

**A T T I**  
**DELLA**  
**SOCIETÀ TOSCANA**  
**DI**  
**SCIENZE NATURALI**  
**RESIDENTE IN PISA**

**MEMORIE - SERIE A**  
**VOL. LXXXV - ANNO 1978**

## I N D I C E

CRIBARI E., FONTANA V., SCARTONI V., MORELLI I., MARSILI A. - Composti eterociclici azotati. Nota 8. Sintesi e proprietà di alcuni derivati isoindolonici idrogenati <i>Nitrogen heterocycles. Part 8. Synthesis and properties of some hydrogenated isoindolones</i> . . . . .	Pag. 1
LANDINI W., MENESINI E., SALVATORINI G. - Studi sulle Ittiofaune messiniane. I. Revisione delle collezioni « Capellini » e « De Bosniaski ». Studio di una nuova ittiofauna del « Tripoli » del Gabbro. (Nota preliminare) <i>Studies on the Messinian Ichthyofaunas. I.</i> . . . . .	» 11
GIACOMELLI G. P., SABA A., LARDICCI L. - Coupling of optically active organoboranes: alkanes containing two chiral centres <i>Boro alchili otticamente attivi: sintesi di alcani con due centri chirali</i> . . . . .	» 39
SIMONETTA A., DELLE CAVE L. - Notes on new and strange Burgess Shale fossils (Middle Cambrian of British Columbia) <i>Su due nuove specie di fossili del Cambriano Medio della Burgess Shale (Columbia Britannica)</i> . . . . .	» 49
FEDERICI P. R. - Una possibile copertura terziaria dell'unità Toscana delle Panie (A proposito di una morena di « macigno » nelle Alpi Apuane) <i>A possible tertiary covering of the Tuscan tectonic Unit of Panie (with reference to a « macigno » moraine in the Alpi Apuane)</i> . . . . .	» 51
SARTORI F. - Studi sedimentologici e mineralogici delle alluvioni recenti della pianura pisana. I sedimenti del sondaggio della Bigattiera, presso S. Piero a Grado (Pisa) <i>Sedimentological and mineralogical studies of the Pisan Plain Recent sediments: The sediments from La Bigattiera well, S. Piero a Grado (Pisa)</i> . . . . .	» 61
RISTORI G. G., CECCONI S., DANIELE E. - Indagini sulle caratteristiche delle smectiti presenti in alcuni suoli italiani <i>Studies on characteristics of smectites of some italian soils</i> . . . . .	» 95
ZAMMIT-MAEMPEL G. - <i>Laganum depressum</i> AGASSIZ (Echinoidea, Laganidae), a new record from the Maltese Tertiary <i>Prima segnalazione di Laganum depressum AGASSIZ nel Terziario dell'isola di Malta</i> . . . . .	» 103
DUCHI V. - Estrazione di mercurio da soluzioni acquose naturali e suo dosaggio mediante AAS <i>Mercury extraction from natural aqueous solutions and its determination through AAS</i> . . . . .	» 117
DUCHI V. - Determinazione di mercurio in fasi gassose naturali: dosaggio in fumarole dell'isola di Vulcano <i>Mercury determination in natural gaseous phases: Hg-content in the fumaroles of Vulcano Island</i> . . . . .	» 127
BENCINI R., CRISCUOLO A., FRANZINI M., LEONI L. - Cavità orientate nei pillows della formazione dei diabasi dell'Appennino centro-settentrionale <i>Orientated cavities in the pillow-lavas from Diabase formation of the Ligurian Ophiolitic series</i> . . . . .	» 135

BATTAGLIA S., FRANZINI M., LEONI L. - Preferred orientation effects in the calcite and dolomite quantitative x-Ray diffraction analysis <i>Effetti di orientazione nella analisi quantitativa della calcite e della dolomite in diffrattometria di polveri a raggi-X . . . . .</i>	» 147
DE POMPEIS C. - Resti di un villaggio della cultura di Ripoli a Città Sant'Angelo (Abruzzo) <i>Remains of a neolithic village belonging to the Ripoli culture found near Città S. Angelo (Abruzzo) . . . . .</i>	» 161
PENNACCHIONI M. - Ritrovamenti preistorici di superficie nel Comune di Scanno (Abruzzo) <i>Surface Prehistoric Findings in the Scanno Territory (Abruzzo, Italy) . . . . .</i>	» 171
RADMILLI A. M., MALLEGGI F., FORNACIARI G. - Recenti scavi nella Grotta dei Piccioni di Bolognano (Pescaro) e riesame dei resti scheletrici umani provenienti dai circoli <i>Recent excavation in the « Grotta dei Piccioni » near Bolognano (Pescara, Abruzzo) and reexamination of the human skeletal remains coming from the circle . . . . .</i>	» 175
BENCINI R., CRISCUOLO A., LEONI L. - La serie sedimentaria sovrastante la formazione dei diabasi a Pàstina (Pisa) <i>The sedimentary series overlying the diabase formation at Pastina (Pisa, Italy) . . . . .</i>	» 199
BRACCI G., DALENA D., ORLANDI P. - I geodi del marmo di Carrara <i>Geodes of Carrara marble . . . . .</i>	» 221
BRACCI G., DALENA D., ORLANDI P. - Associazione blenda-wurtzite nei geodi del marmo di Carrara <i>A Sphalerite- Wurtzite paragenesis in Carrara marble geodes . . . . .</i>	» 243
GRIFONI CREMONESI R., MALLEGGI F. - Testimonianze di un culto ad incinerazione nel livello a ceramica impressa della grotta riparo Continenza di Trasacco (L'Aquila) e studio dei resti umani cremati <i>Evidences of a cultural pattern with incineration rites in the « impresso » pottery level found in the « Continenza » cave near Trasacco (L'Aquila) and anthropological analysis of the buried remains . . . . .</i>	» 253
VANNUCCI S. - Applicazione della microscopia elettronica alle indagini mineralogiche: identificazione della nordstrandite <i>Application of the electron microscopy to the mineralogical investigations: identification of the nordstrandite . . . . .</i>	» 281
DALLAN NARDI L. & NARDI R. - Il quadro paleotettonico dell'Appennino settentrionale: un'ipotesi alternativa <i>Paleotectonic picture of the Northern Apennines: an alternative hypothesis . . . . .</i>	» 289
BALDI F., BARGAGLI R. - Analisi sedimentologica e distribuzione di metalli in tracce nei sedimenti marini recenti davanti al parco della Maremma (Tirreno sett.) <i>Sedimentological analysis and trace metals distribution in the recent near shore sediments of Maremma Park (Tuscany) . . . . .</i>	» 299
Guido Tavani (1913-1978). Necrologio . . . . .	» 315
Notiziario della Società . . . . .	» 329
Elenco dei Soci per l'anno 1978 . . . . .	» 331
Statuto . . . . .	» 343
Regolamento . . . . .	» 349

SARTORI F. (\*)

STUDI SEDIMENTOLOGICI E MINERALOGICI  
DELLE ALLUVIONI RECENTI DELLA PIANURA PISANA.  
I SEDIMENTI DEL SONDAGGIO DELLA BIGATTIERA, PRESSO  
S. PIERO A GRADO (PISA)

**Riassunto** — Nell'ambito delle indagini idrogeologiche concernenti il sottosuolo della pianura pisana, è stata studiata la sequenza sedimentaria attraversata dalla perforazione di un pozzo nei pressi di S. Piero a Grado. La sequenza presenta le tipiche alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille che si osservano negli ambienti sedimentari d'estuario o di pianure costiere prossime ad estuari di fiumi. Le interessanti caratteristiche delle distribuzioni granulometriche di tali sedimenti sono illustrate sia attraverso curve cumulative sia mediante il calcolo dei parametri statistici « media », « deviazione standard », « skewness » e « kurtosis »; in alcuni casi esse consentono di formulare ipotesi più specifiche sui probabili ambienti di deposizione dei sedimenti in questione.

L'analisi mineralogica ha posto in evidenza la sostanziale uniformità e monotonia di composizione sia dei sedimenti psammitici, che appaiono rientrare quasi tutti nella categoria delle « sabbie litiche » e di conseguenza si presentano come dei sedimenti decisamente immaturi, sia dei sedimenti pelitici, che appaiono costituiti, quasi costantemente, da un'associazione di illite, vermiculiti e smectiti più o meno cloritizzate, e caolinite. Alcune variazioni minori, osservate nella mineralogia dei sedimenti argillosi, vengono correlate a variazioni negli ambienti di deposizione, piuttosto che a variazioni nella natura del materiale apportato dai fiumi.

**Abstract** — *Sedimentological and mineralogical studies of the Pisan Plain Recent sediments: The sediments from La Bigattiera well, S. Piero a Grado (Pisa).* Hydrogeological investigation of the Pisan Plain included sedimentological and mineralogical analyses of the materials from a water well drilled near S. Piero a Grado. The sedimentary sequence encountered is composed of interstratified gravels, sands, silts and clays displaying the general character of sediments deposited in an estuarine environment or in a coastal plain zone close to the mouths of large

---

(\*) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pisa.

rivers. The interesting characteristics of the grain size distributions are illustrated both by cumulative curves and by statistical parameters such as « mean », « standard deviation », « skewness » and « kurtosis »; in some instances they allow more detailed definitions of the depositional environments.

The mineralogical analysis shows an essentially uniform and monotonous composition both of the psammitic and the pelitic sediments, which evidently points to a constancy of source area over the full period of the sequence deposition. Most of the first type of sediments is to be classified as « lithic sands » and then it represents definitely immature sediments; the second type is characterized by a practically constant clay mineral suite, made up of illite, more or less chloritized vermiculites and smectites, and kaolinite. Some minor variations observed in the pelitic sediments mineralogy are to be related to variations of the depositional environment rather than to changes of the material source.

## INTRODUZIONE

I numerosi studi idrogeologici, già da tempo in corso, sulle falde acquifere del sottosuolo della pianura pisana sono stati recentemente estesi a comprendere anche analisi sedimentologiche e mineralogiche di dettaglio dei materiali campionati durante la perforazione dei pozzi. Il presente lavoro riguarda appunto lo studio sedimentologico e mineralogico dei sedimenti incontrati nella perforazione di un pozzo, in località La Bigattiera, nei pressi di S. Piero a Grado. Tale zona è compresa nell'area del « Centro di ricerca e sperimentazione agraria e aziendale « E. Avanzi » - Tenuta di Tombolo », gestito dalla Facoltà di Agraria dell'Università di Pisa.

Il pozzo è stato perforato dalla quota di campagna che, nel punto esatto della perforazione, risulta di circa 20 cm inferiore al livello medio del mare, fino ad una profondità di circa 97 metri. La trivellazione ha incontrato diverse falde acquifere minori finché, ad una profondità all'incirca compresa fra gli 85 ed i 95 metri, ha raggiunto una falda artesianiana di notevole portata. Tutte le notizie tecniche relative alla perforazione ed all'impianto del pozzo, nonché alle prove idrauliche di portata e ritorno, sono riportate in dettaglio in una nota precedente (GROSSI *et al.*, 1978). In tale nota è stata sinteticamente descritta anche la colonna stratigrafica relativa alla sequenza sedimentaria attraversata e sono state riportate alcune brevi notizie preliminari sui risultati delle analisi sedimentologiche e mineralogiche; questi risultati, nonché le metodologie usate per le analisi da cui essi derivano, sono ora compiutamente illustrati e discussi nel presente lavoro.

## METODI DI STUDIO

### *Analisi granulometrica*

L'analisi granulometrica ha preceduto tutti gli altri studi. Nella sua esecuzione sono state seguite le metodologie proposte da CARVER (1971). I campioni, previo essiccamento, sono stati inquartati e ne è stata scelta una porzione, maggiore o minore a seconda della granulometria del campione stesso, secondo quanto consigliato dall'autore sopra citato; tali porzioni corrispondono a 500 gr. circa per i campioni costituiti da ghiaie, 100 gr. per sabbie a grana media e fine, 50 gr. per i sedimenti più fini.

Dato che i sedimenti in esame non sono affatto cementati o comunque lo sono in maniera talmente labile da bastare una semplice manipolazione meccanica a separare completamente i singoli granuli gli uni dagli altri, non sono stati necessari molti trattamenti preliminari. In un solo caso, quello del campione n. 5, la presenza di sali solubili in notevoli quantità portava alla rapida flocculazione dell'argilla, per cui si è dovuto ricorrere alla loro eliminazione con ripetuti lavaggi in acqua distillata e centrifugazione; infine in quattro casi (camp. n. 3, 9, 11, 17) è stato necessario procedere all'eliminazione della sostanza organica mediante trattamento con acqua ossigenata.

La frazione sabbiosa, definendo come tale quella rappresentata da granuli a diametro compreso fra 2 mm e 1/16 mm, secondo la scala di Wentworth-Lane (PETTIJOHN, 1975), è stata analizzata mediante setacciatura in acqua. Le frazioni a granulometria più fine, cioè i limi e le argille, sono state studiate mediante analisi per sedimentazione. Infine, per quanto riguarda i due campioni nei quali la frazione ghiaiosa è importante (nel camp. 22 essa costituisce il 22% in peso, mentre nel camp. 21 essa ammonta addirittura al 95%), se ancora i ciottoli compresi fra 2 e 4 mm di diametro sono stati isolati mediante setacciatura, per gli altri, caratterizzati da dimensioni maggiori, è stato necessario ricorrere alla valutazione del loro diametro medio mediante l'esecuzione di alcune misure per mezzo di un calibro. La metodologia usata per lo studio delle ghiaie verrà illustrata più in dettaglio in seguito.

Per la suddivisione dei sedimenti in classi granulometriche si sono utilizzati gli intervalli standard della scala di Wentworth-Lane (PETTIJOHN, 1975), ma come unità di misura si è utilizzata l'unità  $\Phi$ , proposta da Krumbein (in PETTIJOHN, 1975) ed ora universal-

mente accettata in quanto semplifica considerevolmente i calcoli statistici. Come è noto, tale unità corrisponde al logaritmo in base due del diametro (espresso in mm), moltiplicato per  $-1$ , cioè  $\Phi = -\log_2 \text{diam. (mm)}$ .

I risultati ottenuti dallo studio granulometrico sono illustrati mediante curve cumulative (figg. 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7), per le quali

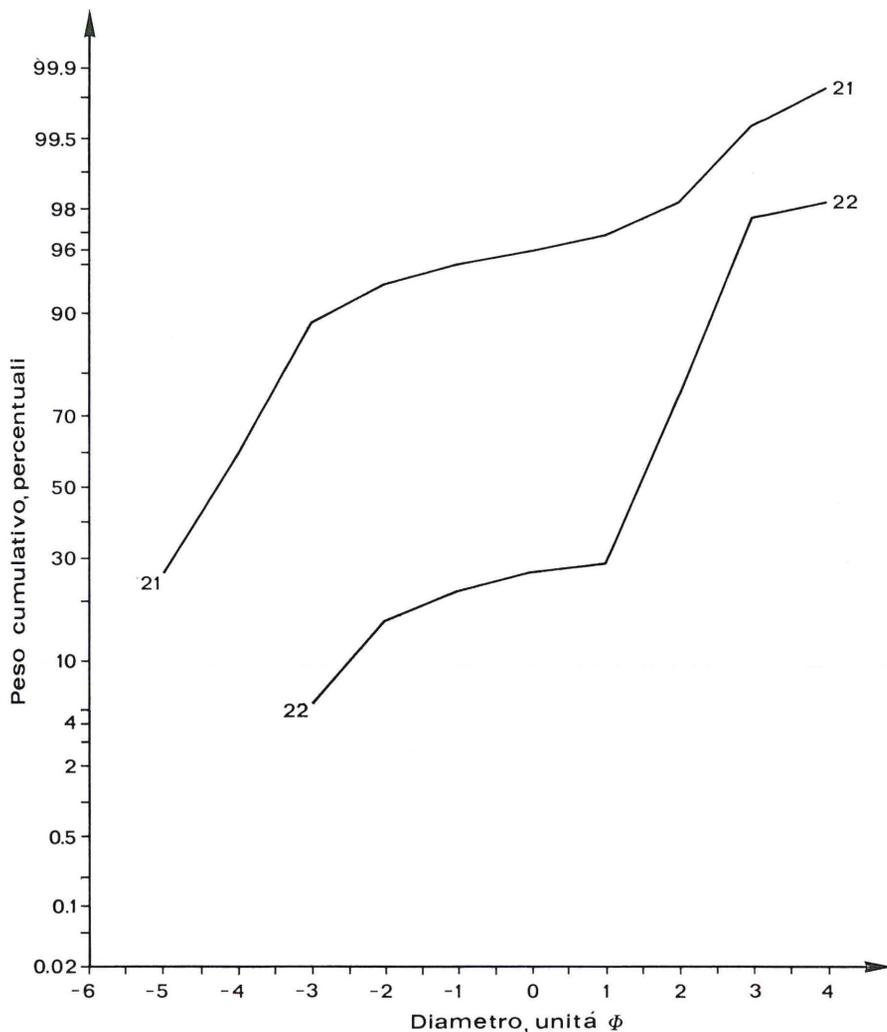


Fig. 1 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche delle ghiaie (camp. 21) e delle sabbie ciottolose (camp. 22).

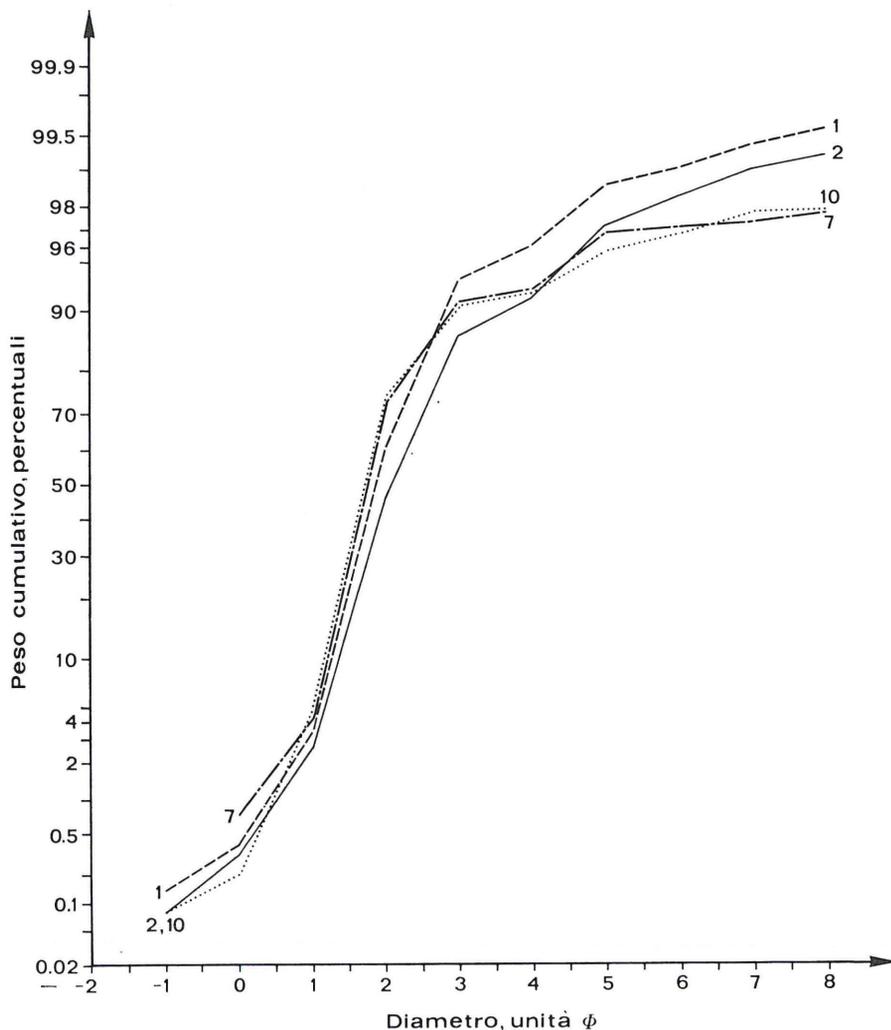


Fig. 2 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche delle sabbie (camp. 1, 2, 7, 10).

si è fatto uso di una carta caratterizzata da una scala delle ordinate probabilità-percentuali (CARVER, 1971). Le quantità relative dei tre componenti sabbia-limo-argilla presenti nei diversi campioni, sono state poste in evidenza con l'uso di un diagramma triangolare, nel quale le suddivisioni fra i vari campi sono quelle proposte da Trefethen (in PETTIJOHN, 1975) (fig. 8).

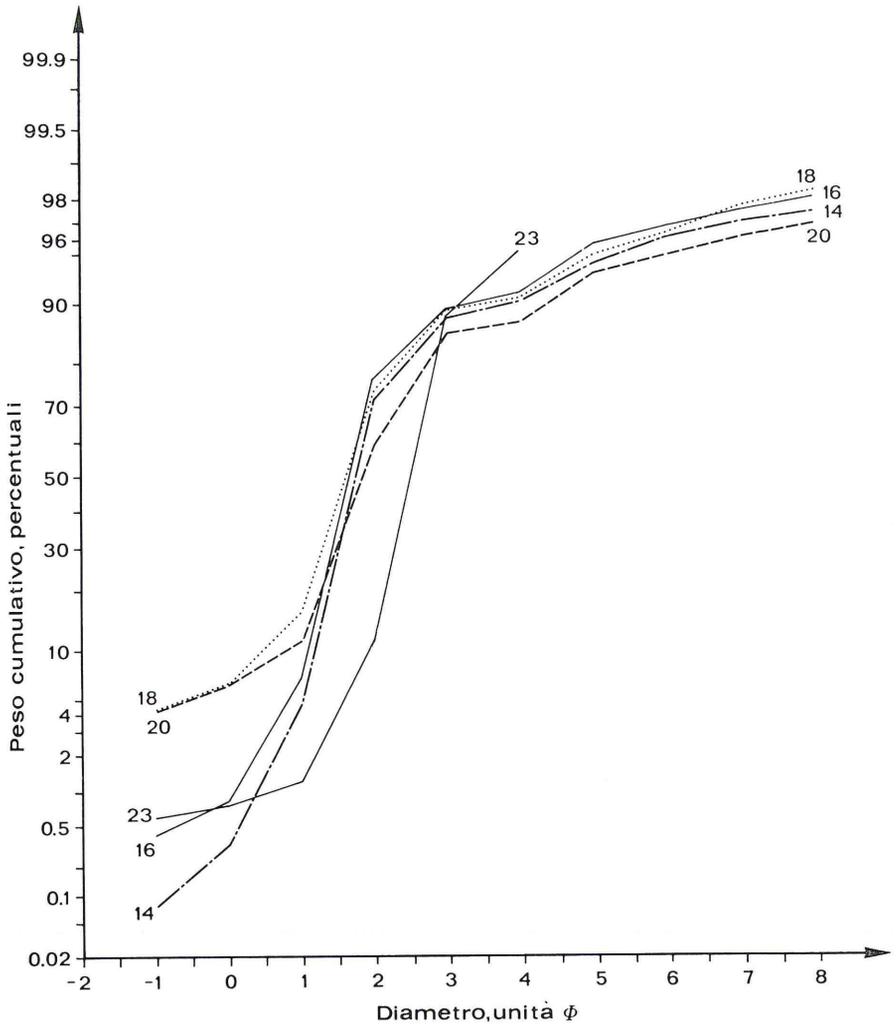


Fig. 3 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche delle sabbie (camp. 14, 16, 18, 20, 23).

I parametri granulometrici « media », « deviazione standard », « skewness » e « kurtosis » sono stati ricavati dai dati delle analisi granulometriche, sia attraverso il calcolo statistico diretto, eseguito mediante un apposito programma al calcolatore elettronico, sia attraverso le formule proposte da FOLK e WARD (1957), che utilizzano alcuni dati dedotti dalle curve cumulative. Il problema dei van-

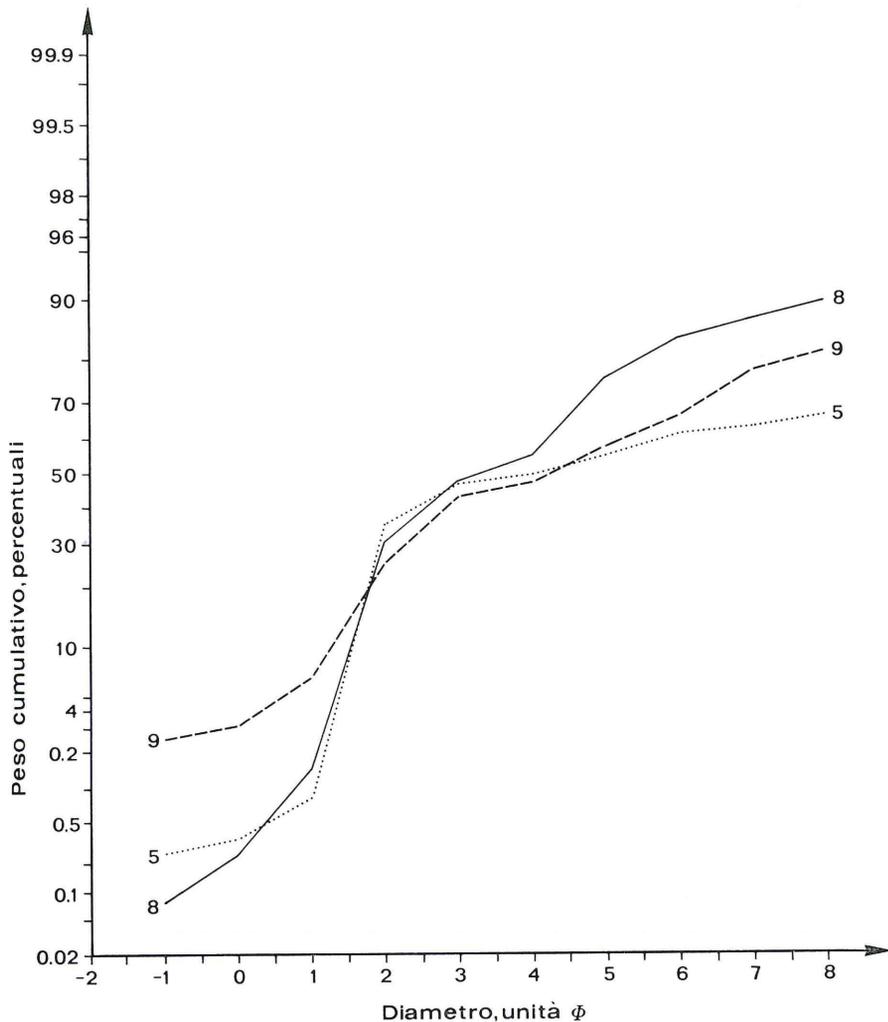


Fig. 4 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche delle sabbie limose (camp. 8) e delle sabbie limo-argillose (camp. 5 e 9).

taggi e degli svantaggi del metodo aritmetico e di quelli grafici, nonché del loro significato, è stato a lungo dibattuto da numerosi autori; esso è stato quindi riassunto e puntualizzato da FOLK (1966) e recentemente ripreso da JACQUET e VERNET (1976), che hanno discusso le relazioni fra i parametri ricavati attraverso i due metodi proprio per sedimenti a grana fine. La trattazione statistica dei

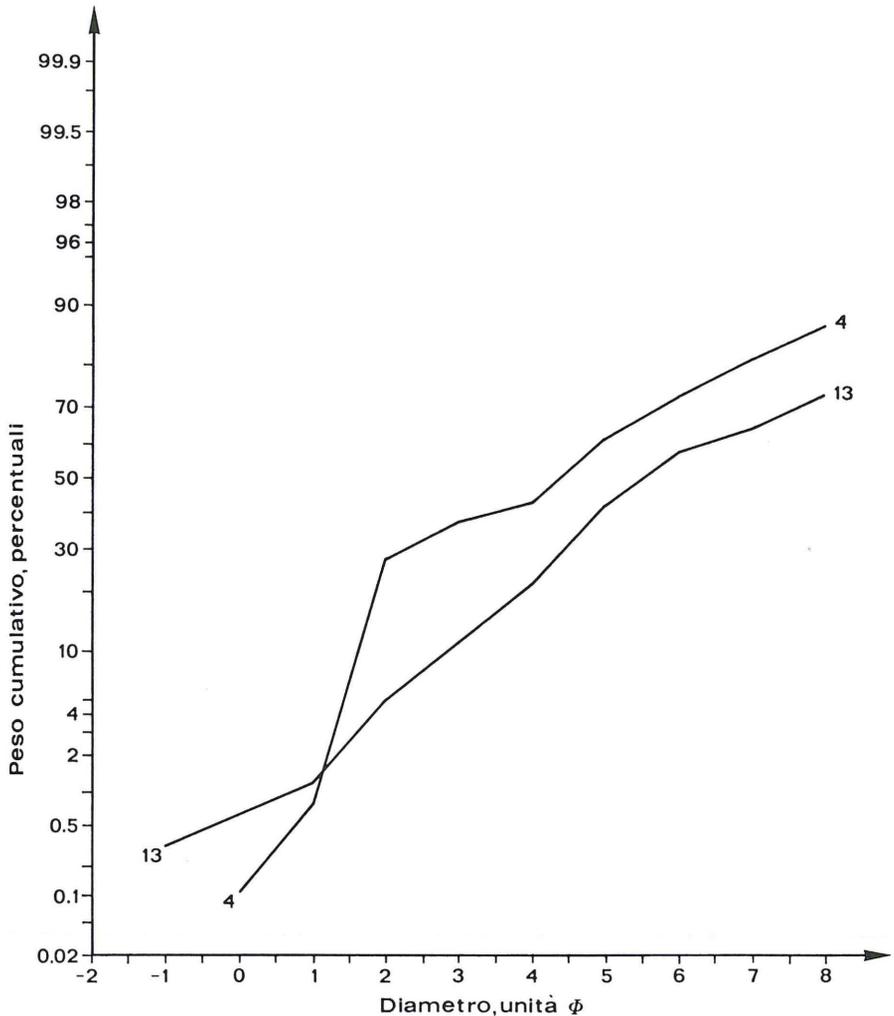


Fig. 5 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche dei limi sabbiosi (camp. 4) e dei limi argillo-sabbiosi (camp. 13).

dati delle analisi granulometriche di questi sedimenti, nonché le misure grafiche ricavabili dalle loro curve cumulative, sono infatti complicate da un ulteriore fattore; esso deriva dal fatto che la frazione argillosa, anche quando è percentualmente tutt'altro che trascurabile, è sovente arbitrariamente concentrata in un'unica classe, cioè in quella definita come « superiore a 8  $\Phi$  ». Agli inconve-

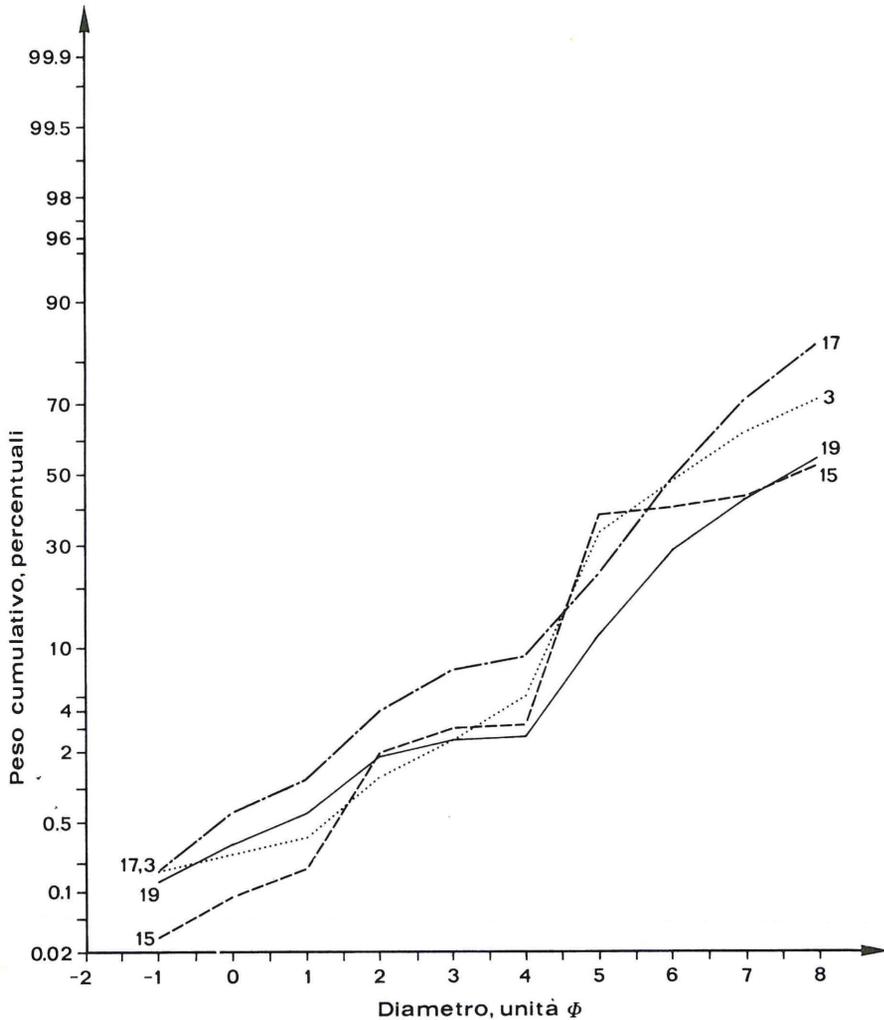


Fig. 6 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche dei limi argillosi (camp. 3, 15, 17, 19).

nienti che nascono dalla brusca troncatura dell'analisi per sedimentazione a questo limite, cioè dal fatto che l'analisi sia a « terminazione aperta », viene ovviato in maniera diversa dai differenti autori. FOLK e WARD (1957) propongono di ricavare i dati occorrenti ai calcoli da una curva cumulativa estrapolata in linea retta (su carta millimetrata a scala aritmetica) dal limite a cui si è ar-

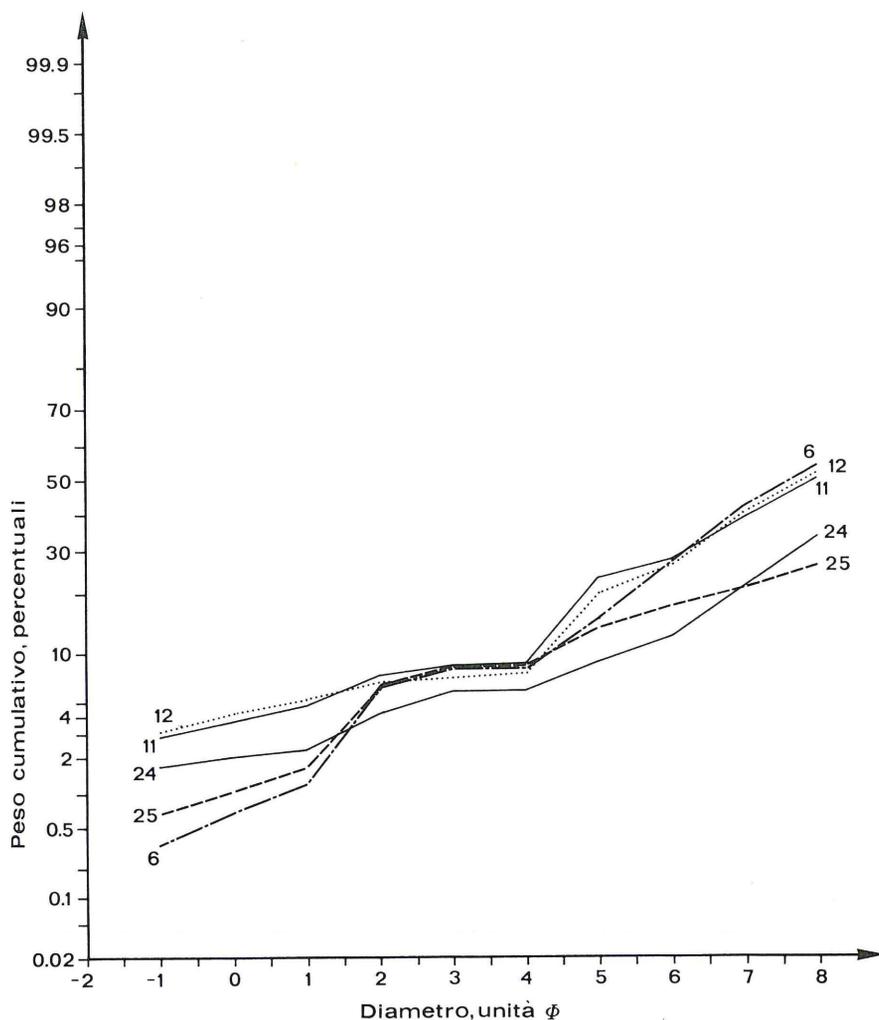


Fig. 7 - Curve cumulative illustranti le composizioni granulometriche delle argille limose (camp. 6, 11, 12, 24, 25).

restata l'analisi per sedimentazione fino al 100% a 14  $\Phi$ . JACQUET e VERNET (1976) invece seguono questo procedimento: se il peso della frazione più fine (che per loro è quella a diametro  $> 9 \Phi$ ) supera il 5%, i valori successivi vengono estrapolati assumendo un rapporto di 0.5 fra una classe e la precedente, fino a che il residuo scende al di sotto del 5%.

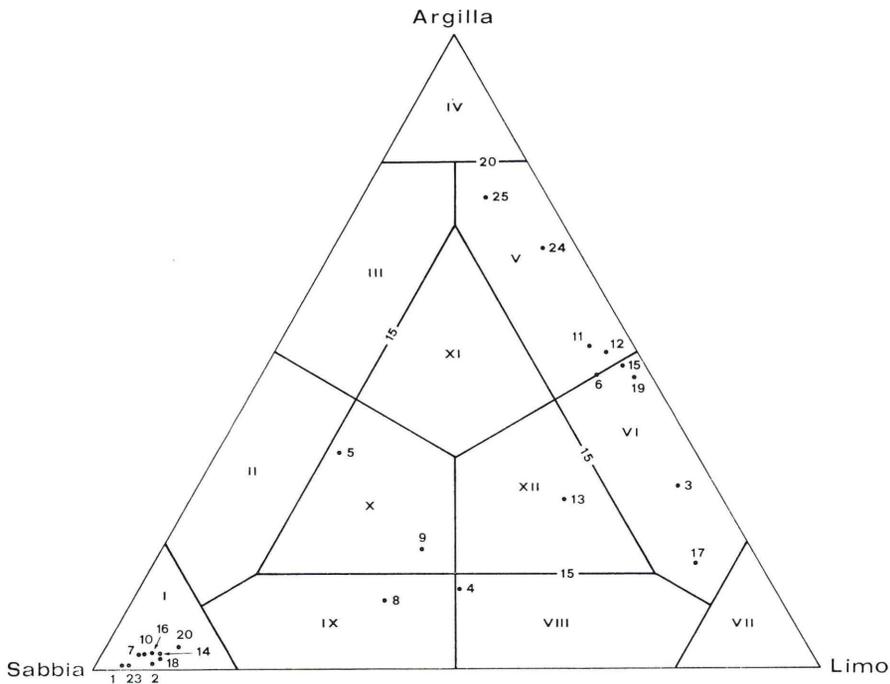


Fig. 8 - Diagramma ternario illustrante la composizione di ogni campione in termini di percentuali di sabbia, limo e argilla (I limiti di classe sono quelli della scala di Wentworth-Lane). I limiti fra i vari campi sono quelli proposti da Trefethen (in PETTJOHN, 1975): I = sabbia; II = sabbia argillosa; III = argilla sabbiosa; IV = argilla; V = argilla limosa; VI = limo argilloso; VII = limo; VIII = limo sabbioso; IX = sabbia limosa; X = sabbia limo-argillosa; XI = argilla limo-sabbiosa; XII = limo argillo-sabbioso.

Entrambi questi procedimenti sono piuttosto arbitrari e discutibili; in questo lavoro si è ritenuto più corretto, anche se più laborioso, il procedimento di eseguire l'estrapolazione sulle curve cumulative effettive, prolungando le curve stesse fino al limite del 95%. I valori dei parametri statistici, in particolar modo lo « skewness » ed il « kurtosis », ottenuti sia per via matematica che per via grafica (Tabella n. 1) sono quindi influenzati da tale operazione di estrapolazione, almeno per i campioni in cui la frazione argillosa è decisamente abbondante; così un campione che, in base ad una rappresentazione grafica mediante istogramma si sarebbe potuto supporre caratterizzato da un valore positivo dello « skewness » può invece mostrare un valore decisamente negativo dello stesso parametro.

TABELLA 1

Camp.	PARAMETRI STATISTICI							
	Media		Deviazione Standard		Skewness		Kurtosis	
	M <sub>z</sub> (1)	M <sub>z</sub> (2)	σ (1)	σ (2)	S <sub>k</sub> (1)	S <sub>k</sub> (2)	K (1)	K (2)
1	1.99	1.97	0.96	0.67	2.65	0.24	16.17	1.24
2	2.28	2.17	1.17	0.86	2.14	0.29	10.40	1.40
3	6.85	6.83	2.70	2.60	0.73	0.44	3.06	0.94
4	4.51	4.57	2.70	2.72	0.56	0.20	2.38	0.82
5	6.80	5.40	6.40	5.20	1.08	0.59	3.00	0.92
6	7.73	7.82	3.05	3.10	-0.21	0.01	2.91	1.16
7	2.01	1.88	1.36	0.82	3.15	0.46	14.49	2.18
8	3.97	3.67	2.76	2.54	1.26	0.42	4.03	1.30
9	4.87	4.87	3.69	3.65	0.76	0.32	2.86	1.05
10	2.00	1.83	1.39	0.90	3.10	0.47	13.55	2.47
11	7.84	8.05	3.63	3.62	-0.38	-0.03	3.03	1.04
12	7.79	7.95	3.48	3.54	-0.46	-0.04	3.39	1.23
13	6.17	6.17	2.94	3.02	0.44	0.32	2.58	1.02
14	2.12	1.93	1.52	1.04	2.68	0.53	10.60	2.44
15	8.01	8.15	3.68	3.56	0.41	0.26	2.10	0.74
16	1.98	1.80	1.44	0.94	2.71	0.45	11.72	2.69
17	6.13	6.28	2.01	2.00	-0.26	0.09	3.79	1.33
18	1.82	1.73	1.65	1.27	1.65	0.24	8.07	2.71
19	7.91	7.95	2.74	2.70	0.18	0.20	2.75	0.88
20	2.16	1.98	1.85	1.50	1.43	0.26	6.53	2.36
21	-4.02	-4.30	1.58	2.85	2.28	0.18	9.80	1.24
22	0.79	0.57	1.94	1.99	-0.93	-0.60	2.77	1.04
23	2.52	2.50	0.70	0.57	-0.51	0.12	11.28	1.88
24	8.90	9.12	3.10	2.98	-0.89	-0.10	4.50	1.24
25	11.85	11.83	5.78	6.16	-0.07	-0.01	2.33	1.00

Parametri granulometrici « media », « deviazione standard », « skewness » e « kurtosis ». (1) valori ricavati dall'analisi statistica dei momenti; (2) valori grafici ricavati dalle curve cumulative, tramite l'applicazione delle formule di FOLK e WARD (1957).

### *Analisi mineralogica*

La composizione mineralogica dei nove campioni di sabbia « sensu strictu », del campione di ghiaia (n. 21) e del campione di sabbia ciottolosa (n. 22), è illustrata nelle Tabelle n. 2 e 3; i dati in esse riportati sono il risultato di un'accurata analisi modale eseguita al microscopio ottico polarizzante, munito di tavolino integratore Leitz. Tale analisi è stata resa possibile dall'esecuzione di apposite sezioni sottili, una per ogni campione nel caso delle sabbie, eseguite con il sistema dell'impregnazione del campione in uno speciale collante ad elevata resistenza. Per la loro classificazione si

TABELLA 2 - Analisi modale delle sabbie.

COMPONENTI	C A M P I O N I									
	1	2	7	10	14	16	18	20	22 <sup>*</sup>	23
QUARZO	45%	47%	51%	53%	51%	55%	41%	46%	43%	43%
FELDSPATI	19%	20%	23%	21%	22%	19%	18%	20%	19%	21%
CARBONATI	7%	8%	<1%	<1%	1%	1%	<1%	7%	16%	16%
FRAMMENTI LITICI	27%	20%	22%	22%	22%	22%	37%	25%	20%	16%
MINERALI PESANTI <sup>**</sup>	<1%	1%	1%	1%	2%	1%	1%	<1%	1%	1%
MINERALI FEMICI <sup>***</sup> E MUSCOVITE	2%	4%	3%	3%	2%	2%	3%	2%	1%	3%

\* La composizione qui riportata si riferisce alla sola frazione sabbiosa del campione 22, un sedimento a distribuzione granulometrica nettamente bimodale, costituito dal 78% di sabbia e dal 22% di ghiaia.

\*\* Minerali pesanti = granati, epidoti, titanite, zircono, pirite, apatite.

\*\*\* Minerali femici = pirosseni, anfiboli, miche, cloriti.

TABELLA 3 - Analisi modale delle ghiaie.

COMPONENTI	C A M P I O N I	
	21	22 <sup>*</sup>
RADIOLARITI	13%	10%
SELCI	20%	32%
QUARZITI	13%	23%
ARENARIE QUARZOSE	19%	10%
CALCARI	35%	24%
ALTRE ROCCE <sup>**</sup>	-	1%

\* La composizione qui riportata si riferisce alla sola frazione ghiaiosa del campione 22.

\*\* Questa categoria comprende soprattutto frammenti di diabase.

è ricorso a quella proposta da DOTI, e successivamente modificata da PETTIJOHN (in PETTIJOHN, 1975). Essa è basata sulla percentuale di tre componenti e precisamente: quarzo, feldspati e frammenti litici (fig. 9). Dal nostro studio al microscopio ottico abbiamo rilevata anche la presenza di altri componenti (suddivisi nelle categorie « minerali femici » e « minerali pesanti »), ma essi sono normal-

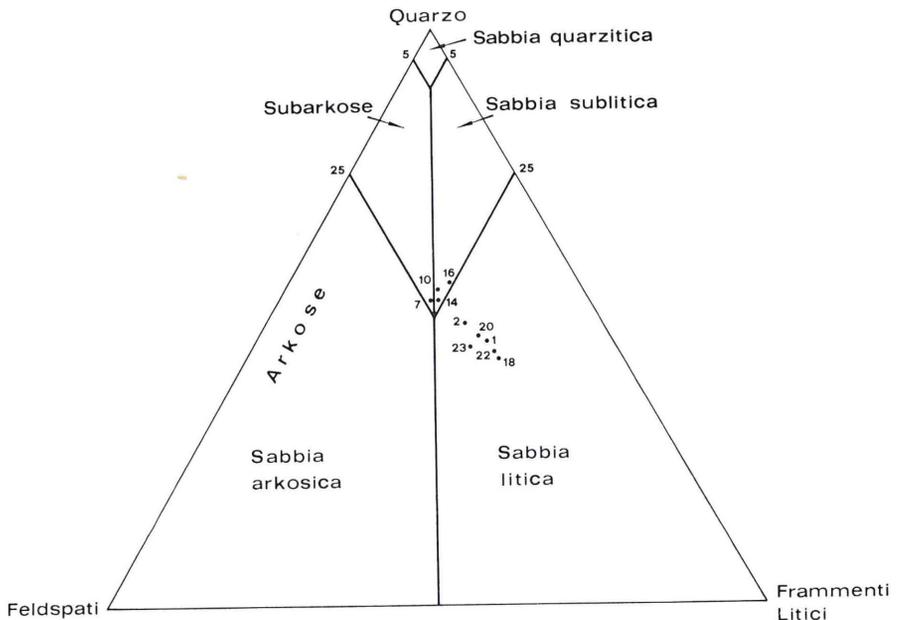


Fig. 9 - Diagramma ternario illustrante la composizione delle sabbie in termini di percentuali di quarzo, feldspati e frammenti litici. I limiti fra i vari campi e la classificazione relativa sono quelli proposti da DOTT e modificati da PETTIJOHN (1975).

mente in percentuali assai basse, per lo più inferiori al 4%. E' perciò sembrato del tutto giustificato riportare a 100 le percentuali di quarzo, feldspati e frammenti litici (nei quali è stata fatta confluire anche la categoria « carbonati », dato che essa è rappresentata soprattutto da frammenti di calcari) e di proiettare le composizioni dei campioni di sabbie nel diagramma di PETTIJOHN.

Per quanto riguarda il camp. 22, che dal punto di vista della classificazione delle miscele ghiaia-sabbia secondo WILLMAN (PETTIJOHN, 1975) cade nel campo delle sabbie ciottolose (dato che è costituito dal 22% di ghiaia), è stata proiettata nel diagramma suscitato la composizione della sola frazione sabbiosa. La composizione della sua frazione ghiaiosa, che ovviamente è costituita esclusivamente da frammenti di roccia, è riportata, separatamente da quella della componente sabbiosa, nella Tab. n. 3. Essa deriva dalla media dei risultati delle analisi modali eseguite su tre sezioni sottili realizzate su di un granulato, accuratamente inquartato, ottenuto a sua volta dalla macinazione di un certo quantitativo di

ciottoli. Tale procedimento, seguito per avere una corretta valutazione dell'abbondanza relativa dei vari tipi litologici, è stato naturalmente utilizzato anche per il campione 21, costituito per il 95% da ghiaia e, per di più, caratterizzato da ciottoli con diametro medio assai più alto di quello della frazione grossolana del campione 22.

Nel caso di tutti gli altri campioni, nei quali la componente pelitica assume un peso importante, è stata eseguita un'analisi mineralogica qualitativa in diffrazione ai raggi X. Per ogni campione è stato registrato un diffrattogramma sul materiale naturale non sedimentato; i dati ottenuti sono riportati in Tabella n. 4. Il rico-

TABELLA 4 - Analisi mineralogica qualitativa, in diffrazione ai raggi X, dei sedimenti pelitici e psammitico-pelitici.

Camp.	C O M P O N E N T I									
	Q	F	C	M	K	VM				
3	Q	F	C	M	K	VM				
4	Q	F		M	K	VM				
5	Q	F		M	K	VM				So
6	Q	F	C	M	K	VM				
8	Q	F		M	K	VM				So
9	Q	F					Sm	Si		
11	Q	F	C	M	K	VM				So
12	Q	F	C	M	K	VM				So
13	Q	F	C	M	K	VM				So
15	Q	F		M	K	VM				
17	Q	F		M	K	VM				
19	Q	F	C	M	K	VM				
24	Q	F	C	M	K	VM		Si		
25	Q	F	C	M	K	VM				

Q = quarzo; F = feldspati; C = Calcite; M = miche (sia illite che muscovite detritica); VM = minerali aventi il riflesso (001) a circa 14 Å, rappresentati sia da vermiculiti e smectiti normali che da vermiculiti e smectiti più o meno fortemente cloritizzate; K = caolinite; Si = siderite; So = solfati (soprattutto di calcio, ma in alcuni campioni (11, 12, 13) anche solfati di ferro e, in un caso (camp. 5), anche di alluminio); Sm = smectite normale.

noscimento dettagliato e rigoroso dei minerali argillosi ha naturalmente richiesto anche l'esecuzione e l'interpretazione di diffrattogrammi su preparati orientati della frazione a granulometria inferiore a  $2\mu$ , ottenuti per decantazione da sospensioni acquose; quindi, sempre per ogni campione, sono stati effettuati anche uno spettro su di un aggregato orientato sedimentato in acqua, uno su di un aggregato orientato sedimentato in acqua e glicerina ed uno su di un aggregato orientato riscaldato a 550 °C per 2 ore.

Su alcuni campioni-tipo è stata eseguita anche una seconda serie di diffrattogrammi a 100 °C, 400 °C e a 600 °C, dopo trattamento con sali di potassio.

Mediante lo studio dei diffrattogrammi dei preparati orientati si è risalito anche ad una valutazione semiquantitativa della composizione mineralogica della frazione argillosa più fine. E' ben noto che, a tutt'oggi, vere analisi quantitative di miscele complesse di minerali argillosi non sono possibili; tuttavia sono state proposte diverse metodologie, che utilizzano le intensità di picchi caratteristici dei diffrattogrammi ai raggi X, che portano ad approssimazioni semiquantitative che possono risultare utili.

Una di queste metodologie è quella usata da BISCAYE (1965), che si presta, per la sua semplicità, all'analisi di numerosi campioni. Ha però lo svantaggio che non tiene conto del fenomeno della segregazione di certi minerali rispetto ad altri durante la sedimentazione, mentre questo inconveniente è superato dai metodi della spalmatura su vetrino e dall'aspirazione su setto poroso (FERLA, 1974). Tuttavia il metodo di Biscaye è di rapida esecuzione e consente pur sempre utili confronti da campione a campione. Esso è stato quindi utilizzato nella presente ricerca, per i cui scopi è parso del tutto sufficiente; per una sua descrizione dettagliata si rinvia al lavoro dell'autore sopra citato (BISCAYE, 1965). I risultati di tale analisi semiquantitativa, con carattere, come si è detto, assai approssimativo, sono riportati in Tabella n. 5.

TABELLA 5 - Analisi mineralogica semiquantitativa, in diffrattometria ai raggi X, della frazione granulometrica inferiore a 2  $\mu$  dei sedimenti pelitici e psammitico-pelitici.

COMPONENTI	C A M P I O N I													
	3:	4	5	6	8	9	11	12	13	15	17	19	24	25
Illite	51%	49%	56%	48%	44%	--	41%	35%	39%	36%	31%	43%	45%	45%
Fasi a 14 Å <sup>o*</sup>	38%	40%	38%	41%	45%	--	50%	51%	43%	51%	51%	47%	45%	46%
Caolinite	11%	11%	6%	11%	11%	--	9%	14%	18%	13%	18%	10%	10%	9%
Smectiti <sup>**</sup>	--	--	--	--	--	100%	--	--	--	--	--	--	--	--

\* Le « fasi a 14 Å » comprendono sia vermiculiti e smectiti normali sia vermiculiti e smectiti più o meno fortemente cloritizzate; in alcuni campioni queste ultime possono essere sostituite gradualmente anche da cloriti vere e proprie (vedere discussione nel testo).

\*\* Nel solo campione (camp. 9) in cui è presente come unico minerale argilloso una smectite normale, tale minerale è indicato separatamente dalle altre fasi a 14 Å.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

*Composizione granulometrica*

L'esame del diagramma triangolare (fig. 8) sabbia-limo-argilla rivela che l'assoluta maggioranza dei sedimenti della nostra sequenza stratigrafica cade o nel campo delle sabbie o nei due campi delle argille limose e dei limi argillosi; sono decisamente rari i sedimenti costituiti dalla miscela di tre componenti o anche quelli costituiti da miscele binarie sabbia-limo o sabbia-argilla.

Le curve cumulative danno una comoda rappresentazione grafica degli andamenti delle loro distribuzioni granulometriche e ne facilitano il confronto reciproco. Nel caso dei sedimenti sabbiosi appare, con notevole evidenza, che le curve risultano spezzate in tre tratti, ciascuno dei quali si avvicina abbastanza bene alla condizione di rettilineità. Questo fatto, già noto in letteratura, è stato studiato a fondo da VISHNER (1969), il quale lo pone in relazione con l'esistenza, nella curva di ogni sedimento clastico, di tre differenti « popolazioni », identificate con i materiali trasportati per trascinamento, per saltazione e per sospensione. Ciascuna popolazione ha una propria distribuzione log-normale e viene proiettata, perciò, come un segmento di retta, quando si usi una scala probabilità-percentuali sulle ordinate e il logaritmo del diametro (o la notazione  $\Phi$ ) sulle ascisse. La proporzione di ciascuna popolazione è evidentemente legata all'importanza relativa del corrispondente processo sulla formazione della distribuzione complessiva. La forma della curva può quindi essere di utilità per l'identificazione dell'ambiente di deposizione, anche se, come avverte VISHNER, è impossibile stabilire limiti precisi per l'inclinazione, i punti di discontinuità e le percentuali delle tre popolazioni per i vari ambienti. Una certa somiglianza delle nostre curve relative a sabbie con quelle di sabbie di ambiente fluviale riportate da VISHNER (1969) è riscontrabile per tutti i campioni tranne che per il campione n. 23, la cui curva presenta affinità maggiori con quelle di sabbie di spiaggia; fra l'altro da essa si possono desumere indizi dell'esistenza di due diverse popolazioni dovute a saltazione, proprio come avviene nelle sabbie di spiaggia per effetto dei moti ondoso e di risacca. C'è poi da osservare che i campioni 18 e 20 mostrano, rispetto alle altre sabbie, una maggior importanza relativa della popolazione trasportata per trazione, com'è logico aspettarsi per se-

dimenti che si sono depositi subito dopo (o quasi) la deposizione di una ghiaia e quindi in un ambiente caratterizzato da condizioni idrodinamiche di alta energia.

La suddivisione in tre tratti rettilinei delle curve cumulative è ancora ben visibile anche nel caso dei sedimenti classificabili come sabbie limose e sabbie limo-argillose, ma è più sfumata e meno chiaramente interpretabile nel caso dei sedimenti più fini. Nel caso delle argille limose le pendenze dei vari tratti, in cui le curve possono essere eventualmente suddivise, sono talmente vicine che è dubbio che il sedimento non sia costituito da un'unica « popolazione » o al massimo da due.

Ciò che invece emerge chiaramente dal confronto fra le curve cumulative relative ai diversi tipi di sedimenti è che i limiti superiori (in unità  $\Phi$ ) delle « popolazioni » legate rispettivamente ai processi di trascinamento, saltazione e sospensione (limiti segnati dai punti di discontinuità sulle curve), si spostano verso valori granulometrici più fini passando dalle sabbie ai sedimenti pelitici, com'è logico attendersi da ambienti idrodinamici a « competenza » via via decrescente.

I dati riportati nella tabella n. 1 consentono anch'essi di ricavare importanti caratteristiche delle distribuzioni granulometriche dei vari sedimenti. Se facciamo riferimento soprattutto ai valori dei parametri statistici ricavati tramite le formule di FOLK e WARD (1957) ed alle suddivisioni proposte da questi autori, possiamo osservare che le sabbie mostrano valori della dimensione media che le collocano quasi tutte nella categoria « sabbie a grana media » o, in qualche caso, nella categoria « sabbie fini »; i limi argillosi e le argille limose sono invece rappresentati rispettivamente da « limi fini » e « limi finissimi » e da « argille grossolane » o « argille a grana media », coerentemente con il fatto che essi rappresentano sempre miscele binarie dei due termini estremi (il solo campione 25 appare rientrare nella categoria delle « argille finissime »).

Quanto poi ai valori del parametro « deviazione standard », essi sono quasi tutti tali da far classificare questi sedimenti come materiali a « classamento scarsissimo »; fanno eccezione le sabbie, caratterizzate per lo più da un « classamento medio ». I valori dello « skewness » sono « positivi » o « molto positivi » nel caso delle sabbie e dei limi, cioè questi sedimenti appaiono caratterizzati da un eccesso di materiale fine rispetto ad una curva normale; la distribuzione granulometrica risulta invece « quasi simmetrica » nel

caso delle argille, poiché i loro valori di « skewness » rientrano tutti nell'intervallo che va da  $-0.10$  a  $+0.10$ , anche se prevalentemente cadono dal lato negativo dello zero; lo « skewness » è invece « molto negativo » per la sabbia ciottolosa (camp. n. 22), che rappresenta un sedimento nettamente bimodale con un eccesso di materiale grossolano. Diversi autori hanno discusso il valore dello « skewness » quale indicatore di ambiente, soprattutto in termini di energia di erosione e di energia di ambiente di deposizione. In particolare THOMAS *et al.* (1972) hanno posto l'accento su tale valore e si sono serviti dello « skewness » come di un indice della « popolazione » dominante nelle miscele sabbia-argilla; lo « skewness » risulterebbe positivo nel caso di sedimenti grossolani ricchi in sabbia, mentre i sedimenti con poca sabbia e con una « popolazione » dominante argillosa sarebbero caratterizzati da valori negativi di questo parametro. Gli stessi autori riuscirono a dimostrare che le « popolazioni » che rappresentano i termini estremi nei sedimenti composti principalmente da miscele di sabbia e argilla (anche con alti tenori in limo) sono fortemente « leptocurtiche »; la mescolanza di queste popolazioni produce sedimenti intermedi con una distribuzione « platicurtica ». Una relazione simile si può osservare anche nei sedimenti della nostra sequenza stratigrafica, in cui le sabbie sono tutte da « leptocurtiche » a « molto leptocurtiche », le argille sono prevalentemente « leptocurtiche », mentre le altre categorie sono da « mesocurtiche » a « platicurtiche ».

Alcuni sedimentologi hanno inoltre usato i parametri statistici « media », « deviazione standard », « skewness » e « kurtosis », combinati in vario modo fra di loro, come indicatori ambientali, soprattutto in relazione a sedimenti sabbiosi. Fra gli studi più dettagliati troviamo quelli di FRIEDMAN (1961, 1967), il quale tentò, con un certo successo, di distinguere le sabbie di duna da quelle di spiaggia tracciando il grafico dello « skewness » in funzione della « media » e di distinguere le sabbie di spiaggia da quelle di fiume tracciando il grafico dello « skewness » in funzione della « deviazione standard ». Se utilizziamo i grafici di FRIEDMAN (1961) per proiettarvi i valori di questi parametri relativi alle sabbie della nostra sequenza stratigrafica (facendo ricorso ai valori ricavati dall'analisi statistica dei momenti, dato che questi diagrammi sono stati tracciati in base a questo tipo di valori, e non in base a quelli grafici), si osserva che tutte le nostre sabbie cadono nel campo delle sabbie fluviali, tranne quella del campione 23, che risulta compresa

nel campo delle sabbie di spiaggia o al limite fra le due categorie. E infatti questo sedimento presenta delle caratteristiche del tutto singolari rispetto alle altre sabbie: è una « sabbia fine » e non « a grana media » come tutte le altre sabbie, ha un « buon classamento » ed è caratterizzato da un valore negativo dello « skewness » (almeno quello ricavato per via analitica), mentre tutte le altre sabbie lo hanno positivo.

Un discorso a parte merita infine lo studio granulometrico della ghiaia (campione 21), per la particolare importanza che riveste l'orizzonte da essa costituito, in quanto sede principale della falda acquifera. Tale studio è stato effettuato mediante setacci dalla classe 4-2 mm (unità  $\Phi - 2/ - 1$ ) verso le granulometrie inferiori; per le granulometrie superiori, non disponendo di reti a maglie sufficientemente grandi, la suddivisione è stata effettuata in base a valutazione del diametro medio dei ciottoli. Su di una frazione costituita da 285 ciottoli si sono misurati, mediante un calibro, il diametro massimo (L), quello minimo (S) e quello intermedio (I) di ciascun ciottolo, seguendo il metodo prescritto da KRUMBEIN (1941). E' stata quindi immediatamente calcolata la media geometrica di queste tre grandezze ed il ciottolo è stato assegnato, in base a tale diametro medio, ad una delle classi 64-32 mm ( $\Phi - 6/ - 5$ ), 32-16 mm ( $\Phi - 5/ - 4$ ), 16-8 mm ( $\Phi - 4/ - 3$ ) e 8-4 mm ( $\Phi - 3/ - 2$ ); non sono stati osservati ciottoli con diametro medio superiore a 45 mm. Ciascuna classe è stata quindi successivamente pesata per ricavare la sua percentuale ponderale.

Su circa 75 ciottoli sono stati anche misurati, mediante l'apposito diagramma tracciato da DOBKINS e FOLK (1970), i diametri del cerchio massimo inscritto ( $D_i$ ) e del cerchio massimo inscritto nell'angolo più acuto ( $D_k$ ), secondo il metodo proposto dai due autori americani. Queste due grandezze ci consentono infatti di ricavare un interessante parametro morfometrico, l'*arrotondamento*, dalla formula  $R = D_k/D_i$ . Altri due parametri, che ben consentono di caratterizzare ulteriormente la morfologia dei ciottoli stessi, sono ricavabili dalle misure dei vari diametri sopra citati: l'*indice di sfericità*, calcolato secondo la formula  $\psi = \sqrt[3]{S^2/(L \cdot I)}$ , e l'*indice di forma*, calcolato secondo la formula  $OP = 10 [(L-I)/(L-S) - 0.5] \cdot L/S$ , entrambe proposte da DOBKINS e FOLK (1970).

Riportiamo nella tabella n. 6 i risultati medi ottenuti per le varie classi granulometriche, nonché il valore medio per tutte le dimensioni al di sopra di 4 mm.

TABELLA 6 - Parametri morfometrici relativi ai ciottoli del campione di ghiaia (camp. 21).

Indice	Classi dimensionali				Valore medio complessivo
	64-32 mm	32-16 mm	16-8 mm	8-4 mm	
Arrotondamento (R)	0.39	0.46	0.54	0.60	0.50
Sfericità ( $\Psi$ )	0.58	0.69	0.67	0.63	0.64
Forma (OP)	-7.16	1.12	-0.27	-1.16	-1.87

La tabella ci mostra che l'arrotondamento dei ciottoli è abbastanza elevato e che aumenta progressivamente andando dalle frazioni più grossolane a quelle più fini. Questo andamento fu osservato anche da DOBKINS e FOLK (1970), per le frazioni a granulometria inferiore a 32 mm, in ghiaie tipiche di spiagge caratterizzate da bassa energia del moto ondoso. L'indice di sfericità, come fu osservato anche dagli autori americani, non segue invece alcun andamento particolare in funzione della granulometria, ma presenta un valore medio di 0.64, che corrisponde ad una sfericità piuttosto modesta. Per quanto riguarda infine l'indice di forma, esso presenta quasi sempre (con la sola eccezione della classe 32-16 mm) valori negativi. I ciottoli sono cioè quasi tutti fortemente « oblati », secondo l'espressione degli autori anglosassoni, e quindi con una forma tendente alla discoidale. Se il valore fosse stato prossimo allo zero la forma sarebbe stata laminare, mentre valori positivi avrebbero indicato ciottoli preferenzialmente « prolatti », cioè con una forma allungata.

In base ai risultati degli studi morfoscopici è possibile, secondo DOBKINS e FOLK (1970), avere indicazioni sull'ambiente di sedimentazione delle ghiaie; gli autori avvertono però che tale applicazione è lecita per ciottoli a dimensioni comprese nell'intervallo 16-256 mm. Trascurando quindi le ultime due classi granulometriche e mediando i valori delle prime due otteniamo, per i ciottoli della nostra ghiaia aventi un diametro superiore a 16 mm, i seguenti valori medi: *indice di arrotondamento*  $R = 0.43$ , *indice di sfericità*  $\Psi = 0.64$  e *indice di forma*  $OP = -3.02$ . Confrontando questi valori con i dati di DOBKINS e FOLK (1970) si osserva che il valore dell'indice di arrotondamento risulta compreso fra quelli tipici dei ciottoli fluviali e quelli tipici delle ghiaie di spiagge a bassa energia; il valore dell'indice di sfericità può essere considerato al limite fra

quelli di questi due ambienti, per quanto rientri ancora fra quelli propri delle spiagge. L'indice di forma, che però è assai meno indicativo degli altri due, indicherebbe infine un ambiente di spiaggia.

Tutti questi dati fanno ritenere assai probabile che il deposito ghiaioso in questione, tenuto conto anche della sua estensione areale, probabilmente assai vasta<sup>(1)</sup>, rappresenti un deposito marino di ciottoli di origine fluviale assai poco lavorati dal moto ondoso.

### *Composizione mineralogica*

Come è già stato posto in evidenza, le sabbie di questa sequenza stratigrafica si presentano per lo più molto pure, cioè a scarsissima componente limosa od argillosa. La loro composizione, determinata mediante un'accurata analisi modale, è riportata in tabella n. 2 e nel diagramma n. 9, nel quale sono registrati solo i componenti principali, cioè quarzo, feldspati e frammenti litici. La maggior parte dei campioni appare cadere nel campo delle « sabbie litiche », cioè mostra una composizione tipica di sabbie decisamente immature; tre campioni cadono invece proprio nella zona di incontro dei quattro campi delle « sabbie arkosiche », delle « sabbie litiche », delle « sabbie subarkosiche » e delle « sabbie sublittiche » e cioè sembrerebbero corrispondere a delle sabbie leggermente più mature. Nel complesso, tuttavia, le composizioni modali di queste sabbie appaiono molto prossime le une alle altre.

E' stata osservata la presenza dei seguenti minerali:

**Quarzo** - Comune in tutti i campioni, indipendentemente dalle dimensioni granulometriche, è il componente di gran lunga più abbondante delle sabbie. I suoi granuli, come del resto quelli della maggior parte degli altri minerali, mostrano uno scarso arrotondamento; da questo punto di vista possono essere definiti come variabili da « sub-angolari » a « sub-arrotondati » (classi B e C di arrotondamento di Pettijohn). Per lo più appare perfettamente lim-

---

(1) I dati desumibili dalle perforazioni di altri pozzi, soprattutto nella zona di S. Piero a Grado (UGOLINI, 1925), indicano infatti la presenza, ad una profondità variabile da 90 m a circa 100 m, di un banco di ghiaia con una composizione litologica molto simile a quella del nostro sedimento.

vido e privo di inclusioni; non rari appaiono i granuli ad estinzione ondulata o anche quelli a struttura cataclastica.

*Feldspati* - In questa categoria sono raggruppati sia i feldspati potassici che i plagioclasti. Fra i primi predomina nettamente l'ortose, talora vistosamente peritico, mentre quantitativamente subordinato appare il microclino; fra i secondi predominano i termini acidi albitici od oligoclastici. Tutti possono presentarsi completamente limpidi e trasparenti od anche più o meno profondamente sericitizzati o caolinizzati.

*Carbonati* - Sono presenti sia come materiali clastici, rappresentati da frammenti di calcari, sia come frammenti di gusci di organismi, più o meno profondamente rimaneggiati. I calcari sono di varia natura, comprendendo calcari micritici, calcari ad intraclasti, aggregati di calcite spatica, calcareniti. Nel caso del campione di ghiaia (n. 21) o della frazione grossolana della sabbia ciottolosa (n. 22) i calcari sono sempre rappresentati da tipi fortemente selciferi o decisamente arenacei, cioè da tipi ovviamente più resistenti alla dissoluzione chimica e, in parte, anche all'usura meccanica.

*Frammenti litici* - In questa categoria abbiamo raggruppati tutti i frammenti di rocce non carbonatiche. Abbondanti sono le arenarie quarzose o quarzoso-feldspatiche, a grana medio-fine, talora con cemento calcareo talora con cemento costituito da quarzo microcristallino. Anche le quarziti, leggermente metamorfiche, sono relativamente frequenti, né mancano gli scisti sericitici e gli scisti cloritici.

Le radiolariti, per lo più ad abbondante pigmento ematitico, più raramente colorate in verde per la presenza di cloriti, sono anch'esse fra i componenti litici principali. Assai rari, ma costantemente presenti in tutti i campioni, sono infine i frammenti di tipi litologici della famiglia delle ofioliti: diabasi dall'evidente struttura ofitica, plagioclastiti profondamente cloritizzate e, occasionalmente, frammenti di serpentine.

*Minerali femici e muscovite* - Questa categoria di minerali, che quantitativamente non supera mai il 4% del totale in nessun campione di sabbia, è rappresentata in prevalenza da muscovite e da clorite. Molto più rare sono le laminette di biotite, quasi sempre fortemente decolorata, ed i granuli di pirosseno. In due casi (campioni n. 16 e n. 20) essa comprende anche la glauconite, che si pre-

senta sotto forma di pellets subsferici o come riempimento di gusci di microrganismi.

*Minerali pesanti* - Questi minerali accessori minori raramente superano l'1%. Essi sono rappresentati soprattutto dagli epidoti, sia pistacite che clinozoisite, dai granati e da ossidi e solfuri di ferro più o meno profondamente limonitizzati. Molto più rari sono lo zircone, l'apatite e la titanite.

Per quanto riguarda poi la composizione mineralogica dei *sedimenti pelitici*, o comunque ad abbondante frazione pelitica, c'è da osservare che essa è piuttosto complessa. Come è noto, infatti, tali sedimenti comprendono materiali prodotti dall'abrasione (minerali delle frazioni sabbiosa e limosa), prodotti della degradazione chimica (« minerali delle argille » s.s.) e prodotti di precipitazione chimica e biochimica.

*Costituenti detritici* - L'importanza quantitativa dei costituenti detritici nei sedimenti pelitici studiati è legata all'abbondanza delle frazioni sabbiosa e limosa. Queste, infatti, consistono principalmente di *quarzo* e, subordinatamente, di *feldspati*. Anche le *miche*, e precisamente le larghe laminette di *muscovite detritica* ben visibili al microscopio binoculare, e talora messe in evidenza anche nei diffrattogrammi da picchi leggermente separati da quelli dell'illite, contribuiscono a questa categoria di costituenti. Infine anche la *calcite*, presente in diversi campioni, può rientrare in parte in questa categoria. Frequentemente, però, essa rappresenta il materiale costitutivo di gusci di organismi, e pertanto va considerata di origine biochimica; per qualche campione poi (ad es. il campione n. 24), si potrebbe anche pensare ad un processo di precipitazione puramente chimica.

Tutti questi minerali sono già stati descritti a proposito delle sabbie.

*Precipitati chimici* - Fra i costituenti attribuibili a processi di precipitazione chimica è stata osservata, in alcun campioni, la presenza di *solfati*, principalmente di calcio (gesso), ma talora anche di solfati di ferro o di alluminio più o meno idrati; non è stato possibile identificare univocamente questi ultimi, perché sono ancora più scarsi del solfato di calcio. Tutti questi minerali sono contenuti nei sedimenti in questione in quantità talmente piccole da non essere rivelabili negli spettri dei campioni naturali com-

plessivi, ma da essere posti in evidenza solo negli spettri dei preparati sedimentati in acqua; qui infatti questi sali, che sono abbastanza solubili nell'acqua distillata in cui viene effettuata la sospensione, si depositano per ultimi sul vetrino, formando un sottile velo di cristalli fortemente isorientati sovrastante lo strato di minerali argillosi. Non riteniamo che la presenza di questi solfati sia indicativa di un ambiente evaporitico, poiché mancano del tutto gli altri minerali tipici di questo ambiente. E' più probabile che essi rappresentino soltanto il prodotto secondario di reazione di soluzioni acide solfatiche, originatesi dall'ossidazione di solfuri, sui carbonati o su altri materiali del sedimento.

Di particolare interesse è invece la presenza di *siderite* nei campioni 9 e 24. Il primo è un campione classificabile, dal punto di vista granulometrico, come una sabbia limo-argillosa; in realtà si tratta di un sedimento complesso costituito in prevalenza da una frazione detritica sabbiosa, rappresentata da grossi granuli di quarzo e di feldspato, e da una frazione limosa che, al binoculare, appare costituita da minuscoli sferuliti di un minerale marrone scuro. I diffrattogrammi ai raggi X mostrano che il minerale degli sferuliti è una *siderite* normale; la frazione più fine, piuttosto scarsa, risulta invece costituita esclusivamente da una *montmorillonite* poco cristallina. Il sedimento appare anche piuttosto ricco di sostanze carboniose (oltre il 6%), che gli conferiscono un colore assai scuro. Tutte queste caratteristiche permettono di inquadrarlo assai bene fra i depositi tipici di ambienti palustri, per i quali è ben nota la possibilità della precipitazione di *siderite* o, più frequentemente, di *limonite* (STANTON, 1972). Secondo STANTON (1972) questi carbonati di ferro deposti in ambienti d'acqua dolce (i cosiddetti « blackband ironstones ») hanno un contenuto in ferro notevolmente più alto e quindi un più basso tenore in MnO, CaO ed MgO, dei loro equivalenti marini (gli « ironstones » normali).

Notevolmente diverso è infatti lo spettro del carbonato presente nel campione n. 24 che, sulla base dei fossili in esso contenuti, si presenta come un deposito francamente marino. Si tratta di un sedimento di colore chiaro, estremamente fine, qualificabile granulometricamente come argilla moderatamente limosa; l'associazione mineralogica presente, se si escludono i carbonati, è molto simile a quella dei sedimenti che lo precedono o lo seguono nella sequenza stratigrafica: quarzo, feldspato e muscovite rappresentano i soliti costituenti detritici dello scarso limo, illite, caolinite e fasi

a 14 Å sono i principali minerali dell'abbondantissima frazione argillosa. Non vi si rileva invece la presenza di sostanza organica in quantità significative. Fra i carbonati, i diffrattogrammi ai raggi X rivelano la presenza di una piccola quantità di calcite, che potrebbe essere imputabile a gusci di microrganismi come potrebbe anche rappresentare una fase precipitata chimicamente. Ma il carbonato di gran lunga più abbondante appare senz'altro un minerale che, a giudicare dalle intensità di diffrazione e dalle posizioni dei picchi del suo diffrattogramma, sembrerebbe una soluzione solida intermedia fra siderite e rodocrosite. I parametri di cella, ottenuti per affinamento, con il metodo dei minimi quadrati, dei dati desunti da una decina di riflessi, sono i seguenti:  $a = 4.728 \text{ \AA}$ ,  $c = 15.621 \text{ \AA}$ ; il confronto con i corrispondenti parametri della siderite pura ( $a = 4.6887 \text{ \AA}$ ,  $c = 15.373 \text{ \AA}$ ; GRAAF, 1961) segnala la presenza di sensibili quantità dei termini a cella più grande, cioè rodocrosite e forse anche calcite. Al fine di chiarire meglio il problema è stata effettuata un'analisi chimica sul campione complessivo; la grana estremamente fine del sedimento e l'omogenea distribuzione all'interno di esso della frazione carbonatica, non consente infatti alcun tentativo di separazione di quest'ultima. Sulla base della percentuale di  $\text{CO}_2$  e facendo alcune ipotesi limitative, e precisamente che tutto il calcio, il manganese ed il ferro presenti nel sedimento vi siano contenuti sotto forma di carbonati, e che l'eventuale  $\text{CO}_2$  in eccesso sia saturata da una parte di magnesio, è stato tuttavia possibile calcolare le seguenti percentuali di carbonati, sempre riferite alla totalità del campione:

$\text{FeCO}_3$  13.8%,  $\text{MnCO}_3$  2.0%,  $\text{MgCO}_3$  7.0%,  $\text{CaCO}_3$  6.8%.

Poiché non è però determinabile con sufficiente accuratezza la quantità di carbonato di calcio presente come fase libera nel sedimento, non è possibile ricavare da questi dati la composizione precisa della siderite, ma soltanto constatare che questo carbonato non rappresenta semplicemente una soluzione solida intermedia fra siderite e rodocrosite, ma piuttosto una miscela complessa di tutti i quattro termini  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{MnCO}_3$  e  $\text{CaCO}_3$ , con prevalenza del carbonato ferroso. Una determinazione precisa della sua composizione ci avrebbe consentito di definire in dettaglio l'ambiente di deposizione del sedimento stesso (WEBER e WILLIAMS,

1965). Ci limiteremo qui a ricordare che sono ben noti in letteratura (STANTON, 1972) esempi di concentrazioni più o meno grandi di minerali di ferro quali limonite, chamosite o siderite (quest'ultima normalmente caratterizzata da un elevato tenore in Ca, Mg ed Mn), in sedimenti di facies costiere tipiche di bacini marini poco profondi, o, addirittura, di sedimenti in facies di estuario.

*Minerali delle argille s.s.* - Con la sola eccezione del campione n. 9, in cui abbiamo visto predominare di gran lunga i componenti detritici e quelli precipitati per via chimica, in tutti gli altri sedimenti pelitici o psammitico-pelitici i minerali delle argille rientrano fra i componenti fondamentali. Essi sono rappresentati dai seguenti minerali:

*Illite* - E' uno dei componenti dominanti in tutti i campioni; la sua quantità è normalmente compresa fra il 35% ed il 50% della frazione argillosa. Il suo grado di cristallinità è in genere piuttosto elevato; il riflesso a circa 10 Å, accompagnato da numerosi ordini successivi, è infatti quasi sempre assai netto. In alcuni campioni, tuttavia, esso mostra un'evidente asimmetria, con slargamento verso gli angoli bassi, che può essere indicativo di un grado più basso di cristallinità o della presenza di piccole quantità di strati espandibili. Il riflesso (001) mostra poi, in qualche spettro di campione naturale, uno sdoppiamento abbastanza netto, evidenziando così la presenza di due minerali micacei leggermente diversi; questo avviene nei campioni dove particolarmente abbondanti appaiono, già al binoculare, le larghe laminette di mica cui si è accennato a proposito della muscovite detritica.

*Caolinite* - Come è illustrato nelle tabelle n. 4 e 5, un minerale del gruppo del caolino, molto probabilmente la caolinite, è presente in tutti i campioni, tranne che nel campione n. 9. Non si notano variazioni quantitative di rilievo da un campione all'altro; il contenuto in questo minerale si aggira per lo più intorno al 10%-15%. Tale valutazione, per altro assai approssimativa, è stata effettuata seguendo il metodo consigliato da BISCAYE (1964), che si basa sulla risoluzione del picco della caolinite da quello della clorite nella zona dei 3.5 Å. Nel nostro caso la non buona risoluzione ottenuta, imputabile alla presenza di fillosilicati a 14 Å del tutto atipici, ha consentito soltanto la misura delle altezze, anziché delle aree, dei

due picchi (rispettivamente a circa 3.54 Å, per i fillosilicati a 14 Å, e a circa 3.58 Å, per la caolinite).

*Fasi a 14 Å* - La mineralogia delle fasi che presentano un periodo di ripetizione basale prossimo ai 14 Å è assai complessa. *Vermiculite normale, smectite normale, vermiculite e smectite poco cloritizzate e smectite fortemente cloritizzata* rappresentano le fasi principali identificate. Le loro quantità relative appaiono ampiamente variabili da campione a campione; la smectite normale rappresenta il componente meno abbondante che, in numerosi casi, può anche mancare del tutto.

Una dettagliata descrizione delle caratteristiche comportamentali di questi minerali esula dagli scopi del presente lavoro; essa costituisce invece l'oggetto particolare di una ricerca, i cui risultati sono attualmente in corso di stesura definitiva (SARTORI *et al.*, 1978). Ci limiteremo qui ad elencare i criteri su cui si è basata la loro identificazione.

I diffrattogrammi dei campioni saturati con potassio e scaldati a 100 °C mostrano comunemente un notevolissimo collasso a 10 Å di un materiale che originariamente contribuiva al picco a 14 Å; tale collasso avviene senza che vi sia un'apprezzabile diminuzione dell'intensità dei riflessi di ordine superiore al primo. Poiché questo comportamento non è accompagnato da un'espansione considerevole nei campioni trattati con glicerina (in alcuni campioni manca addirittura del tutto qualsiasi espansione), il materiale è stato identificato come *vermiculite normale*. Il collasso di questo componente provoca lo spostamento del riflesso (001) delle rimanenti fasi a 14 Å, da 14.4-14.3 Å a 14.2-14.1 Å, senza che i riflessi di ordine superiore modifichino apprezzabilmente la propria posizione. Queste osservazioni attribuiscono evidentemente al componente vermiculitico normale un periodo di ripetizione basale più alto di quello delle altre fasi ed un contributo importante all'intensità del solo riflesso (001). Nell'intervallo fra i 100° C ed i 400° C avviene ancora, nei campioni saturati con K, un considerevole collasso di materiale da 14 Å a 10 Å; questo effetto può essere parzialmente attribuito alla presenza di un minerale che genera, nei campioni trattati con glicerina, delle ampie bande o dei riflessi « a plateau » compresi fra i 14 Å ed i 18 Å, e che è stato identificato come una smectite poco *cloritizzata*. Nella maggior parte dei casi, però, la sua quantità non sembra sufficiente a giustificare tutta la perdita di intensità del riflesso a 14 Å nell'intervallo 100°C-400°C

e quindi si è costretti a supporre la presenza anche di una *vermiculite* relativamente *poco cloritizzata*.

Una percentuale non trascurabile di fasi a 14 Å non collassa neppure in seguito a saturazione con potassio e riscaldamento a 550°C, ma anzi mostra un riflesso (001) fortemente rinforzato dal riscaldamento nell'intervallo 550-600°C. Nonostante questo comportamento sia di solito considerato tipico delle vere cloriti, sulla base di diversi dati<sup>(2)</sup>, che saranno discussi in dettaglio nel lavoro dedicato specificamente a questi « intergrades » (SARTORI *et al.*, 1978), tale materiale è stato considerato riferibile ad una smectite fortemente cloritizzata. In alcuni campioni (19, 24 e 25), comunque, tale fase appare dare luogo gradualmente a delle cloriti vere e proprie.

Infine la comparsa, nei diffrattogrammi di alcuni campioni glicerolati (ad es. camp. n. 6), di un picco distinto a 17.7 Å, ben risolto dalla banda continua che si estende fra i 14 Å ed i 18 Å, suggerisce che anche una *smectite normale* possa essere una delle fasi che contribuisce al picco a 14 Å dei campioni naturali.

Tale minerale è l'unico rappresentante dei minerali argillosi nel campione n. 9, nel quale il suo comportamento può essere più agevolmente studiato. A parte la grande diffusione del suo picco (001), probabilmente da collegarsi ad una scarsa cristallinità, questa specie mineralogica non si discosta sostanzialmente, nel suo comportamento, dalle smectiti comuni. Non si nota collasso alcuno in conseguenza della saturazione con potassio e del riscaldamento a 100° C, mentre esso si verifica per ulteriore riscaldamento fino a 500° C; a questa temperatura il minerale dà un picco abbastanza netto intorno ai 10 Å, che si prolunga tuttavia in una lunga « coda » verso gli angoli bassi, evidentemente dovuta a piccole quantità di materiale cloritizzato. Il trattamento con glicerina espande completamente il reticolo del minerale, fino a dare un periodo di ripetizione di 17.7 Å.

---

(2) Questi dati consistono principalmente nelle reazioni al riscaldamento del minerale proveniente da campioni naturali, non preventivamente seccati (reazioni che, in molti casi, comportano un collasso completo a 10 Å per riscaldamento a 550°C) nonché negli effetti indotti dai trattamenti chimici intesi a rimuovere il materiale d'interstrato che opera la cloritizzazione (CARSTEA *et al.*, 1970 a e 1970 b); questi effetti consistono, comunemente, in un più ampio collasso a 10 Å in seguito a riscaldamento ed in una parziale espansione, in seguito a trattamento con glicerina, anche di questa fase a più tenace cloritizzazione.

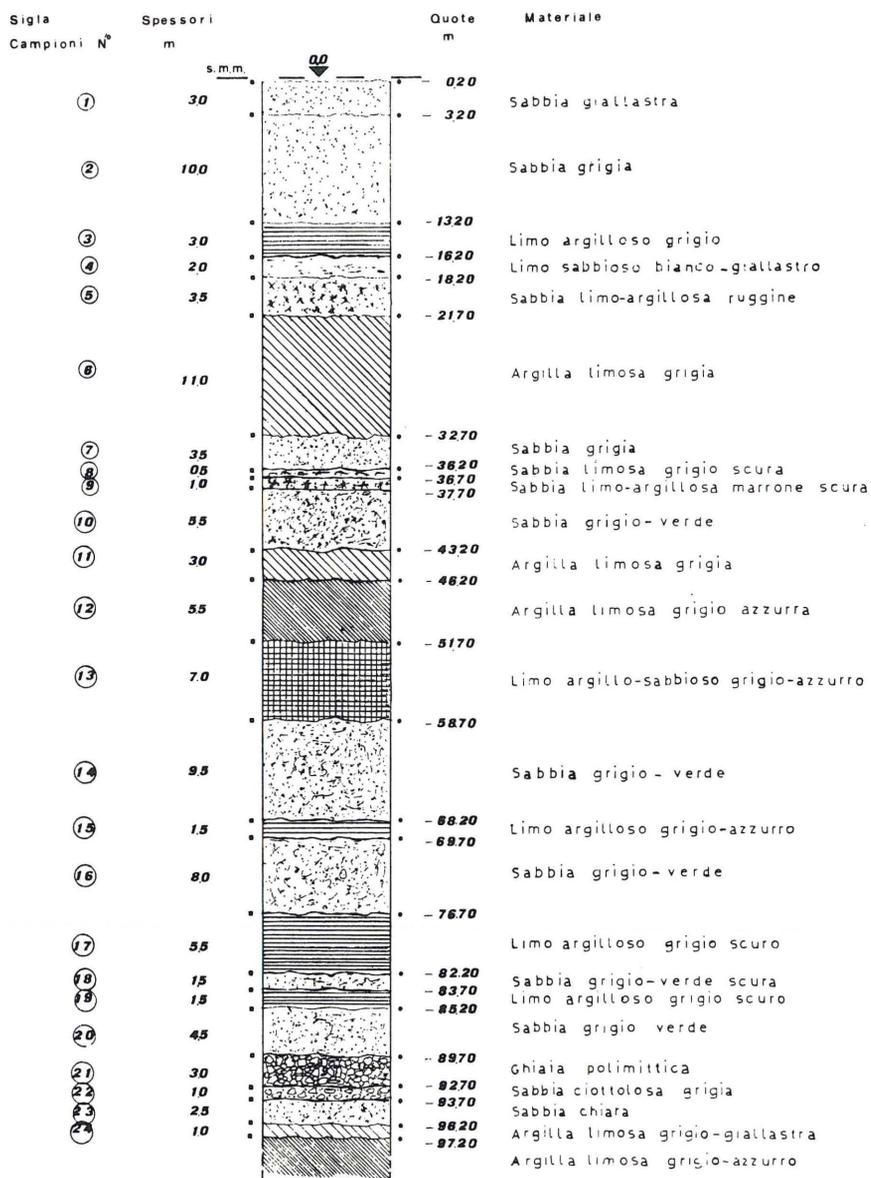


Fig. 10 - Colonna stratigrafica illustrante la successione dei sedimenti nella zona della Bigattiera, S. Piero a Grado (Pisa).

## CONCLUSIONI

La colonna stratigrafica, rappresentata in fig. 10, riporta la successione di sedimenti esistente nel sottosuolo della zona immediatamente circostante il pozzo preso in esame. E' evidente, comunque, come tale stratigrafia debba considerarsi modificabile, in maniera anche considerevole, se si passa all'esame di zone pur non distanti da quella studiata, in considerazione dell'altissima variabilità in genere presentata dalla sedimentazione in ambiente d'estuario, quale è appunto quello in cui ha preso origine la pianura di Tombolo. Le complesse interazioni fra apporto di sedimento da parte del fiume ed energia dei processi costieri, che si realizzano in tale ambiente, sono infatti tali da portare a quella rapida successione di sedimenti di tipo diverso, riscontrata nella nostra analisi sedimentologica, nonché di ambienti diversi, confermata, limitatamente agli scarsi orizzonti fossiliferi, dall'analisi paleontologica (3).

Il quadro che ci presenta invece l'analisi mineralogica è quello di una sostanziale costanza ed uniformità di tipo di materiale apportato dal fiume, caratteristiche che furono osservate e segnalate, per le sabbie, già da BONATTI e DELLA BIANCHINA (1948). Si è già detto come le composizioni modali dei sedimenti sabbiosi appaiano molto prossime le une alle altre e quindi sorprendentemente monotone; esse risultano abbastanza vicine alla composizione media di una sabbia fluviale generica, qual'è riportata da PETTIJOHN (1975): feldspati 22%, frammenti litici 20%, quarzo 58%. Poiché, come afferma l'autore americano, la composizione mineralogica delle sabbie appare dipendere, a parità di dimensioni granulometriche, in misura assai maggiore dalla litologia dell'area di alimentazione, che dal clima, dall'ambiente o dall'agente di deposizione, dobbiamo ammettere che non ci siano state variazioni di rilievo di zone di provenienza del materiale nel periodo in cui si è deposta la sequenza stratigrafica analizzata.

---

(3) Il Dott. A. Bonadonna ha gentilmente eseguito la determinazione delle macrofaune (caratterizzate soprattutto da lamellibranchi e gasteropodi) presenti in alcuni livelli argillosi. Da esse è risultato come i campioni 6, 8, 11, 12 e 13 siano da riferirsi a sedimenti depositi in ambienti salmastri (e quindi probabilmente in ambienti di lagune con comunicazione più o meno ampia con il mare), mentre i campioni 24 e 25 siano invece provenienti da ambienti francamente marini, anche se, naturalmente, sempre poco profondi.

Anche la composizione mineralogica dei sedimenti pelitici riflette tale sostanziale costanza di zone di provenienza del materiale sedimentato. Il contenuto in illite, caolinite e « fasi a 14 Å » è infatti variabile entro limiti molto ristretti, mentre la presenza o l'assenza di certi minerali, quali la siderite, appartenenti alla categoria dei « precipitati chimici », riflette soltanto variazioni dell'ambiente di deposizione. In questo senso vanno interpretate, a parere dell'autore, anche le considerevoli variazioni osservate, nell'ambito dei minerali argillosi raggruppati nella categoria « fasi a 14 Å », nel rapporto « fasi non cloritizzate »/« fasi cloritizzate » e nell'entità di cloritizzazione di queste ultime. E' infatti ben nota, in letteratura (RICH, 1968), la possibilità di una « cloritizzazione », relativamente facile e rapida, di fillosilicati 2:1, quali vermiculiti e smectiti, in funzione di vari fattori legati all'ambiente, ed in particolare all'ambiente di deposizione, nel caso di sedimenti.

Una situazione che presenta analogie assai strette con la nostra è quella descritta da NELSON (1963) per i sedimenti di fondo del fiume Rappahannock; in essi l'autore americano ha segnalato la graduale scomparsa, lungo il gradiente di salinità, di una vermiculite diottaedrica e la progressiva comparsa di una clorite stabile ai trattamenti termici, cioè, in pratica, di un minerale « intergrade » con uno strato brucitico (o gibbsitico) pressoché completo. Anche nel nostro caso gli « intergrades » più stabili e che più si avvicinano alle cloriti si ritrovano proprio nei campioni di sedimenti francamente marini, mentre in tutti gli altri casi la cloritizzazione appare assai più labile.

#### BIBLIOGRAFIA

- BISCAYE P. E. (1964) - Distinction between kaolinite and chlorite in recent sediments by X-ray diffraction. *Am. Mineral.*, **49**, 1281-1289.
- BISCAYE P. E. (1965) - Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. America Bull.*, **77**, 803-832.
- BONATTI S., DELLA BIANCHINA M. (1948) - La sabbia dell'Arno e le sue relazioni con l'arenaria macigno. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, **55**, A, 247-252.
- CARSTEA D. D., HARWARD M. E., KNOX E. G. (1970 a) - Comparison of iron and aluminum hydroxy interlayers in montmorillonite and vermiculite: II. Dissolution. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **34**, 522-526.
- CARSTEA D. D., HARWARD M. E., KNOX E. G. (1970 b) - Formation and stability of hydroxy-Mg interlayers in phyllosilicates. *Clays Clay Miner.*, **18**, 213-222.

- CARVER R. E. (1971) - Procedures in sedimentary petrology. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- DOBKINS J. E., FOLK R. L. (1970) - Shape development on Tahiti-Nui. *Jour. Sed. Petrol.*, **40**, 1167-1203.
- FERLA P. (1974) - Per una standardizzazione dei preparati per analisi mediante diffrattometria X di materiali argillosi. *La Ceramica*, Maggio-Giugno 1974, 18-24.
- FOLK R. L., WARD W. C. (1957) - Brazos River bar: a study in significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, **27**, 3-26.
- FOLK R. L. (1966) - A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, **6**, 73-93.
- FRIEDMAN G. M. (1961) - Distribution between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Jour. Sed. Petrol.*, **31**, 514-529.
- FRIEDMAN G. M. (1967) - Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Jour. Sed. Petrol.*, **37**, 327-354.
- GRAAF D. L. (1961) - Crystallographic tables for the rhombohedral carbonates. *Am. Mineral.*, **46**, 1283-1316.
- GROSSI P., FICINI F., SARTORI F. (1978) - Caratteristiche idrauliche di un pozzo artesiano presso S. Piero a Grado (Pisa) ed esami sedimentologico-mineralogici dei sedimenti attraversati durante la perforazione. *In corso di stampa*.
- JACQUET J. M., VERNET J. P. (1976) - Moment and graphic size parameters in the sediments of Lake Geneva (Switzerland). *Jour. Sed. Petrol.*, **46**, 305-312.
- KRUMBEIN W. C. (1941) - Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Jour. Sed. Petrol.*, **11**, 64-72.
- NELSON B. W. (1960) - Clay mineralogy of the bottom sediments, Rappahannock River, Virginia. *Clays Clay Miner.*, **7**, 135-147.
- PETTILJOHN F. J. (1975) - Sedimentary rocks. 3rd ed. Harper and Row, Publ.
- RICH C. I. (1968) - Hydroxy interlayers in expansible layer silicates. *Clays Clay Miner.*, **16**, 15-30.
- SARTORI F., LEVI-MINZI R., RIFFALDI R. (1978) - Occurrence of chloritic intergrades in the recent sediments of the Arno River (Italy). *In preparazione*.
- STANTON R. L. (1972) - Ore petrology. Mc Graw-Hill, Book Company. New York-London.
- THOMAS R. L., KEMP A. L. W., LEWIS C. F. M. (1972) - Distribution, composition and characteristics of the surficial sediments of Lake Ontario. *Jour. Sed. Petrol.*, **42**, 66-84.
- UGOLINI R. (1925) - Contribuzione allo studio geologico del sottosuolo della pianura pisana: II. Il pozzo trivellato di San Piero a Grado (presso Pisa) - *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, **36**, 45-55.
- VISHER G. S. (1969) - Grain size distributions and depositional processes. *Jour. Sed. Petrol.*, **39**, 1074-1106.
- WEBER J. N., WILLIAMS E. G. (1965) - Environmental classification of argillaceous rocks using the chemical composition of siderite nodules. *Bull. Canad. Petrol. Geol.*, **13**, 432-440.

(ms. pres. il 13 giugno 1978; ult. bozze il 20 novembre 1978).