

FIorenzo BENEVEGNÙ, ALDO BRONDI, ORNELLA FERRETTI

CRITERI DI CAMPIONAMENTO NELLA PROSPEZIONE MINERALOGICA ALLUVIONALE

SCELTA DEL PUNTO DI CAMPIONAMENTO NELL'ALVEO FLUVIALE.
(RICERCA CONDOTTA ATTRAVERSO LO STUDIO DELLA DISTRIBUZIONE
DEL CINABRO NEL FOSSO DI BOLGHERI (LIVORNO)).

RIASSUNTO. — Nella letteratura e nella pratica comune il punto più favorevole per il campionamento in prospezione mineralogica alluvionale è ritenuto il letto vivo. In tale settore dell'alveo fluviale le maggiori concentrazioni di minerali pesanti si realizzerebbero a livello della bed-rock. Generalmente, quindi, si ricorre in prospezione al campionamento proprio a tale livello. Nella realtà morfologica e climatica italiana è probabile che tale principio non sia costantemente verificato. Infatti, da esperienze degli autori, è spesso risultato sia che tali concentrazioni possono non verificarsi a contatto con le rocce di fondo, sia che in frequenti casi accumuli di minerali pesanti si riscontrano localizzati nei depositi più superficiali degli alvei fluviali. Inoltre, la pratica di campionamento è a luoghi condizionata dalla difficoltà tecnica di accedere alla bed-rock per lo spessore dei sedimenti sovrastanti o per la presenza di acqua. Per dare un contributo alla soluzione del problema del campionamento alluvionale è stato intrapreso lo studio analitico della distribuzione di un minerale pesante, il cinabro, nel bacino del Fosso di Bolgheri, che ospita una sorgente puntiforme di tale minerale. Dalle indagini espletate è risultato che i cristalli di cinabro sono sempre associati a granulometrie competenti, generalmente sottili e quindi caratteristiche dei depositi laterali e di esondazione. Ai depositi di letto vivo, cui competono granulometrie maggiori, corrispondono concentrazioni di cinabro inferiori. In conclusione le maggiori concentrazioni di cinabro, e di frazione pesante in generale, corrispondono a sedimenti depositi in fasi di morbida e di piena. Verso i sedimenti caratteristici di tali fasi può quindi essere ragionevolmente indirizzato il campionamento delle sabbie fluviali nella ricerca mineralogica alluvionale.

SUMMARY. — In rivers the layers immediately overlying the bed rock are usually considered the most favorable part of fluvial deposits to contain concentrations of heavy minerals. In alluvial prospecting therefore this is generally the part to which the sampling of the sand is directed. Some doubts may be advanced that this always happens in Italian morphologic and climatic context. As

experienced by the authors, such concentrations have many times proved to be lacking; on the contrary heavy minerals accumulations have been often observed in surficial deposits of stream sediments. Moreover the thickness of overlying sediments or the occurrence of great amounts of water frequently precludes the possibility to sample sediments near the bed rock. To contribute to the solution of the sampling problem an analytic study of the distribution of an heavy mineral, the cinnabar, has been carried out in the basin of Fosso di Bolgheri in wich a restricted source of this mineral occurs. Cinnabar crystals have resulted to be associated to competent grain sizes of host sediments, generally fine and belonging to lateral and exondation deposits. Minor concentrations of cinnabar resulted associated to the deposits of the river bed, in wich coarser sediments predominate. As a conclusion in alluvial prospecting lateral fluvial deposits, corresponding to flood and exondation phases, may be usefully sampled.

Premessa.

L'esperienza pluriennale del Laboratorio Geominerario del CNEN, nel campo della prospezione mineralogica, ha confermato come tale metodo possa essere considerato come uno dei più diretti, razionali ed economici per la ricerca di un gran numero di minerali. Le ricerche finora espletate in tutte le loro fasi hanno infatti quasi sempre condotto all'individuazione dei punti di origine di minerali presenti nei sedimenti fluviali anche in concentrazioni estremamente basse, molto spesso anche al di sotto del clarke geochimico delle rocce presenti nei bacini oggetto di indagine. Sono così state identificate in loco concentrazioni di minerali di interesse nucleare, come zircone, monazite, ortite e mineralizzazioni di numerosi solfuri piuttosto stabili, come il cinnabro, ed altri meno stabili, come pirite, blenda e galena. Con risultati positivi si sono concluse ricerche di fluorite e barite, mentre ricerche parziali, condotte per altri minerali, dimostrano come il metodo sia ampiamente applicabile alla ricerca di quasi tutti i minerali di interesse industriale.

L'esperienza tratta permette di affermare che, nelle condizioni climatico-ambientali prevalenti sulle Alpi e nella penisola ed isole italiane, generalmente caratterizzate da erosione rapida, minerali anche poco stabili possono essere vantaggiosamente ricercati mediante prospezione mineralogica alluvionale. Dal punto di vista metodologico, una delle fasi più delicate è risultato essere il prelevamento dei campioni. Tale fase è infatti tanto più critica ed importante quanto minori sono le concentrazioni del minerale ricercato nei sedimenti fluviali oggetto di in-

dagine. Infatti anche la presenza di un solo granulo di minerale nel campione alluvionale prelevato può costituire una preziosa indicazione od almeno una discriminante rispetto ad altri campioni che ne risultino privi. Da ciò nasce la necessità di individuare nei vari settori di un alveo fluviale quelli che offrano le migliori condizioni per l'accumulo o la permanenza dei minerali pesanti, fra i quali rientrano appunto la maggioranza dei minerali di interesse industriale. Generalmente, viene indicata nel letto vivo, cioè il settore di alveo nel quale scorrono le acque nei periodi di magra, o settore abbandonato per ultimo dalle acque nei periodi di siccità, la parte favorita per l'accumulo dei minerali pesanti. All'interno di tale settore le maggiori concentrazioni di minerali pesanti si realizzerebbero in prossimità delle rocce di fondo (bed-rock). Nei lavori di prospezione, i campioni di sabbia fluviale dovrebbero essere quindi prelevati proprio in tale zona. Nella pratica, l'esecuzione di un simile campionamento è di difficile realizzazione, almeno nella realtà morfologica e climatica della penisola italiana e dell'arco alpino e, a ben guardare, anche teoricamente poco giustificata. Il profilo longitudinale più schematico dei fiumi alpini e appenninici, risulta costituito da una parte alta generalmente soggetta a rapida erosione, da una parte media, più o meno ridotta, nella quale erosione e sedimentazione si equivalgono, e da una parte finale con sedimentazione prevalente. Si passa pertanto da zone nelle quali le rocce di fondo sono affioranti, o coperte da alluvioni grossolane, a zone nelle quali le stesse rocce sono sepolte sotto potenti coltri alluvionali. Per quanto in quest'ultimo caso possa essere teorizzata l'esistenza di livelli alluvionali funzionanti da rocce di fondo « pensili », queste ultime non possono essere considerate persistenti nel tempo e costantemente presenti per tutto lo sviluppo longitudinale dei corsi d'acqua. In definitiva le condizioni sopra indicate sono ben lontane da quelle predominanti nelle zone peneplanate dell'Europa settentrionale (oggetto di proficua applicazione di prospezione alluvionale, ad esempio la Bretagna), nelle quali le coperture eluviali ed alluvionali sono abbastanza ridotte da permettere il raggiungimento delle possibili concentrazioni di minerali pesanti a livello delle rocce di fondo. La regolare distribuzione delle precipitazioni nel corso delle differenti stagioni, nelle zone suindicate, non dà inoltre luogo a fenomeni improvvisi e violenti di piena, paragonabili a quelli che si verificano sui ri-

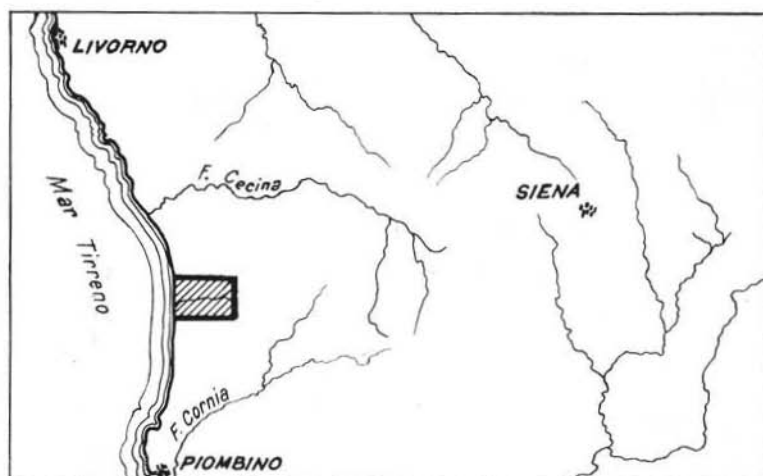
lievi alpini od appenninici; tali condizioni di regolarità determinano di conseguenza un blando e costante rimaneggiamento dei sedimenti alluvionali, paragonabili a quello che nelle preparazioni dei minerali viene definito « levigazione », che comporta un costante allontanamento dei minerali leggeri ed il progressivo affossamento dei minerali pesanti nella compagine dei sedimenti alluvionali, con tendenza degli stessi al raggiungimento della bed-rock.

Ben diversa da quella ora tratteggiata è la situazione conseguente a regimi torrentizi, quali quelli esistenti nella penisola italiana, dove la violenza di ogni piena tende a distruggere l'assetto distributivo precedentemente raggiunto dai minerali all'interno dei depositi alluvionali. Anche in tali situazioni però la distribuzione dei minerali pesanti non è casuale, in quanto ubbidisce a leggi dettate dai fattori sedimentologici e idrodinamici caratteristici dei singoli corsi d'acqua. Anticipando in parte le conclusioni del presente lavoro si può con sicurezza affermare che le concentrazioni di minerali pesanti non si realizzano soltanto nel letto vivo. Simili concentrazioni sono infatti risultate frequenti, nel corso di campagne di prospezione del CNEN, in varie parti dell'alveo fluviale e perfino fuori alveo, sul ripiano di campagna alluvionato nelle fasi di esondazione. Tale fatto deve essere tenuto presente in ogni operazione di prospezione, tanto più che in molti casi per il troppo elevato livello delle acque, risulta praticamente impossibile operare nel letto vivo od almeno identificare in questo le migliori situazioni di campionamento.

Per rispondere ai quesiti riguardanti in maniera specifica le modalità di campionamento dei sedimenti alluvionali per la prospezione mineralogica, si è reso necessario procedere ad uno studio sistematico di un corso d'acqua abbastanza rappresentativo, dal punto di vista morfologico e climatico, nel bacino del quale fosse presente una mineralizzazione circoscritta. Il Fosso di Bolgheri è stato scelto per l'esecuzione dello studio indicato. Tale corso d'acqua presenta i caratteri indispensabili per un tal tipo di ricerca. Per quanto breve, infatti, ha le caratteristiche morfologiche tipiche della maggior parte dei corsi d'acqua della penisola; presenta inoltre una mineralizzazione a cinabro localizzata nella sua parte alta, che può essere considerata come sorgente puntiforme ed a valle della quale non esistono significativi apporti di tale minerale.

Il bacino del Fosso Bolgheri.

Si tratta del piccolo bacino di un corso d'acqua sfociante nel Tirreno, compreso fra i paesi di Bolgheri e Castagneto Carducci. La superficie totale supera di poco i 40 kmq; lo sviluppo longitudinale è di circa 12-13 km dei quali 7 in pianura. Il regime è torrentizio con piene autunnali e primaverili. Anche nei periodi di magra l'acqua non scompare del tutto (fig. 1).

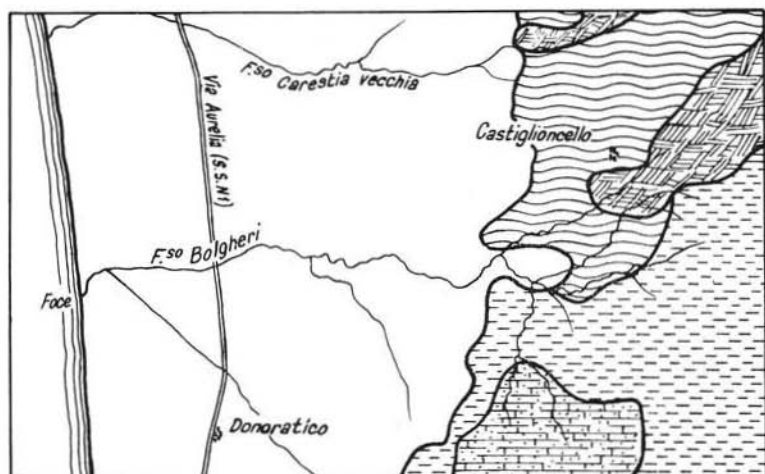


Scala 1:1000000

Fig. 1. — Ubicazione del Fosso Bolgheri.

Nel tratto in pianura il fiume scorre fra i depositi quaternari senza ricevere apporti ad opera di importanti affluenti (fig. 2). Litologicamente il bacino è costituito in alto, sul versante destro, dal Complesso delle Argille Scagliose, con galestri, palombini ed ampi affioramenti di ofioliti; sul versante sinistro e nella parte assiale, da Flysch cretaceo, essenzialmente rappresentato da formazioni arenacee, ed infine dalle formazioni calcaree e calcareo-marnose dell'Alberese. Da campagne di prospezione geochemica ed idrogeochemica condotte dal CNEN (Dall'Aglio e altri 1966), il Fosso di Bolgheri era risultato

indiziato dalla presenza di una notevolissima anomalia a mercurio. Indagini mineralogiche successive portarono al riconoscimento della presenza nelle alluvioni di cinabro; magnetite, ematite, blenda, barite ed altri minerali accompagnavano tale minerale.



Dal foglio n° 119 della Carta geologica d'Italia 1:100.000

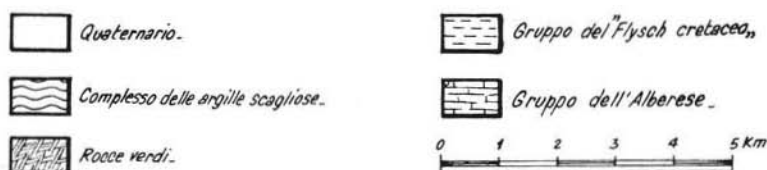


Fig. 2. — Schema geolitologico del bacino del Fosso Bolgheri.

Metodi di campionamento e studio.

Il campionamento è stato eseguito su 27 sezioni trasversali del Bolgheri, distanti fra loro 500 m. Per ogni stazione di campionamento sono stati prelevati, ove possibile, 4 campioni, uno per ogni settore riconoscibile nelle sezioni trasversali, in particolare nel letto vivo, nelle barre dell'alveo, nelle sponde e sui piani di esondazione (fig. 4). Letto vivo è il settore dell'alveo nel quale si raccolgono le acque nei periodi di magra (fig. 3) oppure quel settore che per ultimo è abban-

donato dalle acque nei periodi secchi. I depositi di barra delimitano i canali di flusso delle acque nell'alveo. Per depositi di sponda si intendono i sedimenti deposti nelle parti laterali dell'alveo sopra il livello normale delle acque. Per piano di esondazione si intende la fascia del piano di campagna a stretto contatto con il culmine della sponda dell'alveo fluviale. In tale zona la formazione di depositi avviene nel corso di piene tracimanti.

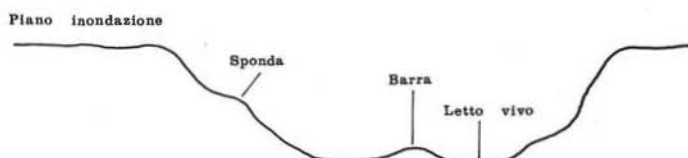


Fig. 3. — Sezione fluviale tipo del Fosso Bolgheri.

Non sempre è stato possibile campionare tutti i settori previsti nelle parti alte del bacino e nel corso inferiore del fiume. Le sezioni trasversali delle parti alte del bacino sono piuttosto strette e non presentano depositi di sponda e di esondazione, mentre le barre sono costituite da depositi grossolani. Nella parte centrale del Fosso Bolgheri i vari settori sono quasi sempre rappresentati. Nel corso inferiore il fiume allarga il suo letto e, prima di giungere al mare, si impaluda. In tali condizioni i vari tipi di deposito sono assai meno differenziati ed ogni distinzione perde significato.

Al fine di ottenere un quadro più completo della dispersione del cinabro, e del complesso dei minerali pesanti, sono stati raccolti campioni dei campi e della piana costiera a lato del Fosso di Bolgheri e campioni di spiaggia e di duna ai lati della foce dello stesso corso d'acqua e del Fosso Canulla, che sfocia 4,5 km più a nord.

Per ogni campione destinato a studi mineralogici è stato raccolto 1 dm³ di sabbia di granulometria inferiore a 2 mm. Per gli studi granulometrici sono stati raccolti campioni di 1 dm³ di sabbia non setacciata.

Per l'analisi mineralogica i campioni sono stati trattati alla tavola a scosse, quindi concentrati con separazioni gravimetriche (tetrabrometano p.s. = 2,98). La frazione pesante è stata sottoposta a separazione magnetica (Isodynamic Frantz); la frazione diamagnetica è stata

osservata al microscopio per l'individuazione e il conteggio del cinabro, che in essa si concentra. Il contenuto di cinabro è stato calcolato sia in numero di granuli sia in percento in peso, secondo 4 classi dimensionali ($> 0,147$ mm; $0,147-0,104$; $0,104-0,07$; $< 0,07$ mm). I pesi delle concentrazioni cinabro vengono desunti attraverso tabelle di trasformazione a partire dai dati granulometrici (Brondi e altri 1968).

Per l'analisi sedimentologica i campioni prescelti sono stati sottoposti a lavaggio in acido cloridrico e successivo attacco con acqua ossigenata per l'eliminazione dei carbonati e della sostanza organica. I campioni sono stati poi setacciati a intervalli granulometrici di 1Φ ; la frazione granulometrica inferiore a $0,07$ mm è stata determinata con il metodo di Meriot. Dai dati delle granulometrie sono stati ricavati gli istogrammi di distribuzione, quindi le curve cumulative di ciascun sedimento e i parametri granulometrici più significativi, cioè dimensione media, classamento, skewness e kurtosis. Tali parametri sono stati correlati fra di loro e con i risultati delle analisi mineralogiche.

Risultati degli studi mineralogici.

a) *Distribuzione del cinabro e della frazione pesante nel Fosso di Bolgheri.*

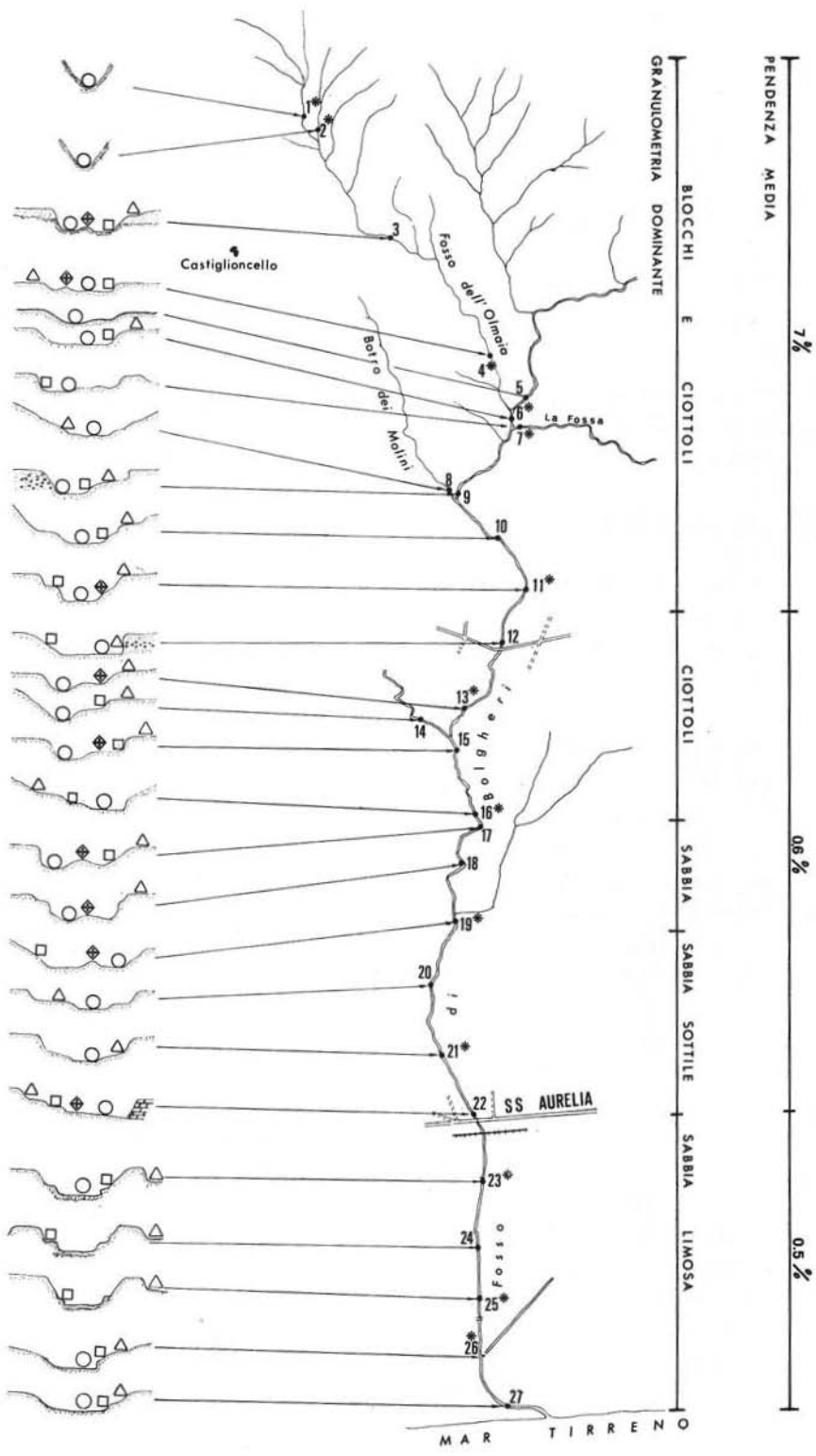
Nella figura 5 sono riportate: le distribuzioni della frazione pesante, il contenuto in peso ed in granuli del cinabro per ogni settore; i contenuti medi di cinabro per ogni stazione di campionamento.

Ai fini della discussione, e tenendo conto dei caratteri fisici specifici, il corso del Bolgheri può essere suddiviso in tre parti:

Fig. 4. — Caratteri fisici generali. Campionamento eseguito.

LEGENDA

- LETTO VIVO.
- SPONDA.
- △ PIANO DI INONDAZIONE.
- ◆ BARRA.
- 24 CAMPIONE PER STUDI MINERALOGICI.
- 25* CAMPIONE PER STUDI MINERALOGICI E SEDIMENTOLOGICI.



PENDENZA MEDIA

7‰

0.6‰

0.5‰

BLOCCHI E CIOTTOLI

CIOTTOLI

SABBIA

SABBIA SOTTILE

SABBIA LIMOSA

MAR TIRRENO

Castiglioncello

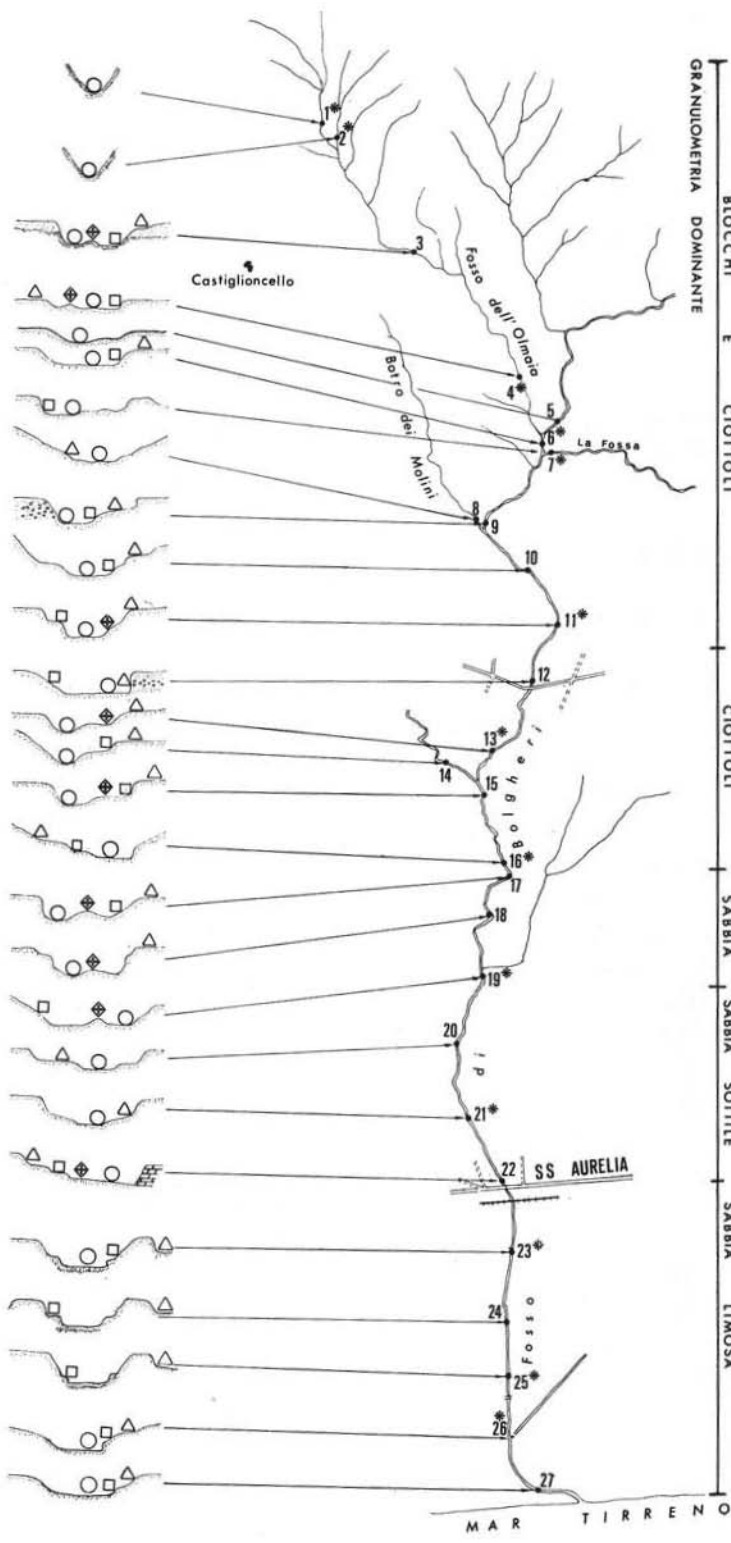
Fosso dell'Olmaro

Bolo dei Molini

La Fossa

SS AURELIA

Fosso



- 1) Corso superiore (stazione 1-11), (Fosso Olmaia e primo tratto del Bolgheri), con pendenza elevata, fondo accidentato e granulometria dominante a blocchi e ciottoli. Per la maggior parte scorre sulla bed-rock.
- 2) Corso medio (stazioni 12-22), già in pianura, con pendenza molto modesta, alveo regolare a meandri e granulometria dominante a ciottoli e sabbia. Scorre nelle proprie alluvioni.
- 3) Corso inferiore (stazione 23-27), con pendenza ancor più ridotta, corso rettilineo ed incanalato artificialmente, con granulometria dominante sabbioso-melmosa. Scorre nelle proprie alluvioni.

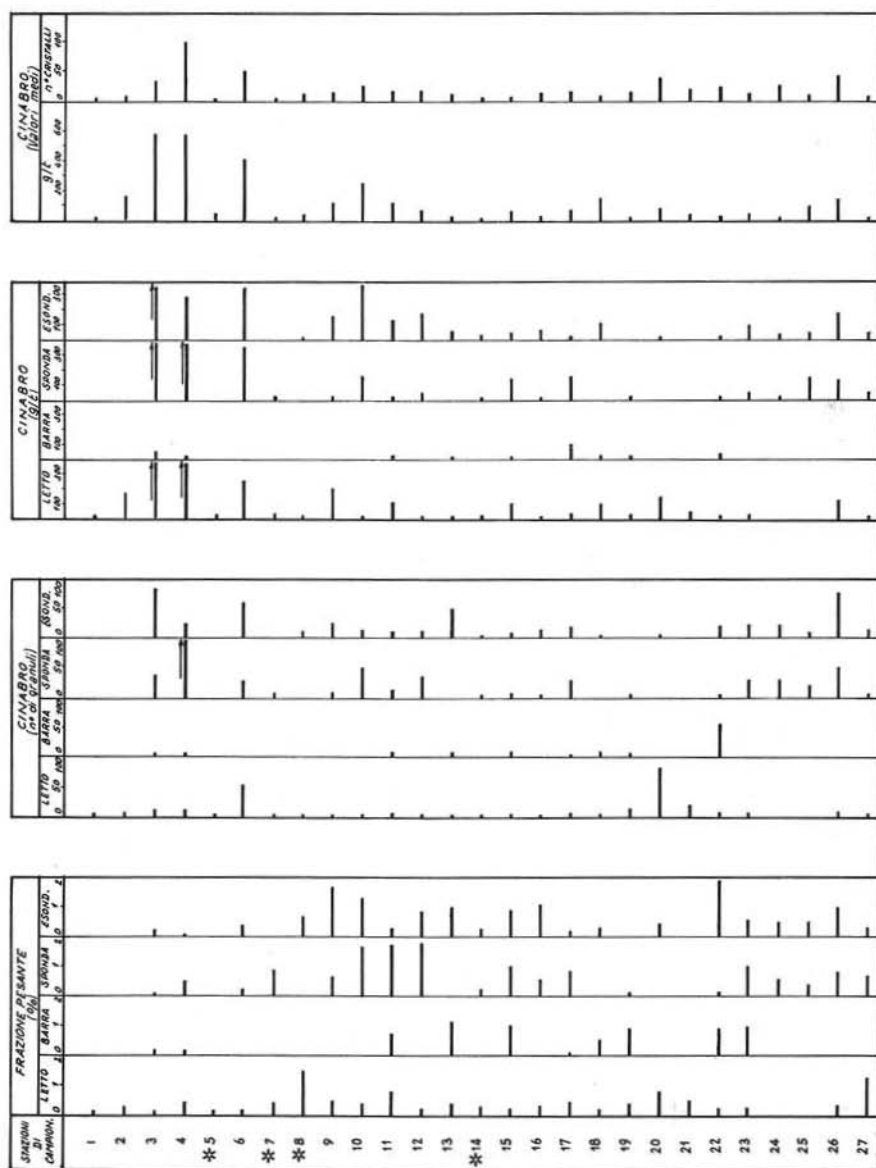
Le quantità di frazione pesante presenti nel letto vivo sono piuttosto ridotte ($< 1\%$) e risultano piuttosto uniformemente distribuite lungo tutto il corso. Da notare un apporto considerevole da parte dell'affluente Botro dei Mulini (stazione 8) che risulta comunque gradualmente diluito nel Bolgheri.

La frazione pesante della barra risulta più elevata di quella del letto vivo.

Sponda e piano di esondazione presentano contenuti di frazione pesante in genere notevolmente più elevati del letto vivo e della barra, con valori massimi nel corso medio.

In senso longitudinale le minime quantità risultano quindi in media corrispondere al corso superiore, dove dominano le granulometrie a blocchi, le massime nel corso medio, dove predominano granulometrie a ciottoli, le medie nel corso inferiore, sabbioso.

Da quanto sopra emerge che il fattore che maggiormente regola la distribuzione dei minerali pesanti è la granulometria. Nelle parti alte del bacino gran parte dei minerali pesanti sono ancora inglobati nei frammenti elastici grossolani, che costituiscono la maggior parte dei sedimenti. Nelle parti medie ed inferiori, letto vivo e barre sono i settori nei quali predominano ancora le granulometrie grossolane. I componenti principali della frazione pesante sono in ordine di abbondanza: ilmenite, magnetite, diallagio, ematite, epidoto, rutilo e zirconio; altri minerali, spesso presenti in quantità molto subordinata, sono: pirosseno, granato, apatite, anatasio, brookite, barite, pirite, blenda e galena. La composizione qualitativa della frazione pesante, lungo il corso dell'intero fiume, si mantiene costante; variano tuttavia le percentuali relative dei diversi minerali in funzione della dimensione



* AFFLUENTI

Fig. 5. — Distribuzione della frazione pesante e del cinabro secondo lo sviluppo longitudinale e nelle sezioni trasversali.

media del sedimento; si riscontrano predominanze di ilmenite e magnetite nelle alluvioni a granulometrie sottili, di diallagio ed epidoto in quelle a granulometria più grossolana.

Il Fosso dell'Olmaia apporta essenzialmente diallagio, epidoto e magnetite, il Botro dei Mulini principalmente ilmenite. Tali minerali provengono dalla formazione delle Argille Scagliose e dalle Ofioliti. L'ematite in scaglie caratteristiche, il rutilo e lo zircone provengono dall'affluente di destra, la Fossa, che scorre nel dominio del Flysch.

Passando alla distribuzione del numero dei granuli di cinabro, limitatamente alle stazioni nelle quali tutti i settori sono rappresentati, risulta che le maggiori quantità si trovano concentrate sulla sponda e sul piano di esondazione. Solo nel caso delle stazioni 6 e 20 il letto risulta contenere notevoli quantità di granuli di cinabro. In senso longitudinale le quantità dei granuli di cinabro prevalgono nel corso superiore, cioè in prossimità della sorgente. Ciò contrasterebbe con quanto riscontrato nel caso della frazione pesante generale. La spiegazione consiste nel fatto che, mentre i costituenti della frazione pesante generale sono i minerali accessori o normali delle formazioni rocciose, e quindi sono rappresentati in quantità proporzionali alla quantità di roccia disgregata, il cinabro deriva da formazioni arealmente circoscritte e generalmente più disgregabili, il che consente una più facile e precoce liberazione di singoli granuli nei pressi della sorgente. Altro fatto importante, i prodotti della disgregazione della mineralizzazione a cinabro, a partire dalla « sorgente » puntiforme dell'Olmaia, vengono progressivamente diluiti dagli apporti detritici sterili delle formazioni rocciose situate a valle.

Passando alle quantità di cinabro in peso si nota come, specialmente nel corso superiore, anche i campioni di letto vivo, assumano valori elevati. Ciò discende dal fatto che in prossimità della sorgente i granuli di cinabro presentano ovviamente dimensioni maggiori (Brondi, Benvegnù 1965). Sponda e piano di esondazione continuano comunque a presentare valori superiori o almeno uguali rispetto al letto vivo. La barra presenta i valori minimi o addirittura è priva di cinabro.

La colonna finale della figura 5 presenta la distribuzione del cinabro ottenuta mediando, stazione per stazione, le quantità di minerale presenti nei quattro settori. Si ottiene una distribuzione piuttosto regolare da monte a valle sia nel caso del peso che del numero di granuli.

In generale è da notare che le quantità ridotte di cinabro della prima stazione possono dipendere sia dalle dimensioni medie grossolane delle alluvioni, sia dalla possibilità che i campioni siano stati raccolti a monte della principale sorgente di cinabro. Nel corso inferiore, l'incremento di frazione pesante e cinabro dipende dall'azione di concentrazione esercitata dalla locale vegetazione erbacea e palustre, che trattiene i minerali pesanti e lascia scorrere le acque limose con materiali leggeri in sospensione.

b) *Presenza del cinabro nella piana alluvionale di Bolgheri.*

Sono stati raccolti alcuni campioni nei campi circostanti il Fosso di Bolgheri, due poco sotto l'inizio della linea che delimita la zona collinare da quella di pianura, sul lato sinistro del torrente; quattro lungo la SS Aurelia, ai due lati del torrente. Il primo dei due della parte alta, distante circa 50 m dal corso d'acqua, presenta 10 granuli di dimensioni inferiori a 0.07 mm e 6 nell'intervallo dimensionale 0,07-0,104 mm. A 250 m di distanza il cinabro è rappresentato da 6 cristalli nella classe granulometrica minore. I dati della prima stazione corrispondono quantitativamente a quelli dei depositi di sponda e di esondazione delle stazioni del Fosso di Bolgheri più vicine.

Dei campioni lungo l'Aurelia, sul versante destro, un solo cristallo della classe dimensionale inferiore è presente a 300 m dal fiume, nessun cristallo ad 1 km. Sul lato sinistro sono presenti 5 cristalli nella classe dimensionale inferiore, 4 cristalli nella classe 0.07-0.104 mm, mentre nessun cristallo è presente alla distanza di 1.5 km dal fiume. Ciò testimonia che la sorgente del cinabro della piana alluvionale è direttamente il Fosso Bolgheri. Con ciò si esclude che il cinabro presente nella parte inferiore del corso possa provenire da sorgenti diverse da quelle identificate nella parte alta del bacino in oggetto.

c) *Distribuzione del cinabro lungo le spiagge.*

Sono stati prelevati campioni di spiaggia e duna sia alla foce del Bolgheri sia a 1 km ai due lati della foce. Alcuni campioni sono stati raccolti anche alla foce della Fossa Canulla (fig. 6).

Nell'ambiente costiero gli indizi di mineralizzazione del bacino retrostante sono piuttosto labili. I depositi di duna presentano concentrazioni di cinabro leggermente superiori rispetto a quelli di spiaggia. Ciò dipende dalle dimensioni estremamente ridotte presentate dai granuli di cinabro in questo ambiente.

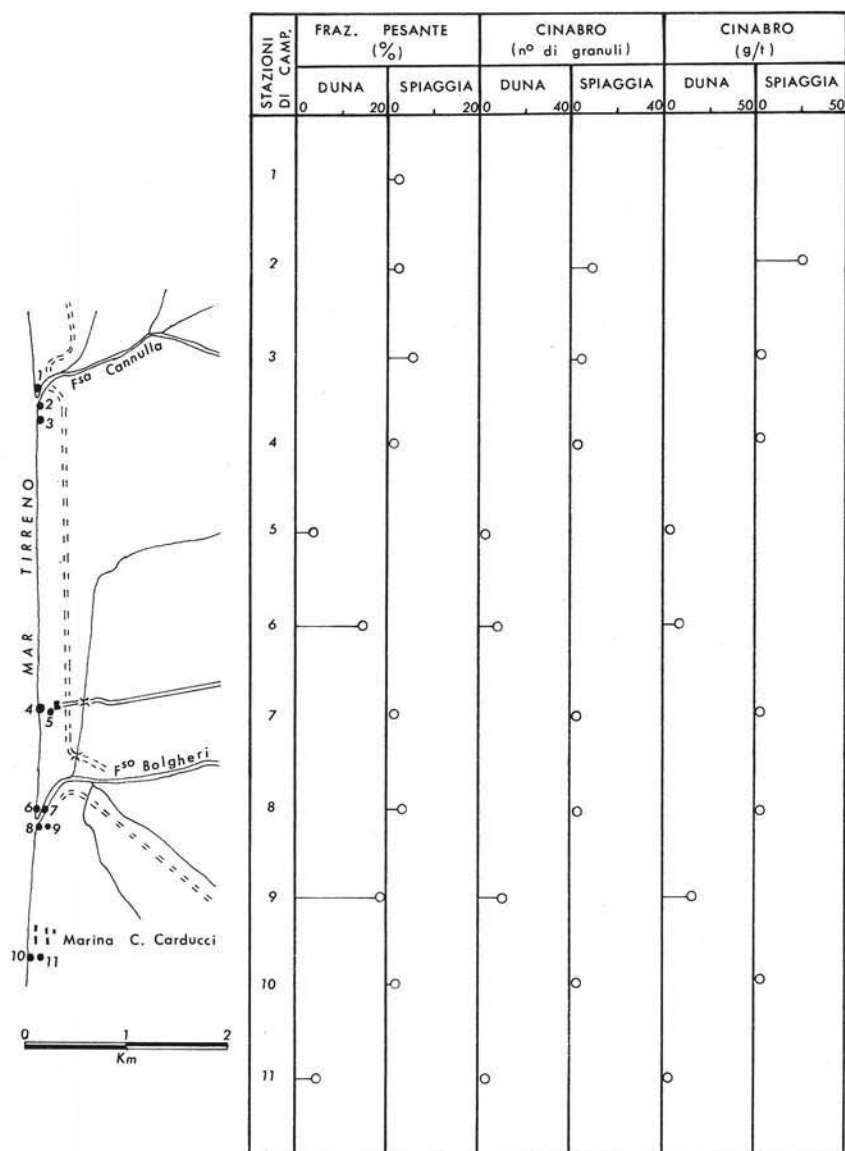


Fig. 6. — Distribuzione di frazione pesante e cinabro alla foce del Fosso di Bolgheri.

Risultati dell'analisi sedimentologica.

La figura 7 riporta i risultati delle analisi granulometriche eseguite per i vari settori fluviali. I quattro parametri granulometrici corrispondono alla dimensione media, Mz , alla deviazione standard, σ , allo skewness, Sk , ed al kurtosis, Kg . Le stazioni campionate per le analisi granulometriche sono le 1, 2, 4, 6, 7 per il corso alto del Bolgheri e dei suoi affluenti, 11, 13, 16, 19, 21 per il corso medio e la 25 per il corso inferiore.

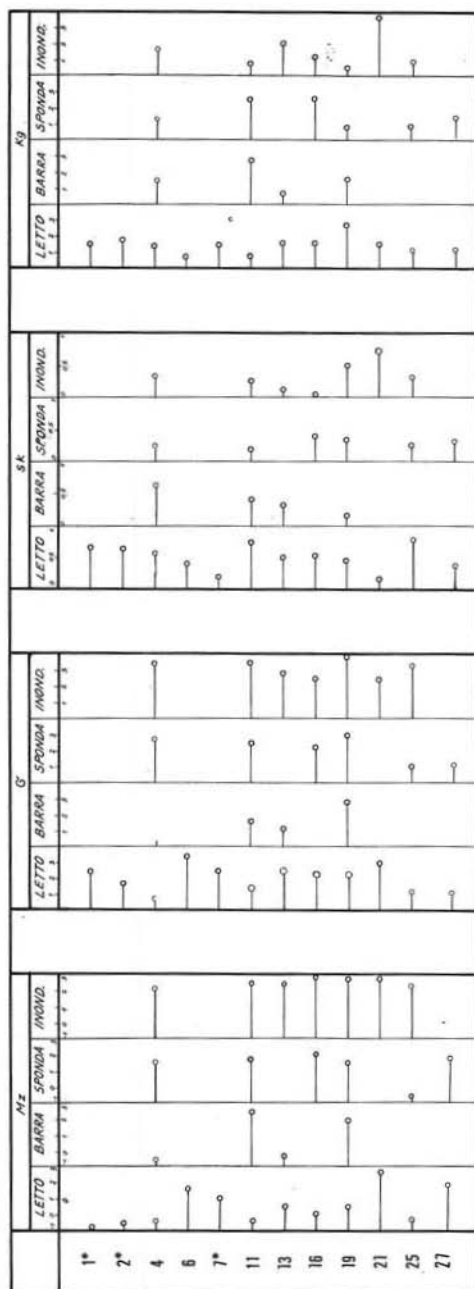
I valori della dimensione media delle frazioni sabbiose dimostrano che i campioni di letto presentano dimensioni medie grossolane nelle parti alte. Granulometrie sottili caratterizzano La Fossa, le stazioni del corso medio del Bolgheri, e i campioni di letto della parte terminale del corso d'acqua. I campioni di sponda e del piano di esondazione sono in genere sottili in tutte le stazioni del Bolgheri, con l'eccezione dei sedimenti della stazione 25.

I valori piuttosto elevati del classamento dimostrano lo scarso grado di classazione dei sedimenti in tutti i settori. Sponda e piano di esondazione presentano in genere sedimenti meno classati rispetto a quelli degli altri settori.

Il segno sempre positivo dello skewness dimostra che tutti i settori del fiume sono oggetto di fasi di deposizione. I valori più vicini allo zero sono comunque quelli di sponda e di esondazione.

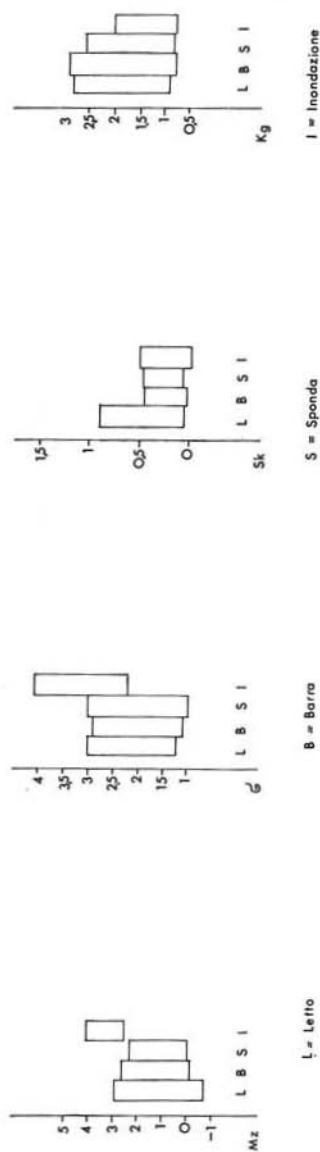
I valori del kurtosis sono piuttosto costanti e sempre superiori o vicini a 1, per i campioni di letto.

La figura 8 confronta in maniera sintetica i dati granulometrici. Il letto presenta sedimenti sabbiosi con dimensioni medie variabili, classamento scarso, Sk sempre positivo compreso tra 0 e 1, Kg compreso fra i valori di 1 e 3. I campioni di barra hanno dimensioni leggermente più sottili di quelle del letto, classamento in parte medio in parte basso, Sk più vicini alla simmetria rispetto al letto e Kg analoghi a quelli di letto. I campioni di sponda e d'esondazione hanno dimensioni medie inferiori, classamento più elevato, Sk più vicini alla simmetria, Kg con valori nettamente inferiori a quelli delle altre situazioni per la parte media e bassa del Bolgheri, superiori nel corso alto.



* Affluente del Fosso Bolgheri

Fig. 7. — Variazioni dei parametri granulometrici secondo lo sviluppo longitudinale nelle sezioni trasversali.



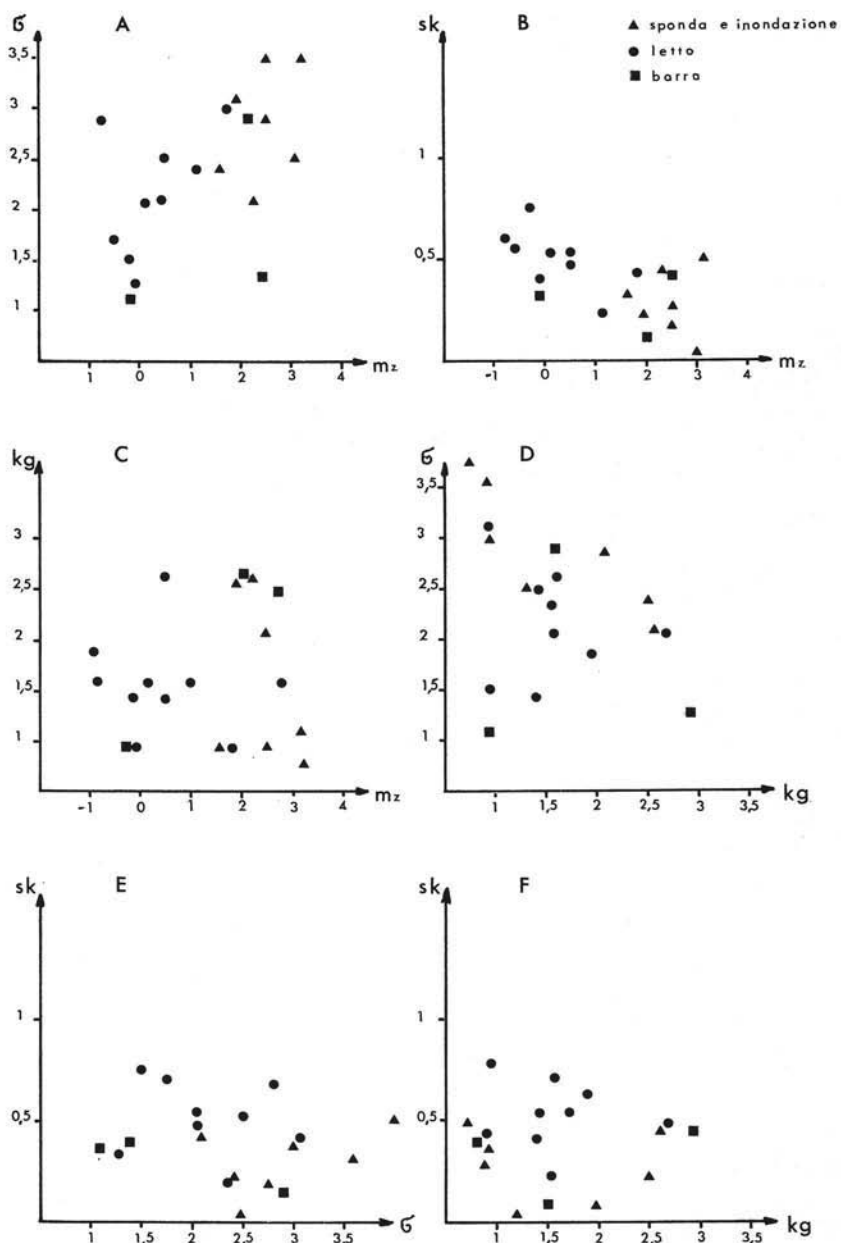


Fig. 9. — Correlazioni fra i parametri granulometrici dei diversi settori fluviali.

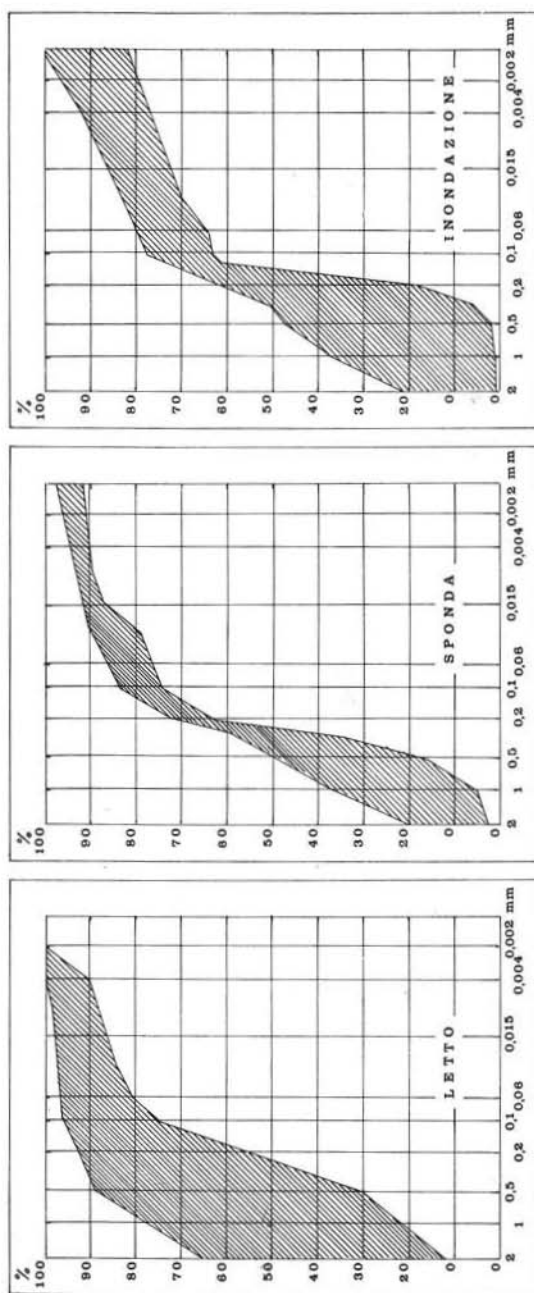


Fig. 10. — Campi di variabilità granulometrica per i diversi settori fluviali.

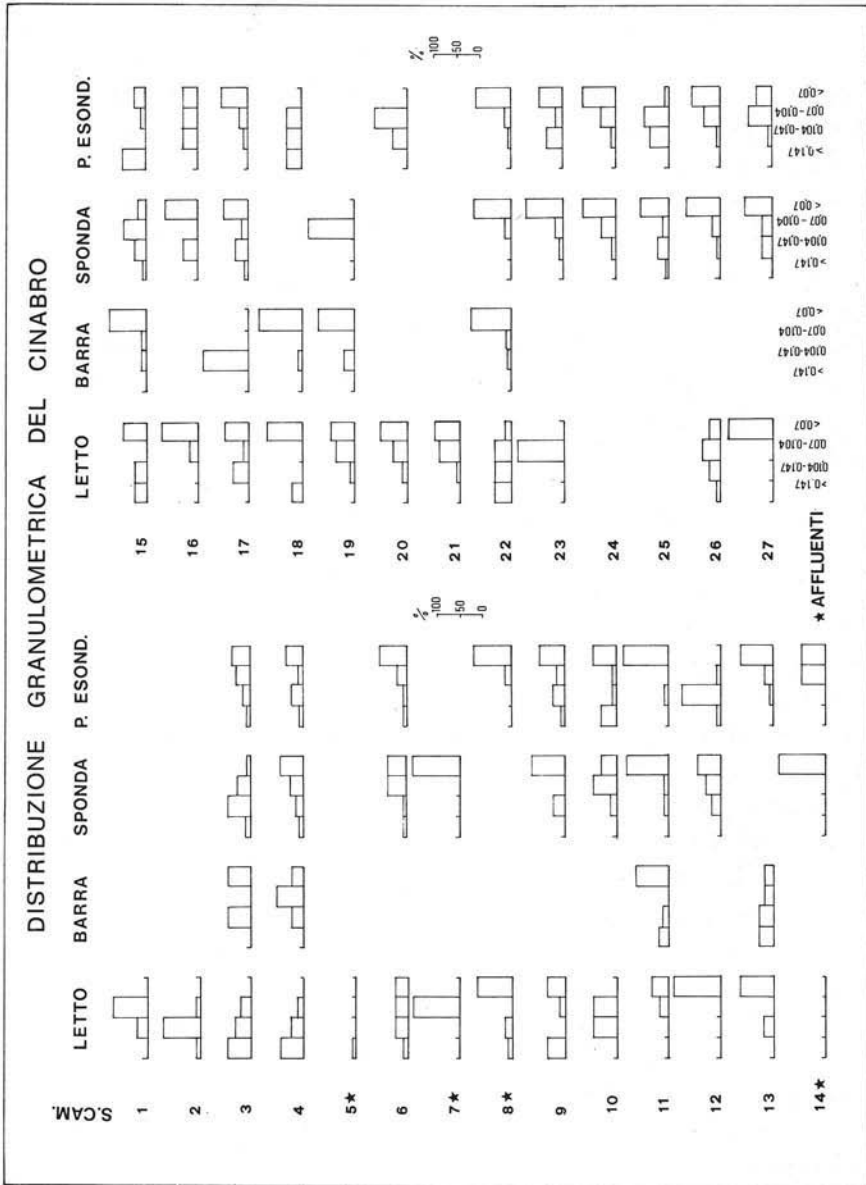


Fig. 11. — Distribuzione granulometrica del cinabro secondo lo sviluppo longitudinale e nelle sezioni trasversali.

Mettendo in relazione i differenti parametri granulometrici fra di loro sono stati ricavati i diagrammi della figura 9. I diagrammi A, B, C, mettono in relazione la dimensione media con gli altri 3 parametri. In ciascun diagramma si distinguono due campi, parzialmente sovrapposti, l'uno per i campioni di letto, l'altro per quelli di sponda e d'esondazione. La sponda ed il piano d'esondazione presentano, rispetto al letto, classamento minore, Sk più vicino allo zero, mentre meno definite sono le correlazioni riguardanti il Kg.

I diagrammi D ed E mettono in correlazione il classamento con il Kg e lo Sk. Nel primo dei due diagrammi il parametro discriminante è il classamento, che separa, a parità di valori di Kg, i campioni di letto da quelli di sponda e del piano d'esondazione, chiaramente meno classati. Dal secondo diagramma risulta che i campioni di sponda e del piano di esondazione presentano in media valori di skewness inferiori a quelli di letto. La stessa indicazione risulta anche dall'ultimo diagramma che confronta lo skewness con il kurtosis.

I tre campioni di barra non permettono di stabilire delle correlazioni valide.

A completamento dei dati e delle rappresentazioni granulometriche sin qui presentati, la figura 10 riporta i campi di variazione delle curve cumulative. Manca la distribuzione dei depositi di barra, che non hanno rivelato una caratterizzazione ben definita. Dalla figura, le dimensioni medie delle sabbie di letto risultano distribuite in una fascia notevolmente larga. I depositi di sponda si sovrappongono nella parte destra, cioè verso le granulometrie sottili, alla fascia rappresentativa dei depositi di letto. Ancora più spostata verso le granulometrie sottili, per quanto ancorata alla fascia dei depositi di letto, risulta la fascia rappresentativa dei depositi del piano di esondazione.

A conclusione delle considerazioni sui caratteri sedimentologici del Fosso di Bolgheri, i parametri granulometrici individuano chiaramente i depositi di letto da quelli laterali. I primi, a prescindere dalla presenza di classi di dimensione nettamente superiore, come i blocchi ed i ciottoli, presentano sabbie di dimensioni medie chiaramente superiori rispetto a quelle dei depositi laterali della sponda e del piano di esondazione. Essi presentano inoltre miglior classazione ed uno skewness maggiormente spostato verso i termini superiori positivi.

Distribuzione granulometrica del cinabro nei settori di ogni stazione.

La figura 11 riporta la distribuzione granulometrica del cinabro di ogni singolo settore e per ogni stazione.

La distribuzione del cinabro nel corso longitudinale del Fosso di Bolgheri è abbastanza chiara. A parte qualche eccezione, le classi granulometriche di maggiori dimensioni sono prevalentemente rappresentate nelle parti elevate del Bolgheri rispetto a quelle terminali. La classe maggiore scompare definitivamente dopo la stazione 18. Per la barra, che presenta una distribuzione di cinabro non omogenea, il cinabro di maggiori dimensioni è assente nella parte alta ed è presente nella parte intermedia non oltre la stazione 17. Per la sponda la frazione maggiore è sporadicamente presente lungo il percorso in quantità sempre molto ridotte. Per il piano di esondazione il cinabro grossolano è distribuito saltuariamente dalla sorgente alla stazione 18. Evidentemente un andamento inverso si manifesta per le frazioni sottili che tendono a prevalere con l'approssimarsi alla foce. Come fatto comune si nota la progressiva riduzione delle classi granulometriche maggiori e l'incremento percentuale delle classi minori passando dalla sorgente alla foce.

Stazione per stazione si notano maggiori concentrazioni di cinabro grossolano nel letto rispetto alla barra ed agli altri due settori. Sostanziale analogia di andamento esiste tra depositi di esondazione e di sponda. Il cinabro della barra presenta dimensioni superiori rispetto a quelle del cinabro dei settori di sponda ed esondazione.

Quadro riassuntivo della distribuzione di frazione pesante, cinabro e delle variazioni granulometriche nelle stazioni più rappresentative.

Nella figura 12 vengono riportate le medie dei dati mineralogici e sedimentologici delle stazioni più rappresentative.

Nel corso superiore le percentuali di frazione pesante e di cinabro in peso presentano quantità equivalenti nei depositi di letto vivo, di sponda e del piano di esondazione. Quantità minime caratterizzano invece i depositi di barra. Le percentuali in cristalli vedono la predominanza assoluta dei depositi di inondazione, immediatamente seguiti dai depositi di sponda, mentre il letto vivo contiene quantità

ridotte di cristalli di cinabro. Alla barra competono i valori minimi assoluti. Per le granulometrie la dimensione media diminuisce progressivamente passando dal letto al piano di esondazione; la classazione è minore per i settori laterali; per lo skewness si hanno valori più vicini alla simmetria per la sponda e l'esondazione; il kurtosis è quello che ha una distribuzione normale (circa 1) ed uniforme per tutti i settori.

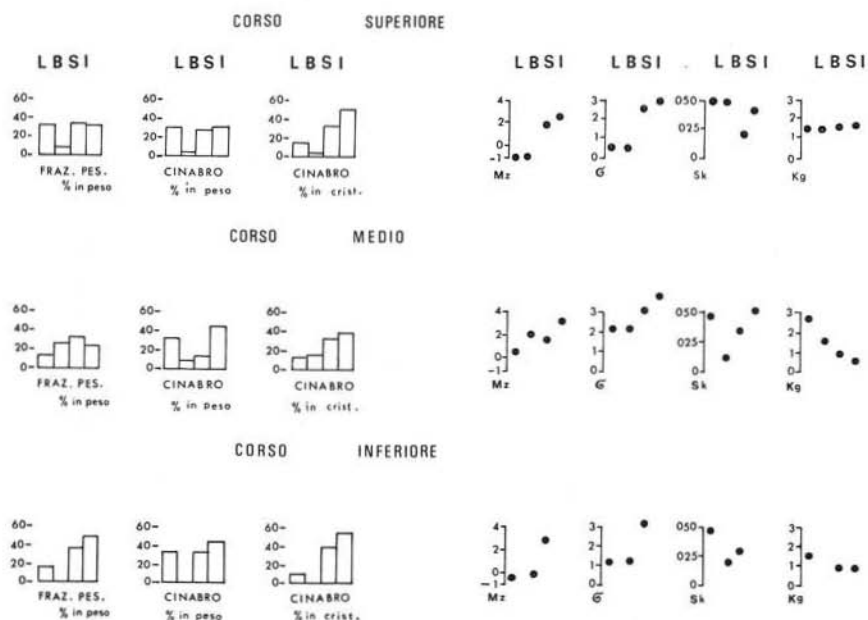


Fig. 12. -- Schema distributivo dei dati mineralogici e dei parametri granulometrici in tre sezioni rappresentative del Fosso di Bolgheri.

Nel corso medio le distribuzioni percentuali di frazione pesante e di cinabro in peso si differenziano. Per la prima i valori minimi corrispondono al letto vivo, mentre nei depositi degli altri tre settori si hanno valori praticamente equivalenti. Per il cinabro si riscontrano alti valori per il letto vivo e per il piano di esondazione e valori minimi per la barra e per la sponda. Diverso è l'assetto per la distribuzione dei granuli di cinabro, per la quale risulta un incremento con-

tinuo passando dai depositi di letto a quelli del piano d'esondazione. I valori delle mediane dei depositi vanno in senso inverso a quelli della distribuzione dei granuli di cinabro con diminuzione progressiva della granulometria passando dal letto al piano d'esondazione. Ciò è un indizio diretto della associazione del cinabro con le granulometrie sottili competenti. Anche la classazione diminuisce passando dal letto al piano di esondazione. Lo skewness registra valori positivi per la barra e molto positivi per gli altri tre settori. Per il kurtosis si registrano valori progressivamente decrescenti dal letto vivo al piano di esondazione.

Il corso inferiore presenta distribuzioni percentuali di frazione pesante abbastanza differenziate e di cinabro in peso piuttosto vicine fra un settore e l'altro. Nel caso del cinabro in granuli si registra un evidente incremento graduale dal letto vivo al piano di esondazione. Si notano una variazione granulometrica verso le frazioni sottili dal letto vivo al piano di esondazione; un grado di classazione peggiore per l'esondazione; skewness positivo per il letto e meno positivo per la sponda ed il piano di esondazione; i valori di kurtosis sono abbastanza omogenei.

Conclusioni.

L'esame analitico dei dati mineralogici e sedimentologici presentati nei precedenti capitoli permette di giungere alle seguenti conclusioni, valide per la prospezione mineralogica alluvionale:

1) nei fiumi a corso e regime torrentizio la raccolta dei campioni può essere indifferentemente eseguita nel letto vivo e nei depositi laterali (sponda e piano di esondazione). Minori probabilità di reperire il minerale ricercato sono offerte dalle barre interne all'alveo;

2) la maggiore frequenza di granuli di minerale ricercato nei depositi laterali e, soprattutto, nel piano di esondazione, specialmente in zone a bassa concentrazione, sta ad indicare che appunto in tali settori si hanno le maggiori possibilità di individuazione e valutazione del minerale;

3) la diminuzione progressiva e regolare del minerale, nella scia di dispersione lungo il corso del fiume, è equivalente per tutti i settori dell'alveo fluviale, pertanto il campionamento, oltre che nel letto vivo può essere effettuato anche nei depositi laterali;

4) quanto osservato per il cinabro risulta valido anche per il resto dei minerali componenti la frazione pesante e quindi è da ritenersi valido per ogni minerale pesante;

5) all'interno di un sistema di sedimenti fluviali contenenti un determinato minerale ricercato, il parametro più condizionante ai fini del rinvenimento di tale minerale è la granulometria. Ciò nel senso che ad una certa dimensione del minerale ricercato deve corrispondere una competente dimensione media del sedimento ospite, che deve essere valutata visivamente in maniera grossolana dall'operatore. L'affinamento spinto di questa operazione può però comportare il pericolo, con la scelta di un sedimento troppo classato, al quale sarebbero associati solo i minerali ricercati di granulometrie ben precise, di non rintracciare i minerali stessi;

6) i depositi del piano di esondazione, presentano:

- dimensioni granulometriche ridotte, competenti con quelle medie dei minerali pesanti,
 - scarso grado di classazione,
 - valori di skewness più vicini allo zero rispetto a quelli dei depositi di letto e implicanti quindi variazioni di energia,
- risultano pertanto i più adatti alla costituzione di concentrazioni di minerali pesanti;

7) a complemento delle precedenti considerazioni si mette in evidenza la maggiore agevolezza dell'esecuzione della prospezione con campionamento dei depositi laterali dei corsi d'acqua, rispetto a quello delle concentrazioni della bed-rock, spesso coperta da acqua o da cospicui spessori di depositi alluvionali.

BIBLIOGRAFIA

- BRONDI A., ANSELMI B., BENVIGNÙ F., FERRETTI O. (1968) - *Prospezione minerologica alluvionale del cinabro nel bacino del Merse e descrizione delle mineralizzazioni individuate*. Ind. Min., anno XIX, pg. 1-9.
- BRONDI A., BENVIGNÙ F. (1965) - *Messa a punto dei metodi di prospezione minerologica. Aureola di dispersione elastica del cinabro nel bacino dell'Ombrone (Grosseto)*. Rend. Soc. Min. Ital., Anno XXI, Fusi, Pavia.

- BRONDI A., FERRETTI O. (1963) - *Messa a punto dei metodi di prospezione mineralogica. Ricerca di zircone nel bacino dell'Ombrone*. (Estratto da: Notiziario del C.N.E.N., anno 9, n. 12, dicembre).
- BRONDI A., FERRETTI O., ANSELMI B., BENVENÙ F. (1972) - *Studi mineralogici e sedimentologici della piattaforma costiera calabra nel tratto compreso tra Briatico e la foce del fiume Angitola*. Rend. Soc. Min. e Petr., Vol. XXVIII. C.N.E.N. - *Rapporti riservati*.
- DAL CIN R. (1969) - *Distinzione tra spiagge in erosione ed in avanzamento mediante metodo granulometrico*. Riviste Italiane di Geotecnica, n. 4.
- DALL'AGLIO-TONANI (1960) - *Metodi di prospezione idrogeochimica*. Studi e Ric. Riv. Geom., Vol. III, C.N.R.N., Roma.
- DALL'AGLIO-TONANI (1963) - *Methodes de prospection geochimique*. Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des Regions peu développés.
- DALL'AGLIO M., DA ROIT R., ORLANDI C., TONANI F. (1966) - *Prospezione geochimica del mercurio. Distribuzione del mercurio nelle alluvioni della Toscana*. Ind. Min. anno XVII, pp. 391-398.
- DERRUAU M. (1962) - *Précis de Géomorphologie*. Masson et Cie, Editeurs, 120, Boulevards Saint-Germain, Paris, VI.
- DEVISMES P., GUIGUES J. (1969) - *La prospection minière a la batée dans le massif armorican*. Mémoires du B.R.G.M. Paris.
- DUANE D. B. (1964) - *Significance of skewness in recent sediments western Pamlico Sound, North Carolina*. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 34, n. 4. (62-287)
- ELISEEV V. I. (1962) - *Essai de construction d'une carte de schlichs aidant les reconstitutions paléogeographiques (en russe)*. Sov. Geol., Moscou, n. 5, pp. 146-149, 1 carte r.t. biblio. Résumé français (J. Sagatzky): Département de Géologie Minière du B.R.G.M., article n. 159.
- FOLK R. L. (1951) - *Stages of textural maturity in sedimentary rocks*. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 21, n. 3, pp. 127-130.
- FOLK R. L., WARD W. C. (1957) - *Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 27, n. 1.
- FRIEDMAN G. M. (1961) - *Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics*. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 31, n. 4.
- INGLE J. C., Jr. (1966) - *The movement of beach sand*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- MASON C. C., FOLK R. L. (1958) - *Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis. Mustang Island, Texas*. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 28, n. 2.
- MERO J. L. (1965) - *The mineral resources of the sea*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-New York.
- MOUSSU R. - *La prospection alluvionnaire en lit vif*. Chr. Mines red. Min. n. 315, pp. 24-26, Paris.

- OTTMANN F. (1965) - *Introduction à la Géologie marine et littorale*. Masson et Cie Editeurs, Paris.
- PETTIJOHN F. J. (1957) - *Sedimentary Rocks*. Harper and Brothers ed., New York.
- PHAN KIEN DUONG (1968) - *La formation et les principes de l'étude et de l'exploitation des gisements detritiques*. BRGM, Parigi.
- RITTENHOUSE G. (1943) - *Transportation and deposition of heavy minerals*. Bull. of the Geol. Soc. of Am.
- ROUTHIER P. (1963) - *Les gisements métallifères*. Géologie et principes de recherche, tome I et II, Masson et Cie 120, boulevard Saint-Germain, Paris VI^e.
- RUSSEL R. D. (1936) - *The size distribution of minerals in Mississippi River sands*. Journ. of Sedim. Petrol., Vol. 6, pp. 125-142.
- TREVISAN L. (1968) - *I diversi tipi di alveo fluviale e le loro evoluzioni*. Acc. Naz. dei Lincei, anno CCCLXV.
- TWENHOFEL W. H. (1950) - *Principles of sedimentation*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London.
- ZEKSCHÉ G. (1961) - *Prospecting for ore deposits by panning heavy minerals from river sands*. Economic Geology, Vol. 56, n. 7.