

LUIGI DELL'ANNA*, VINCENZO RIZZO**, ANTONIO SIMONE***

COMPOSIZIONE MINERALOGICA E GRANULOMETRICA E ALCUNE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE ARGILLE INFRAPLIOCENICHE DELLA MEDIA VALLE DEL F. CRATI. CARATTERI DISTINTIVI DELLE ARGILLE IN FRANA****

RIASSUNTO. — In relazione ai contributi che la mineralogia può fornire alla risoluzione di problemi riguardanti i fenomeni franosi, sono stati esaminati 67 campioni di argilla del Pliocene inferiore prelevati da affioramenti, interessati e non da fenomeni franosi, della media valle del F. Crati (Calabria). Si tratta di argille siltose con 59 % di clay ($< 4 \mu\text{m}$) e 36 % di silt ($4-63 \mu\text{m}$), mineralogicamente costituite da minerali argillosi ($\bar{x} = 64 \%$) e da carbonati ($\bar{x} = 23 \%$), associati a modeste quantità di quarzo e feldspati ($\bar{x} = 13 \%$) e a tracce di miche (muscovite, biotite e paragonite), granati piralspitici, ossidi e idrossidi di ferro (magnetite, ematite, ilmenite e goethite), pirite, gesso e sillimanite. I minerali argillosi sono rappresentati da montmorillonite ($\bar{x} = 26 \%$), illite ($\bar{x} = 21 \%$), clorite ($\bar{x} = 11 \%$), caolinite ($\bar{x} = 6 \%$) e da tracce di strati misti irregolari illite-smectite, smectite-clorite e vermiculite-smectite; i carbonati da prevalente calcite ($\bar{x} = 19 \%$) e da subordinata dolomite ($\bar{x} = 4 \%$). In genere le argille interessate da frane sono, rispetto alle altre, granulometricamente più fini (fraz. $< 2 \mu\text{m}$: $\bar{x} = 51,5 \%$ contro $42,8 \%$; clay: $\bar{x} = 62,4 \%$ contro $54,7 \%$; Md: $\bar{x} = 2,5 \mu\text{m}$ contro $3,7 \mu\text{m}$) e mineralogicamente più ricche di minerali argillosi ($\bar{x} = 68 \%$ contro 61%) e, fra essi, di montmorillonite ($\bar{x} = 32 \%$ contro 21%). Dal punto di vista geotecnico appartengono alla famiglia delle argille inorganiche a medio-alta plasticità e con attività colloidale medio-bassa. I parametri geotecnici determinati risultano correlati linearmente e positivamente con i contenuti di montmorillonite, di minerali argillosi e di frazione propriamente argillosa. Essi sono anche coerenti con le differenze composizionali riscontrate fra le argille in posto e le argille in frana.

ABSTRACT. — 67 samples of Infrapliocene « Argille grigio-azzurre » from outcrops of the River Crati Valley (Calabria), have been examined from the mineralogical and grain-size points of view. Moreover, the main geotechnical characteristics of the samples have been determined. The samples are silty clay with 59 % of clay and 36 % of silt. Mineralogically they contain clay minerals ($\bar{x} = 64 \%$) and carbonates ($\bar{x} = 23 \%$) with scarce amounts of quartz and feldspars ($\bar{x} = 13 \%$) and with traces of muscovite, biotite, pyrite, gypsum and sillimanite. The clay minerals are montmorillonite ($\bar{x} = 26 \%$), illite ($\bar{x} = 21 \%$), chlorite ($\bar{x} = 11 \%$), kaolinite ($\bar{x} = 6 \%$) and irregular mixed layers of illite-smectite, smectite-chlorite and vermiculite-smectite; the carbonates are: calcite ($\bar{x} = 19 \%$), dolomite ($\bar{x} = 4 \%$) and aragonite (traces). Compared with the others, the clays from areas with landslide phenomena

* Istituto di Mineralogia e Petrografia, Università di Bari. ** Istituto Ricerche per la Protezione Idrogeologica, Cosenza. *** Dipartimento delle Scienze della Terra, Università della Calabria. **** Lavoro eseguito con il contributo finanziario del C.N.R.: Progetto finalizzato « Conservazione del Suolo » - Sottoprogetto « Fenomeni Franosi » e fondi dell'Istituto Ricerche Protezione Idrogeologica di Cosenza. Pubblicazione n. 160.

are finer in grain-size composition ($< 2 \mu\text{m}$: $\bar{x} = 51,5 \%$ instead of $42,8 \%$; clay: $\bar{x} = 62,4 \%$ instead of $54,7 \%$; Md: $\bar{x} = 2,5 \mu\text{m}$ instead of $3,7 \mu\text{m}$) and contain larger amounts of clay minerals ($\bar{x} = 68 \%$ instead of 61%) and montmorillonite ($\bar{x} = 32 \%$ instead 21%). From a geotechnical point of view, the samples examined are inorganic clays with medium-high degree of plasticity and medium-low colloidal activity. The geotechnical parameters turn out to be linearly and positively correlated with the amounts of montmorillonite, clay minerals and clay proper. They are also consistent with the compositional differences observed between the clays from areas with landslide phenomena and the others.

Premessa

In un lavoro precedente (DELL'ANNA e RIZZO, 1979) è stato affrontato, presso l'Istituto per la Protezione Idrogeologica (IRPI) di Cosenza e l'Istituto di Mineralogia di Bari, lo studio di alcuni campioni di argille grigio-azzurre infraplioceniche della media valle del F. Crati, nell'ambito di ricerche relative alla tematica «Influenza della mineralogia e geochimica sul comportamento geotecnico delle masse in frana» del Progetto finalizzato «Conservazione del Suolo - Sottoprogetto Fenomeni Franosi». In detto lavoro sono stati evidenziati interessanti dati composizionali e significative relazioni fra composizione mineralogica e comportamento geotecnico delle masse argillose considerate; è stato notato, tra l'altro, che i campioni esaminati sono relativamente ricchi di montmorillonite i cui contenuti risultano positivamente correlati con i valori dei limiti di Atterberg. Tuttavia, data la vastità delle argille considerate, lo studio, inteso come primo approccio alla tematica di cui sopra, è stato rivolto ad un limitato numero di campioni provenienti da un'area piuttosto ristretta, e relativamente poco dissestata della media valle del F. Crati, con lo svantaggio pertanto di non poter disporre di alcuna informazione sui caratteri di persistenza della composizione mineralogica evidenziata, sulle relazioni riscontrate e sulle possibili differenze composizionali e geotecniche fra campioni di affioramenti a diversa frequenza di dissesto.

Allo scopo di ottenere anche informazioni di questo tipo lo studio è stato ripreso nel presente lavoro che prende in esame un numero piuttosto consistente di campioni provenienti da un'area relativamente estesa della media valle del F. Crati e che comprende sia depositi di argille grigio-azzurre fortemente dissestati e sia depositi in cui la frequenza del dissesto è da ritenersi piuttosto bassa.

Per i caratteri geomorfologici delle argille grigio-azzurre affioranti nell'area considerata si rimanda al già citato lavoro di DELL'ANNA e RIZZO (1979) e alla bibliografia in esso riportata.

Campionamento e metodi di studio

Per i fini che il lavoro si propone il campionamento è stato eseguito in maniera da poter disporre di due gruppi di campioni, uno rappresentativo di argille fortemente dissestate (fig. 1) e l'altro invece di argille che, almeno morfologicamente, sembrano mediamente poco interessate da fenomeni di dissesto.

I campioni (37) del primo gruppo sono stati prelevati direttamente da corpi di frana mentre quelli (32) del secondo verosimilmente da argille in posto. Per i necessari confronti la campionatura è stata guidata anche in maniera che i due gruppi di campioni, rappresentativi dei due suddetti tipi di argilla, fossero omogenei oltre che per età anche per i caratteri morfometrici ed agrari (in senso lato) dei pendii di campionamento.

Per quanto riguarda l'età, ciascun campione prelevato è stato scelto solo dopo essere stato sottoposto ad analisi micropaleontologica. A tale proposito si fa rilevare che tutti i campioni scelti sono risultati costituiti da Foraminiferi planctonici e bentonici, con i primi molto più rappresentati dei secondi. Fra i planctonici le forme più rappresentative e più abbondanti sono quelle appartenenti alla famiglia delle GLOBIGERINIDAE: *Orbulina universa* d'ORBIGNY, *Orbulina suturalis* BRONNIMAN, *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY, *Globigerina falconensis* BLOW, *Globigerina calida praecalida* BLOW, *Globigerinoides obliquus extremus* BOLLI e BERMUDEZ, *Globigerinoides quadrilobatus quadrilobatus* (d'ORBIGNY), *Globigerinoides obliquus obliquus* BOLLI, *Globorotalia acostaensis* BLOW, *Globorotalia scitula* (BRADY), *Globorotalia punctilata* (DESHAYES), *Globorotalia margaritae* BOLLI e BERMUDEZ. Fra i bentonici le forme più rappresentative sono quelle appartenenti alla famiglia delle NODOSARIDAE: *Lagena semistrata* (WILLIAMSON), *Lenticulina peregrina* (SCHWAGER), *Lenticulina orbicularis* (d'ORBIGNY); delle BULIMINIDAE: *Bulimina costata* (d'ORBIGNY), *Bulimina exilis* (BRADY), *Uvigerina pygmaea* d'ORBIGNY, *Uvigerina rutila* CUSHMAN e TODD; e delle TEXTULARIDAE: *Textularia soldanii* FORNASINI, *Bigenenerina nodosaria* d'ORBIGNY. La presenza di *Globorotalia margaritae* e di *Globorotalia punctilata* indica un'età Pliocene inferiore non strettamente basale (CATI et al., 1968; CITA, 1975).

Per quanto riguarda i caratteri morfometrici e agrari di cui sopra, la confrontabilità fra i due gruppi di campioni, in frana e non in frana (ovvero in posto) nel senso altrove specificato, risulta dai diagrammi di figg. 2 e 3 che visualizzano la distribuzione dei campioni in relazione alla acclività dei pendii, naturalmente prima dei fenomeni di franamento nel caso degli affioramenti in frana, e al loro tipo di terreno agrario.

Sui 67 campioni prelevati, per ciascuno dei quali nella tab. 1 sono riportati i dati topografici e i caratteri geomorfologici e agrari del pendio di campionamento, sono state eseguite l'analisi granulometrica e quella mineralogica e sono stati determinati i limiti di Atterberg.

L'analisi granulometrica è stata eseguita per sedimentazione frazionata in becker delle frazioni inferiori a 32 μm e per setacciatura in umido delle frazioni superiori alla suddetta dimensione (DELL'ANNA, 1969; BALENZANO et al., 1977). L'analisi mineralogica è stata eseguita mediante diffrattometria X su polveri, utilizzando un diffrattometro Philips con radiazione $\text{CuK}\alpha$ filtrata su Ni, integrata, nel caso delle frazioni granulometriche più grosse, da osservazioni al binoculare e al microscopio da mineralogia. La determinazione quantitativa delle specie mineralogiche più rappresentate è stata ottenuta, sempre per diffratto-

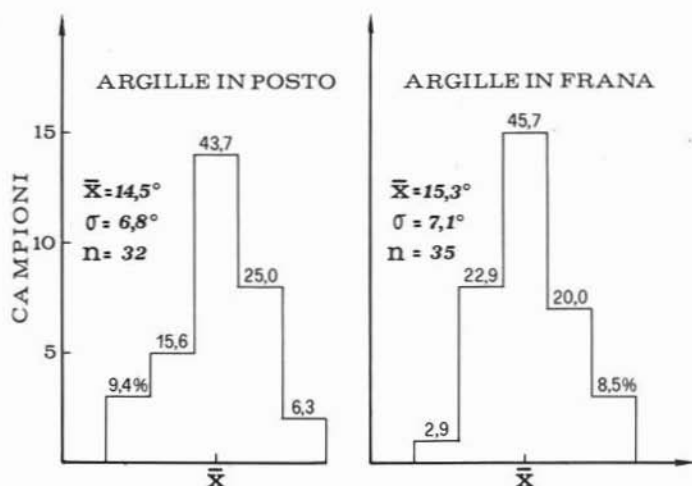


Fig. 2. — Distribuzione dei campioni secondo la acclività (espressa in gradi) dei pendii da cui sono stati prelevati.

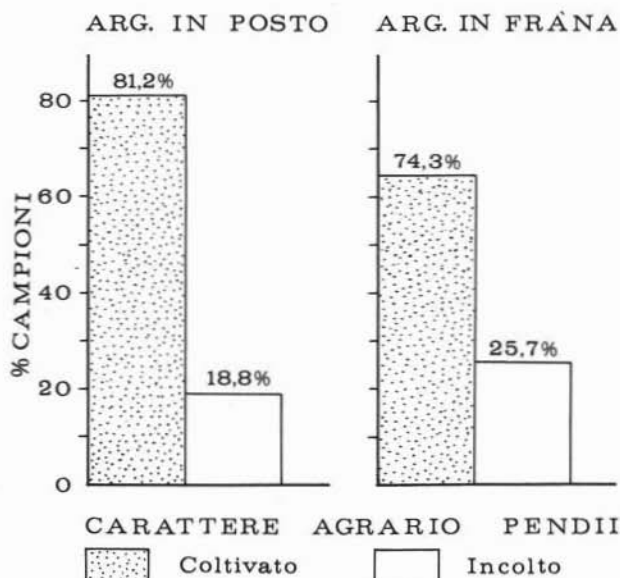


Fig. 3. — Distribuzione dei campioni secondo i caratteri agrari dei pendii da cui sono stati prelevati. Il coltivato è di tipo seminativo-arborato.

metria X, utilizzando i metodi di SCHULTZ (1964) e di SHAW et al. (1971), modificati da DELL'ANNA e DI PIERRO (1977). I contenuti dei carbonati sono stati determinati inoltre per via chimica mediante titolazione con EDTA; i valori ottenuti sono serviti anche per verificare l'affidabilità dei metodi X adoperati. I limiti di Atterberg infine sono stati determinati secondo la metodologia indicata dalle norme ASTM D 423-66 e D 424-59 (65).

TABELLA 1

Indicazioni topografiche dei campioni esaminati e caratteri geomorfologici e vegetazionali degli affioramenti campionati

Camp.	Dati Topografici		Dati Geomorfologici e agrari			Camp.	Dati Topografici		Dati Geomorfologici e agrari		
	Foglio	Località	Pendenza	Frana	Terreno		Foglio	Località	Pendenza	Frana	Terreno
1	229 IV SE	Serra Leo	27°		Col.	35F	229 III SE	Liberata	12°	Sc.-at.	Inc.
2	" "	Signorello	4°		"	36	" "	Fontanelle	7°		Col.
3	" "	Serra Leo	19°		"	37	" "	Commicelle	14°		"
4F	" "	Signorello	7°	Sc.e Co.-q.	"	38	" "	"	15°		"
5	" "	Serra Leo	14°		Inc.	39	" "	S.Girolamo	30°		"
6F	" "	Torano Cast.	6°	Sc.-at.	Col.	40F	" "	"	18°	Sc.-at.	"
7F	" "	"	"	4°	Sc.-at.e q.	41F	" "	"	29°	Sc.-at.	"
8F	" "	"	18°	Sc.-at.	"	42F	" "	"	21°	Sc.-at.e q.	Inc.
9F	" "	"	23°	Sc.-at.e q.	"	43F	" "	Schiomalatte	19°	Sc.-at.e q.	Col.
10F	" "	"	9°	Sc.-at.	"	44F	" "	S.Girolamo	12°	Sc.e Co.-at.e q.	"
11F	" "	"	17°	Sc.-at.e q.	"	45F	" "	Schiomalatte	17°	Sc.-at.e q.	"
12	" III NE	Piretto	22°		Inc.	46F	" "	"	14°	Sc.-at.	Inc.
13	" "	Castelluccio	16°		Col.	47	" "	Schiomalatte	23°		Col.
14	" "	S. Benedetto	17°		Inc.	48	" "	S. Vincenzo	17°		"
15	" "	"	21°		"	49	" "	"	15°		"
16	" "	"	18°		"	50F	" "	"	10°	Sc.e Co.-at.	"
17	" "	"	15°		"	51	" "	"	18°		"
18	" "	"	12°		Col.	52F	" "	"	11°	Sc.e Co.-at.	Inc.
19	" "	"	16°		"	53F	" "	"	11°	Sc.-at.	Col.
20	" III SE	Vaccarizzo	4°		"	54	" "	"	18°		"
21	" "	Molla	8°		"	55F	" "	"	11°	Sc.-at.	"
22F	" "	Parantoro	26°	Sc.-at.e q.	"	56F	" "	Gesuiti	8°	Sc.e Co.-at.e q.	Inc.
23F	" "	"	25°	Sc.-at.	Inc.	57F	" "	"	8°	Sc.-at.e q.	"
24F	" "	"	15°	Sc.-at.	Col.	58F	" "	"	5°	Sc.-at.	Col.
25	" "	Montalto	6°		"	59F	" "	"	8°	Sc.e Co.-at.e q.	"
26F	" "	Parantoro	13°	Sc.-at.	"	60F	" IV NE	Maltempo	16°	Sc.-at.e q.	"
27F	" "	"	23°	Sc.-at.e q.	"	61	" "	Marano March.	8°		"
28F	" "	"	30°	Sc.-at.	Inc.	62	" "	"	14°		"
29	" "	Molla	12°		Col.	63F	" "	S. Lucia	28°	Sc.-at.e q.	"
30F	" "	Parantoro	14°	Sc.-q.	"	64	" "	"	24°		"
31	" "	Caramellaro	15°		"	65F	" "	"	11°	Sc.-at.e q.	"
32	" "	S.Liberata	8°		"	66F	" "	Marano Princ.	15°	Sc.-at.e q.	Inc.
33	" "	Cave Montalto	3°		"	67F	" "	S. Lucia	22°	Sc.-at.e q.	Col.
34	" "	Fontanelle	13°		"						

F = campioni in frana; *pendenza* = inclinazione del pendio campionato; *Sc.* = frana di scoscendimento; *Co.* = frana di colamento; *at.* = frana attiva; *q.* = frana quiescente; *Col.* = affioramento coltivato; seminativo-arborato; *Inc.* = affioramento incolto.

Analisi granulometrica

Quest'analisi ha evidenziato che i campioni fanno parte di un sedimento abbastanza fine la cui frazione propriamente argillosa ($< 4 \mu\text{m}$) si aggira mediamente intorno a 59 % del totale mentre quella sabbiosa ($> 63 \mu\text{m}$) in ogni caso rappresenta pochi percento del campione complessivo (tab. 2). Ne consegue che tessituralmente sono classificabili (fig. 4) come argille siltose, raramente pasanti a silt argillosi e ancor più raramente a silt argilloso-sabbiosi.

I dati relativi alle singole frazioni granulometriche e ai contenuti di clay, silt e sand dell'insieme dei campioni esaminati (tab. 2), indicano una famiglia argillosa granulometricamente piuttosto omogenea tanto che le differenze che in tal senso possono esistere passando da un campione all'altro, e specialmente

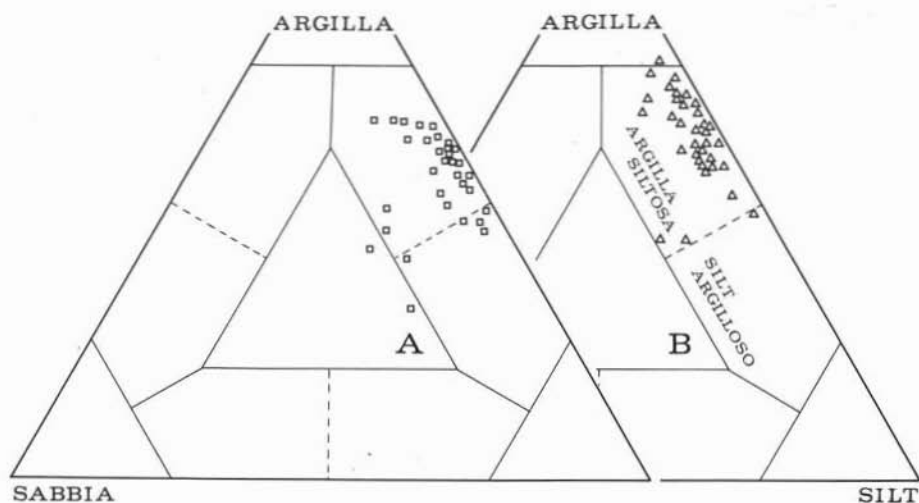


Fig. 4. — Classificazione dei campioni esaminati secondo lo schema di SHEPARD (1954). - A = argille in posto; B = argille in frana.

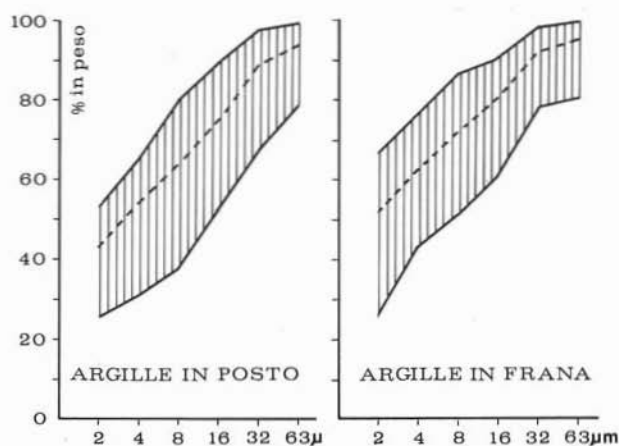


Fig. 5. — Fasce granulometriche dei campioni esaminati, distinti per gruppo di appartenenza. In tratteggio le curve cumulative medie.

nei contenuti di frazione inferiore a $2\ \mu\text{m}$ e di frazione superiore a $32\ \mu\text{m}$, sono meno sensibili di quelle che era lecito attendersi da una popolazione costituita da 67 campioni a comportamento granulometrico simile. Ciò si evince anche dal ristretto campo (fig. 5) entro cui sono comprese le curve cumulative dei

TABELLA 2

Caratteristiche granulometriche dei campioni esaminati (% in peso; Md in μm)

ARGILLE IN FOSTO												ARGILLE IN PRAGA											
Comp.	<2 μm	2-4	4-8	8-16	16-32	32-63	>63 μm	Silt	Clay	Md		Comp.	<2 μm	2-4	4-8	8-16	16-32	32-63	>63 μm	Silt	Clay	Md	
1	48,4	13,2	3,7	6,3	15,4	9,0	4,0	34,4	61,6	2,3		4	56,3	6,9	8,0	12,3	9,8	4,8	1,7	35,1	63,2	1,7	
2	50,0	7,9	3,9	14,1	14,0	6,0	2,1	40,0	57,9	2,0		6	48,8	8,8	9,9	6,8	14,0	5,4	6,3	36,1	57,6	2,3	
3	39,6	12,4	3,2	14,8	13,6	5,5	6,9	41,1	52,0	3,7		7	55,7	7,1	6,4	11,1	16,6	4,5	4,6	38,6	56,5	1,5	
5	40,3	13,6	8,1	14,5	18,1	3,8	1,6	44,3	53,9	3,4		8	56,9	7,9	6,3	7,2	11,1	5,0	5,6	29,6	64,3	1,3	
12	52,4	8,6	4,6	15,4	14,1	3,9	1,0	38,0	61,0	1,8		9	50,3	12,2	8,1	10,1	14,3	3,1	1,9	35,6	62,3	2,0	
13	43,3	10,0	14,4	15,6	14,5	0,9	1,3	45,4	53,3	3,2		10	53,3	8,0	6,2	12,5	14,1	2,6	3,3	35,4	61,3	1,9	
14	53,4	12,2	3,6	6,4	9,5	8,1	6,8	27,6	65,6	1,8		11	58,6	9,4	4,1	10,0	3,1	6,4	3,4	28,6	68,0	1,8	
15	26,5	22,3	16,5	13,1	16,0	4,3	1,3	49,9	48,8	4,4		22	57,4	12,3	3,9	6,7	14,0	2,4	3,3	27,0	69,7	1,5	
16	46,1	16,4	7,0	13,0	12,5	3,4	1,6	35,9	62,5	2,6		23	58,2	15,2	5,0	5,4	11,0	3,8	1,4	25,2	73,4	1,8	
17	51,3	11,4	6,9	7,1	9,2	7,9	6,2	31,1	62,7	1,9		24	48,4	8,9	7,1	10,5	14,4	9,3	1,4	41,3	57,3	2,4	
18	45,8	11,7	7,8	12,2	16,9	4,5	1,1	41,4	57,5	2,8		26	62,1	6,9	3,7	3,3	9,0	7,0	8,0	23,0	69,0	1,7	
19	42,4	17,0	10,0	9,8	14,2	4,9	1,7	38,9	59,4	2,9		27	59,1	14,4	2,2	5,8	11,4	3,0	4,1	22,4	73,5	1,8	
20	51,2	14,1	4,9	6,4	6,9	6,3	10,2	24,5	65,3	1,9		28	62,0	14,6	4,9	9,1	9,9	2,6	0,9	22,5	76,6	1,7	
21	42,1	6,4	5,1	10,0	11,3	8,0	17,1	34,4	48,5	5,4		30	57,9	9,1	7,2	11,4	9,8	3,2	1,4	31,6	67,0	1,8	
25	47,4	13,1	7,9	12,1	14,5	3,6	1,4	38,1	60,5	2,5		35	44,0	21,6	5,5	12,4	7,5	1,6	7,3	27,1	65,6	2,6	
29	39,2	6,1	5,2	4,8	17,1	8,8	18,8	35,9	45,3	7,6		40	25,5	17,4	17,3	7,5	10,1	2,5	19,7	37,4	42,9	6,0	
31	25,5	5,4	7,4	18,7	13,4	7,5	22,1	47,0	30,9	13,2		41	53,1	9,8	8,2	14,8	9,3	1,5	3,3	33,8	62,9	1,8	
32	41,2	6,3	12,2	11,2	23,0	5,1	1,0	51,5	47,5	5,0		42	51,2	7,4	9,7	11,6	11,1	2,9	6,1	35,3	58,6	1,9	
33	48,5	4,8	7,0	15,6	19,3	2,9	1,9	44,8	53,2	2,8		43	66,5	3,5	2,1	11,8	13,7	0,4	2,0	28,0	70,9	1,7	
34	38,5	8,8	6,8	14,0	20,6	5,1	6,2	46,5	47,3	5,8		44	43,3	17,1	18,6	7,4	8,1	1,5	6,0	33,6	60,4	2,9	
36	47,4	16,3	9,5	8,4	13,1	3,2	2,1	34,2	63,7	2,3		45	54,8	14,5	8,0	9,9	7,6	1,6	3,6	27,1	69,3	1,8	
37	51,2	4,3	5,8	10,2	17,1	5,1	6,3	38,2	55,5	1,9		46	41,1	14,7	21,8	8,6	7,5	1,0	5,2	39,0	55,8	3,3	
38	49,1	6,2	7,6	12,4	20,0	2,4	2,3	42,4	55,3	2,3		50	48,2	16,0	22,5	4,1	7,5	0,7	1,0	34,8	64,2	2,4	
39	45,3	12,4	8,6	13,4	16,8	2,0	3,5	38,8	57,7	2,9		52	37,8	11,5	26,2	4,1	17,4	2,1	0,9	49,8	49,3	4,2	
47	48,1	16,1	18,2	7,1	6,1	1,1	3,3	32,5	64,2	2,2		53	43,5	13,5	14,5	4,6	15,3	2,5	6,1	36,9	57,0	3,5	
48	39,2	12,1	15,9	5,1	11,1	3,5	22,1	35,6	42,3	5,8		55	58,7	12,2	10,5	5,5	7,4	1,4	4,3	24,8	70,9	1,8	
49	30,0	10,1	15,1	6,3	6,2	15,2	17,1	42,8	40,1	6,8		56	66,5	1,7	15,0	7,0	8,4	0,4	1,0	30,8	68,2	1,7	
51	26,0	29,0	14,3	16,8	10,6	1,9	1,4	43,6	55,0	3,6		57	42,0	18,2	20,1	8,0	6,6	0,9	4,2	35,6	60,2	2,9	
54	31,5	18,0	23,1	6,5	14,0	4,5	2,4	48,1	49,5	4,2		58	52,7	11,1	5,8	15,3	8,6	3,3	0,2	35,0	63,8	1,9	
61	47,9	12,6	17,4	7,0	12,9	1,3	0,9	38,6	60,5	2,4		59	52,7	11,1	8,8	15,3	8,6	3,3	0,2	36,0	63,8	1,9	
62	52,3	12,7	10,9	11,1	10,9	1,4	0,7	34,3	65,0	1,8		60	55,7	5,1	8,1	11,1	15,0	4,2	0,9	39,3	60,8	1,8	
64	36,4	10,5	11,7	9,1	21,3	8,3	2,7	50,4	46,9	5,0		63	42,0	9,7	6,8	11,8	19,8	6,4	3,5	44,8	51,7	3,7	
												65	53,6	13,1	6,6	5,3	8,4	3,0	10,0	23,3	66,7	1,9	
												66	38,9	5,2	7,1	9,8	20,2	4,7	14,1	41,8	44,1	7,0	
												67	45,4	12,2	6,5	9,7	17,2	4,9	4,1	38,3	57,6	5,8	
Σ	42,8	11,9	9,5	10,9	14,2	5,1	5,6	39,7	54,7	3,7		Σ	51,5	10,9	9,6	8,9	11,5	3,3	4,3	33,3	62,4	2,5	
σ	8,4	5,3	5,0	3,8	4,2	3,1	6,5	6,5	8,3	2,3		σ	8,8	4,7	6,1	3,2	3,9	2,0	4,0	6,6	7,8	1,3	

Sand = $> 63 \mu\text{m}$; Silt = $4-63 \mu\text{m}$; Clay = $< 4 \mu\text{m}$; Md = Q50.

diversi campioni analizzati le quali mostrano, altresì, identiche caratteristiche sedimentologiche. Esse infatti per il tipo di andamento parabolico (confrontare curve medie di fig. 5), con una leggerissima concavità verso l'alto nella parte centrale, sono generalmente riferibili a sedimenti mediamente evoluti, depositati dopo una prolungata sospensione in acque, probabilmente caratterizzate da una relativamente forte energia.

Però le differenze di cui sopra si esaltano se si tengono separati i campioni

di argille in posto, cioè quelli che si riferiscono ad argille prelevate da affioramenti mediamente poco dissestati, da quelli di argille in frana, provenienti invece da affioramenti relativamente molto franosi. Infatti i primi (tab. 2) risultano rispetto ai secondi significativamente più poveri di frazione inferiore a $2\text{ }\mu\text{m}$ ($\bar{x} = 42,8\%$ contro $51,5\%$) e più ricchi invece di quella superiore a $32\text{ }\mu\text{m}$ ($\bar{x} = 10,7\%$ contro $7,6\%$). Le differenze dei valori medi appaiono rappresentate da un L.d.P. pari a 1% e a 5% , rispettivamente, per cause puramente accidentali. Queste differenze trovano ovvio riscontro nei valori del clay ($\bar{x} = 54,7\%$ contro $62,4\%$) e del silt ($\bar{x} = 39,7\%$ contro $33,3\%$) per i quali il calcolo statistico (t di Student) ha indicato in ambedue i casi L.d.P. pari a 1% . Anche i valori di Md ($Q\ 50$) dei due gruppi di campioni sono significativamente differenti; il valore medio delle argille in posto risulta significativamente più grande di quello delle argille in frana ($\bar{x} = 3,7\text{ }\mu\text{m}$ e $2,5\text{ }\mu\text{m}$ rispettivamente; t di Student = 2,5148; L.d.P. = 1%). Le differenze testè discusse si evidenziano visivamente nei diagrammi triangolari di fig. 4 dove i due gruppi di campioni sono tenuti fra loro separati; si nota infatti che mentre i campioni in frana sono tutti contenuti nel campo delle argille silteose e in genere assai prossimi al lato argilla-silt del triangolo, gli altri invece sono più dispersi nella stessa area tanto che non pochi di essi si trovano ai limiti o addirittura al di fuori della medesima.

In conclusione, sebbene le argille esaminate costituiscano una famiglia sedimentologicamente (in senso lato) omogenea, pur tuttavia, nel loro ambito, quelle che morfologicamente sono interessate da intensi fenomeni di dissesto presentano rispetto alle altre una granulometria significativamente più fine.

Analisi mineralogica

a) Qualitativa

L'analisi mineralogica delle frazioni più grosse ($> 63\text{ }\mu\text{m}$), eseguita al binocolare e al microscopio da mineralogia, ha evidenziato, in tutti i campioni esaminati, la presenza dei seguenti minerali. *Quarzo* in granuli informi, limpidi e trasparenti, a spigoli subarrotondati, spesso cataclasati. *Muscovite* in frammenti di lamine, trasparenti e opachi, che al microscopio mostrano in ogni caso angolo degli assi ottici relativamente piccolo ($2V_\alpha \approx 30^\circ$); uno spettro di polvere eseguito su un concentrato di frammenti opachi ha anche evidenziato la presenza di *paragonite*. *Biotite* in frammenti di lamine, a contorno pseudoesagonale, di colore bruno. *Clorite* in lamine o in pacchetti di lamine pseudoesagonali di colore verde. *Calcite* in frammenti di resti fossili e in granuletti di calcare e di calcareniti; nei resti fossili talvolta è magnesifera e tal'altra si accompagna ad *aragonite*, nei granuletti invece è spesso associata a quantità molto limitate di *dolomite*. *Ortoclasio* e *Microclino* in frammenti, subarrotondati e appiattiti, di colore bianco opaco per la presenza di patine argillose di alterazione; il microclino è riconoscibile al microscopio per la sua caratteristica geminazione a grata. *Plagioclasi andesite-oligoclasici* in granuletti subarrotondati bianco-lattiginosi, anch'essi con alterazione argil-

TABELLA 3
Caratteristiche mineralogiche dei campioni esaminati

A R G I L L E I N P O S T O										A R G I L L E I N F R A N A									
Camp.	M	I	Cl	K	Ca	Do	Q+F	A.a.	altri	Camp.	M	I	Cl	K	Ca	Do	Q+F	A.a.	altri
1	20	25	17	6	13	4	15	68	32	4	25	23	20	4	12	4	12	72	28
2	18	22	19	6	12	4	19	65	35	6	21	32	11	5	13	6	12	69	31
3	17	24	10	4	15	4	26	55	45	7	33	20	10	8	21	6	2	71	29
5	18	18	19	8	10	4	23	63	37	8	35	26	15	4	12	4	4	80	20
12	15	31	19	6	16	3	10	71	29	9	29	19	14	4	18	5	11	66	34
13	21	21	4	3	26	1	24	49	51	10	32	20	13	6	20	5	4	71	29
14	22	23	11	8	21	6	9	64	36	11	29	26	15	4	15	4	7	74	26
15	20	20	20	10	15	5	10	70	30	22	37	18	11	7	19	4	4	73	27
16	11	23	15	5	26	4	16	54	46	23	26	27	5	10	15	8	9	68	32
17	19	31	5	3	32	5	5	58	42	24	23	26	11	6	16	8	10	66	34
18	27	19	13	3	14	5	19	62	38	26	27	25	15	6	15	4	8	73	27
19	31	14	6	2	21	6	20	53	47	27	19	31	12	7	18	1	12	69	31
20	7	35	16	4	13	3	22	62	38	28	23	27	19	10	12	5	4	79	21
21	21	19	9	3	18	6	24	52	48	30	24	31	12	6	19	4	4	73	27
25	18	30	13	3	12	4	20	64	36	35	29	19	5	6	25	5	11	59	41
29	15	26	7	3	13	6	30	51	49	40	38	6	3	3	35	4	11	50	50
31	24	24	12	3	7	3	27	63	37	41	36	12	9	9	27	5	2	66	34
32	21	22	14	14	13	7	9	71	29	42	26	7	3	4	31	13	16	40	60
33	29	22	12	5	13	4	15	68	32	43	24	22	4	16	19	3	12	66	34
34	11	41	7	3	10	5	23	62	38	44	43	13	6	6	23	3	6	68	32
36	25	14	16	7	21	4	13	62	38	45	32	26	11	8	17	2	4	77	23
37	25	24	14	8	19	5	5	71	29	46	37	15	4	5	25	5	9	61	39
38	17	26	11	4	22	2	18	58	42	50	35	20	8	6	21	3	6	70	30
39	27	12	10	6	24	7	14	55	45	52	38	17	8	8	22	3	4	71	29
47	17	20	11	9	25	4	14	57	43	53	35	18	9	6	21	4	7	68	32
48	21	16	9	7	25	6	16	53	47	55	29	18	9	8	23	5	8	64	36
49	37	13	9	5	20	6	10	64	36	56	66	17	2	5	3	1	6	90	10
51	29	15	9	9	23	4	11	62	38	57	35	14	3	6	27	5	10	58	42
54	27	24	8	5	22	4	10	64	36	58	31	17	4	4	26	3	15	56	44
61	19	22	12	8	22	3	14	61	39	59	45	21	7	5	13	2	7	78	22
62	31	16	9	4	22	3	15	60	40	60	33	21	10	4	19	5	8	68	32
64	29	22	15	6	17	4	7	72	28	63	34	17	12	6	17	7	7	69	31
										65	27	25	13	5	19	3	8	70	30
										66	25	21	15	6	18	4	11	67	33
										67	26	20	16	3	13	4	18	65	35
$\bar{X}$	21	22	12	6	19	4	16	61	39	$\bar{X}$	32	20	10	6	19	5	8	68	32
σ	7	6	4	3	6	1	7	6	6	σ	9	6	5	2	6	2	4	9	9

M = montmorillonite; I = illite; Cl = clorite; K = caolinite; Ca = calcite; Do = dolomite; Q = quarzo; F = feldspati; A.a. = minerali argillosi associati.

losa. *Granati pirlaspetici* in granuli rotondeggianti incolori o leggermente rosati. *Ossidi e idrossidi di ferro* in granuli rotondeggianti neri iridescenti (*magnetite*, *ematite*, *ilmenite*) o in frammenti terrosi marrone e rossicci (*goethite*). *Pirite* in granuli rotondeggianti di colore giallo-oro con iridescenza rossastra. *Gesso* in frammenti appiattiti limpidi e trasparenti, a lucentezza sericea. *Sillimanite* in granuli

prismatici fibrosi di colore verde molto pallido. In molti campioni inoltre è stata notata anche la presenza di spicole silicee, amorfe ai raggi X.

L'analisi mineralogica delle frazioni più fini ($< 63 \mu\text{m}$), eseguita ai raggi X, oltre a confermare *calcite*, *dolomite*, *quarzo* e *feldspati* (*potassici* e *plagioclasti acidi*), ha accertato anche la costante presenza di *minerali argillosi*, rappresentati da *smectite*, *illite*, *clorite*, *caolinite* e strati misti. La *smectite* è diottaedrica alluminifera, calcio-magnesifera e sodico-potassica, e quindi molto assimilabile a *montmorillonite*; in ogni caso è ben cristallizzata. La *illite*, politipo 2M, è anch'essa diottaedrica alluminifera però, a differenza della *montmorillonite*, è in genere abbastanza mal cristallizzata e specialmente nelle frazioni molto fini. La *clorite* è triottaedrica fortemente ferrifera e, come la *caolinite*, con un basso grado di cristallinità. Gli strati misti sono rappresentati da termini disordinati *illite-smectite* con percentuali molto variabili, anche nell'ambito dello stesso campione, di strati espandibili (30-50 %); l'analisi dei diffrattogrammi non esclude, in molti dei campioni esaminati, la presenza di altri strati misti di tipo *smectite-clorite* e *vermiculite-smectite* sulla cui cristallografia poco si può dire per i riflessi mal definiti che essi presentano.

Gli altri minerali, osservati al microscopio, risultano assenti ai raggi X, verosimilmente per la loro scarsa abbondanza; qualche accenno si nota solo per la *paragonite*.

b) Quantitativa

Circa i rapporti di abbondanza dei minerali individuati nelle frazioni grosse, si può affermare che, almeno da come risulta dall'analisi al binocolare e al microscopio, carbonati, miche, quarzo e feldspati prevalgono nettamente su granati, minerali di ferro, gesso e sillimanite. Tra i più rappresentati, poi, i carbonati, con *calcite* prevalente su *dolomite* e con *aragonite* allo stato di tracce, sono più abbondanti delle miche che, a loro volta, superano, sebbene di poco, le quantità di quarzo e di feldspati. Nell'ambito delle miche, *biotite* e *muscovite* sono rappresentate dalle medesime quantità mentre, tra i feldspati, l'*ortoclasio* prevale di poco sui *plagioclasti* ed il *microclino* è molto subordinato.

Nelle frazioni fini invece i minerali argillosi prevalgono nettamente sui carbonati e su quarzo + feldspati. Tra i minerali argillosi, *montmorillonite* e *illite* superano di molto *clorite*, *caolinite* e strati misti, quest'ultimi presenti solo allo stato di tracce; *montmorillonite* e *caolinite* però si trovano solo nelle frazioni fino a $4 \mu\text{m}$, mentre *illite* e *clorite* anche in quelle superiori e fino a $32 \mu\text{m}$ quando cristallologicamente si confondono con *muscovite* e con *clorite* detritica rispettivamente. I carbonati, con *calcite* prevalente su *dolomite*, superano quarzo e feldspati che, come nelle frazioni grosse, sono rappresentati grosso modo dalle medesime quantità.

La composizione mineralogica complessiva di ciascuno dei campioni esaminati, riferita ovviamente ai componenti più rappresentati, è riportata in tab. 3. Come era da attendersi dalle informazioni prima acquisite i minerali argillosi ($\bar{x} = 64\%$) prevalgono nettamente su carbonati ($\bar{x} = 23\%$) e su quarzo + feldspati ($\bar{x} = 13\%$).

Tra i minerali argillosi, montmorillonite ($\bar{x} = 26\%$) prevale su illite ($\bar{x} = 21\%$) che, a sua volta, è più abbondante di clorite ($\bar{x} = 11\%$) mentre caolinite è rappresentata quasi sempre da scarse quantità ($\bar{x} = 6\%$).

Anche mineralogicamente i campioni esaminati si possono considerare omogenei; essi infatti sono costituiti dagli stessi minerali con cristallografia simile e da abbondanze relative che, se pur variabili, mantengono inalterati alcuni rapporti quantitativi caratteristici del sedimento cui appartengono. Così i minerali argillosi prevalgono su tutti gli altri; fra gli argillosi montmorillonite e illite prevalgono in ogni caso su clorite e caolinite; e infine, per fare riferimento solo ai minerali più rappresentati, fra i carbonati calcite predomina su dolomite.

Naturalmente, in conseguenza delle variazioni di granulometria, in altra sede evidenziate, e della diversa distribuzione granulometrica dei principali minerali, prima discussa, si possono verificare sensibili differenze mineralogiche quantitative passando da un campione all'altro. Quelle statisticamente più significative si registrano però, come era da attendersi, fra i due gruppi di campioni, in posto ed in frana rispettivamente nel senso altrove specificato. Così i campioni in frana sono, rispetto agli altri, più ricchi di minerali argillosi ($\bar{x} = 68\%$ contro 61% ; t di Student = $3,5821$; $L.d.P.$ pari a 1% che la differenza dei valori medi sia dovuta a cause accidentali) e di montmorillonite ($\bar{x} = 32\%$ contro 21% ; t di Student = $5,3803$; $L.d.P. = < 1\%$). L'arricchimento di montmorillonite che determina quello dell'insieme dei minerali argillosi avviene a scapito di illite, di clorite e, soprattutto, a scapito di quarzo + feldspati perchè le quantità di caolinite ($\bar{x} = 6\%$) e di carbonati ($\bar{x} = 23\%$) risultano uguali nei due gruppi di campioni. Nel caso di quarzo + feldspati il t di Student calcolato per i due gruppi di campioni è risultato uguale a $5,9366$ e quindi ha indicato una probabilità $\ll 1\%$ che la differenza dei valori medi ($\bar{x} = 16\%$ per i campioni in posto e 8% per quelli in frana) sia dovuta a cause accidentali.

Quindi i campioni in frana ad una granulometria più fine associano una maggiore quantità di minerali argillosi determinata da un arricchimento di montmorillonite.

c) Carbonati

Abbiamo visto che nelle frazioni grosse i carbonati sono rappresentati da resti fossili e da clasti di calcari e di calcareniti, i primi costituiti da calcite talvolta accompagnata da tracce di aragonite ed i secondi invece da calcite associata a rara dolomite. Riprese diffrattometriche eseguite sulle singole frazioni granulometriche di ciascuno dei campioni esaminati hanno evidenziato la costante presenza di carbonati e fra essi di calcite; la dolomite invece è praticamente assente nel clay ($< 4\ \mu\text{m}$) mentre l'aragonite è solo presente nel sand ($> 63\ \mu\text{m}$). Ciò fa sospettare che i frammenti organogeni siano assenti nelle frazioni fini e che i carbonati presenti nel clay, per assenza di dolomite e per costituzione granulometrica, siano essenzialmente rappresentati da calcite di ricristallizzazione. I risultati esposti e

TABELLA 4
Carbonati presenti nei campioni esaminati (% in peso)

ARGILLE IN POSTO							ARGILLE IN FRANA						
Camp.	CaCO ₃	MgCO ₃	Ca	Do	Ca/Do	Ca+Do	Camp.	CaCO ₃	MgCO ₃	Ca	Do	Ca/Do	Ca+Do
1	15.8	2.0	13.4	4.4	3.0	17.8	4	14.1	2.0	11.7	4.4	2.7	16.1
2	13.7	1.7	11.7	3.7	3.2	15.4	6	16.6	2.7	13.4	5.9	2.3	19.3
3	17.0	1.7	15.0	3.7	4.1	18.7	7	24.2	2.5	21.2	5.5	3.9	26.7
5	11.8	1.7	9.8	3.7	2.6	13.5	8	13.9	1.8	11.8	3.9	3.0	15.7
12	18.1	1.3	16.6	2.8	5.9	19.4	9	20.8	2.2	18.2	4.8	3.8	23.0
13	26.6	0.5	26.0	1.1	23.6	27.1	10	22.2	2.2	19.6	4.8	4.1	24.4
14	24.7	2.9	21.3	6.3	3.4	27.6	11	17.0	1.9	14.7	4.2	3.5	18.9
15	18.3	2.4	15.5	5.2	3.0	20.7	22	20.6	1.7	18.6	3.7	5.0	22.3
16	28.4	2.0	26.0	4.4	5.9	30.4	23	19.3	3.7	14.9	8.1	1.8	23.0
17	35.1	2.2	32.5	4.8	6.8	37.3	24	19.7	3.5	15.5	7.7	2.0	23.2
18	17.2	2.4	14.4	5.2	2.8	19.6	26	17.0	2.0	14.6	4.4	3.3	19.0
19	24.2	2.7	21.0	5.9	3.6	26.9	27	18.7	0.7	17.9	1.5	11.9	19.4
20	15.2	1.5	13.4	3.3	4.1	16.7	28	14.9	2.2	12.3	4.8	2.6	17.1
21	21.4	2.9	18.0	6.3	2.9	24.3	30	20.8	1.9	18.5	4.2	4.4	22.7
25	13.8	1.9	11.5	4.2	2.7	15.7	35	28.0	2.2	25.4	4.8	5.3	30.2
29	15.6	2.5	12.6	5.5	2.3	18.1	40	37.4	1.7	35.4	3.7	9.6	39.1
31	8.7	1.2	7.3	2.6	2.8	9.9	41	29.5	2.2	26.9	4.8	5.6	31.7
32	17.0	3.2	13.2	7.0	1.9	20.2	42	38.2	6.1	31.1	13.3	2.3	44.3
33	15.4	1.9	13.1	4.2	3.1	17.3	43	20.3	1.5	18.5	3.3	5.6	21.8
34	12.9	2.2	10.3	4.8	2.1	15.1	44	24.2	1.5	22.4	3.3	6.8	25.7
36	23.4	2.0	21.0	4.4	4.8	25.4	45	18.2	1.0	17.0	2.2	7.7	19.2
37	22.0	2.4	19.2	5.2	3.7	24.4	46	27.3	2.2	24.7	4.8	5.1	29.5
38	22.8	1.0	21.6	2.2	9.8	23.8	50	23.0	1.3	21.5	2.8	7.7	24.3
39	28.0	3.2	24.2	7.0	3.5	31.2	52	23.6	1.5	21.8	3.3	6.6	25.1
47	26.8	1.8	24.7	3.9	6.3	28.6	53	23.0	1.8	20.9	3.9	5.4	24.8
48	28.0	2.7	24.8	5.9	4.2	30.7	55	25.8	2.2	23.2	4.8	4.8	28.0
49	23.8	2.9	20.4	6.3	3.2	26.7	56	3.5	0.5	2.9	1.1	2.6	4.0
51	25.5	1.7	23.5	3.7	6.4	27.2	57	29.2	2.2	26.6	4.8	5.5	31.4
54	24.5	1.8	22.4	3.9	5.7	26.3	58	27.4	1.4	25.7	3.1	8.3	28.8
61	23.3	1.2	21.9	2.6	8.4	24.5	59	14.4	1.0	13.1	2.2	6.0	15.4
62	23.6	1.3	22.1	2.8	7.9	24.9	60	21.8	2.2	19.2	4.8	4.0	24.0
64	19.1	1.9	16.8	4.2	4.0	21.0	63	20.8	3.4	16.8	7.4	2.3	24.2
							65	20.8	1.5	19.0	3.3	5.8	22.3
							66	19.8	1.8	17.7	3.9	4.5	21.6
							67	14.9	2.0	12.5	4.4	2.8	16.9
$\bar{x}$	20.7	2.0	18.3	4.4	4.9	22.7	$\bar{x}$	21.5	2.1	19.0	4.5	4.8	23.5
σ	5.9	0.7	5.9	1.4	3.9	6.1	σ	6.6	1.0	6.2	2.1	2.3	7.1

le considerazioni ad esse relative trovano riscontro nei dati analitici di tab. 4 (¹). Infatti CaCO₃ ($\bar{x}$ = 21 %) prevale nettamente su MgCO₃ ($\bar{x}$ = 2 %) e naturalmente calcite ($\bar{x}$ = 19 %) supera di molto dolomite ($\bar{x}$ = 4 %). Inoltre il rapporto fra i due carbonati appare variabile da campione a campione (da 1,8 a 23,6) ed

(¹) I dati ottenuti sono simili a quelli di tab. 3 per gli stessi componenti, il che assicura una certa affidabilità ai metodi X adoperati.

indipendente dalla granulometria, sicuramente a causa della presenza, quantitativamente casuale, di calcite di ricristallizzazione. I carbonati, infine, sono così casualmente variabili nella loro quantità totale e in quella dei singoli componenti, calcite e dolomite rispettivamente, che, contrariamente a quanto si manifesta per la granulometria e per la composizione mineralogica complessiva, non mostrano significative differenze di contenuto passando dal gruppo di campioni in posto a quello dei campioni in frana. Infatti i contenuti dei carbonati totali, della calcite e della dolomite risultano praticamente identici nei due gruppi di campioni.

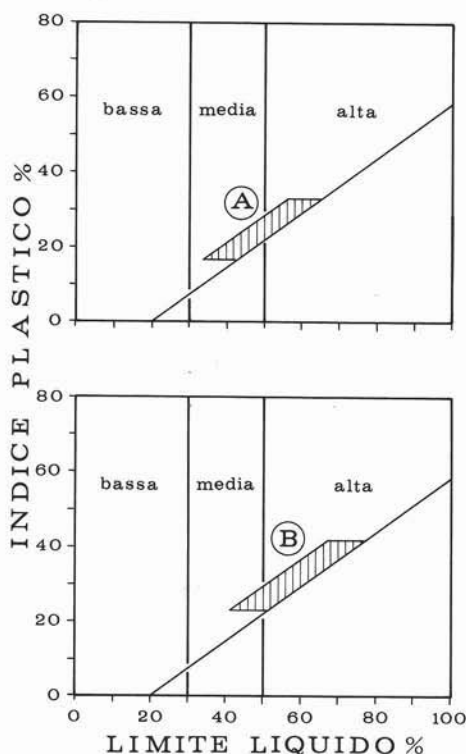


Fig. 6. — Carta di plasticità. Nell'area A sono distribuiti i campioni in posto, nella B quelli in frana.

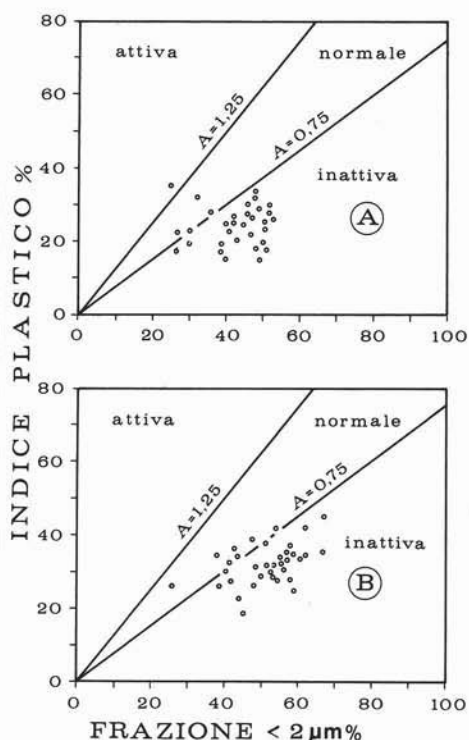


Fig. 7. — Carta di attività. - A = argille in posto; B = argille in frana.

Determinazione di alcune proprietà geotecniche

I valori dei limiti liquido e plastico (LL e LP rispettivamente), ottenuti dalla media aritmetica di cinque prove eseguite sullo stesso campione, e quelli dell'indice plastico (IP), calcolati dalla relazione $IP = LL - LP$, sono riportati nella tab. 5. Essi rientrano nella normalità, sono in perfetto accordo con quelli di analoghe argille della letteratura e sono coerenti con i caratteri composizionali di ciascuno dei campioni esaminati. Infatti i suddetti valori si incontrano in molte argille

TABELLA 5
Limiti di Atterberg dei campioni esaminati

ARGILLE IN POSTO				ARGILLE IN FRANA											
Camp.	LL	LP	IP	Camp.	LL	LP	IP	Camp.	LL	LP	IP	Camp.	LL	LP	IP
1	42,1	29,3	18,2	33	30,8	15,9	14,9	4	65,0	30,8	34,2	44	62,2	26,5	35,7
2	42,2	23,1	19,1	34	42,0	24,7	17,3	6	54,2	23,2	31,0	45	75,2	33,0	42,2
3	33,4	18,4	15,0	36	57,4	31,4	26,0	7	56,7	25,8	30,9	46	53,9	24,0	29,9
5	49,1	25,3	23,8	37	57,4	31,3	26,1	8	63,7	28,6	35,1	50	71,3	32,7	38,6
12	55,2	25,2	30,0	38	56,7	27,3	29,4	9	55,0	26,1	28,9	52	65,0	30,0	35,0
13	43,8	24,3	19,5	39	49,0	24,0	25,0	10	58,0	29,2	28,8	53	59,9	25,8	34,1
14	53,8	27,5	26,3	47	63,8	31,7	32,1	11	66,6	31,5	35,1	55	67,6	33,0	34,6
15	42,8	20,2	22,6	48	48,5	25,9	22,6	22	59,7	26,6	33,1	56	82,6	37,6	45,0
16	56,7	26,6	30,1	49	46,8	27,7	19,1	23	58,6	21,2	37,4	57	60,2	27,9	32,3
17	40,3	22,5	17,8	51	68,4	33,6	34,8	24	52,0	26,0	26,0	58	62,1	31,9	30,2
18	55,1	28,4	26,7	54	62,1	29,9	32,2	26	63,3	28,7	34,5	59	59,7	28,6	31,1
19	51,1	26,2	24,9	61	65,0	31,1	33,9	27	48,2	23,2	25,0	60	62,5	30,3	32,2
20	43,2	20,6	22,6	62	59,8	33,1	26,7	28	64,5	22,1	42,4	63	52,3	25,6	26,7
21	54,0	27,6	26,4	64	56,4	28,3	28,1	30	51,6	24,0	27,6	65	57,4	29,7	27,7
25	45,9	24,4	21,5					35	49,1	26,4	22,7	66	49,7	24,1	25,6
29	42,6	23,7	18,9					40	52,6	26,5	26,1	67	42,3	24,6	17,7
31	40,0	22,7	17,3	$\bar{X}$	50,2	26,1	24,1	41	57,4	26,3	31,1				
32	51,9	29,2	22,7	σ	9,1	4,2	5,5	42	58,8	21,6	37,9	$\bar{X}$	59,6	27,6	32,0
								43	68,8	34,0	34,8	σ	8,1	3,9	5,7

TABELLA 6
Tabella di correlazione (coefficienti di correlazione ed equazioni delle rette di regressione)

y x	fraz. <2 μ m	fraz. <4 μ m	Minerali argillosi	Montmorillonite
LL	0,4262	0,4842	0,4018	0,5333
	$0,4196x + 24,1815$	$0,4402x + 34,4474$	$0,3282x + 46,9076$	$0,5021x - 0,8741$
LP	0,2413	0,2590	0,2718	0,4207
	$0,5730x + 31,9147$	$0,5657x + 43,4627$	$0,5610x + 49,8122$	$0,9494x + 1,1835$
IP	0,4684	0,5400	0,4219	0,5003
	$0,6571x + 28,7646$	$0,6997x + 38,9679$	$0,5179x + 50,2803$	$0,6713x + 7,8582$

Per $r = 0,2413$, $0,2590$ e $0,2718$; $L.d.P. \approx 2\%$ per l'ipotesi nulla; per tutti gli altri $< 1\%$.

grigio-azzurre dell'Appennino meridionale (DEL PRETE e VALENTINI, 1971; COTECCHIA e VALENTINI, 1973) e variano in funzione dei contenuti di frazione fine e di minerali argillosi. A tale proposito l'elaborazione statistica dei dati ha indicato

che *LL*, e naturalmente *LP* e *IP*, sono correlati linearmente e positivamente con i contenuti di montmorillonite, di minerali argillosi e di frazione propriamente argillosa ($< 2 \mu\text{m}$ secondo i Geotecnici e $< 4 \mu\text{m}$ secondo i Sedimentologi). Le suddette correlazioni (tab. 6) risultano in ogni caso altamente significative e con livelli di probabilità quasi tutti intorno a 1‰ per l'ipotesi nulla; però i coefficienti di correlazione e di regressione indicano che, se si assumono come variabili indipendenti i parametri mineralogici e quelli granulometrici, i limiti di Atterberg risultano, come era da attendersi, mediamente più influenzati dalla composizione mineralogica che da quella granulometrica.

I caratteri geotecnici, in senso lato, dei campioni esaminati si evidenziano anche dai diagrammi di CASAGRANDE e di SKEMPTON; nel primo (fig. 6) i campioni si distribuiscono parallelamente alla retta $IP = 0,73 (LL - 20)$ nel campo delle argille a medio-alta plasticità mentre nel secondo (fig. 7) occupano una zona relativamente dispersa dei campi relativi alle argille normali e inattive.

Se si fa, infine, riferimento ai due gruppi in cui sono state suddivise le argille considerate, si nota che i campioni in frana si distinguono da quelli in posto per i valori significativamente più alti di *LL* ($\bar{x} = 59,6\%$ contro $50,2\%$; t di Student = 4,4970; $L.d.P. = 1\%$) e di *IP* ($\bar{x} = 32,0\%$ contro $24,1\%$; t di Student = 5,7824; $L.d.P. > 1\%$); ciò si evince anche dal diagramma di CASAGRANDE di fig. 6 che indica una plasticità decisamente più alta per i campioni in frana. Valori leggermente più alti, per quest'ultimi, si verificano anche nei confronti di *LP* e dell'attività (intesa come rapporto fra *IP* e frazione $< 2 \mu\text{m}$) ma i dati sono così dispersi che le differenze dei valori medi fra i due gruppi di campioni si trovano molto al di sotto del limite di significatività statistica.

Considerazioni conclusive

Cerchiamo adesso di tracciare un quadro complessivo delle caratteristiche composizionali e geotecniche delle argille grigio-azzurre infraplioceniche della media valle del F. Crati qui esaminate, di confrontarlo con quello emerso dal già citato precedente lavoro e di trarre infine le conclusioni in relazione ai fini che la presente ricerca si propone.

Le argille grigio-azzurre della media valle del F. Crati, esaminate nel presente lavoro, hanno una composizione granulometrica che, accanto ad una abbondante ($\bar{x} = 59\%$ del totale) frazione propriamente argillosa, mostra una non trascurabile quantità ($\bar{x} = 36\%$) di silt; la frazione sabbiosa invece è costantemente presente allo stato di tracce ($\bar{x} = 5\%$). Tessitualmente pertanto esse sono classificabili come argille siltose, talvolta passanti anche a silt argillosi.

In conseguenza della finezza granulometrica le argille in questione presentano una prevedibile abbondanza ($\bar{x} = 64\%$) di minerali argillosi che appaiono costituiti da montmorillonite ($\bar{x} = 26\%$) calcio-magnesifera e sodio-potassica, illite ($\bar{x} = 21\%$) mal cristallizzata, diottaedrica alluminifera e politipo 2M, clorite ($\bar{x} = 11\%$) ferri-ferica anch'essa scarsamente cristallina, caolinite ($\bar{x} = 6\%$) disordinata ed infine da

tracce di strati misti illite-smectite, smectite-clorite e vermiculite-smectite. I minerali argillosi si accompagnano a mediamente ben rappresentati carbonati ($\bar{x} = 23\%$) e quarzo + feldspati ($\bar{x} = 13\%$) e a tracce di miche (muscovite, biotite e paragonite), granati piralspitici, ossidi e idrossidi di ferro (magnetite, ematite, ilmenite, goethite), pirite, gesso e sillimanite. I carbonati sono rappresentati da calcite prevalente ($\bar{x} = 19\%$), da dolomite subordinata ($\bar{x} = 4\%$) e da tracce di aragonite, quest'ultima presente solo in qualche resto fossile; i feldspati infine da ortoclasio, microclino e da plagioclasti acidi.

Le argille esaminate presentano inoltre, dal punto di vista geotecnico, un comportamento, almeno nei confronti dei parametri determinati, normale e coerente con la composizione granulometrica e mineralogica. Esse infatti, in base ai valori dei limiti di Atterberg ottenuti ($LL: \bar{x} = 55\%$; $LP: \bar{x} = 27\%$; $IP: \bar{x} = 28\%$) sono da considerarsi, come era da attendersi, argille inorganiche mediamente inattive e a plasticità medio-alta.

Il quadro complessivo delle caratteristiche composizionali e geotecniche delle argille qui esaminate ben si armonizza con quello di analoghe argille, emerso nel già citato lavoro di DELL'ANNA e RIZZO (1979). A parte alcune comprensibili variazioni nella granulometria e, naturalmente, nei rapporti di abbondanza dei minerali individuati e nel loro comportamento geotecnico, in conseguenza di lievi differenze di età e di posizione stratigrafica in quanto le argille precedentemente studiate sono state prelevate immediatamente al di sotto delle sabbie quaternarie, le une e le altre costituiscono una famiglia composizionalmente e geotecnicamente abbastanza omogenea. Le argille grigio-azzurre infraplioceniche della media valle del F. Crati infatti sono costituite costantemente, eccetto che per qualche componente secondario, da tutti i minerali precedentemente elencati che si presentano sempre con la stessa cristallografia e con la costanza di alcuni loro fondamentali rapporti di abbondanza. Così i minerali argillosi costituiscono la parte mineralogicamente più abbondante di queste argille e, fra essi, montmorillonite e illite prevalgono in ogni caso su clorite e caolinite; fra i carbonati calcite predomina su dolomite; fra i minerali secondari infine le miche sono le più abbondanti e, tra esse, muscovite e biotite sono sempre rappresentate dalle medesime quantità.

In esse inoltre persistono alcuni caratteri mineralogici e granulometrici intrinsecamente interessanti ed alcune correlazioni, fra i principali caratteri composizionali e i parametri geotecnici determinati, assai importanti per i contributi che possono fornire alla risoluzione di problemi riguardanti i fenomeni franosi. Così in queste argille, come abbiamo precedentemente visto, la montmorillonite è abbondante e si concentra nelle frazioni molto fini; la illite e la clorite, anch'esse in quantità non trascurabili, risultano invece ben rappresentate anche nelle frazioni grosse nelle quali mostrano però i caratteri delle muscoviti e delle cloriti detritiche rispettivamente; nelle frazioni fini è sempre presente una componente calcitica di precipitazione chimica che per la sua accidentalità contribuisce in qualche misura alla forte variabilità dei carbonati; i limiti di Atterberg appaiono infine correlati linearmente e positivamente con i contenuti di montmorillonite, di mi-

nerali argillosi e di frazioni propriamente argillosa. Le correlazioni trovate costituiscono forti indizi a favore della dipendenza del comportamento geotecnico delle masse argillose dalla loro costituzione mineralogica e granulometrica. Una conferma incontrovertibile a questo riguardo deriva, nel presente lavoro, dal confronto dei caratteri composizionali e geotecnici dei due gruppi di campioni in cui sono stati suddivisi i materiali prelevati, uno rappresentativo di argille fortemente dissestate e l'altro invece di argille poco interessate da fenomeni di dissesto, e dalle differenze che in tal senso essi hanno mostrato. Infatti nell'ambito delle argille del Pliocene inferiore della media valle del F. Crati, le argille in frana mostrano, nei confronti di quelle non in frana, quantità maggiori di frazione inferiore a $2\text{ }\mu\text{m}$, di frazione propriamente argillosa ($< 4\text{ }\mu\text{m}$), di minerali argillosi e di montmorillonite e, contemporaneamente, valori più elevati dei limiti di Atterberg. Le argille fortemente dissestate, perciò, ad una granulometria decisamente fine e ad una composizione più ricca di minerali argillosi e, fra essi, di montmorillonite, associano caratteri di attività e di plasticità, nel senso geotecnico, fortemente accentuati.

L'omogeneità composizionale e geotecnica trova infine riscontro nell'uniformità dei caratteri sedimentologici. Le argille in questione sono, infatti, tutte riferibili ad un sedimento essenzialmente clastico, mediamente evoluto, depositatosi dopo una prolungata sospensione in un mare caratterizzato da una relativamente forte energia delle proprie acque. La presenza di granati piralspitici, paragonite e sillimanite fa supporre inoltre che alla loro formazione abbiano pure partecipato, direttamente o indirettamente, le rocce cristalline della Sila e della catena costiera tirrenica, nella maggior parte delle quali, come è noto, non sono infrequenti i suddetti minerali. La presenza di strati misti, infine, induce a ritenere che, dopo sedimentazione, le argille si siano trovate in zona di diagenesi relativamente precoce, nella quale si sono potute formare montmorillonite da illite, attraverso strati misti illite-smectite, e montmorillonite e clorite da biotite, attraverso strati misti vermiculite-smectite e smectite-clorite. Probabilmente in tale zona può essersi completata la formazione di illite da muscovite, attraverso idromica, iniziata sicuramente, per frammentazione ed alterazione, già in fase di trasporto e di sedimentazione.

Ringraziamenti. — Gli autori ringraziano l'operatore tecnico S. FRUSTACI per il contributo dato all'esecuzione delle prove geotecniche.

BIBLIOGRAFIA

- BALENZANO F., DELL'ANNA L. e DI PIERRO M. (1977) - *Ricerche mineralogiche, chimiche e granulometriche su argille subappennine della Daunia*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 12, 33-55.
- CATTI F. et al. (1968) - *Biostratigrafia del Neogene mediterraneo basata sui Foraminiferi planctonici*. Boll. Soc. Geol. Ital., 87, 491-503.

- CITA M.B. (1975) - *Studi sul Pliocene e sugli strati di passaggio dal Miocene al Pliocene. VIII. Planktonic foraminiferal biozonation of the Mediterranean Pliocene deep searecord. A revision.* Riv. Ital. Paleont., 81, 527-544.
- COTECCHIA V. e VALENTINI G. (1973) - *Comportamento allo scavo in galleria di rocce argillose tipiche dell'Appennino Meridionale.* Geologia Applicata e Idrogeologia, 8, 347-388.
- DELL'ANNA L. (1969) - *Indagini mineralogiche e chimiche sulle Argille di Rutigliano.* Per. Miner., 38, 515-577.
- DELL'ANNA L. e DI PIERRO M. (1977) - *Determinazione quantitativa dei minerali presenti in una argilla. Relazione interna.* Ist. Miner. Petr., Università Bari.
- DELL'ANNA L. e RIZZO V. (1979) - *Argille grigio-azzurre della media valle del Crati: composizione mineralogica, granulometrica e alcune caratteristiche geotecniche.* Geologia Applicata e Idrogeologia, 14, 57-86.
- DEL PRETE M. e VALENTINI G. (1971) - *Le caratteristiche geotecniche delle argille azzurre dell'Italia sud-orientale in relazione alle differenti situazioni stratigrafiche e tettoniche.* Geologia Applicata e Idrogeologia, 197-216.
- SCHULTZ L.G. (1964) - *Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre shale.* U.S. Geol. Survey Profess., Paper 391C, 1-31.
- SHAW D.B., STEVENSON R.G., WEAVER C.E. e BRADLEY F. (1971) - In: GRIFFIN G.M. - *Interpretation of X-ray Diffraction Data.* In: *Procedures in Sedimentary Petrology*, CARVER R.E. Edit., Wiley and Sons, New York, 541-569.
- SHEPARD F.P. (1954) - *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios.* Journ. Sed. Petrol., 24, 151-158.