

# Sulla determinazione del rapporto fra le portate solide di un affluente e del corso d'acqua principale\*

S. STEFANINI\*\*

**SOMMARIO:** Nel presente lavoro si dimostra che la formula per la determinazione della portata liquida di un corso d'acqua con il metodo delle « mescolanze chimiche » può essere estesa, con opportune modifiche, anche alla determinazione delle portate solide grossolane di un affluente rispetto a quelle del corso d'acqua principale. Vengono inoltre elencate le modalità necessarie affinché la formula possa essere applicata ed i limiti del metodo. È stato portato come esempio il calcolo delle portate solide di due fiumi della Regione Friuli - Venezia Giulia, il Fella (affluente) e Tagliamento (principale), prendendo in considerazione le 3 classi granulometriche corrispondenti alle sabbie grosse, sabbie medie e sabbie fini.

È risultato che la portata in sabbia grossa del Fella, appena a monte della confluenza del Tagliamento, è di circa 3 volte superiore a quella del Tagliamento, quella in sabbie medie di 1,55 volte e quella in sabbie fini di 1,40 volte.

## 1. Introduzione.

È noto che per il calcolo quantitativo delle portate solide grossolane di corsi d'acqua esistono molti metodi che si basano su formule ricavate per via teorica o per via empirica [SCHEIDEGGER, 1961]. Sebbene questi metodi non siano rigorosamente esatti, date le condizioni estremamente variabili che regolano gli apporti solidi dei corsi d'acqua, tuttavia alcuni di essi portano a risultati sufficientemente precisi per i fini pratici.

Tutte queste formule implicano la conoscenza di molti fattori (viscosità e velocità dell'acqua, pendenza del fondo, rugosità del fondo, densità delle particelle, etc.) che vengono determinati dopo lunghe osservazioni e complicati calcoli. Allo stato attuale delle cose quindi, per determinare l'entità degli apporti solidi di tutti i corsi d'acqua di un determinato bacino è necessario applicare una di queste formule ad ogni singolo corso d'acqua.

Il presente lavoro <sup>(1)</sup> propone un metodo in base al quale, una volta noto quantitativamente il trasporto solido grossolano del corso d'acqua principale, è possibile risalire all'entità dei trasporti so-

lidi grossolani di ogni singolo affluente solo in base a determinazioni chimiche o mineralogiche dei materiali trasportati da essi.

Il metodo proposto costituisce una estensione al trasporto solido dei corsi d'acqua del metodo delle « mescolanze chimiche » [SCIMEMI, 1949] che viene applicato attualmente solo per il calcolo delle portate liquide.

Come è noto il metodo delle « mescolanze chimiche » si basa sulla immissione a portata costante in un corso d'acqua di una soluzione salina a concentrazione nota e sulla successiva determinazione della concentrazione dello stesso sale nelle acque del fiume sufficientemente a valle dal punto di immissione, affinché la soluzione immessa sia mescolata in maniera omogenea con l'acqua del corso recipiente. La portata liquida del corso considerato è

$$Q = q (K_1 - K_2) : (K_2 - K^0) \quad [1] \text{ ove}$$

$Q$  = portata liquida ( $m^3/sec$ ) del corso d'acqua considerato;

$q$  = portata liquida (costante) della soluzione immessa;

$K_1$  = concentrazione del sale (grammi per  $m^3/sec$ ) nella soluzione immessa;

$K_2$  = concentrazione del sale nella miscela (omogenea) costituita dalla soluzione immessa e dall'acqua del corso considerato;

$K^0$  = concentrazione del sale nell'acqua « naturale » del corso considerato prima dell'immissione.

Come dimostreremo nei capitoli seguenti la formula (1) può essere applicata, con opportune limi-

\* Questo studio è stato eseguito con i contributi del Consiglio Nazionale delle Ricerche, gruppo per la Geologia Applicata.

\*\* Dott. Sergio STEFANINI, Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste.

<sup>(1)</sup> Ringrazio vivamente il Prof. Giulio Antonio VENZO, Direttore dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste, per il costante aiuto durante tutta la fase di ricerca e per i consigli avuti nell'elaborazione dei dati e la stesura del testo. Ringrazio altresì l'Ing. Evaristo STEFANI, dell'Istituto di Idraulica dell'Università di Trieste, per la lettura critica del testo.

tazioni, anche per la determinazione delle portate solide grossolane di un affluente rispetto a quelle del corso d'acqua principale.

## 2. Il metodo proposto.

### 2.1. Premessa.

In un precedente lavoro [STEFANINI, 1968] sui fiumi tributari dell'Adriatico settentrionale tra Venezia e Trieste ed i loro principali affluenti, l'A. ha descritto la composizione mineralogica delle sabbie di questi corsi d'acqua. Tale composizione presenta, nell'ambito regionale, variazioni dipendenti dalla litologia dei bacini idrografici dei vari corsi d'acqua e dalla erodibilità delle rocce che costituiscono tali bacini.

Il lavoro ha inoltre messo in evidenza che lungo uno stesso corso d'acqua principale vi sono variazioni di composizione mineralogica delle sabbie da monte a valle dipendenti sia dagli apporti degli affluenti sia dalla diversa natura litologica dei terreni attraversati.

Le variazioni di composizione dovute agli apporti degli affluenti, a valle delle confluenze, sono talvolta così marcate da mutare radicalmente e per lunghi tratti la composizione delle sabbie del corso d'acqua principale.

Da questo ultimo fatto è sorta l'idea che, se i materiali trasportati dal corso d'acqua principale e dall'affluente sono mineralogicamente diversi, la composizione di quelli presenti a valle della confluenza è in funzione del tipo di miscela che si è formata dai due tipi di materiali provenienti da monte; miscela nella quale essi sono presenti in maniera proporzionale alle portate solide.

Questo concetto è valido non solo nei casi in cui i componenti mineralogici degli affluenti sono diversi da quelli del corso principale ma anche quando sono gli stessi purché presenti in quantità diverse.

### 2.2. Estensione del metodo delle « mescolanze chimiche » per il calcolo delle portate solide grossolane.

Al fine di dimostrare che la formula delle « mescolanze chimiche » può essere usata per il calcolo della portata solida grossolana di un affluente rispetto a quella del corso principale è necessario definire i seguenti fattori:

$P_1$  = portata dei materiali solidi grossolani del corso d'acqua principale a monte della confluenza;

$P_2$  = portata dei materiali solidi grossolani del corso d'acqua affluente a monte della confluenza;

$C_1$  = concentrazione percentuale di un elemento, o di un minerale, nei materiali solidi grossolani trasportati dal corso principale a monte della confluenza;

$C_2$  = concentrazione percentuale dello stesso elemento, o minerale, nei materiali solidi grossolani trasportati dal corso affluente a monte della confluenza.

Le portate totali dell'elemento, o minerale, considerato nel corso principale ( $P_{e1}$ ) e nell'affluente ( $P_{e2}$ ) saranno rispettivamente il prodotto delle concentrazioni dell'elemento per le portate solide grossolane dei corsi d'acqua.

$$\begin{aligned} P_{e1} &= C_1 P_1 \\ P_{e2} &= C_2 P_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Considerando il corso principale a valle della confluenza ne consegue che la concentrazione percentuale dell'elemento, o minerale, nei materiali trasportati ( $C_{et}$ ) sarà uguale a:

$$C_{et} = \frac{P_{e1} + P_{e2}}{P_1 + P_2}. \quad (3)$$

Sostituendo nella (3) le (2) si ottiene:

$$C_{et} = \frac{C_1 P_1 + C_2 P_2}{P_1 + P_2}$$

dalla quale deriva:

$$C_{et} = \frac{C_1 + C_2 p_2}{1 + p_2} \quad (4)$$

ove con  $p_2$  si è rappresentato il rapporto  $\frac{P_2}{P_1}$  e cioè la portata solida dell'affluente rispetto a quella del corso principale.

Dalla (4) si ottiene:

$$p_2 = \frac{C_{et} - C_1}{C_2 - C_{et}}. \quad (5)$$

La (5) dimostra che la portata solida grossolana di un affluente rispetto a quella del corso principale può essere dedotta dai valori delle concentrazioni percentuali di un certo elemento, o minerale, che si ricavano dai materiali trasportati dal corso principale e dall'affluente, a monte della loro confluenza, e dal corso principale a valle della confluenza stessa. Come si vede, la (6) è matematica-

mente identica alla (I) se al posto di  $C_{ei}$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  sostituiamo rispettivamente  $K_2$ ,  $K^0$ ,  $K_1$  e se al posto di  $p_2$  sostituiamo  $\frac{q}{Q}$ .

### 2.3. Condizioni per l'applicabilità del metodo.

Il metodo proposto può essere applicato purché si verifichino le seguenti condizioni:

#### 1) Omogeneità compositiva a monte della confluenza.

A monte della confluenza, sia sul corso principale che nell'affluente, i materiali trasportati debbono essere miscelati in modo omogeneo, nel senso che lungo un profilo trasversale al corso d'acqua non debbono esistere notevoli variazioni di composizione.

Per accertare ciò si rende necessaria l'esecuzione e l'analisi di una strisciata di campioni.

#### 2) Omogeneità compositiva a valle della confluenza.

La miscelatura perfetta dei materiali trasportati dai due corsi d'acqua avviene, di solito, ad una certa distanza a valle della confluenza. Questa distanza dipende da molti fattori quali il regime, la portata liquida, la velocità dell'acqua, la forma dell'alveo etc.

Anche in questo caso, l'omogeneità compositiva sarà provata dall'assenza di variazioni mineralogiche lungo una strisciata di campioni.

#### 3) Contemporaneità di regime.

Il corso principale ed il suo affluente debbono presentare, nell'ambito regionale, contemporaneità di regimi; infatti grandi variazioni di portata liquida di uno dei due corsi d'acqua, limitate anche ad un breve periodo di tempo, provocherebbero grandi variazioni della portata solida di quel corso e quindi la presenza prevalente dei materiali trasportati da esso a valle della confluenza. Una tale situazione non rispecchia le effettive interdipendenze generali degli apporti solidi dei due corsi d'acqua.

#### 4) Diversità di composizione a monte della confluenza.

Il calcolo dell'entità degli apporti solidi grossolani dell'affluente rispetto a quelli del corso d'acqua principale è possibile se a monte della confluenza è apprezzabile una diversità mineralogica dei materiali trasportati. Questa diversità può essere sia qualitativa che quantitativa. Tanto più grande sarà questa differenza tanto più preciso sarà il calcolo.

Anche se esistono le condizioni necessarie sopra-

elencate per l'applicazione del metodo, queste in pratica non si verificano mai in maniera rigorosa e pertanto, per ridurre al minimo la possibilità di errore, è opportuno sostituire a  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{ei}$  la media aritmetica dei valori compositivi ricavata da numerosi campioni prelevati lungo dei profili trasversali ai corsi d'acqua.

### 2.4. Modalità per il prelevamento dei campioni.

In base alla nostra esperienza sui corsi d'acqua del Friuli-Venezia Giulia, al fine di disporre di campioni validi sui quali eseguire le analisi chimiche o mineralogiche, è necessario che essi siano prelevati secondo criteri ben definiti.

#### — Posizione delle strisciate di campionatura.

##### a) a monte della confluenza.

Le strisciate dovranno essere poste il più vicino possibile alla confluenza per evitare variazioni nella composizione dei materiali trasportati dai corsi d'acqua, dovute all'erosione sul fondo dell'alveo, lungo il tratto fra la strisciata e la confluenza. Le strisciate debbono essere eseguite dove non vi siano variazioni locali dovute ad apporti di corsi affluenti vicini.

##### b) a valle della confluenza.

La strisciata a valle della confluenza dovrà essere ubicata dove è certamente avvenuta la miscelatura dei materiali trasportati dai due corsi d'acqua. Come precedentemente accennato la completa miscelatura avviene a distanza variabile dalla confluenza essendo influenzata dal regime, portata liquida, velocità dell'acqua, la forma dell'alveo etc. Nei fiumi del Friuli - Venezia Giulia questa distanza può giungere fino a 5 km.

#### — Ubicazione e numero delle stazioni di campionatura.

a) nei corsi d'acqua con alvei perennemente percorsi dalle acque i campioni dovranno essere raccolti ad intervalli regolari lungo la strisciata; la nostra esperienza ha mostrato che questi oscillano fra 40 e 70 m.

b) nei corsi d'acqua che presentano in fase di magra alvei parzialmente o totalmente asciutti, i campioni saranno ubicati lungo la strisciata in modo da rappresentare, per le frazioni granulometriche prese in esame, tutti i tipi possibili di sedimenti depositi nelle diverse condizioni idrauliche esistenti lungo la strisciata stessa. Ciò è necessario per il calcolo dei valori medi riferiti alla frazione considerata.

— *Periodo della campionatura.*

È ovvio che la campionatura dovrà essere eseguita contemporaneamente sull'affluente e sul corso principale.

### 2.5. *Influenza delle variazioni granulari sul metodo.*

Lo studio preliminare da noi condotto sui materiali trasportati dai corsi d'acqua della Regione Friuli-Venezia Giulia ha rivelato che esistono sempre delle variazioni di composizione chimica e mineralogica connesse con le dimensioni dei granuli (« granular variations ») [DOEGLAS, 1940]. Ciò implica che il calcolo di  $p_2$  non deve essere eseguito con dati ricavati dai « campioni totali » dai quali ottenere valori di « portate totali » dei materiali solidi. Esso deve essere invece applicato a dati dedotti da frazioni o classi granulometriche identiche<sup>(2)</sup>; ciò perché le concentrazioni dell'elemento considerato nell'ambito di una frazione granulometrica, soprattutto se dimensionalmente ristretta, saranno poco influenzate dalle variazioni granulari e non saranno influenzate affatto dalla quantità totale della frazione presente nel campione integro in quanto vengono calcolati valori percentuali. Ovviamente il valore di  $p_2$  si riferirà allora alla sola frazione o classe granulometrica presa in esame.

Da quanto detto risulta inoltre che più la classe

---

<sup>(2)</sup> Ciò si rende necessario per svariati motivi: è possibile infatti che qualche campione raccolto sia a monte che a valle della confluenza sia costituito da frazioni granulometriche non sempre presenti in tutti i campioni. Esistendo le variazioni granulari accade che questi campioni presentano diverse concentrazioni di un certo elemento, se esso viene calcolato per la totalità del campione, che invece potrebbero essere uguali se considerate per identiche frazioni o classi granulometriche. D'altro canto è possibile che nei campioni prelevati a monte e a valle della confluenza siano rappresentate tutte le classi granulometriche ma che queste siano distribuite quantitativamente in maniera diversa. Anche in questo caso quindi, esistendo le variazioni granulari, se analizziamo campioni che presentino identiche concentrazioni di un certo elemento nell'ambito delle singole frazioni otteniamo, rispetto lo stesso elemento, concentrazioni diverse se determinate per l'intero campione. Considerando poi che la formula deve essere applicata per materiali che presentano a monte della confluenza una differente composizione mineralogica risulta evidente allora che, rispetto l'intero campione a valle della confluenza, gli effetti di una diversa distribuzione delle classi granulometriche possono interferire fra loro e mascherare completamente le relazioni di composizione che esistono fra questi e quelli prelevati a monte.

La diversa distribuzione delle classi granulometriche a valle della confluenza, rispetto quelle presenti a monte, è un fatto che si verifica normalmente nei corsi d'acqua in quanto le caratteristiche idrauliche che si vengono ad instaurare a valle sono diverse da quelle presenti a monte essendone la risultante.

granulometrica è dimensionalmente ristretta più saranno precisi i risultati.

### 3. Esempio di applicazione del metodo.

Nei seguenti capitoli verrà fornito un esempio di applicazione del metodo proposto e le conclusioni alle quali si è giunti. Sono stati presi in considerazione i fiumi Tagliamento (principale) e Fella (affluente) in quanto essi, fra quelli della Regione Friuli-Venezia Giulia da noi esaminati, forniscono un esempio più completo.

Come mostra STEFANINI (1968) gli apporti solidi del Fella modificano profondamente la composizione di quelli del Tagliamento alla sua foce.

#### 3.1. *Caratteri fisici ed idrologici generali del F. Tagliamento e F. Fella a monte della loro confluenza.*

Il F. Tagliamento è un tipico corso d'acqua « montano » (FERUGLIO, 1925). Esso nasce nei pressi del Passo della Mauria e dopo un percorso di circa 56 km confluisce con il F. Fella. Il Tagliamento, fino a poco a monte della confluenza con il Fella, scorre in profondi solchi vallivi; più a valle allarga il proprio alveo sull'ampia pianura alluvionale che si estende dalle Prealpi Carniche fino al Mare Adriatico. Il bacino idrografico del tratto di Tagliamento fino alla confluenza con il Fella è costituito da porfiriti, diabasi e tufi del Carbonifero, da arenarie, argille e marne paleozoiche e mesozoiche, da calcari e dolomie del Mesozoico (fig. 1).

Il regime del Tagliamento nel suo tratto montano fino al Fella è essenzialmente torrentizio con un andamento che risente strettamente le variazioni pluviometriche stagionali. Mentre durante le fasi di magra l'alveo rimane per la maggior parte in secca, durante le fasi di piena le portate liquide sono notevoli; a monte della confluenza le massime eccezionali sono state stimate a 1500-2000 m<sup>3</sup>/sec.

Anche il F. Fella, come il Tagliamento è un corso d'acqua « montano ». Esso nasce dalle falde meridionali del M. Mirnig e dopo un percorso di circa 52 km confluisce nel Tagliamento. Esso scorre in profonde valli e presenta un bacino idrografico formato essenzialmente da dolomie e calcari triassici, subordinatamente da arenarie e marne mesozoiche (fig. 1).

Il regime del Fella è torrentizio e durante le fasi di piena le portate liquide sono assai cospicue, paragonabili, se non addirittura superiori, a quelle del Tagliamento; durante le fasi di magra l'alveo rimane per la maggior parte all'asciutto.

In fig. 2 vengono riportate le isoiete annue per

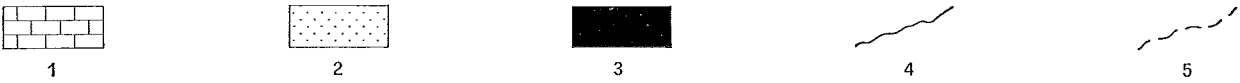
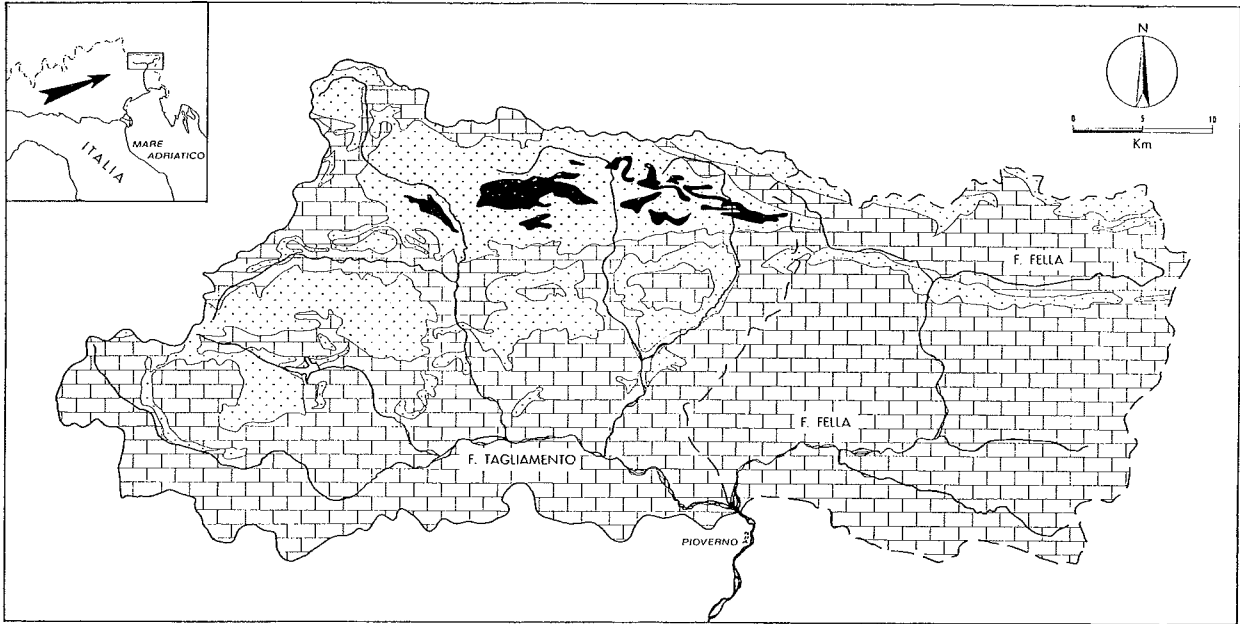


Fig. 1. - Composizione litologica del bacino idrografico del F. Tagliamento fino alla confluenza con il F. Fella. 1) calcari, calcari marnosi, dolomie; Paleozoico e Mesozoico; 2) arenarie, scisti arenacei, argilloscisti; Paleozoico medio e superiore, Werfeniano; 3) porfirriti, diabasi, tufi; Carbonifero; 4) Linea spartiacque del F. Tagliamento a monte della confluenza con il F. Fella; 5) Linea spartiacque del F. Fella.

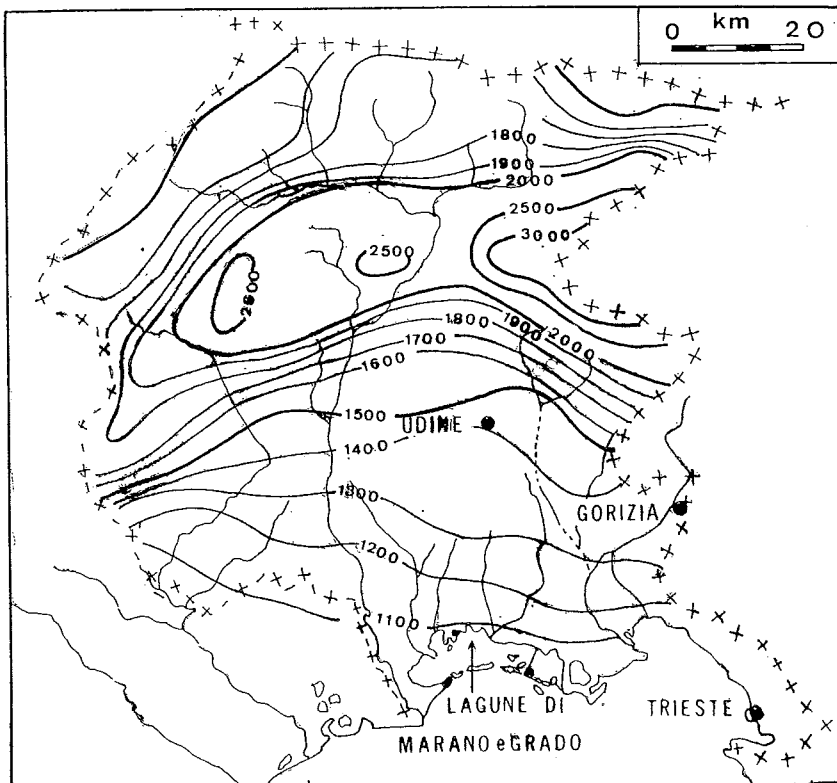


Fig. 2. - Isoiete (in mm) della precipitazione annua media sul Friuli - Venezia Giulia nel trentennio 1921 - 1950.

la Regione Friuli-Venezia Giulia <sup>(3)</sup>; come si nota, le condizioni per quanto riguarda la piovosità sui bacini idrografici del Tagliamento, a monte della confluenza con il Fella, e del Fella sono simili anche se sul bacino del Fella la piovosità è leggermente superiore.

Il bacino del Tagliamento a monte della confluenza infatti si trova compreso entro le isoiete annue 1500-2200 mm, quello del Fella fra quelle di 1500-2500 mm. I periodi preferenziali per le precipitazioni meteoriche su entrambi i bacini sono con-

In fig. 3 sono riportate le ubicazioni e le sigle delle stazioni di campionatura <sup>(4)</sup>.

### 3.3. Analisi granulometriche.

Come precedentemente detto, a causa delle variazioni granulari presenti nei corsi d'acqua del Friuli-Venezia Giulia la formula deve essere applicata per concentrazioni di elementi o minerali che si riferiscano a identiche frazioni granulometriche. A questo scopo i campioni sono stati sottoposti ad

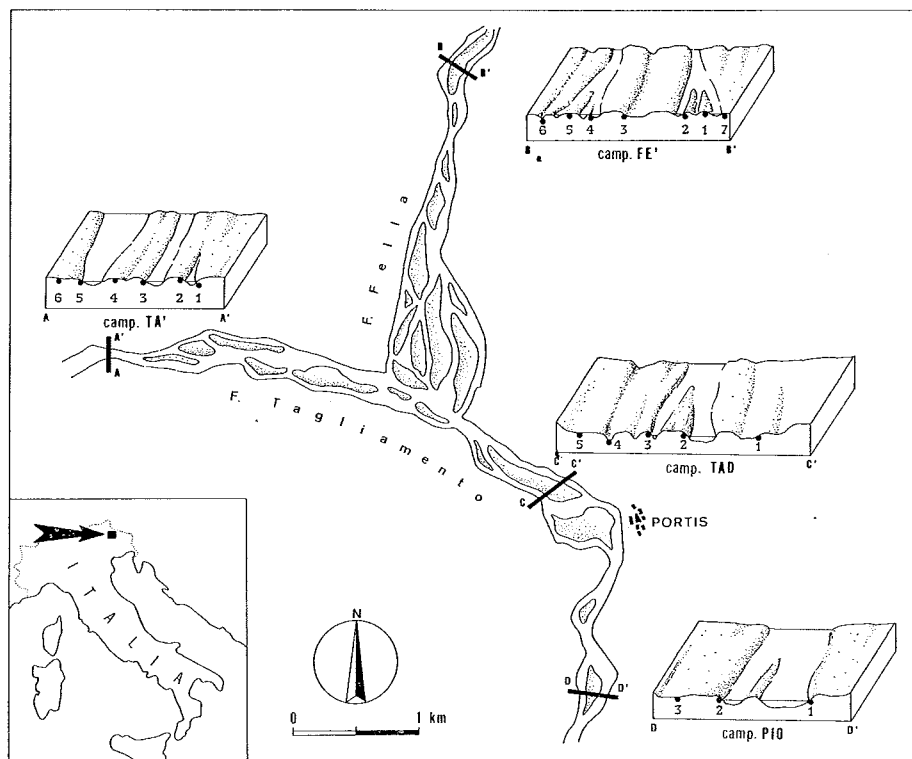


Fig. 3. - Ubicazione e sigla delle strisciate di campionatura.

centrati nel semestre autunno-inverno e presentano un andamento che è quello del regime pluviometrico alpino-marittimo.

### 3.2. Campionatura.

Per i fiumi Tagliamento e Fella sono stati raccolti un totale di 21 campioni di sabbie in periodo di magra dei fiumi.

Più precisamente a monte della confluenza sono stati raccolti 6 campioni dal Tagliamento e 7 dal Fella; a valle della confluenza sono stati prelevati 10 campioni.

<sup>(4)</sup> Le due strisciate di campioni sul Tagliamento a valle della confluenza con il Fella sono riportate come esempio. Lungo quella più a monte (TAD) si era constatato che i materiali convogliati dai due corsi d'acqua non risultavano perfettamente miscelati ma separati rispettivamente, verso la sponda destra, quelli del Tagliamento e verso la sponda sinistra quelli del Fella. Questa separazione, dimostrata come vedremo anche dalle analisi chimiche, cessa poco a monte della strisciata PIO (fig. 3), in corrispondenza di Pioverno, ove esiste una stretta che obbliga le acque, e quindi i materiali da esse trasportate, a mescolarsi quasi perfettamente.

Non è stato possibile ubicare ancora più a valle una terza strisciata di controllo in quanto sono presenti lungo il Tagliamento piccoli affluenti (T. Venzonassa) che alterano localmente con i loro apporti la composizione dei materiali trasportati dal corso principale.

Nel presente lavoro ai fini della dimostrazione della validità del metodo proposto non verranno considerati i dati ricavati dalla strisciata TAD.

<sup>(3)</sup> La fig. 2 è stata tratta da CAMERI (1967).

analisi granulometriche con il metodo combinato pipetta-setaccio. I risultati delle analisi granulometriche sono riportati in Tabella I. La serie di setacci adottata è stata quella con maglie 2,0, 1,0, 0,50, 0,250, 0,125, 0,050 mm. I campioni sono stati frazionati in sabbia grossa (2-0,50 mm), media (0,50-0,125 mm) e fine (0,125-0,050 mm)<sup>(5)</sup>.

I campioni del Tagliamento a monte della confluenza sono costituiti da sabbie medie (TA' 1-3-4), da sabbie medie pelitiche (TA' 2) e da sabbie medie da fini a pelitiche (TA' 5-6) ben classate (1,33-1,57)<sup>(6)</sup>.

La maggior parte dei campioni sono unimodali (fig. 4) con moda compresa entro il campo delle sabbie medie; più precisamente fra 0,50 e 0,150 mm (TA' 1, 3, 4) e 0,250-0,125 mm (TA' 5-6). Fa eccezione il campione TA' 2 che è bimodale; la moda dominante rappresenta le sabbie (0,50-0,250 mm), quella subordinata la pelite (< 50 $\mu$ ).

I campioni prelevati dal Fella sono costituiti da sabbie medie (FE' 2-5), sabbie medie pelitiche (FE' 1-7), sabbie da medie a grosse (FE' 3-4) e sabbie da medie a fini pelitiche (FE' 6) ben classate (1,28-1,69).

Tutti i campioni sono unimodali (fig. 4) con la moda compresa entro il campo delle sabbie medie; più precisamente fra 0,50-0,250 mm (FE' 2-3-4) e 0,250-0,125 mm (FE' 1-5-6-7).

Lungo la strisciata PIO, a valle della confluen-

za, i 3 campioni prelevati sono costituiti da sabbie medie (PIO 2), sabbie da fini a medie pelitiche (PIO 1) e sabbie medie pelitiche (PIO 3) ben classate (1,34-1,64). I campioni sono unimodali (fig. 4) con moda compresa nel campo delle sabbie medie (0,150-0,125 mm).

### 3.4. Analisi chimiche.

Data la composizione essenzialmente carbonatica dei sedimenti trasportati dal Tagliamento e dal Fella e la diversità che essi presentano soprattutto nelle rispettive concentrazioni di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  [STEFANINI, 1968], i campioni sono stati sottoposti ad analisi chimica per la determinazione delle percentuali di  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  e residuo insolubile in HCl. Il metodo adottato è stato quello complessometrico descritto da [VENTURINI, 1961]<sup>(7)</sup>.

All'analisi chimica sono stati sottoposti tutti i campioni naturali ed inoltre, di ogni campione, le frazioni granulometriche corrispondenti alle sabbie grosse (2,0-0,50 mm), medie (0,50-0,125 mm) e fini (0,125-0,050 mm).

I risultati delle analisi chimiche per la determinazione di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  nei campioni prelevati dal fiume Tagliamento a monte della confluenza appaiono nella tab. 1.

Come essa mostra in tutti i campioni i tenori di  $\text{CaCO}_3$  diminuiscono progressivamente a procedere

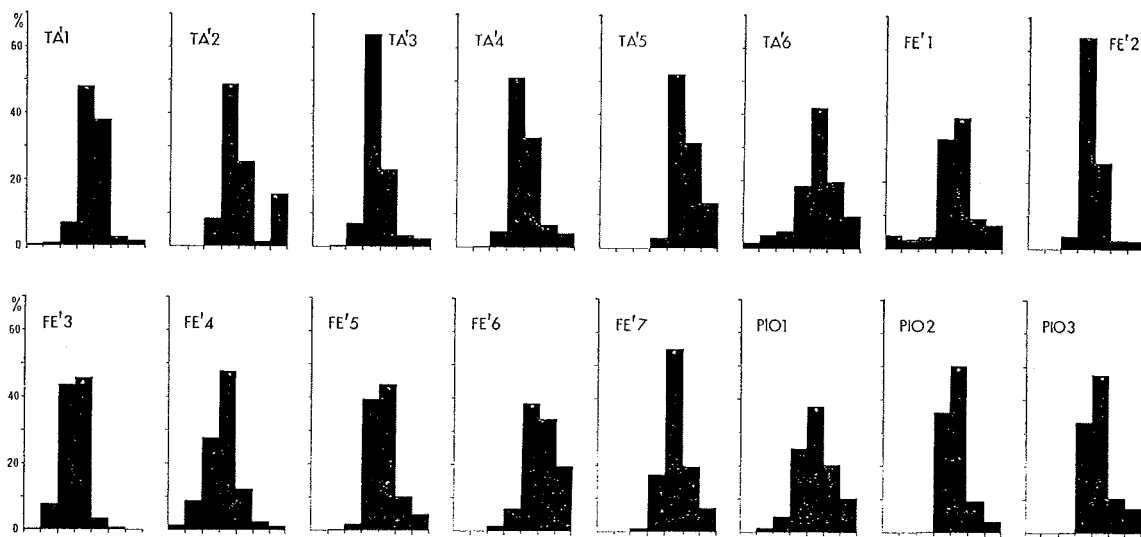


Fig. 4. - Istogrammi dei campioni prelevati dai fiumi Fella e Tagliamento. Gli intervalli sull'asse delle ascisse a partire dall'origine sono > 2,0 - 2,0 - 1,0 - 0,50 - 0,250 - 0,125 - 0,050 - < 0,050 mm.

<sup>(5)</sup> La classificazione adottata è stata quella proposta da KRUIT, (1954) e adottata da numerosi Autori (NOTA, 1958; BOUMA, 1962 ecc.).

<sup>(6)</sup> TRASK, 1932.

<sup>(7)</sup> La precisione nella determinazione delle percentuali di  $\text{CaCO}_3$  e di  $\text{MgCO}_3$  giunge  $\pm 0,5\%$  nel tipo di campioni esaminati.

TABELLA I

Sigle campioni	Coefficienti e parametri granulometrici *						Pesi percentuali delle classi granulometriche (in microns)						
	C	Md	Q <sub>3</sub>	Q <sub>1</sub>	So	Sk	> 2000	2000/1000	1000/500	500/250	250/125	125/50	< 50
TA' 1	1420	276	384	207	1,36	1,04	0.6	1.1	7.2	48.0	38.6	2.8	1.7
TA' 2	393	280	388	170	1,51	1,18			8.4	48.7	25.6	1.5	15.8
TA' 3	340	318	400	227	1,33	0,89		0.3	6.8	63.7	23.2	3.4	2.6
TA' 4	777	272	366	188	1,40	0,93		0.2	4.8	51.0	33.0	6.7	4.3
TA' 5	340	132	172	79	1,57	0,69				2.9	52.1	31.5	13.5
TA' 6	st. 2105	188	286	112	1,60	0,90	1.2	3.5	4.9	19.1	42.0	19.9	9.4
FE' 1	st. 2410	233	366	155	1,54	1,04	4.0	2.9	3.6	33.2	39.6	9.3	7.4
FE' 2	705	303	380	235	1,28	0,96			4.0	64.2	26.1	2.9	2.8
FE' 3	1630	502	738	405	1,35	1,18	0.2	7.5	43.4	45.2	3.2	0.5	tr
FE' 4	st. 2110	440	680	312	1,47	1,09	1.3	8.5	27.4	47.4	12.0	2.4	1.0
FE' 5	688	230	315	163	1,39	0,97		0.2	2.0	39.4	44.0	10.2	4.2
FE' 6	625	120	185	65	1,69	0,83		0.1	1.7	6.9	38.4	33.7	19.2
FE' 7	588	176	230	110	1,45	0,81		0.2	1.1	17.2	54.8	19.6	7.1
TAD 1	560	277	343	221	1,25	0,98		0.1	1.1	59.9	36.8	1.8	0.3
TAD 2	st. 2190	404	640	250	1,70	0,98	1.5	8.4	23.6	42.3	19.1	4.2	0.9
TAD 3	1940	245	345	170	1,42	0,97	0.8	1.8	2.1	42.6	38.9	9.4	4.4
TAD 4	808	340	415	268	1,25	0,94		0.2	7.4	71.0	19.8	1.3	0.3
TAD 5	1800	209	330	138	1,55	1,04	0.6	4.1	5.4	24.7	43.5	16.6	5.1
PIO 1	1250	190	295	110	1,64	0,89	0.2	1.3	4.8	25.4	37.9	20.2	10.2
PIO 2	464	212	285	164	1,34	1,03			0.4	36.2	50.4	9.4	3.6
PIO 3	470	210	290	145	1,41	0,95			0.4	33.5	47.8	10.6	7.7

\* So, Sk secondo TRASK, 1932.

\*\* Stimato.

TABELLA II

Sigle campioni	% CaCO <sub>3</sub>				% MgCO <sub>3</sub>				% Carbonati totali	% Residuo insolubile
	camp. tot.	sabbia grossa	sabbia media	sabbia fine	camp. tot.	sabbia grossa	sabbia media	sabbia fine		
TAD 1	58.7	—	58.5	54.2	35.9	—	36.1	34.2	94.6	5.4
TAD 2	54.2	59.2	58.0	55.0	37.1	37.3	38.2	35.0	91.3	8.7
TAD 3	56.7	—	57.7	55.2	37.8	—	38.0	36.1	94.5	5.5
TAD 4	57.2	56.0	58.0	55.0	36.3	29.1	35.9	35.7	93.5	6.5
TAD 5	39.7	43.5	38.7	34.5	13.6	8.8	15.1	14.9	53.3	46.7

dalle sabbie grosse verso le sabbie fini mentre invece i tenori di MgCO<sub>3</sub> aumentano (variazioni granulari).

In tab. III sono riportati anche i dati ottenuti dalla determinazione delle percentuali di CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> nei campioni prelevati dal Fella. Anche per il Fella, come per il Tagliamento, i tenori di CaCO<sub>3</sub>

diminuiscono progressivamente a procedere dalle sabbie grosse verso le sabbie fini.

Non è chiara invece la relazione esistente tra tenori di MgCO<sub>3</sub> e granulometria dei sedimenti. Per i campioni FE' 1-2-7 infatti si assiste ad un decremento di tenori di MgCO<sub>3</sub> a passare dalle sabbie grosse alle medie e ad un aumento degli stessi inve-



ce dalle sabbie medie alle fini. Per i campioni FE' 3-4-5 avviene il contrario.

Nella tab. III sono riportati inoltre i tenori di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  riscontrati nei campioni della strisciata PIO.

Per tutti i campioni del Tagliamento a valle del-

essa è sempre presente in ogni campione e presenta dimensioni che si prestano bene all'esame microscopico. Quest'ultimo è consistito nel conteggio dei granuli di quarzo trasparente, dei granuli di minerali opachi e di quelli di muscovite. Per ogni campione sono stati contati un totale di 300 granuli.

TABELLA III

Sigle campioni	% $\text{CaCO}_3$			% $\text{MgCO}_3$				
	Camp. tot.	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fine	Camp. tot.	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fine
TA' 1	46.2	54.0	44.5	36.0	14.9	14.7	15.1	15.3
TA' 2	36.5	—	39.0	35.0	13.4	—	12.3	13.4
TA' 3	42.5	44.5	43.0	33.7	11.7	8.1	11.7	13.4
TA' 4	43.2	48.5	43.7	36.2	13.2	9.8	13.4	14.7
TA' 5	32.2	—	33.2	32.0	12.8	—	11.9	13.2
TA' 6	42.5	50.0	43.0	39.0	15.3	10.9	12.8	18.6
FE' 1	57.7	62.5	59.7	58.0	32.5	37.5	31.7	33.1
FE' 2	59.5	58.7	65.2	54.2	36.9	38.1	32.3	35.2
FE' 3	58.2	60.0	57.7	—	40.3	38.8	40.3	—
FE' 4	57.5	66.5	58.0	54.5	39.6	33.6	38.6	35.4
FE' 5	57.5	—	58.7	56.0	35.7	—	35.9	34.2
FE' 6	55.0	—	55.5	53.0	35.2	—	38.0	36.3
FE' 7	56.0	—	57.2	54.2	20.5	—	35.9	36.1
PIO 1	49.5	58.0	51.5	44.7	27.7	31.9	28.1	25.6
PIO 2	53.0	—	53.5	51.0	30.0	—	32.3	31.8
PIO 3	48.5	—	49.2	44.2	23.3	—	22.8	24.1

la confluenza i tenori di  $\text{CaCO}_3$  diminuiscono a procedere dalle sabbie grosse alle fini. I tenori di  $\text{MgCO}_3$  non presentano chiare relazioni con la granulometria dei sedimenti (8).

### 3.5 Analisi mineralogiche.

Per disporre di ulteriori dati per la verifica della formula si sono analizzati al microscopio anche i residui insolubili in HCl di tutti i campioni prelevati.

L'esame è stato condotto sui residui ottenuti dopo attacco con HCl 4N sulla frazione granulometrica compresa fra 0,250 e 0,125 mm; ciò in quanto

L'esame microscopico ha rivelato che il residuo insolubile della frazione 0,250-0,125 mm è costituito per la massima parte da granuli di quarzo in aggregati, subordinatamente da quarzo trasparente, miche muscovitiche, frammenti di roccia e minerali opachi. Si veda anche MORGANTE [1954].

Il conteggio dei granuli ha rivelato che non esistono sostanziali differenze percentuali nei campioni prelevati a monte della confluenza, e conseguentemente per quelli raccolti a valle, per quanto riguarda i granuli di quarzo trasparente, i granuli di minerali opachi ed i granuli di muscovite.

Per questo motivo in tab. IV sono riportati solo

TABELLA IV

Corso d'acqua	granuli di quarzo %	granuli di minerali opachi %	granuli di muscovite %
Tagliamento a monte della confluenza	10	2	2
Fella	11	3	2
Tagliamento a valle della confluenza	10	3	3

(8) Come precedentemente accennato le analisi chimiche eseguite sui campioni della strisciata TAD (Tabella II) hanno confermato come le percentuali di  $\text{CaCO}_3$  corrispondenti ai campioni in lato sinistro si avvicinino molto a quelle presenti nel Fella, che confluisce appunto in lato sinistro, mentre quelle in lato destro, sono analoghe alle percentuali presenti nei materiali del Tagliamento. Ciò avviene anche per le percentuali di  $\text{MgCO}_3$ . Ciò dimostra come il mescolamento dei materiali del Tagliamento e del Fella all'altezza della strisciata dei campioni TAD non è completo.

i valori percentuali indicativi ricavati dal conteggio. Sia per il quarzo trasparente che per i minerali opachi che per la muscovite in tutti i campioni esaminati le percentuali non si discostano più di  $\pm 2$  unità dai valori riportati.

Come appare dalla tabella l'uniformità di composizione del residuo insolubile della frazione 0,250-0,125 mm per i campioni prelevati nel Tagliamento e nel Fella è sorprendente <sup>(9)</sup>.

I dati ricavati dall'esame microscopico del residuo insolubile in HCl non sono quindi utilizzabili per la verifica della formula in quanto non assolvono al postulato della diversità di composizione percentuale dei materiali convogliati dai due corsi d'acqua.

### 3.6. Elaborazione dei dati.

Per la verifica della formula sono stati eseguiti i calcoli per la determinazione dei seguenti valori medi.

%  $\text{CaCO}_3$  per: a) campioni totali;  
b) sabbie grosse;  
c) sabbie medie;  
d) sabbie fini

%  $\text{MgCO}_3$  per: a) campioni totali;  
b) sabbie grosse;  
c) sabbie medie;  
d) sabbie fini

I calcoli sono stati eseguiti per i campioni prelevati nel Tagliamento e nel Fella a monte della confluenza e per i campioni raccolti lungo la strisciata PIO a valle della confluenza.

I risultati del calcolo delle medie sono riportati in tab. V.

I valori delle medie della tab. V applicate alla formula (5) hanno fornito i valori di  $p_2$  riportati nella tab. VI.

Come la tab. VI mostra i valori di  $p_2$  non solo apparentemente discordanti; essi presentano valori molto simili per il  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  nelle sabbie medie (1,4-1,7) e fini (1,3-1,5) mentre i valori per le sabbie grosse ed il campione totale si discostano, soprattutto per quanto riguarda le sabbie grosse.

<sup>(9)</sup> Questo fenomeno comunque è facilmente spiegabile se si considera la natura litologica dei terreni costituenti i bacini idrografici dei due corsi d'acqua (fig. 1). Essi infatti sono formati dagli stessi tipi di rocce, l'unica differenza consiste nella diversa distribuzione areale delle rocce carbonatiche che nel bacino del Fella è superiore rispetto a quello del Tagliamento.

TABELLA V

Strisciata	Valori % medi			
	$\text{CaCO}_3$ campione tot.	$\text{CaCO}_3$ sabbie grosse	$\text{CaCO}_3$ sabbie medie	$\text{CaCO}_3$ sabbie fini
TA'	40.5	49.2	41.0	35.3
FE'	57.3	61.9	58.8	54.9
PIO	50.3	58.0	51.4	46.6
Strisciata	$\text{MgCO}_3$ campione tot.	$\text{MgCO}_3$ sabbie grosse	$\text{MgCO}_3$ sabbie fini	$\text{MgCO}_3$ sabbie medie
TA'	13.5	10.8	12.8	14.7
FE'	34.3	37.0	36.1	35.0
PIO	27.0	31.9	27.7	27.1

TABELLA VI

Frazione granulometrica considerata	Valori di $p_2$	
	$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$
campione totale	1.4	1.8
sabbie grosse	2.2	4.1
sabbie medie	1.4	1.7
sabbie fini	1.3	1.5

Questa discrepanza è facilmente spiegabile considerando che per quanto riguarda le sabbie grosse questa frazione è presente solo in uno dei campioni prelevati a valle della confluenza (PIO 1) per cui i valori delle percentuali di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  presenti in questo campione non possono essere considerati come valori medi. Come le tab. III-V mostrano, esistono piccole variazioni di composizione nell'ambito di una stessa classe granulometrica che rendono non coincidenti i valori di ogni singolo campione con il valore medio calcolato. Per questo motivo è lecito dedurre quindi che anche le percentuali di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  presenti nel campione PIO 1 non siano corrispondenti a quelle « medie ». Da ciò consegue che da esse si ottengono risultati per i valori di  $p_2$  discordanti e non rispondenti a quelli che si sarebbero ottenuti calcolandoli per le percentuali « medie ».

La presenza della classe granulometrica corrispondente alle sabbie grosse nel solo campione

PIO 1 si ripercuote anche sulle percentuali di  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  del campione integro in quanto, come precedentemente osservato, nel Tagliamento e nel Fella esistono variazioni di composizione connesse con le dimensioni dei granuli.

Quando invece il calcolo viene eseguito su frazioni sempre presenti nei campioni i valori ricavati dalla formula sono notevolmente vicini; questo è il caso riguardante i valori di  $p_2$  ricavati dalle percentuali di  $\text{CaCO}_3$  e di  $\text{MgCO}_3$  delle sabbie medie e fini.

Nell'ambito delle sabbie medie e fini la non coincidenza dei valori di  $p_2$  calcolati per il  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  non è dovuta alla deficienza nel sistema di calcolo ma al fatto di aver eseguito le analisi su frazioni granulometriche notevolmente ampie nel senso della dimensione, in concomitanza con le variazioni di composizione legate alla granulometria delle particelle.

Ciò è evidente se si considerano i valori ricavati rispettivamente per il  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  per le sabbie medie e le sabbie fini.

Le sabbie medie, che coprono un intervallo di 0,375 mm (da 0,500 a 0,125 mm) hanno fornito valori di  $p_2$  di 1,4 e 1,7 mentre le sabbie fini che coprono un intervallo di soli 0,075 mm (da 0,125 a 0,050 mm) hanno fornito valori di  $p_2$  di 1,3 e 1,5 quindi meno discordanti tra loro.

Accade infatti che nell'ambito delle sabbie medie vi sia per qualche campione maggior concentrazione delle particelle verso le dimensioni minori, mentre per qualche altro esse siano preferenzialmente distribuite verso le dimensioni maggiori (figura 4). Data l'esistenza delle variazioni granulari si ottengono quindi valori di  $p_2$  leggermente discordanti. Ciò si verifica in minor misura per quanto riguarda le sabbie fini ove il campo di variabilità delle dimensioni delle particelle è solo di 0,075 mm.

Eseguendo le analisi su frazioni sempre più ristrette i valori di  $p_2$  risultanti saranno sempre meno discordanti e quindi più precisi. D'altro canto però, per i fini pratici, non si può restringere troppo la frazione granulometrica in quanto allora i valori di  $p_2$  ricavati perderebbero di significato diventando troppo specifici. È necessario quindi scegliere l'intervallo granulometrico che, compatibilmente con le variazioni granulari, offra dati sufficientemente precisi per quanto riguarda i valori di  $p_2$ .

Dal nostro studio è risultato quindi che le portate solide del Fella rispetto quelle del Tagliamento sono superiori di 1,55 per quanto riguarda le sabbie medie e di 1,40 per quanto riguarda le sabbie fini. Questi valori sono ricavati dalla media dei valori di  $p_2$  calcolati rispettivamente per il  $\text{CaCO}_3$

e  $\text{MgCO}_3$  per le sabbie medie e per le fini. Per quanto riguarda le sabbie grosse i valori di  $p_2$  pur essendo indicativi dimostrano una netta prevalenza del Fella sul Tagliamento (di circa 3 volte).

La diminuzione dei valori di  $p_2$  a procedere dalle frazioni più grossolane verso le più fini è giustificata dal fatto che la capacità di trasporto del F. Fella, rispetto quella del Tagliamento a monte della confluenza, è superiore, per cui, mentre il Fella è in grado di trasportare facilmente anche le sabbie grosse ciò per il Tagliamento si verifica in minor misura. Per le frazioni più fini,  $p_2$  diminuisce in quanto rispetto queste frazioni la portata del Tagliamento aumenta e quindi in senso relativo le portate del Fella (rispetto queste frazioni) diminuiscono.

Da quanto sopra esposto ripetiamo che non bisogna generalizzare i valori di  $p_2$  ricavati dalla formula; essi sono validi solo per le frazioni in base alle quali sono stati calcolati e non per frazioni granulometricamente superiori o inferiori; per queste ultime esisteranno altri valori, diversi, che debbono essere ricavati.

#### 4. Applicazioni pratiche del metodo.

Riteniamo il metodo proposto interessante perché esso può essere applicato per la risoluzione di diversi problemi pratici. Infatti i corsi d'acqua di un determinato bacino possono essere classificati secondo una scala di « pericolosità relativa » dal punto di vista delle portate solide grossolane determinando l'entità di tali portate con il metodo proposto.

Una classificazione così fatta costituirebbe un ulteriore contributo per la migliore ubicazione di eventuali opere di difesa soprattutto perché si potrebbe in tal modo stabilire qual'è dei corsi d'acqua di un bacino quello che ha la massima portata solida grossolana.

È ovvio inoltre che il metodo potrebbe essere utilmente applicato per la risoluzione dei gravi problemi che riguardano l'interrimento dei bacini artificiali o naturali.

#### BIBLIOGRAFIA

- BOUMA A. H. (1962) - *Sedimentology of some flysch deposits*. A graphic approach to facies interpretation. Elsevier, pp. 1-168, Amsterdam.
- CAMERI G. (1967) - *Caratteri geografici delle utilizzazioni idroelettriche nel Friuli-Venezia Giulia*. Boll. Uff. della Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura, n. 5, pp. 1-67, Udine.
- Carta Geologica delle Tre Venezie - Foglio 13 - *Ampezzo*. Uff. Idr. del R. Magistr. alle Acque, Venezia, anno XI.
- Carta Geologica delle Tre Venezie - Foglio 14 - *Pontebba*.

- Uff. Idr. del R. Magistr. alle Acque, Venezia.  
 Carta Geologica d'Italia, 1967 - Foglio 14 - *Tarvisio*. Serv. Geol. d'Italia.
- DOUGLAS D. J. (1940) - *The importance of heavy mineral analysis for regional sedimentary petrology*. Nat. Research Council, Comm. Sedimentation Dept. 1939-1940, pp. 102-121, Washington.
- FERUGLIO E. (1925) - *La zona delle risorgive del basso Friuli fra Tagliamento e Torre*. Studio geologico, idrologico e agronomico. Amm. Staz. Chimico-Agraria Sperim. di Udine, Sez. III, vol. 1, pp. 1-343, Udine.
- KRUIT C. (1954) - *Proposal for a descriptive classification of sediments in stereomicroscopic studies*, non pubblicato, Amsterdam.
- MORGANTE S. (1954) - *Le sabbie del Tagliamento e dei suoi principali affluenti*. Boll. Soc. Adt. Sc. Nat., vol. 47, pagine 147-152.
- NOTA D. J. G. (1958) - *Sediments of the Western Guiana shelf*. Tesi, Mededel., Landbouwhogeschool, Wageningen, pp. 1-98, Wageningen.
- SCHEIDEGGER A. (1961) - *Theoretical geomorphology*. Springer Verlag, pp. 1-333, Berlin.
- SCIMEMI E. (1949) - *Compendio di Idraulica*. Ediz. riveduta. Librer. Univ. G. Randi, pp. 1-200, Padova.
- SELLI R. (1963) - *Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali*. Giorn. di Geol., serie 2<sup>a</sup>, vol. XXX, 1962, pp. 1-121, tav. VII, Bologna.
- STEFANINI S. (1968) - *Distribuzione dei carbonati di calcio e di magnesio nelle sabbie dei fiumi tributari dell'Adriatico settentrionale tra Venezia e Trieste e dei loro principali affluenti*. St. Trent. Sc. Nat., Sez. A, anno XLV, n. 2, pp. 101-124, Trento.
- TRASK P. D. (1932) - *Origin and environment of source sediments of petroleum*. Amer. Petrol. Inst. Gulf Publ. Co., pp. 1-323, Houston.
- VENTURINI A. (1961) - *Contributo alla determinazione complessometrica del calcio e del magnesio nei calcari e nelle dolomie*. Ann. Univ. Ferrara, sez. V, chimica pura ed applicata, vol. 2, n. 3, pp. 1-30, Ferrara.

#### SUMMARY

##### **On the determination of the ratio between the solid flows of a tributary and the main river.**

In this paper it is demonstrated that the formula of «chemical mixing» method, determining the river water flow, can be extended with appropriate modifications also to determining coarse solid flow of a tributary with respect to that of the main river. Furthermore are listed the necessary requirements by which the formula may be applied and

the limitations of the method. By way of example, are given the calculations for the solid flow of two rivers of Friuli-Venezia Giulia (Northern Italy), the Fella river (the tributary) and the Tagliamento river (the main), taking into account the three grain size grades of coarse, medium and fine sand. It resulted therefrom that the coarse sand flow of the Fella river, immediately upstream from the confluence with the Tagliamento river, is about 3 times as big as that of the Tagliamento, the medium sand 1.55 times and the fine sand 1.40 times.