;
- indice di consistenza (IC): evidenzia molto bene la crescita del grado di consistenza con l'aumentare della

profondità (Fig. 10). I livelli superficiali (prof. 2-3 m dal p.c.) versano in condizioni plastiche mentre i livelli via via più profondi denotano una consistenza crescente ( $> 1$ );

- carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ): la classificazione del materiale in funzione del contenuto di carbonato di calcio ha mostrato un campo di variabilità compreso tra le argille e le argille marnose (Fig. 11).

Le caratteristiche meccaniche di resistenza sono state individuate conducendo le seguenti prove:

- n. 3 prove complete in cella di carico triassiale con metodo CU, consolidate non drenate, con misura delle pressioni interstiziali a rottura; ogni singola prova è costituita da tre punti di rottura a tensioni di contenimento differenziate (0.1, 0.2, 0.3 MPa) ottenute da altrettanti provini indisturbati adiacenti (facenti parte dello stesso campione) (Fig. 12); le prove hanno individuato i seguenti parametri di picco:

$$C_p = 0.01 \div 0.04 \text{ MPa}$$

$$\phi_p = 14^\circ \div 18^\circ;$$

- n. 9 prove di taglio diretto del tipo consolidato - drenato costituite ciascuna da 3 punti prova eseguite a tensioni normali differenziate (1, 2, 3 kg/cm<sup>2</sup>) su altrettanti campioni ricostruiti in laboratorio utilizzando la frazione fine (passante al setaccio ASTM 40); tali campioni possono essere considerati come campioni parzialmente rimaneggiati.

Le prove hanno fornito i seguenti risultati:

$$C_p = 0.01 \div 0.04 \text{ MPa}$$

$$\phi_p = 14^\circ \div 20^\circ.$$

Dall'esame dei valori comparati ottenuti dalle prove triassiali e di taglio diretto è possibile osservare che sia i valori di coesione sia quelli dell'angolo d'attrito risultano analoghi in entrambe le tipologie di prova.

Combinando i valori di picco ottenuti dalle prove di taglio diretto e anulare si ottengono i seguenti valori medi (Fig. 13):

$$C_p = 0.016 \text{ MPa}$$

$$\phi_p = 17^\circ.$$

Utilizzando la relazione (1) (Fig. 5) dal valore di IP = 25% si ottiene:  $\phi_r = 14^\circ$ .

Dall'osservazione dei diagrammi sforzi-deformazioni si rileva, dopo la rottura, un comportamento di tipo spiccatamente plastico.

### Analisi del dissesto

Le principali problematiche relative all'individuazione delle caratteristiche di un dissesto gravitativo possono ascrivarsi ai seguenti punti:

- suddivisione del sottosuolo in zone o settori di omogeneità geologico-geotecnica e correlazione fra i diversi livelli individuati dai sondaggi;
- individuazione e studio delle deformazioni (caratteristiche cinematiche e dinamiche) attraverso il monitoraggio (misure inclinometriche e topografiche) con relative considerazioni sulla geometria e

VARIAZIONE DELLA FALDA  
(Frana piccola , 1990)  
TEMPO (mesi)

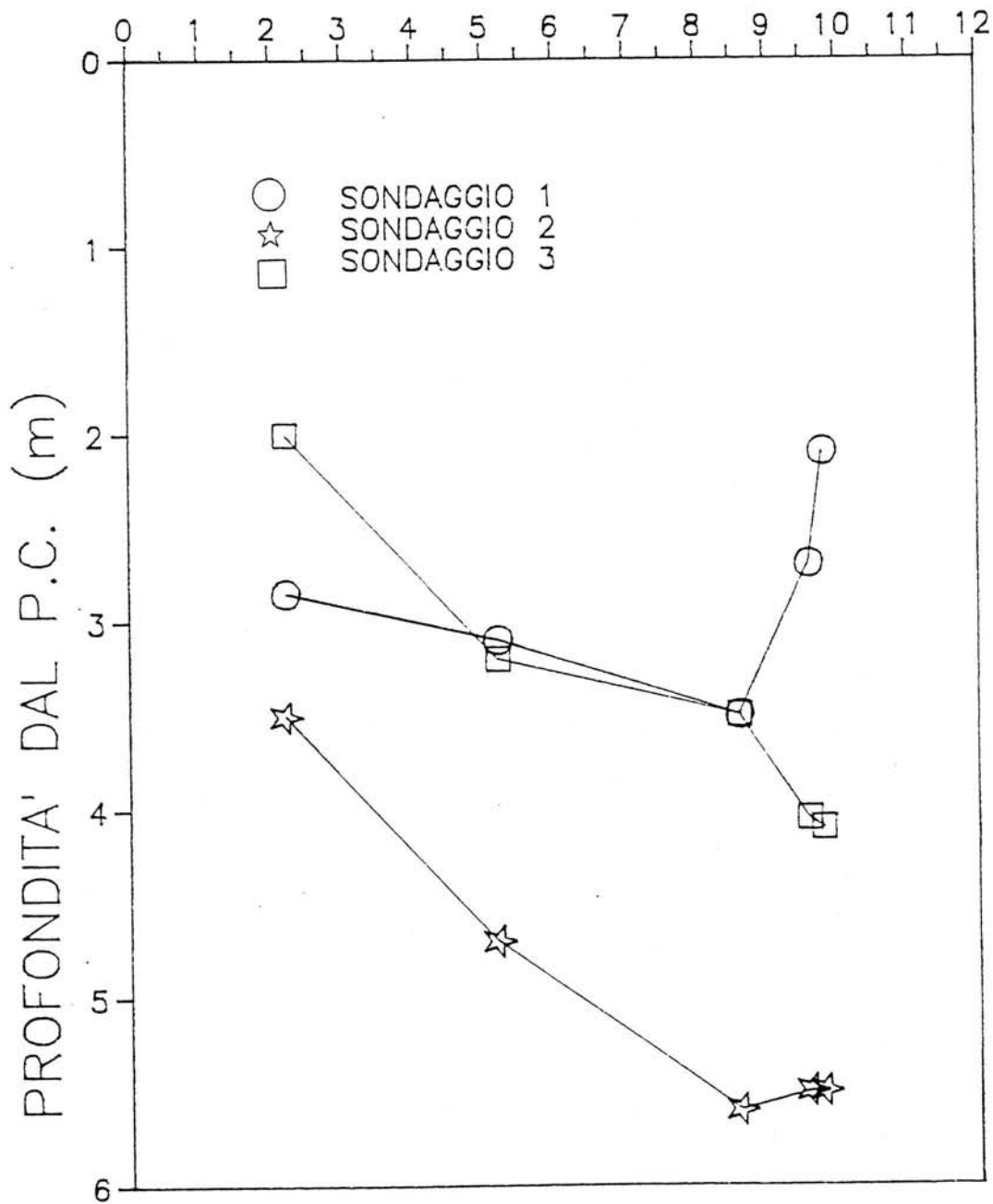
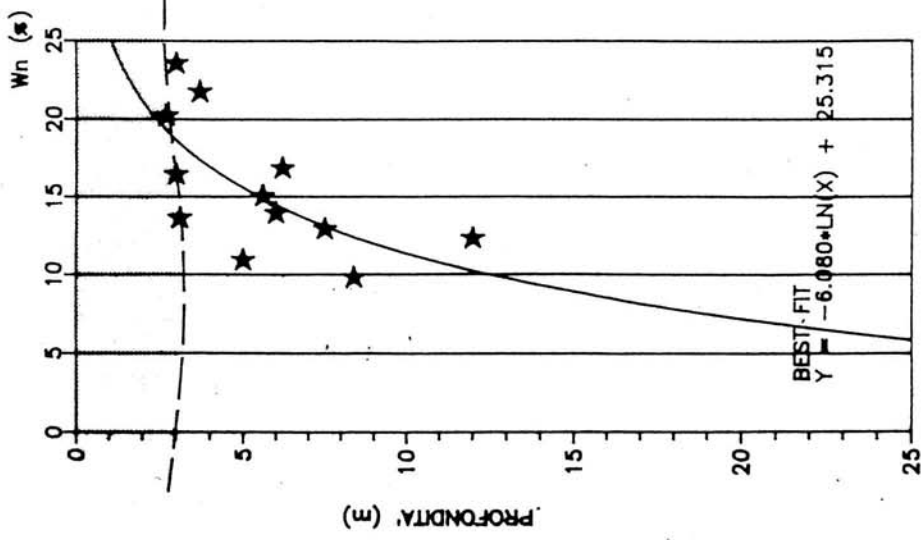
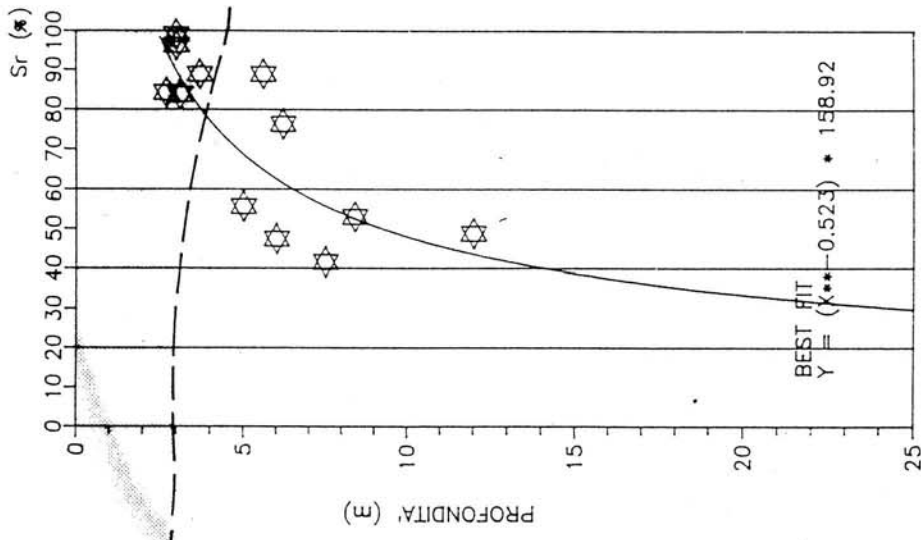


Fig. 9

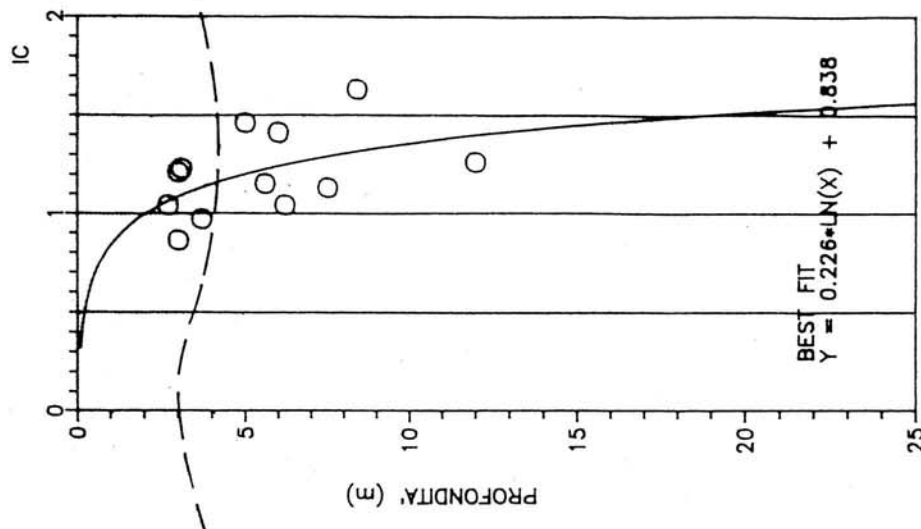
LINEA PONTREMOLESE: FRANA DI SOLIGNANO  
 DIAGRAMMA  
 PROFONDITA' - CONTENUTO D'ACQUA  
 FRANA GRANDE



LINEA PONTREMOLESE: FRANA DI SOLIGNANO  
 DIAGRAMMA  
 PROFONDITA' - GRADO DI SATURAZIONE  
 FRANA GRANDE



LINEA PONTREMOLESE: FRANA DI SOLIGNANO  
 DIAGRAMMA  
 PROFONDITA' - INDICE DI CONSISTENZA  
 FRANA GRANDE



MASSA IN FRANA

Fig. 10

PROVE TRIASSIALI CU  
(Pressioni totali)  
NUOVO ITINERARIO PONTREMOLESE  
FRANA DI SOLIGNANO (PARMA)

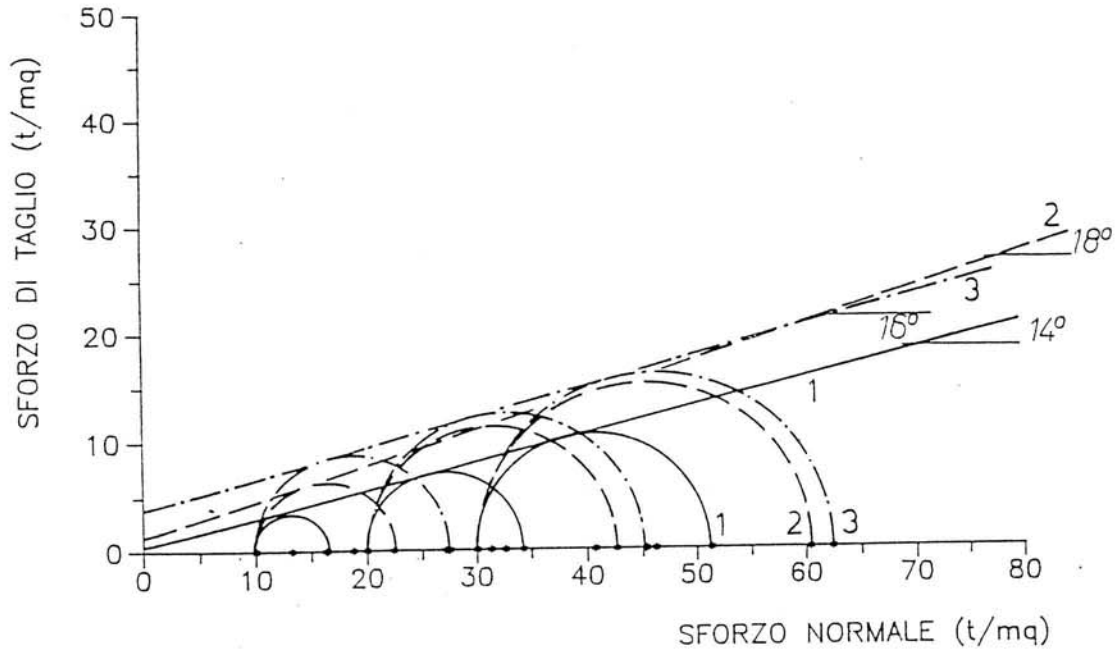


Fig. 12

DIAG.3/AUTIO/DIANA 12-06-92

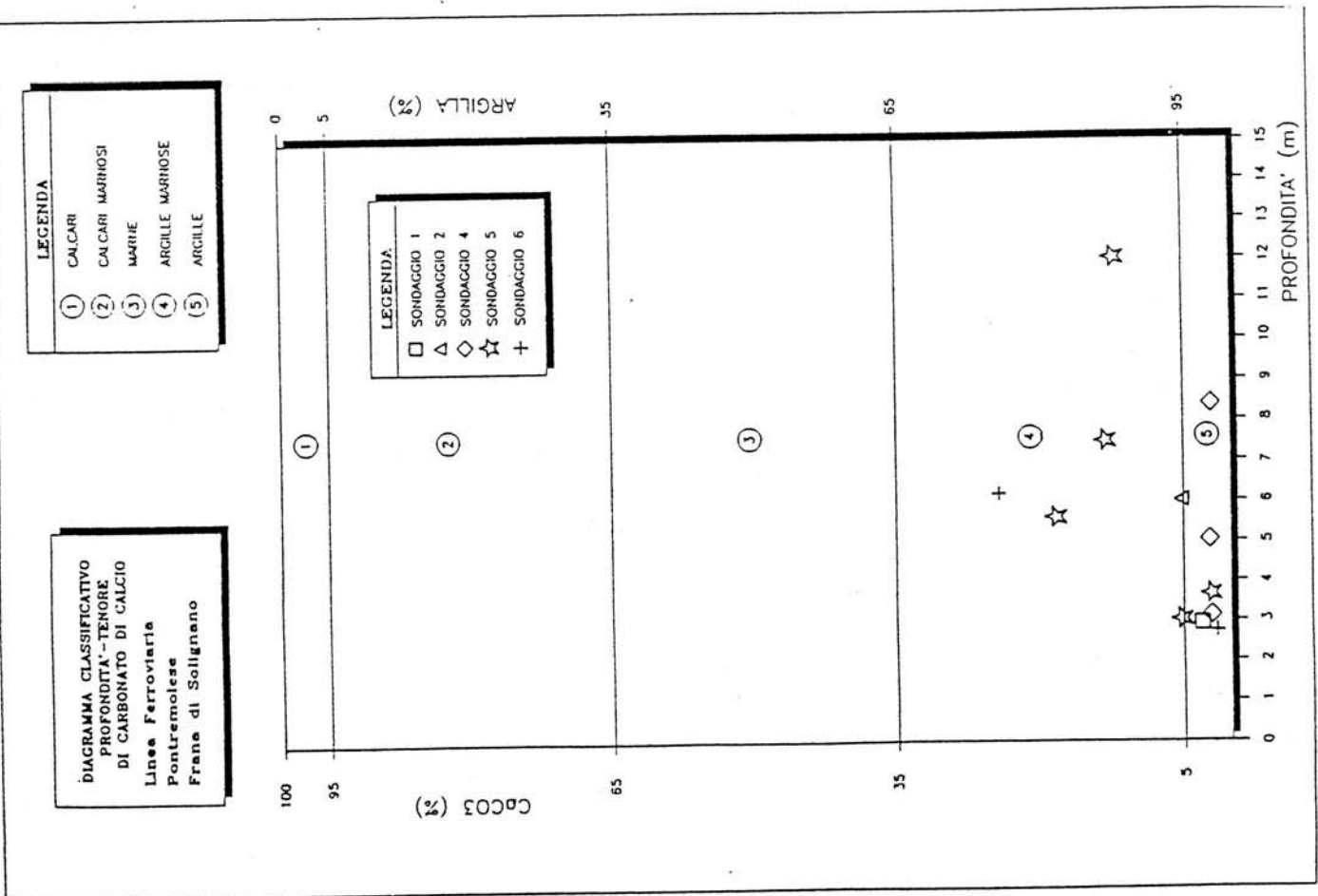


Fig. 11



# PROVE DI TAGLIO DIRETTO TIPO CONSOLIDATO DRENATO (Resistenza di picco)

NUOVO ITINERARIO PONTREMOLESE  
FRANA DI SOLIGNANO (PARMA)  
Taglio diretto e anulare

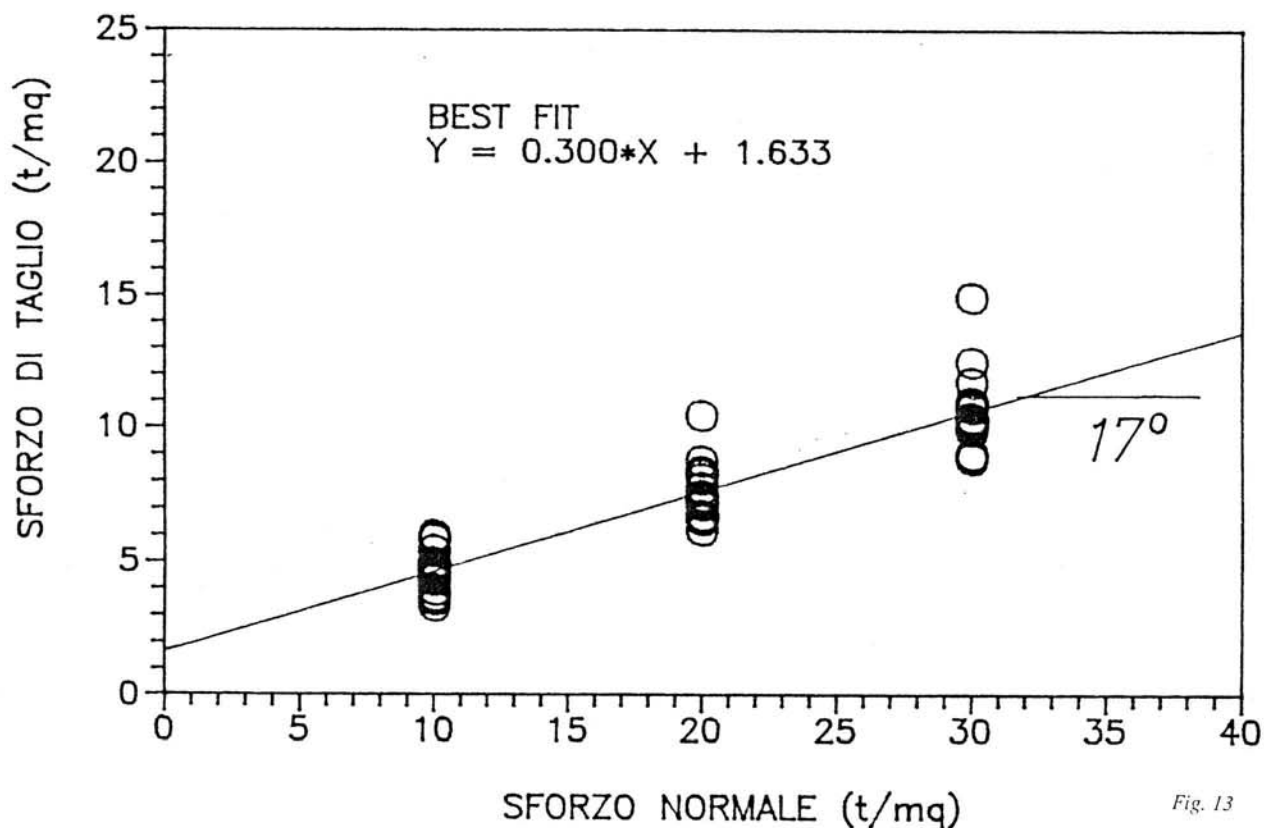


Fig. 13

- dimensione dei settori in movimento;
- formulazione di ipotesi sull'evoluzione del dissesto.

Allo scopo di procedere secondo i punti appena citati sono state costruite 3 sezioni geologico-geotecniche sulla base dei seguenti dati disponibili (Sezz. 1, 2, 3; Figg. 14, 15, 16):

- stratigrafie dei sondaggi;
- sezioni sismostratigrafiche;
- log sismici in foro (down-hole);
- deformate inclinometriche (intensità, azimut).

Dall'osservazione delle sezioni è possibile formulare la seguente suddivisione in livelli geologico-geotecnici:

- *livello superficiale*: trascurando la primissima coltre (2-3 m) di detrito superficiale (alluvium/colluvium) tale livello, generalmente profondo fino a 8 ÷ 10 m, può essere considerato come il "cappellaccio" della formazione argillitica sottostante. È individuabile da una velocità sismica compresa nel range  $\approx 1.5 \div 2.0$  km/sec che caratterizza sia un argilla detritica grigio-verdastra sia un argilla scagliosa grigia di aspetto traslucido detensionata e con presenza di piccoli

elementi calcarei. Tale livello corrisponde alla zona quasi satura, fortemente allentata e in condizioni di incipiente plasticità; è sede sovente di una falda libera sospesa; la parte sommitale del livello, per i primi 2-3 m, il terreno è saturo e in condizioni plastiche;

- *livello intermedio*: corrisponde ad un range di velocità sismiche pari a  $2.0 \div 2.5$  km/sec e corrisponde prevalentemente ad un materiale argillitico scaglioso di aspetto traslucido, di colore grigio con presenza di piccoli elementi calcarei. Il livello, che raggiunge profondità di 20 ÷ 30 m da p.c., mostra, talora, la presenza di clasti calcarei di elevate dimensioni, classificabili come trovanti. Il materiale si può ritenere scarsamente saturo piuttosto consistente e generalmente piuttosto asciutto. È interessante notare che all'interno del livello si sono individuati passaggi inclinati di velocità sismica probabilmente riferibili a diversi gradi di detensionamento dell'ammasso correlabile alle movimentazioni gravitative del dissesto;
- *livello profondo*: è considerabile come il substrato della formazione argillitica vera e propria e presenta velocità sismiche comprese nel range  $2.5 \div 3.0$  km/sec. Il materiale presente è sempre un argillite grigia,

scagliosa, con clasti calcarei di dimensione estremamente variabile (da piccoli inclusi a trovanti decimetrici e metrici), compattezza elevata e consistenza ormai lapidea. Il materiale risulta particolarmente chiuso quindi non sede di falda acquifera (substrato impermeabile).

Lo studio delle deformate inclinometriche si è sviluppato riportandone in sezione le relative proiezioni.

Quello che si osserva sulle sezioni può essere ritenuta quindi l'effettiva deformazione del terreno in quella direzione.

Sono state eseguite 5 letture inclinometriche alle seguenti date:

Misura 0 = 22 Luglio 1991 (S1,S5,S6); 9 Agosto 1991 (S2,S3,S4)

Misura 1 = 16 Novembre 1991

Misura 2 = 5 Dicembre 1991

Misura 3 = 2 Giugno 1992

Misura 4 = 10 Novembre 1992

Misura 5 = 23 Aprile 1993.

Inoltre, in questo caso particolare, come anche in altre situazioni appenniniche, è stato fondamentale eseguire lo studio della deriva azimutale degli inclinometri e relative teste di lettura topografica (misure inclinometriche e topografiche) al fine di tarare il complesso di misure inclinometriche con quelle topografiche, sia confermando eventuali anomalie nelle prime sia individuando l'evoluzione planimetrica del dissesto.

Le misure topografiche sono state ottenute battendo le teste degli inclinometri dal versante opposto, considerato stabile e attraverso opportune triangolazioni.

La deriva inclinometrica, riportata schematicamente in figura 1, è stata ottenuta dall'azimut medio del settore in movimento relativamente a ciascun inclinometro.

Dall'analisi delle deformate è stato osservato quanto segue:

- le direzioni planimetriche azimutali dei tubi inclinometrici evidenziano generalmente una forte angolazione rispetto a quella che dovrebbe essere la direzione normale di movimento (ovvero la massima pendenza del versante); solo nei casi S2, S4, S5 (ad eccezione dell'ultima lettura dell'S3) la direzione di deformazione è approssimativamente concorde a quella cinematicamente possibile. In pressoché tutte le letture si osserva una rotazione della deformata massima passando dalle misure 3-4 alla misura 5; in generale a tale rotazione si associa una diminuzione dell'entità delle deformazioni e in taluni casi l'inversione azimutale della deformata inclinometrica (S1, S3).

L'esame planimetrico delle entità delle deformazioni e delle relative direzioni azimutali (Fig. 1) farebbe presupporre che solo la zona dei sondaggi S3, S4, S5 abbia subito una deformazione gravitativa verso valle; in particolare la zona centrale, occupata dal sondaggio S4, evidenzia deformazioni ( $\approx 63$  mm) ben oltre il limite di rottura del materiale che dalle prove di laboratorio sembra essere di  $5 \div 10$  mm (max deformazione elastica). In generale tutte le deformazioni massime riportate planimetricamente evidenziano spostamenti non compatibili con i limiti elastici del materiale e ben superiori al campo di

errore strumentale (5-6 mm). I sondaggi S1, S2 mostrano una particolare anomalia nello spostamento azimutale che sembra vergere verso la grossa incisione laterale alla frana (Sud); le misure topografiche sembrano confermare, a grandi linee, le deformazioni misurate negli inclinometri. L'intensità delle deformazioni è variabile da 0.1 cm/mese a 0.30 cm/mese (S4);

- l'analisi delle deformazioni condotta sui profili geologico-geotecnici eseguiti ha permesso di evidenziare le probabili fasce di snervamento. In questo caso, a differenza della "Frana piccola", non si parla di fasce di scorrimento poiché le radici delle deformate non presentano elevate gradienti e le deformate stesse presentano gradienti costanti non nulli tali da far pensare ad una "plasticizzazione" generalizzata dalla massa in movimento. L'analisi delle deformate è risultata difficile e aleatoria, solo la Sez. 2 (Fig. 15) presenta evidenti segni di dissesto, soprattutto in corrispondenza del sondaggio S4; in tale sondaggio a  $\approx 25$  m di profondità è circoscrivibile una fascia di deformazione raccordabile a quelle evidenti, seppur con deformazioni molto minori, nei sondaggi S5 e S6. La Sezione 3 (Fig. 16), eseguita circa parallelamente allo sviluppo del versante sembra evidenziare l'influenza delle incisioni laterali sugli inclinometri S2 e S3 che divergono verso le stesse (Fig. 1);
- l'evoluzione del dissesto, da considerarsi un fenomeno di creep o soliflusso [RAHN, 1986] secondo quanto evidenziato dalle misure inclinometriche, avviene a movimenti intermittenti, secondo masse disarticolate fra loro e differenziate dal punto di vista sia dinamico (intensità e durata dei movimenti) sia cinematica (direzione azimutale dei movimenti).

Il tracciamento delle superfici di snervamento riportate nelle figure 14, 15, 16, è stato compiuto sulla base dei seguenti elementi:

- natura litologica del terreno;
- compattezza elastica del materiale (da indagini geofisiche);
- entità e gradiente delle deformazioni (da misure inclinometriche).

Le superfici di snervamento individuate sono multiple e embricate; la risalita di tali superfici è stata individuata sia dai contatti sismostratigrafici obliqui sia dalla rotazione dei tubi inclinometrici adiacenti (S1, S3) che evidenziano un'inversione azimutale.

Infine in figura 17 sono riportate le precipitazioni e i giorni piovosi mensili in corrispondenza delle letture inclinometriche di entrambe le frane.

Decisamente complessa appare l'analisi delle deformazioni del suolo superficiale rilevate con le misure topografiche e le misure inclinometriche riferite al primo metro di profondità delle colonne.

L'osservazione delle misure di spostamento relativo da una data di lettura ad un'altra, considerabili come la deformazione assoluta indipendente dall'azimut con cui si sviluppa il movimento in un lasso di tempo compreso fra due misure, porta a concludere che altri fattori, quali l'escursione termica (espansione e ritiro del terreno per cause termiche) e gli eventi meteorici influiscono sensibilmente sull'entità delle deformazioni tanto da

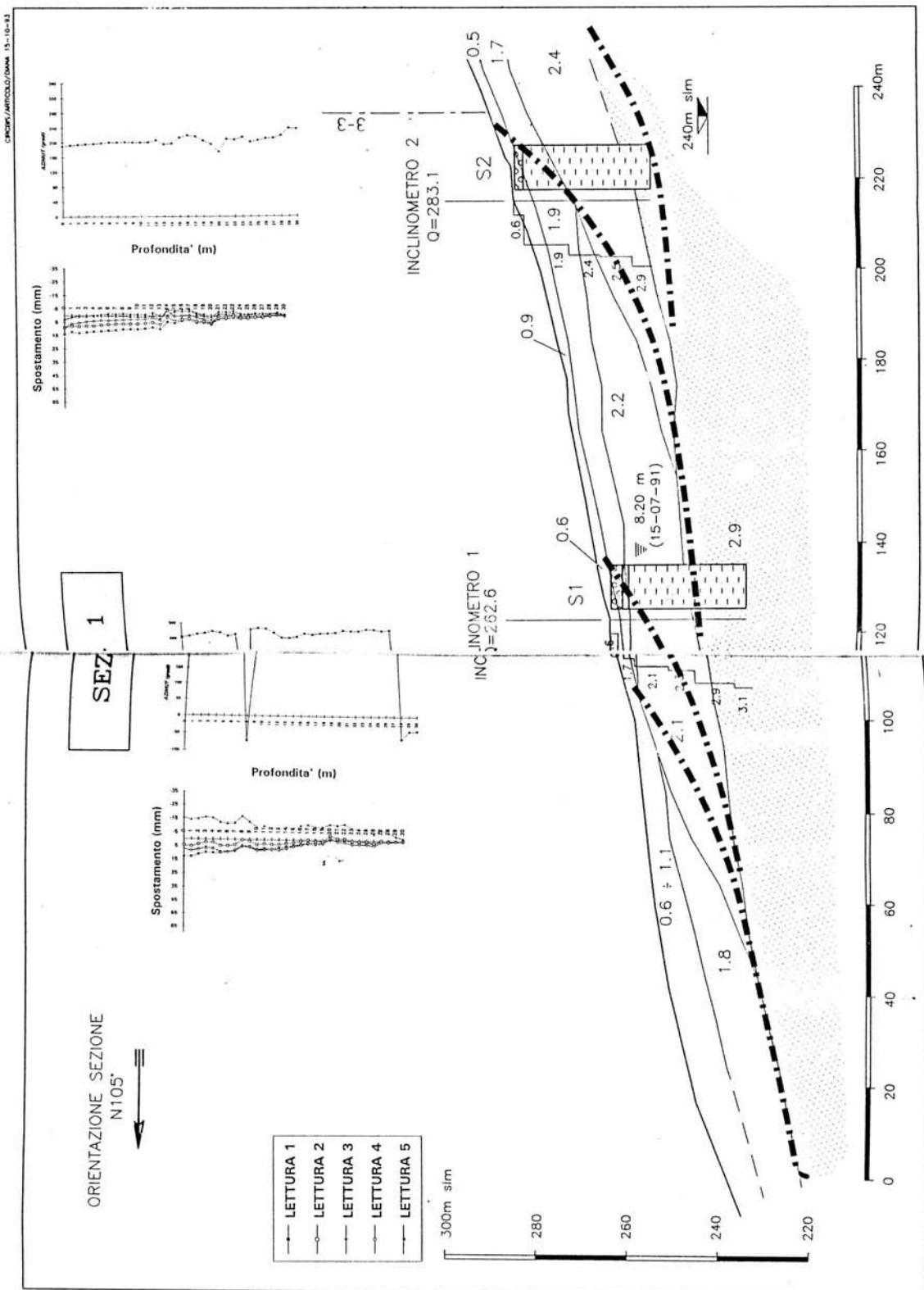


Fig. 14

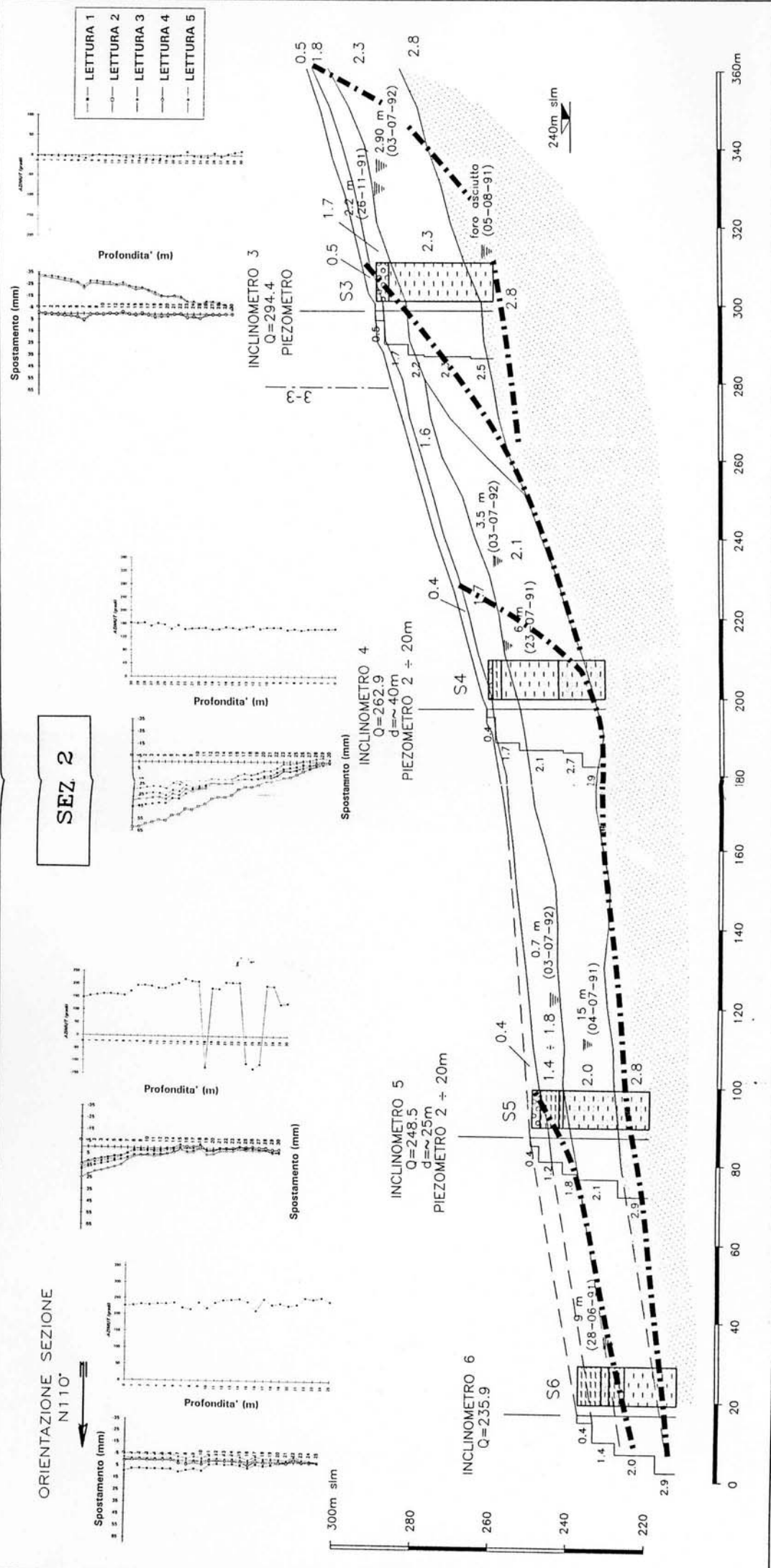


Fig. 15

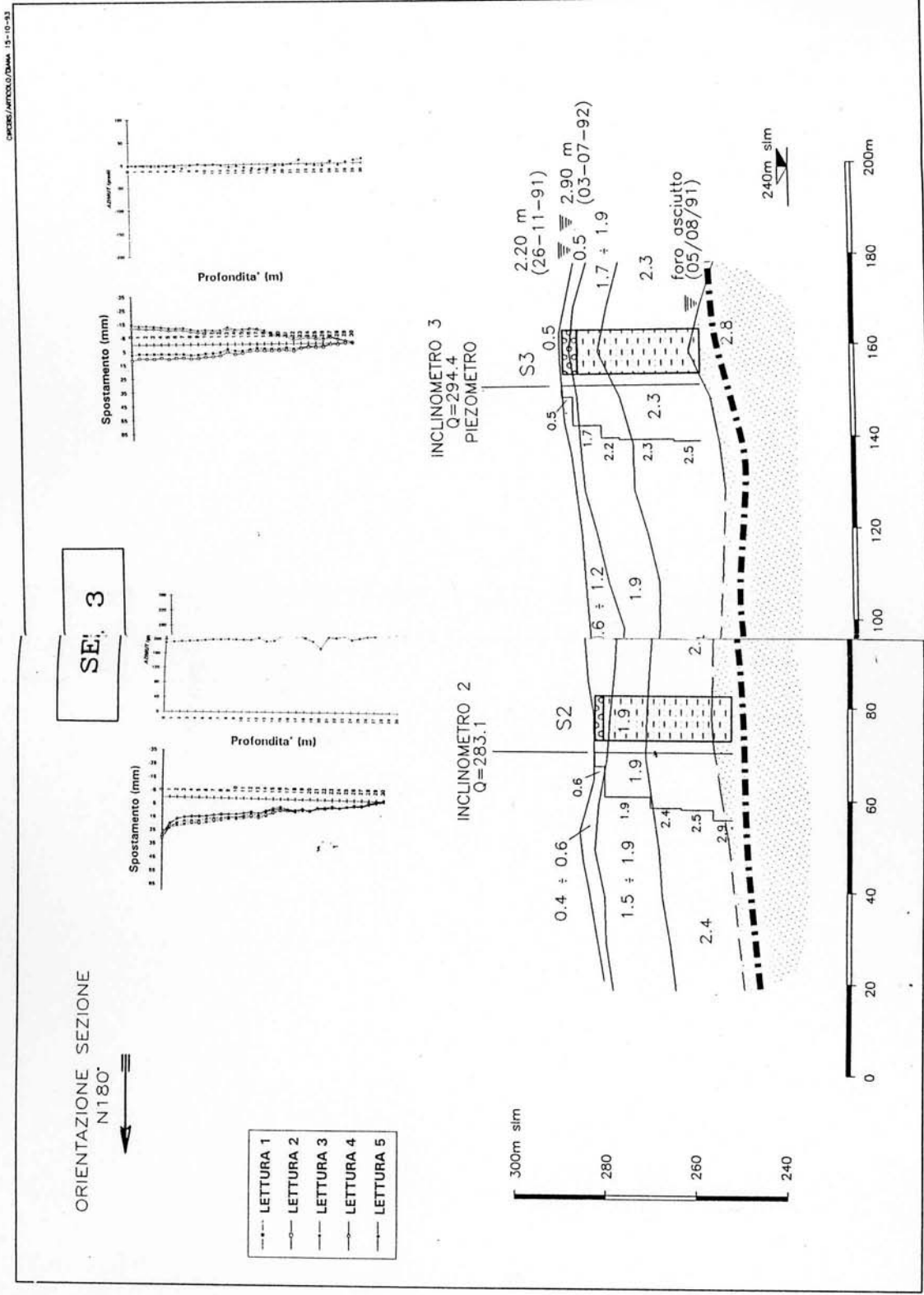
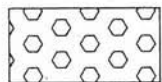


Fig. 16

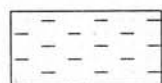
### LEGENDA



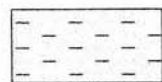
Detrito vario composto da elementi lapidei immersi in matrice argillosa detritica



Argilla detritica grigio-verdastra con elementi lapidei calcarei di varie dimensioni



Argille scagliose di aspetto traslucido di colore grigio con presenza di piccoli elementi calcarei



Argille scagliose di aspetto traslucido di colore grigio con presenza di trovanti calcarei

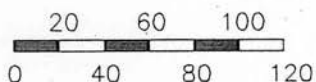


Livello d'acqua nel foro dal p.c. al (.....)

Deformata inclinometrica



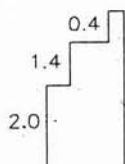
Lettura 1 16/11/91  
Lettura 2 05/12/91  
Lettura 3 02/06/92  
Lettura 4 10/11/92  
Lettura 5 23/04/93



Deformazioni (mm)

2.8

Velocita' sismica in Km/sec da rifrazione

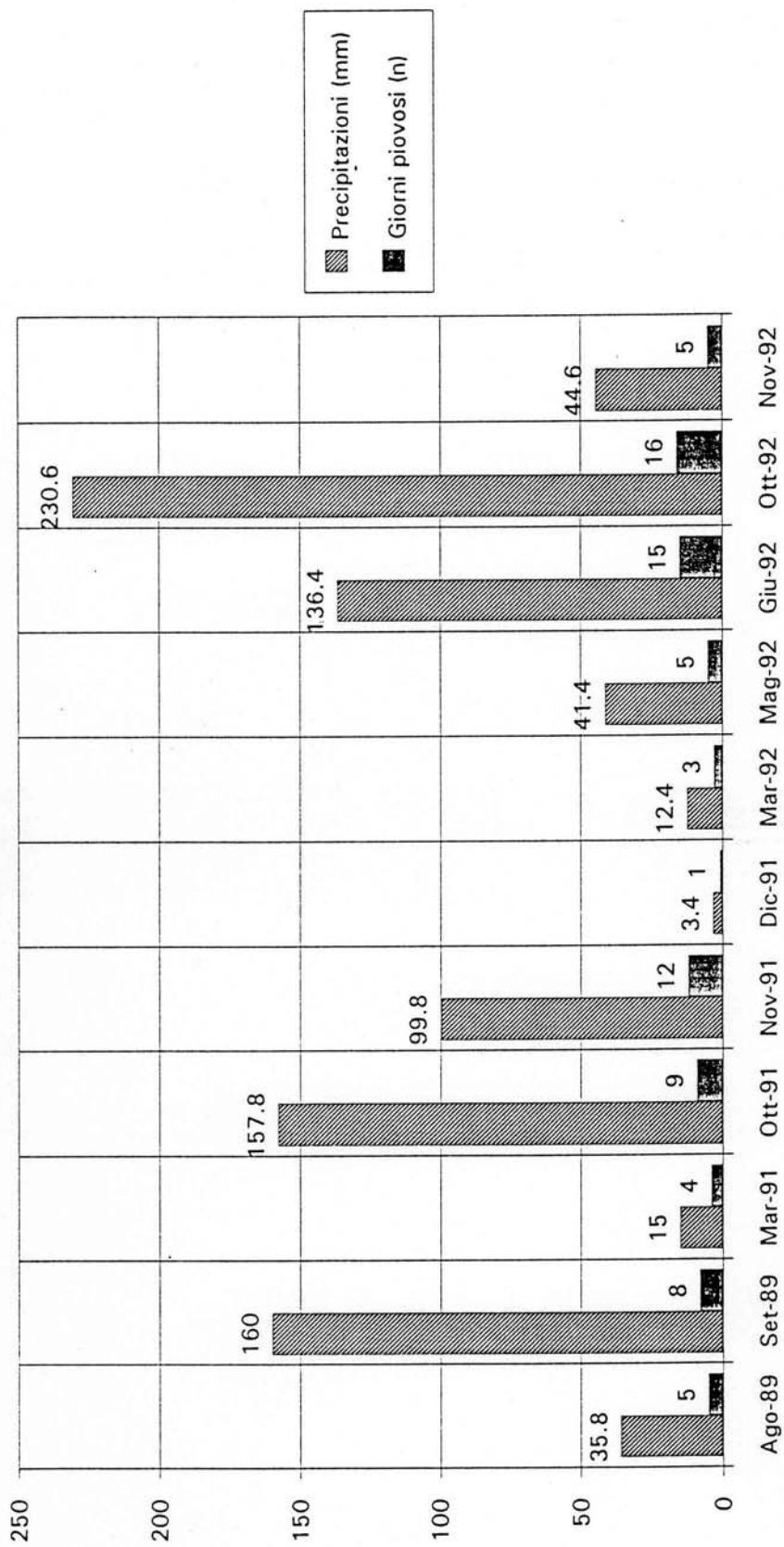


Velocita' sismica in Km/sec da down-hole



Probabile superficie di snervamento

TABELLA PRECIPITAZIONI E GIORNI PIOVOSI MENSILI IN CORRISPONDENZA DELLE LETTURE INCLINOMETRICHE



BACINO DEL TARO - STAZIONE DI RAMIOLA

Fig. 17

renderne difficile l'interpretazione.

Per analizzare l'influenza delle precipitazioni meteoriche sulle deformazioni superficiali è stata compiuta un'accurata raccolta di dati pluviometrici locali rilevati nell'arco di lunghi periodi (stazioni idrografiche di Ramiola e Noceto); la loro comparazione sui movimenti riscontrati nel suolo porta a concludere che (Fig. 18):

- esiste una chiara correlazione che si esplica con periodi stagionali tra entità delle precipitazioni e deformazioni. Inerzie nella risposta deformativa del terreno sono osservabili nel periodo autunnale a causa del tempo necessario alla ricarica delle falde;
- l'entità delle deformazioni relative dovute a tali fattori risulta di parecchi cm per ogni variazione stagionale. Ciò risulta confermato dall'osservazione dei dati S1 e S2 che evidenziano una discrepanza tra i valori topografici e quelli inclinometrici dopo la data Gennaio 1993 corrispondente all'ultimazione dell'opera di confinamento a valle della "Frana piccola" sull'allineamento della Sez. 1;
- la direzione azimutale delle deformazioni risulta frequentemente caotica.

Infine, la proiezione dei dati di deformazione relativa (all'interno di due letture) sul periodo in cui queste si sviluppano [Esu, 1986], evidenzia una correlazione "di potenza" del tasso di deformazione nei confronti del tempo (Fig. 19).

Nel grafico i punti in alto a sinistra sono per lo più relativi alla "Frana piccola" e quelli in basso a destra alla "Frana grande" (movimenti lento ed estremamente lento secondo Varnes, 1978).

## CONCLUSIONI

Sono stati analizzati al dettaglio due fenomeni franosi di dimensioni, caratteristiche ed evoluzione differenti sia per la causa che li ha generati sia per i volumi di terreno che essi interessano.

Il fenomeno di dimensioni minori denominato "Frana piccola" si è innescato a seguito della concomitanza di intense precipitazioni meteoriche e lavori di scavo che hanno perturbato gli equilibri naturali preesistenti.

Il fenomeno maggiore denominato "Frana grande" ingloba il minore al piede e trova una sua collocazione nel quadro di una dinamica evolutiva gravitativa che si esplica attraverso stadi di quiescenza e di movimento, alternati e senza soluzione di continuità.

La "Frana piccola" ha mostrato evidenti segni di scorrimento su un livello plastico e per questo è assimilabile ad uno "scorrimento traslativo di terra in blocco" (Earth Block Slide) di tipo lento [VARNES, 1978].

La massa franata si presentava satura e plastica.

Le misure inclinometriche hanno evidenziato una radice ad elevato gradiente deformazioni-profondità e tassi di deformazione pari a  $\approx 1.2$  cm/mese.

Le proprietà indici  $W_n$ ,  $S_r$  e  $IC$  si sono rivelate essenziali per il riconoscimento del piano di scorrimento. Analogamente per i valori di Pocket-Penetrometer.

Sul piano di scorrimento si sono raggiunti livelli deformativi caratteristici di una resistenza residua dell'argillite con un attrito pari a  $\phi_r = 10^\circ$ .

La "Frana grande" non ha mostrato evidenti segni di

scorrimento ma numerose superfici di snervamento diffuse nella massa a differenti profondità; il fenomeno è assimilabile ad un "creep superficiale" (Creep Mantle) estremamente lento [VARNES, 1978]. Per "creep" si può intendere il movimento di un flusso quasi viscoso che si verifica sotto sforzi di taglio sufficienti a produrre deformazioni permanenti, comunque troppo deboli per generare superfici di rottura [RAHN, 1986].

La massa deformata risulta non satura e ancora in campo semisolido.

Le misure inclinometriche evidenziano radici non particolarmente nette, a basso gradiente e con gradienti costanti non nulli spesso fino in superficie, caratteristiche di uno snervamento diffuso della massa.

I tassi di deformazione risultano piuttosto bassi pari a  $0.1 \div 0.3$  cm/mese.

Le proprietà indici  $W_n$ ,  $S_r$  e  $IC$  non risultano altrettanto caratterizzanti, come nel caso precedente, nell'interpretazione del fenomeno, ma denotano comunque una marcata variazione con la profondità.

Sulle fasce di snervamento non si raggiungono livelli deformativi caratteristici di resistenza residua e si può presupporre che su di essi l'attrito mobilitato sia intermedio tra quello di picco e quello residuo ( $\phi_{mob} = 10^\circ \div 17^\circ \approx 13^\circ/14^\circ$ ).

Inoltre l'interpretazione cinematica risulta influenzata da:

- "effetto bordo": gli inclinometri vicino alle grosse incisioni laterali (S1, S2) risentono notevolmente del continuo approfondimento della livelletta idraulica di tali direttrici causato dai fenomeni erosivi e di trasporto;
- effetti particolari dovuti a rotazione di lembi del dissesto, deformazioni complesse dovute anche a espansione e ritiri del materiale per cause termiche e legate alla ritenzione idrica, movimenti irregolari di reptazione e soliflusso, etc.

Il dissesto nel suo complesso può essere considerato nel tempo come cinematicamente unidirezionale.

Inoltre sono state rilevate importanti deformazioni del suolo a carattere stagionale influenzata prevalentemente dal regime delle precipitazioni e dalle escursioni termiche. L'analisi dettagliata del dissesto ha permesso di concludere che non esistono problemi di sicurezza per la sottostante linea ferroviaria.

## RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano porgere un sentito ringraziamento all'Ing. Zanello e all'Ing. Peri dell'Ente FF.SS. - Divisione Costruzione Commessa 10 per l'autorizzazione alla pubblicazione dei dati e agli Ingg. De Ambrogi, Ballarani e Jacometti del Consorzio CIRC per l'utile collaborazione prestata nello studio del fenomeno.

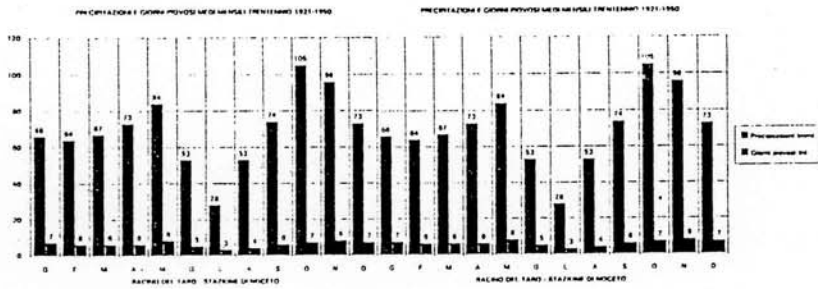
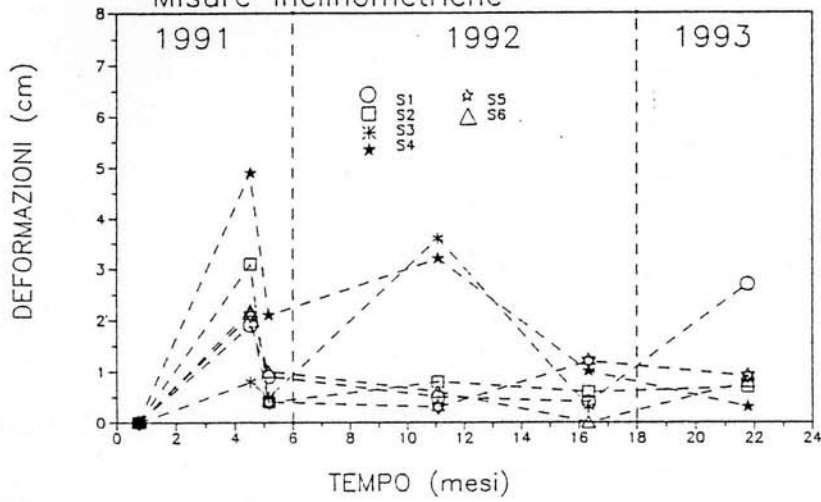
## BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1968): *Foglio 85 - Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000* - Servizio Geologico d'Italia, Roma.

AA.VV. (1965): *Carta Geologica 1:100000 della Provincia di Parma e zone limitrofe*. Istituto di Geologia, Geografia e Paleontologia dell'Università di Parma. Parma-Garda 1965.



DEFORMAZIONI DEL SUOLO  
Misure inclinometriche



DEFORMAZIONI DEL SUOLO  
Misure topografiche

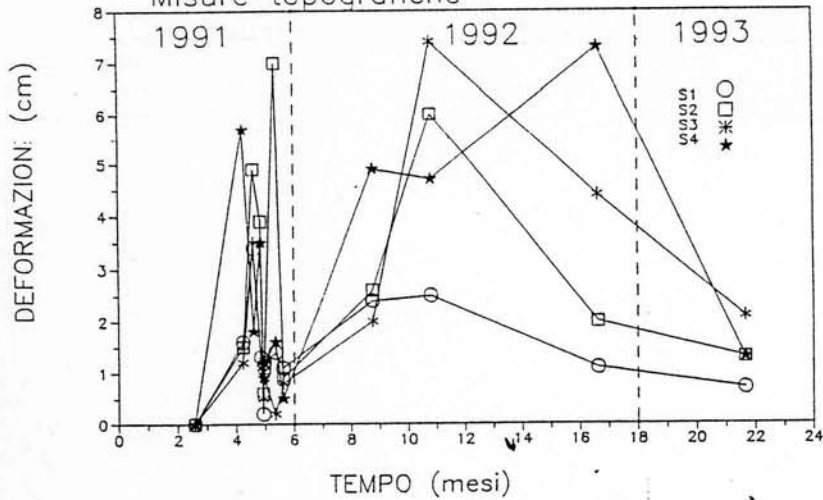
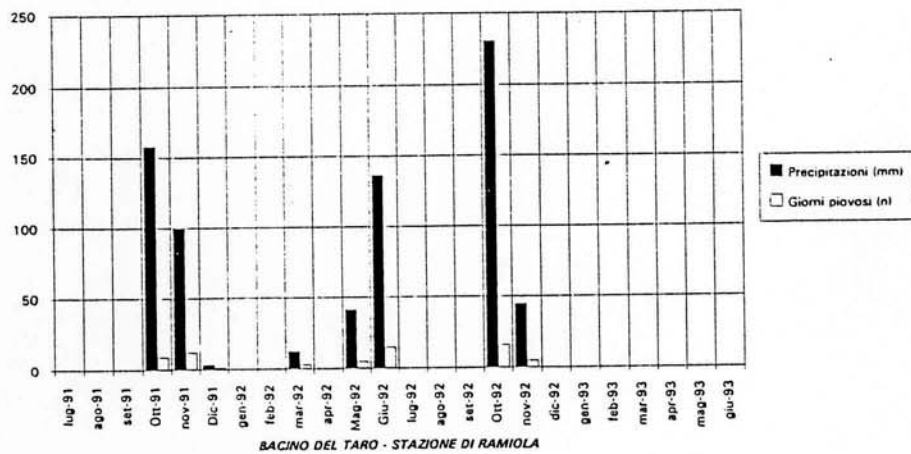


TABELLA PRECIPITAZIONI E GIORNI PIOVOSI MENSILI IN CORRISPONDENZA DELLE LETTURE INCLINOMETRICHE



### CORRELAZIONE TASSO DI DEFORMAZIONE – TEMPO (Dati frana grande e piccola)

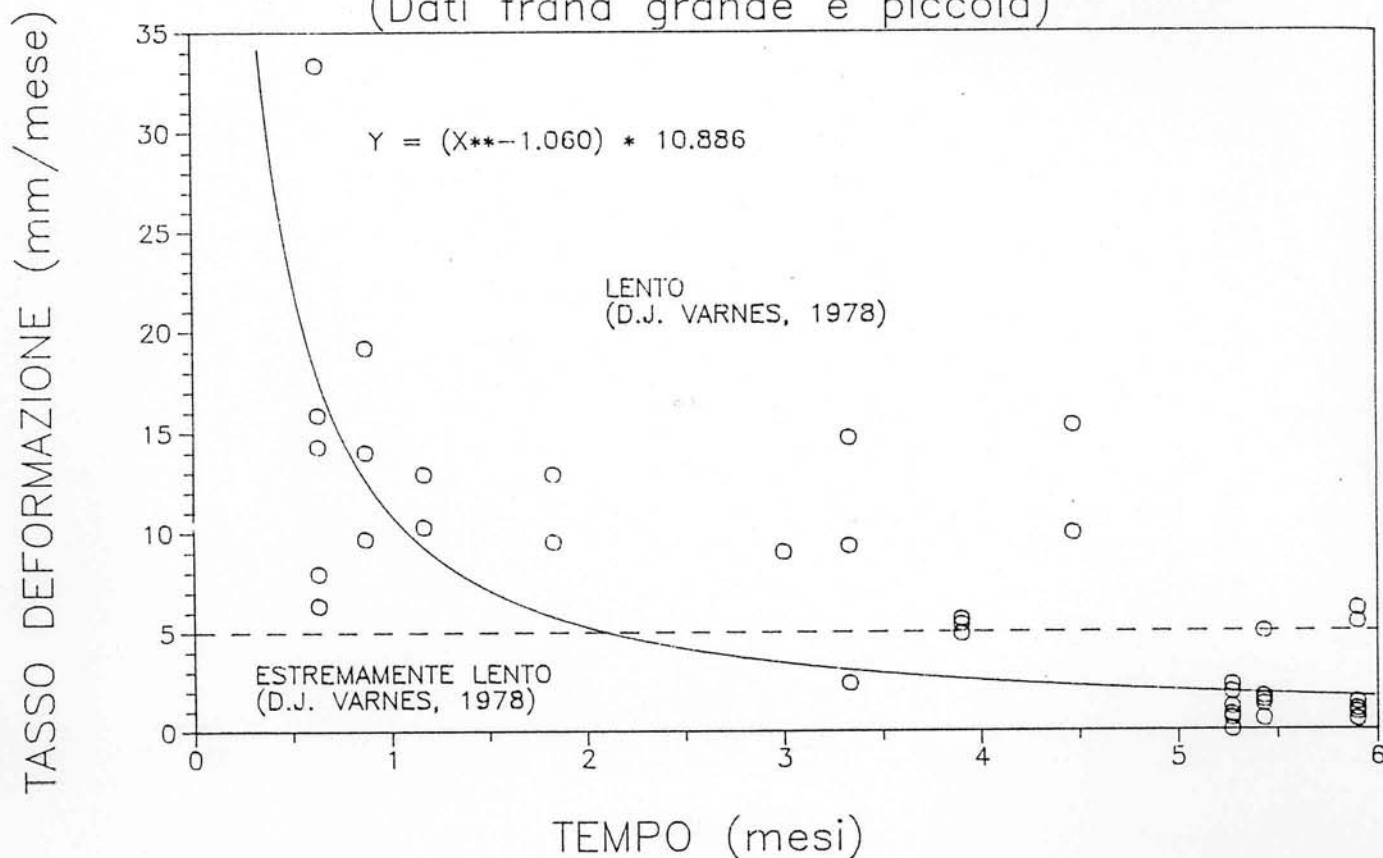


Fig. 19

AGI (1977): *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.*

AGI (1979): *Some italian experiences on the mechanical characterization of structurally complex formations.* IV Int. Congr. ISRM. Montreux.

CASAGRANDE A. (1948): *Classification and Identification of Soils.* Transaction ASCE, V. 113, p. 901.

ESU F. (1977): *Behaviour of slopes in structurally complex formations.* AGI, Gen. Rep., Int. Symp. on the Geotechnics of Structurally Complex Formations, Capri, Vol. 2, pp. 292-304.

ESU F. (1986): *La scelta del tipo e delle modalità di intervento nei pendii.* AGI. XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, pp. 257-271. Bologna.

LANCELOTTA R. (1991): *Geotecnica* (p.15). Zanichelli. Bologna.

LUPINI J.F. et Al. (1981): *The Drained Residual Strength of Cohesive Soils.* Geotechnique, 3, pp. 287-299.

MM.LL.PP. (1988): DM 11/3/1988, Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

RAHN P.H. (1986): *Engineering Geology - An Environmental Approach.* pp. 150-155. Elsevier. New York.

ROCKSOIL (1993): *Banca Dati Geotecnici.* Milano.

SKEMPTON A.W. (1964): *Long term stability of clay slopes.* Geotechnique 14 (2), pp. 153-173.

VARNES D.J. (1978): *Types of Slopes Movements.* Transportation Research Board Committee, A2T58, USA.