

---

---

B. — TEORICA DEI TRASPORTI, DEPOSITI  
ED EROSIONI.

Il tecnico non può accingersi alla sistemazione di un torrente, se prima non conosce i principi generali che regolano il trasporto delle materie che sono convogliate dai corsi d'acqua e il deposito delle materie stesse; poichè se la conoscenza dei detti principi è più che utile per ogni ramo dell'idrotecnica, diventa addirittura una necessità per chi si accinge a correggere un torrente, in quanto che in nessun altro genere di corsi d'acqua il trasporto e il deposito delle materie avviene nella misura in cui accade nei torrenti (Vedi *Wang* <sup>(23)</sup>, *Thièry* <sup>(21)</sup> e *Kreuter* <sup>(19)</sup>).

§ I. Forza di trasporto dell'acqua.

Parecchi autori si sono sforzati di esprimere analiticamente il valore della forza di trasporto dell'acqua. Il *Du Boys* <sup>(24)</sup>, nella sua memoria sul Rodano ha cercato di esprimere la forza stessa in funzione della profondità dell'acqua e della pendenza.

Wang  
p. 168

---

<sup>(23)</sup> FERDINAND WANG, « Grundriss der Wildbachverbauung »; Leipzig, 1901 e 1903.

<sup>(24)</sup> M. P. DU BOYS, « Le Rhone et les rivières à lit affouillable »; « Ch. II. Grandeur et effets de la force d'entraînement »; Annales des Ponts-et-chaussées, pag. 149, Paris, 1879.

Mantenendo l'ipotesi, ammessa a base del moto uniforme, che l'aumento della forza viva dell'acqua è sempre completamente annullato dal lavoro della resistenza nell'alveo, e che quindi la forza di trasporto dell'acqua è compensata da una forza opposta, la quale è eguale alla resistenza stessa, il Du Boys ha trovata la seguente espressione

$$F = 1000 H i , \quad (1)$$

dove  $H$  ed  $i$  rappresentano rispettivamente la profondità dell'acqua e la pendenza.

A un risultato consimile, arriva il Thiéry nella opera già citata (<sup>21</sup>) con le considerazioni che qui si riportano, data l'importanza dell'argomento.

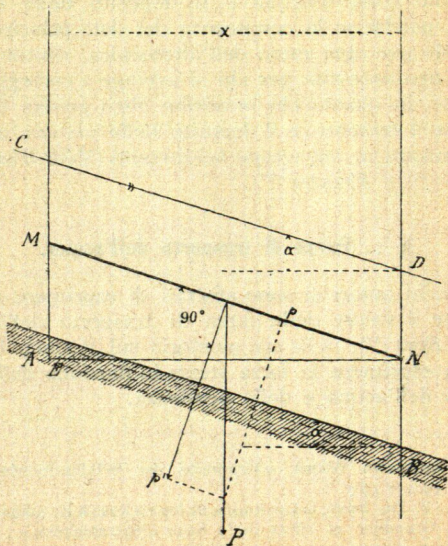


Fig. 1.

Nella fig. 1 rappresentano:

$X$  un certo tratto del canale considerato,

$AB$  il suo fondo, inclinato dell'angolo  $\alpha$  con l'orizzontale,

$CD$  il pelo d'acqua parallelo al fondo,

$MN$  un filetto d'acqua infinitamente sottile avente la sezione  $f$  e la lunghezza  $MN = AB = CD = l$ ,

$P$  il peso del detto filetto d'acqua,

$p$  e  $p_1$  le due componenti del peso stesso rispettivamente parallela e normale alla direzione del filetto,

$\gamma$  il peso specifico del liquido.

Poichè la forza viva dell'acqua si riduce alla componente parallela alla detta direzione  $p$ , e le pressioni che si sviluppano in  $M$  ed  $N$  reciprocamente si elidono, la forza viva  $k$  si può esprimere con la formola:

$$k = P. \text{sen } \alpha = f. l. \gamma \text{sen } \alpha = f. \gamma \overline{CD} \text{sen } \alpha$$

Ad analogo risultato si arriva, anche quando il pelo d'acqua converge o diverge dal fondo, senza che qui sia necessario di svolgerlo analiticamente.

Per passare dalla forza viva del filetto,  $k$  a quella  $K$  di tutta la massa d'acqua  $X$  basta integrare la prima entro i giusti limiti.

Si ottiene cioè:

$$K = \int_A^C k = \int_A^C f. \gamma. t \text{sen } \alpha = \gamma. t. \text{sen } \alpha \int_A^C f,$$

dove l'integrale  $\int_A^C f$  equivale all'area  $F$  di tutta la sezione trasversale bagnata del tratto  $X$ . Si ha quindi:

$$K = \gamma. l. \text{sen } \alpha . F;$$

e poichè  $\gamma. l. F$  si può ritenere eguale al peso  $G$  di tutta la massa e inoltre poichè per essere in generale l'angolo  $\alpha$  piccolo, si può sempre porre invece di  $\text{sen } \alpha$

l'espressione *tag a*, la quale rappresenta la pendenza relativa *J*, si viene ad avere per espressione finale della forza viva

$$K = G \cdot J \quad (2)$$

Ora è facile riconoscere come questa formola coincida con quella (1); poichè la formola (1) si è ottenuta considerando l'ipotesi di un prisma d'acqua della superficie uno (1 mq) che giaccia sul fondo, che abbia l'altezza *H* e che abbia una forza di trasporto *F*. Ammettendo che il peso specifico dell'acqua sia  $\gamma = 1000$  kg. per ogni metro cubo, l'espressione  $1000 H$  della formola (1) equivale al peso *G* di tutta la massa adottato nella formola (2); mentre pure le due quantità *i* e *J* sono pure eguali, perchè in ambedue i casi significano la pendenza.

## § 2. Influenza delle materie sul moto dell'acqua.

*Wang pang, 165.*  
L'influenza del trasporto delle materie sul moto dell'acqua si fa anzitutto sentire in quanto che l'acqua carica di materie, a parità delle altre circostanze, si muove più lentamente di quella senza materie. La dimostrazione teorica di questo fenomeno si ottiene nel modo seguente.

Sia *Q* il volume di quella massa d'acqua, senza materie, che passa in un minuto secondo per una data sezione trasversale, e sia  $\gamma$  il peso specifico dell'acqua limpida, allora il prodotto  $Q \cdot \gamma$  rappresenta il peso dell'acqua limpida che defluisce in un minuto secondo attraverso quella sezione trasversale.

Se in un dato momento quell'acqua improvvisamente si carica del volume *a Q* di materie il cui peso specifico sia *d*, ritenendo che *a* rappresenti il rapporto fra il volume delle materie che vengono ad unirsi a quella massa d'acqua e il volume dell'acqua stessa; allora



Tav. 4. — Torrente Sillaro nella località denominata Sasso Nero  
(Provincia di Bologna).

poichè il materiale viene a spostare un volume d'acqua  $a \cdot Q \cdot \gamma$ , il peso di tutta la massa in moto in quel momento crescerà di

$$a \cdot Q \cdot d - a \cdot Q \cdot \gamma = a Q (d - \gamma)$$

Se si indica con  $v$  la velocità media dell'acqua che passa per quella sezione, prima che l'acqua si carichi di materie, allora dopo avvenuta la miscela si avrà in quella stessa sezione trasversale un'altra velocità  $v_1$  la quale si manterrà costante finchè la quantità delle materie non cambia. È poichè si ammette che il movimento avvenga a regime costante, ossia si ritiene il moto uniforme, ciò che equivale a ritenere la resistenza dell'alveo sempre pareggiata dal lavoro della massa in moto, ossia in altre parole la forza di trasporto compensata dalla forza ritardatrice, si potrà scrivere

$$\gamma Q v = \{ \gamma Q + a Q (d - \gamma) \} v_1$$

ossia

$$v_1 = v \frac{\gamma}{\gamma + a(d - \gamma)} \quad (3)$$

Questa formola esprime il rapporto fra la velocità  $v$  ad acqua chiara e la velocità  $v_1$  ad acqua torbida; e in pari tempo dimostra che  $v_1$  è sempre minore di  $v$ , perchè essendo la differenza  $(d - \gamma)$  sempre positiva, la quantità  $\frac{\gamma}{\gamma + a(d - \gamma)}$  risulta sempre una frazione pura. Resta quindi dimostrato che *la velocità media diminuisce col crescere della torbidità dell'acqua*, che è uno dei teoremi più importanti del moto delle acque torbide.

Se si ricorre per la velocità media alla espressione generale  $v = c \sqrt{R i}$ , si ha per la analoga velocità  $v_1$  corrispondente all'acqua torbida, quando si ammetta che i valori di  $R$  e di  $i$  non mutino, l'espressione

$$v_1 = c_1 \sqrt{R i}$$

2  
*if  $\gamma Q v$  J  
 Anna Ambrosi*

Si avrà quindi

$$\frac{v}{v_1} = \frac{c}{c_1} = \frac{\gamma + a(d - \gamma)}{\gamma} \quad (4)$$

Per farsi un'idea approssimativa dell'influenza che può esercitare un carico di materie sulla velocità media, proviamo a calcolare i coefficienti  $c$  e  $c_1$  per un dato caso. Supponiamo cioè che siano  $d = 2400$  kg. ,  $\gamma = 1000$  kg. e  $a = 1$ ; allora il rapporto  $\frac{c}{c_1}$  assume il valore

$$\frac{c}{c_1} = \frac{2400}{1000}$$

e la quantità  $c_1$  diventa

$$c_1 = 0,42 c.$$

Wang pag 166

Se quindi a una data massa di acqua limpida, si unisce una massa di materie di volume eguale, la velocità media della corrente avente questo grado di torbidezza scende sotto la metà del valore della velocità media corrispondente all'acqua chiara.

Devesi però notare che il valore dato dalla formola (4) per il rapporto fra i due coefficienti di velocità, e quindi fra le due velocità stesse, è solo approssimativo, perchè effettivamente quando la corrente limpida si carica di materie, variano anche le due quantità  $R$  ed  $i$ . Inoltre non è solo la massa delle materie, ma è anche la forma e il modo del trasporto delle materie stesse secondo che queste si muovono *parzialmente* o in *massa* che influiscono sulla variazione della velocità media; del resto anche il materiale che striscia sul fondo e sulle pareti concorre ad aumentare le resistenze. Tuttavia i risultati che si ottengono dalla formola (4) si possono sempre ritenere approssimativamente esatti.

### § 3. Spinta dell'acqua sul materiale e resistenza di questo.

Wang  
pag 167

Per determinare la spinta o l'urto  $S$ , che una massa d'acqua illimitata esercita su un corpo che si trovi allo stato di riposo in essa, serve la nota formola idraulica

$$S = (k + k_1) \gamma F \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

dove  $F$  è la superficie urtata,  $v$  la velocità media del liquido,  $\gamma$  il peso specifico di questo,  $g$  l'accelerazione della gravità, e  $k$  e  $k_1$  significano due coefficienti che dipendono dalla forma della superficie urtata e da quella del corpo urtato.

Quanto più denso è il liquido, e quanto più grande è la superficie urtata — ritenuto che questa equivalga alla proiezione del corpo urtato su un piano perpendicolare alla direzione del moto — tanto più grande è l'urto dell'acqua; e viceversa tanto maggiore è la resistenza che oppone l'acqua se si suppone questa ferma e il corpo in moto.

Inoltre la grandezza dell'urto dipende naturalmente dalla circostanza se il corpo è immerso totalmente o solo parzialmente.

Quanto ai due coefficienti  $k$  e  $k_1$ , il primo rappresenta l'effetto causato dalla pressione dei filetti liquidi sulla faccia anteriore del corpo urtato, cioè dalla cosiddetta *pressione positiva*.

Invece sulla faccia posteriore del corpo urtato, a motivo della tendenza che hanno i filetti liquidi a riunirsi, si crea una pressione che influisce a far muovere il corpo, la così detta *pressione negativa* o *non pressione* la quale è caratterizzata dal coefficiente  $k_1$ .



La grandezza dei due coefficienti  $k$  e  $k_1$  si è cercato di determinarla sperimentalmente, per merito in specie di Dubuat e anche di Eytelwein e di Sternberg.

Il primo sottopose ad osservazione una piastra, un cubo e un prisma. In tutti e tre i casi la superficie urtata era verticale e normale alla direzione dell'urto e consisteva in un quadrato avente il lato di  $0^m, 325$ . La piastra aveva lo spessore di 9 mm. e il prisma era lungo  $0^m, 975$ . La velocità dell'acqua era di  $0^m, 975$  al minuto secondo.

Mentre per  $k$  in tutti e tre i casi si ottenne il valore di 1,19, il valore di  $k_1$  è risultato 0,67 per la piastra, 0,27 per il cubo e 0,15 per il prisma; donde si conclude che la cosiddetta pressione negativa e quindi anche l'azione complessiva dell'urto diminuisce col crescere della lunghezza della pietra, e in pari tempo si vede che la tendenza dei filetti d'acqua a riunirsi a valle del corpo decresce pure con l'aumentare della lunghezza del corpo. Mentre quindi in base ai dati precedenti la somma dei due coefficienti  $k$  e  $k_1$  si può ritenere in media eguale a 1,50; si è trovato che per un corpo sferico la detta somma scende a 0,50 e quindi l'urto dell'acqua è minore.

Secondo Sternberg, quando il corpo ha la forma elissoide con l'asse longitudinale  $b$  eguale al doppio dell'asse minore  $a$ , la somma dei due coefficienti  $k + k_1$  diventa 0,8. Quando il corpo è conterminato lateralmente da piani verticali, ma finisce sulla fronte in punta, la somma dei coefficienti  $k$  e  $k_1$  diminuisce col decrescere l'angolo della punta. E quando questo angolo scende a  $12^\circ$ , la detta somma scende a 0,44. Se anche la parte posteriore del corpo va a finire in punta, la somma dei coefficienti  $k$  e  $k_1$  tende a diminuire ancora, ma non notevolmente.

Ritenendo come valore medio della somma  $k + k_1 = 1,5$ , e ponendo nella formola (5) al posto di  $g$  il va-

lòre 9,81, e indicando con  $a$  e  $c$  le dimensioni della superficie urtata, cioè rispettivamente, la larghezza e l'altezza, la formola (5) si converte nella seguente:

$$S = \frac{1,5}{2 \cdot 9,81} \gamma F v^2 = 0,076 \gamma F v^2 = 0,076 \gamma a c v^2 .$$

Per quanto riguarda la resistenza che un corpo può opporre all'urto dell'acqua, bisogna considerare che come col variare della forma del corpo, varia l'urto, così viene a variare anche la resistenza. Così, per esempio, le pietre a spigoli vivi e con faccie rustiche si muoveranno certo diversamente delle pietre tondeggianti e con faccie levigate. Come pure assai diversa sarà la resistenza dei corpi che strisciano sul fondo in confronto a quelli che camminano e sono trasportati con la corrente. Quando poi il fondo è molto irregolare, il fenomeno risulta ancora più complicato a motivo degli urti reciproci fra corpo e corpo, e a motivo delle correnti laterali, ecc.

Però per avere risultati abbastanza attendibili nella pratica e anche mediamente esatti, basterà prendere a base l'ipotesi semplificata che la pietra posi su un fondo piano inclinato dell'angolo  $a$ , e sia su tutte le altre faccie bagnata dall'acqua.

Se si immagina decomposto il peso  $G$  della pietra (vedi fig. 2) nelle due componenti  $G_1$  e  $G_2$ , la prima parallela al fondo e la seconda normale, allora evidentemente la quantità  $G_2 \cdot f = G f \cos a$  esprimerà la resistenza  $R$  che la pietra opporrà all'urto dell'acqua, ammesso che  $f$  significhi il coefficiente d'attrito della pietra sul fondo inclinato.

Se si indicano con  $a$ ,  $b$  e  $c$  le dimensioni della pietra (e propriamente  $a$  la larghezza,  $b$  la lunghezza e  $c$  l'altezza del prisma), allora la quantità  $G$  può esprimersi  $G = (d - \gamma) a b c$  dove  $d$  significa il peso specifico

della pietra. Per la resistenza  $R$  della pietra allora si ha il valore

$$R = (d - \gamma) \cdot a \cdot b \cdot c \cdot f \cdot \cos a \quad (7)$$

Mettendo allora rispettivamente a fronte fra loro l'urto  $S$  dato dalla formola (6) con la resistenza  $R$  data da (7), e ritenendo che la componente parallela al fondo

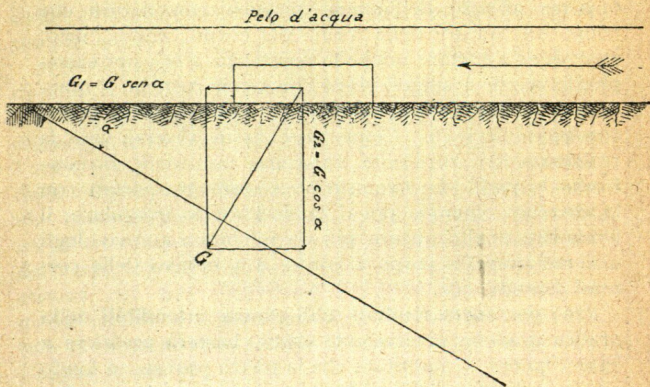


Fig. 2.

$G_1 = G \text{ sen } a$ , la quale sarebbe da aggiungersi all'urto, si possa per la sua piccolezza trascurare, si avrà che il moto della pietra incomincerà nel momento in cui diventerà

$$0,076 \gamma a c v^2 > (d - \gamma) a b c f \cos a$$

Dalla quale risulta che l'equazione generale che esprime la condizione del movimento della pietra, sarà

$$v > \sqrt{\frac{(d - \gamma) b f \cos a}{0,076 \gamma}} \quad (8)$$

oppure anche

$$v > \sqrt{\frac{\beta (d - \gamma) b f \cos a}{\gamma}} \quad (9)$$

dove  $\beta$  è un coefficiente speciale che varia con la forma del corpo e che ha il suaccennato valore medio  $\frac{1}{0,076}$ .

Avuto poi riguardo che in ogni caso concreto le quantità  $d$ ,  $\gamma$ ,  $f$  ed  $a$  assumono un valore costante, la detta formola si può anche mettere sotto la forma semplicissima

$$v > k_0 \sqrt{b}$$

Secondo Leslie, questa formola può avere un'applicazione generale; e per i cubi il coefficiente  $k_0 = 3,23$ , per i corpi rotondi  $k_0 = 4,58$  <sup>(25)</sup>.

#### § 4. Diverse maniere di trasporto; esperienze sul moto delle materie nell'acqua.

Abbiamo già detto che le materie possono camminare tanto parzialmente, ovvero sia *distintamente*, quanto *in massa*.

Assai spesso le materie trasportate dall'acqua si separano e marciano per gruppi secondo la loro grossezza. Così più avanti si vedono camminare le sabbie, poi indietro i materiali gradatamente più pesanti, cioè

sabbie  
 Andora

<sup>(25)</sup> Secondo HOPKINS ed AIRY l'urto di una corrente cresce con la sesta potenza della velocità; cosicchè se si suppone che la velocità si raddoppi, potrà venire trasportato un materiale che sia sessanta-quattro volte più pesante.

le ghiaie, poi i grossi ciottoli e da ultimo i massi. Allora si dice che il trasporto è *parziale*.

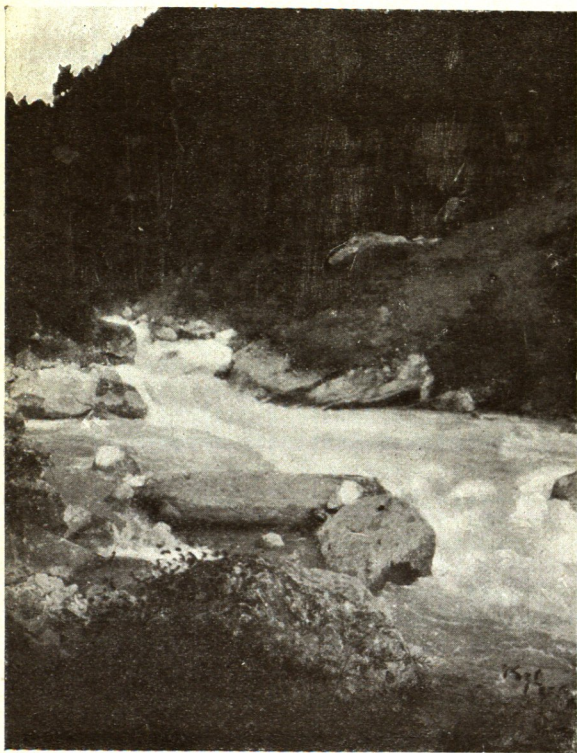
Ma quando le materie sono così mescolate, da toccarsi tutte, grosse e minute, indistintamente e in modo che si muovono tutte con una velocità pressochè eguale, allora si ha il così detto *trasporto in massa*. È questo trasporto che dà luogo alle *correnti di materie*, o *correnti lavose*.

Surell <sup>(3)</sup> nella succitata sua opera classica sui torrenti, ha molto eloquentemente descritte queste correnti semifluide.

E. De Beaumont <sup>(4)</sup> nelle sue lezioni d'idraulica pure succitate descrive uno di questi fenomeni di correnti di materie da lui potuto osservare nel Vallese presso San Maurizio. « In seguito a un violento uragano sopraggiunto nella notte, una porzione della cima della « *Dent du Midi* si era staccata il 26 agosto 1835 alle « ore 11 del mattino, trascinando nella sua caduta una « porzione del ghiacciaio o del nevaio che copre uno « dei fianchi della montagna; il tutto era franato in un « vallone, che nel fenomeno faceva la parte del *bacino* « *di formazione o di raccoglimento*.

« Questo ammasso di materie terrose e di ghiacci si « fondeva a mano a mano; l'acqua defluiva per mezzo « di diverse ondate successive, trascinando un'immensa « quantità di terre e di pietre. La materia fluida seguiva la pendenza d'un vallone che sboccava nella « vallata del Rodano, fra *San Maurizio* e la cascata di « *Pisse Vache*, per una gola ristretta, all'uscita della « quale essa si spandeva sul cono di deiezione del torrente che esce da questa stessa gola e che è denominato *Nant de Saint-Barthélemy*.

« La superficie del cono di deiezione si ricopriva di « un'acqua nera come l'inchiostro che arrivava fino al « Rodano, dopo avere abbandonato sul suo passaggio, « a misura che essa perdeva velocità, spandendosi, una



Tav. 5. — Torrente Mera alla confluenza del torrente Vallate  
sopra Chiavenna (Valtellina).

« parte delle materie che essa teneva in sospensione.  
« Il fenomeno si rinnovò quasi periodicamente per più  
« giorni; il 29 agosto esso era ancora assai frequente  
« e assai intenso. Ogni volta che la fusione del ghiaccio  
« aveva prodotto una quantità di melma sufficiente  
« perchè essa potesse rompere la coesione e l'attrito,  
« questa massa si metteva in moto e veniva a sboccare  
« con estremo impeto per la gola di Saint-Barthélemy.

« Le materie terrose abbandonate dal torrente acqui-  
« stavano assai presto consistenza, e dopo due o tre  
« giorni si poteva camminare sulla loro superficie. Una  
« porzione considerevole del corso di dejezione ne fu  
« ricoperta, e in alcuni punti se ne misurò uno spessore  
« di parecchi metri.

« Un effetto curioso da notare in questa corrente era  
« quello di vedere con quale facilità pietre e blocchi  
« calcari compatti di più metri cubi erano trascinati  
« dalla massa melmosa in movimento, sulla quale sem-  
« bravano galleggiare come pezzi di legno sull'acqua  
« ordinaria ».

Alcuni autori osservano che vi hanno correnti di ma-  
terie così dense che probabilmente il peso dell'acqua è  
soltanto di un ottavo e forse anche meno del peso  
totale.

Il Du Buat stesso sperimentando sulla Senna ed i  
suoi affluenti avrebbe cercato di determinare la velocità  
alla quale cessano di essere trasportate le materie con-  
vogliate da quei corsi d'acqua, ed avrebbe trovato il  
seguito valore limite della velocità di trasporto:

1. Per l'argilla scura da stoviglie:  
(grossezza o lato m. 0,0005), velocità limite m. 0,081
2. Per la sabbia minuta:  
(grossezza o lato m. 0,0002), velocità limite m. 0,162
3. Per la sabbia grossa:  
(grossezza o lato m. 0,0005), velocità limite m. 0,216

4. Per la ghiaietta grossa come un grano d'anice:  
(grossezza o lato m. 0,0001), velocità limite m. 0,108

5. Per la ghiaietta grossa come un pisello:  
(grossezza o lato m. 0,004), velocità limite m. 0,189

6. Per la ghiaietta grossa come una piccola fava:  
(grossezza o lato m. 0,008), velocità limite m. 0,325

7. Per ciottolini di mare arrotondati di circa 1 pollice:  
(grossezza o lato m. 0,025), velocità limite m. 0,650

8. Per ciottoli grossi come un uovo da gallina:  
(grossezz. e lato m. 0,045 ÷ 0,055), veloc. lim. m. 0,975

Sul Reno tedesco superiore furono istituite esperienze dirette a determinare le velocità alla quale i diversi materiali incominciavano a porsi in moto. I materiali riposanti sul fondo venivano agitati mediante un'asta e si mettevano in moto, quando la velocità (che era misurata all'altezza di 5 centimetri sul fondo), assumeva rispettivamente i seguenti valori:

1. Ghiaia grossa come pisello:  
(grossezza o lato m. 0,004), velocità m. 0,75

2. Ghiaia grossa come una fava:  
(grossezza o lato m. 0,008), velocità m. 0,90

3. Ghiaia grossa come nocciola:  
(grossezza o lato m. 0,016), velocità m. 0,92

4. Ghiaia grossa come uova da piccione:  
(grossezza o lato m. 0,02 ÷ 0,03), velocità m. 1,12

5. Pietre di circa 1 kilogrammi:  
(grossezza o lato m. 0,075), velocità m. 1,59

6. Pietre di circa 2,5 kilogrammi:  
(grossezza o lato m. 0,100), velocità m. 1,80

Telford ha osservato la velocità, alla quale il fondo del corso d'acqua incominciava a corrodarsi, ed ha trovato i seguenti risultati:

1. Per la terra sciolta:  
(grossezza m. 0,00002), velocità m. 0,076



2. Per l'argilla :  
(grossezza m. 0,00005), velocità m. 0,152
3. Per la sabbia :  
(grossezza m. 0,0002 ÷ 0,0005), velocità m. 0,305
4. Per la ghiaia assai minuta :  
(grossezza m. 0,002 ÷ 0,004), velocità m. 0,609
- 5 Per ciottolini :  
(grossezza m. 0,025), velocità m. 0,914
6. Per pietrisco :  
(grossezza m. 0,05), velocità m. 1,220
7. Per ciottoli : (grossezza m. 0,08),  
conglomerati e schisti teneri velocità m. 1,520
8. Per roccia tenera stratificata : velocità m. 1,830
9. Per roccia dura : velocità m. 3,050.

Come si vede, esiste una certa differenza tra questi risultati, la quale dipende anche da una certa indeterminatezza nella forma e grandezza dei materiali, che non furono bene specificate dagli sperimentatori, tanto che le suindicate cifre relative alla grossezza vennero qui esposte solo in via induttiva. Ma più che tutto dipende dalla circostanza che i fenomeni indagati erano sensibilmente diversi. Infatti, mentre il Du Buat, prendendo a considerare materiali già in moto, cercava quale era la velocità minima capace di tenerli in moto, gli ingegneri tedeschi e il Telford si proponevano di determinare la velocità necessaria per mettere in movimento materiali che erano fermi sul fondo, ossia per scavare un fondo di data natura, e quindi ricercavano una velocità che doveva essere maggiore, perchè questa prima di tenere quei materiali in moto, doveva essere capace di staccarli dal fondo e imprimere loro forza sufficiente per metterli in movimento.

Altra osservazione pure interessante e che merita di essere citata venne fatta nell'anno 1890 a Panama, dove si è trovato che in un canale dove l'acqua era dotata

della velocità di m. 2,00 ÷ 2,40 al minuto secondo, la corrente era capace di trascinare una pietra che aveva la sezione trasversale di m. 0,10 per m. 0,10 e la lunghezza di m. 0,20, e quindi lo stesso volume di una pietra cubica avente il lato di m. 0,125. Ma ogni qualvolta a quella pietra se ne aggiungevano altre anche più piccole, ciò bastava perchè tutte insieme cioè quella grande e quelle piccole subito si arrestassero.

Queste esperienze riconfermano il fenomeno, già più sopra dimostrato anche analiticamente, che quando una corrente si carica di altre materie, la sua velocità media diminuisce.

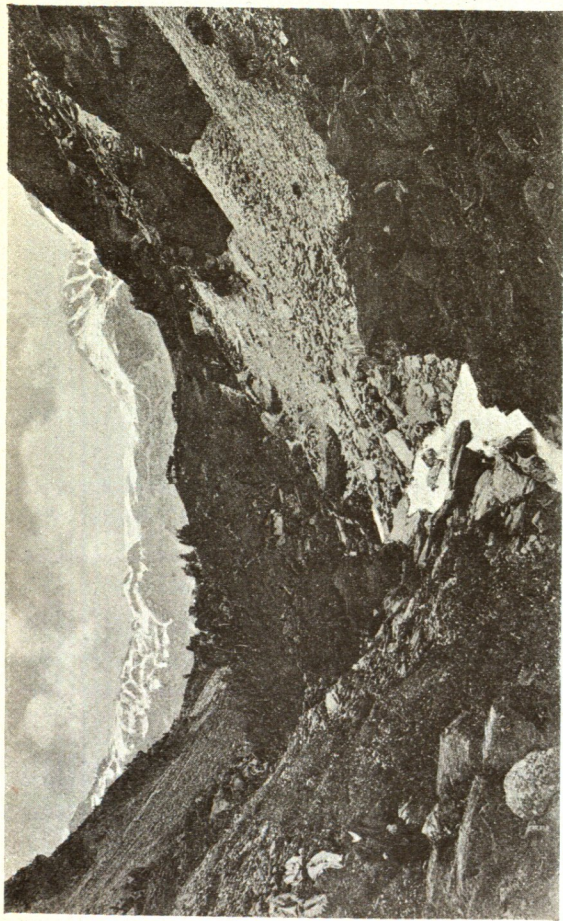
### § 5. Considerazioni pratiche sulla velocità di trasporto.

Dalle formole (8) e (9) si possono cavare le seguenti conclusioni.

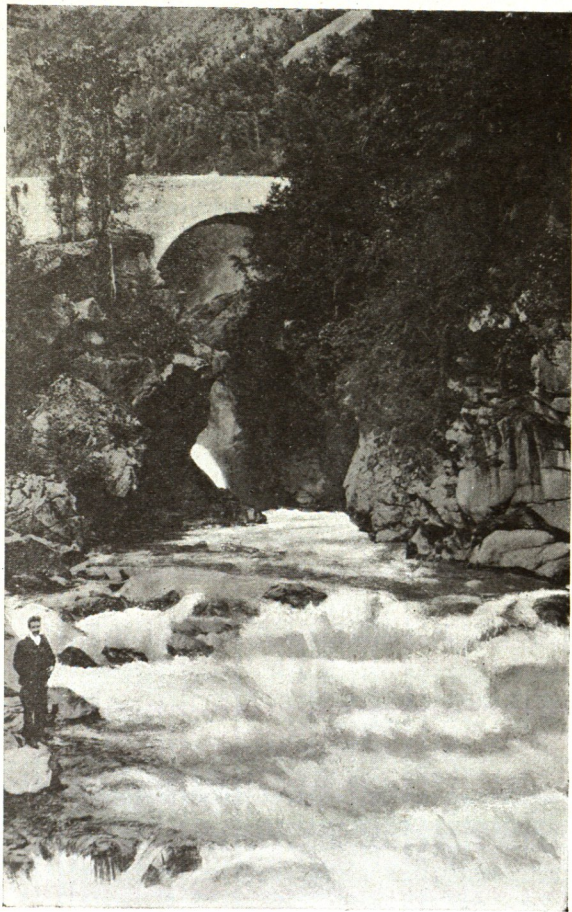
A parità di volume, quanto più compatte e quindi pesanti sono le pietre, tanto più difficilmente esse sono trasportate dall'acqua. Le pietre che sono disposte col loro asse più corto nella direzione della corrente, sono mosse più facilmente di quelle che hanno l'asse maggiore nella stessa direzione. Quindi quando si abbia la facoltà di disporre artificialmente una pietra sul fondo del torrente, in modo che ne sia meno facile lo smovimento, bisognerà collocarle in modo che la sua dimensione maggiore venga a trovarsi sull'asse longitudinale del torrente; e lo stesso dicasi quando devasi disporre la pietra stessa sul fondo, per assicurare il letto.

Poichè secondo i risultati dell'osservazione il coefficiente  $\beta$  della formola (9) assume un valore relativamente più grande per le pietre sferiche, il moto di queste, a parità delle altre circostanze, dovrebbe essere meno facile. Ma quando si rifletta che con questo ge-

← Carlo Valentini



Tav. 6. — Torrente Mallero (Valtellina).



Tav. 7. — Ancora il torrente Mallero (Valtellina).

nere di pietre la resistenza d'attrito diminuisce in modo straordinario, (poichè una pietra perfettamente sferica riposa sul fondo mediante un punto solo), allora riesce chiaro come simili pietre siano assai facilmente trasportate dall'acqua. Quando le pietre finiscono sopra o sotto corrente in punta, il loro moto è meno facile; e devesi notare che quando esse si allargano da monte a valle, allora opponendo all'urto una superficie minore, sono meno smovibili di quelle che si restringono. Inoltre devesi rimarcare, che a condizioni normali ed in conformità alle leggi del moto, le pietre vengono a depositarsi in modo che il loro asse più lungo riesce trasversale al letto del torrente, perchè nel momento che precede il loro arresto devono appunto trovarsi in questa posizione che è la più favorevole al loro moto.

Questa considerazione dà modo di indurre quale è stata la vera direzione delle correnti torrenziali nelle epoche geologiche passate.

Il Du Boys<sup>(24)</sup> nell'opera succitata, prendendo a considerare uno strato alluviale, dà per il suo equilibrio la formola

$$V \leq \frac{1}{n} \frac{1000 H i}{(d - 1) \operatorname{tag} a} \quad \text{Wangi pag 171} \quad (10)$$

nella quale  $V$  rappresenta in generale il volume di un ciottolo del peso specifico  $d$ ,  $n$  il numero dei ciottoli che vengono a trovarsi sparsi su un metro quadrato del suaccennato letto supposto orizzontale, ed  $a$  l'angolo di cui il detto letto dovrebbe appunto inclinarsi nell'acqua stagnante, prima che i ciottoli comincino a scivolare o rotolare.

Se si indica con  $n \cdot V = e$  lo spessore medio dello strato alluviale, in modo che si possa ritenere che la massa degli  $n$  ciottoli sia uniformemente ripartita e di-

stesa sulla superficie di  $i$  metroquadrato formandovi uno strato dello spessore  $e$ , allora la formola (10) si converte nella seguente:

$$e \leq \frac{1000 Hi}{(d-1) \operatorname{tang} \alpha} \quad (11)$$

Dalle formole (10) e (11) sebbene esse siano basate sull'ipotesi di un fondo orizzontale che si inclina artificialmente, pur tuttavia si possono dedurre le conclusioni che si verificherebbero qualora si avesse il caso naturale veramente favorevole al moto, ovverosia il caso di un fondo inclinato; e si vede che a parità delle altre circostanze i ciottoli si moveranno tanto più facilmente quanto più piccolo è il loro volume e in quanto maggior numero sono distesi sul metro quadrato. E si può pure desumere che indipendentemente dalla forma e grandezza dei ciottoli, la forza della corrente che si richiede per metterli in movimento è proporzionale al medio spessore dello strato alluviale, e cioè che quanto più è piccolo lo spessore dello strato, tanto più facilmente la corrente supposta di forza costante ne provocherà il moto. Sta per altro anche sempre il fatto, che quanto più piatte sono le pietre che coprono il fondo tanto più difficilmente l'acqua le mette in moto, perchè è notorio che in un dato corso d'acqua si richiede una piena maggiore per mettere in moto le materie del fondo quando queste sono lisce e levigate che quando sono ruvide e greggie.

Come si vede chiaramente dalle formole (8) e (9) il peso specifico  $\gamma$  della massa liquida esercita una straordinaria influenza sul moto della pietra. L'aumento del peso specifico del liquido agisce in doppio senso provocando il moto della pietra, perchè mentre da una parte serve a diminuire il numeratore, dall'altra aumenta il denominatore. Infatti supponendo fermi gli

altri elementi e prendendo a considerare solo l'espressione  $\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}}$ , se si ammette che  $d = 2000$  kg. per ogni metro cubo, e per il liquido si prende l'acqua limpida cioè  $\gamma = 1000$ , la suaccennata quantità assume valore

$$\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2000-1000}{1000}} = \sqrt{1,00} = 1$$

Ma se l'acqua si intorbida, ossia si carica di fango e di materie, allora il suo peso specifico aumenta e supponendo che diventi 1200, la detta espressione

$$\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2000-1200}{1200}} = \sqrt{\frac{800}{1200}} = \sqrt{\frac{2}{3}} = 0,8 \text{ circa.}$$

Se poi  $\gamma$  assume il valore 1600 kg., allora l'espressione

$$\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2000-1600}{1600}} = \sqrt{\frac{400}{1600}} = 0,5$$

Qualora poi il corso d'acqua assumesse la consistenza di una corrente lavosa, allora il suo peso specifico può raggiungere 1800 kg. e l'espressione del radicale può diventare solo  $\frac{1}{3}$  del valore che corrisponde all'acqua limpida.

Le precedenti cifre dimostrano la grande mobilità delle pietre nel caso in cui si muovano in un liquido specificamente più pesante. Ciò spiega pure il fenomeno che le correnti lavose o fangose, le quali assumono la consistenza di una poltiglia dotata di peso specifico assai alto, possano smuovere anche massi di pietra di volume straordinario e pure blocchi grossi come case trasportandoli per notevoli percorrenze. È inoltre da rilevarsi che in seguito della eccezionale perdita di peso le pietre

galleggiano con maggiore facilità, senza poi dire che in pari tempo l'eventuale coefficiente  $f$  d'attrito delle pietre stesse sul fondo può scendere a un valore molto basso.

La formola (9) dimostra pure che il peso specifico della pietra esercita una sostanziale influenza sulla sua mobilità, in quanto che le pietre di peso specifico maggiore sono, a parità delle altre condizioni, mosse dall'acqua più difficilmente, delle pietre specificamente più leggere. E questo può accadere anche quando la pietra di peso specifico maggiore sia più piccola di un'altra tanto da avere un volume e un peso assoluto minore dell'ultima.

Infatti due pietre di forma anche consimile, ma di dimensioni e di peso specifico diversi, a parità delle altre condizioni, restano ferme in una corrente, quando permanga l'eguaglianza delle espressioni relative alle pietre stesse e desunte dall'equazione (9), ossia quando sussista l'eguaglianza

$$\sqrt{\frac{(d_1 - 1000) \beta b_1 f \cos a}{1000}} = \sqrt{\frac{(d_2 - 1000) \beta b_2 f \cos a}{1000}}$$

ossia quando

$$(d_1 - 1000) b_1 = (d_2 - 1000) b_2$$

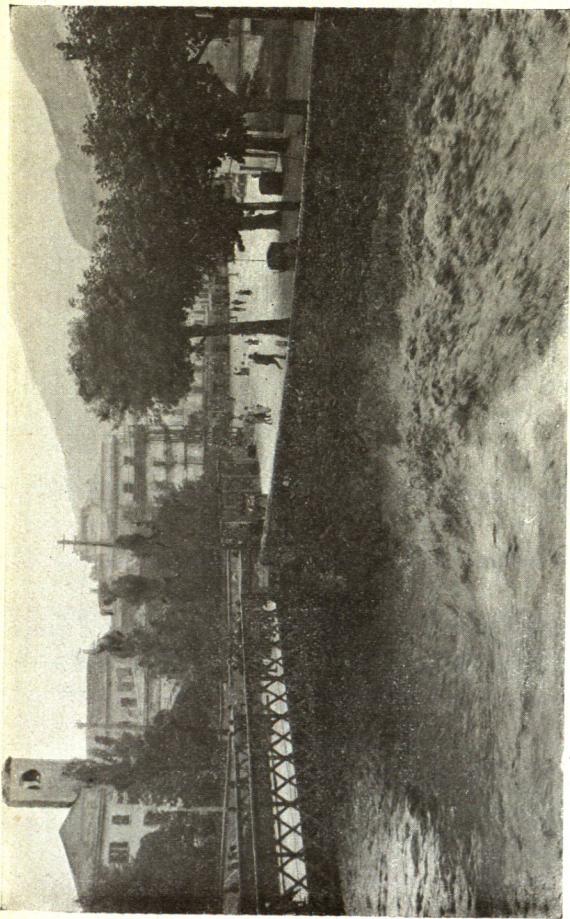
e quindi, quando

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{d_2 - 1000}{d_1 - 1000} \quad (12)$$

Veramente, con ciò, si ammette che le quantità  $\beta, f$  e  $\cos a$  non cambino, il che non si verifica specialmente per il coefficiente  $\beta$  relativo alla forma della pietra e che come abbiamo visto dipende anche dalla *nonpressione*, la quale diminuisce con la lunghezza della pietra.

Se supponiamo, per semplificare la cosa, che le due





Tav. 8. — Torrente Mallero al Ponte Nuovo in Sondrio, durante la piena del 21-22 agosto 1911.

pietre considerate abbiano la forma di un cubo, allora i loro due volumi  $V_1$  e  $V_2$  staranno fra loro

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{b_1^3}{b_2^3} = \frac{(d_2 - 1000)^3}{(d_1 - 1000)^3}$$

e i loro pesi assoluti

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{V_1 d_1}{V_2 d_2}$$

ossia

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{(d_2 - 1000)^3}{(d_1 - 1000)^3} \frac{d_1}{d_2}$$

Se supponiamo che le due pietre siano rispettivamente l'una granitica e l'altra calcarea, allora essendo per il granito  $d_1 = 2800$  kg. e per il calcare  $d_2 = 2400$  kg. per ogni metro cubo, otteniamo

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1,4^3}{1,8^3} = \frac{2,74}{5,83} = 0,47$$

*Wang I pag 175*

e

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{1,4^3}{1,8^3} \frac{2,8}{2,4} = 0,47 \cdot 1,17 = 0,55$$

ossia le due pietre staranno ambedue ferme, finchè i loro lati staranno rispettivamente nel rapporto

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{1,4}{1,8} = \frac{7}{9}$$

ossia finchè il lato del cubo di granito sarà eguale a  $\frac{7}{9}$  del lato del dado calcareo. E in questo caso starà ferma anche la pietra di granito, quantunque il suo volume sia soltanto  $= 0,47$  del volume della pietra calcarea, e il suo peso assoluto sia soltanto  $\frac{55}{100}$  del peso dell'altra.

Naturalmente la pietra di granito starà, a maggior ragione, ferma, ogni qualvolta  $b_1 > \frac{7}{9} b_2$ , perchè allora il suo peso assoluto cresce. Quando invece il valore di  $b_1$  diminuisca sotto  $\frac{7}{9} b_2$ , allora la condizione di equilibrio non regge più e la pietra di granito, quantunque specificamente più pesante, ma assai meno voluminosa e di minor peso assoluto della pietra calcarea, sarà messa in movimento.

L'indagine delle condizioni, sotto le quali le pietre si mettono in movimento, diventa naturalmente assai più complicata, quando non si tratta più di una pietra isolata, ma di una pietra commista e incastrata con le altre sul fondo. A questa ricerca, che conduce alla scoperta della legge che regola la erosione, si oppongono difficoltà straordinarie.

Tuttavia mediante le seguenti considerazioni, riesce possibile di determinare almeno in modo approssimativo le norme che regolano il fenomeno della erosione, e quindi anche quello importantissimo della mutabilità del fondo.

Wang I, pag 176

### § 6. Velocità limite di trasporto e saturazione della corrente.

Dalle precitate formole (8) e (9) si desume che sotto certe condizioni di pendenza e di attrito, ad ogni qualità di pietra di data densità, grandezza e forma corrisponde una determinata velocità media tale, che finchè essa permane nella sezione, quella pietra resta ancora ferma; e appunto per questo motivo quella velocità si può definire *la velocità limite di trasporto* della pietra stessa.

Il valore di questa *velocità limite di trasporto* si può dedurre dall'equazione

$$v = \sqrt{\frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b \cdot \cos a}{\gamma}} \quad (13)$$

Quando per qualsiasi fenomeno, come frane, distacchi di monte ecc. il materiale arriva nel letto del torrente, le sostanze terrose vengono disciolte e restano sospese nell'acqua conservando a un dipresso la sua velocità.

Se si considera una pietra di un certo peso specifico, alla quale corrisponde una data velocità-limite e se si suppone che questa sia maggiore della velocità media della corrente, allora quella pietra rimane ferma, mentre il materiale a cui corrisponde un valore minore della velocità-limite, e che quindi è più leggero e più piccolo, viene trasportato dall'acqua, e prescindendo dall'influenza della forma lo è con moto tanto più rapido, quanto più esso è piccolo e leggero, restando però sempre fermo il principio che il pietrame si muove più lentamente dell'acqua.

Ad ogni data velocità della corrente, si riscontra una separazione del materiale e del detrito in due gruppi, cioè in quello che sia fermo e in quello che, tenuto conto del suo peso, della sua grandezza e della sua forma, viene trasportato dalla corrente. Ad ogni variazione della velocità corrisponde un aumento od una diminuzione del materiale trasportato, e sempre durante il cammino della corrente, avviene un sorteggio del materiale, in guisa che quello più piccolo e leggero sta avanti e più presso alla superficie, mentre quello più grosso si muove meno rapidamente e più vicino al fondo e quello ancora più grosso e pesante si arresta sul fondo. Non è escluso però che, negli intervalli, fra il materiale più grosso, venga a trovarsi trasportato anche del materiale più minuto.

Dalla descrizione del suesposto sorteggio risulta dimostrato come pure avvenga in misura diversa l'arrotondamento del materiale, in quantochè i blocchi più grossi vengono a levigarsi maggiormente sia perchè si toccano reciprocamente fra loro e investono il fondo, mentre sono urtati anche dalle pietre più piccole che

li raggiungono e precorrono. Invece il pietrame più piccolo siccome si muove da solo e cammina con la corrente, conserva meglio la sua forma originaria coi suoi spigoli e i suoi angoli: tuttavia esso pure a lungo andare si consuma e si assottiglia.

Il suddescritto sorteggio del materiale, il quale fa sì che, anche serbandosi costante la velocità, il materiale minuto precorra e in complesso non si urti reciprocamente nella sua marcia, dà luogo al *trasporto parziale o distinto delle materie* e che come si disse nel § 4 è ben diverso del *trasporto in massa*.

Questo processo di separazione a sorteggio del materiale si verifica in complesso su ogni corso d'acqua dalla sua origine alla sua foce. Così, per es., il fiume Po trasporta ciottoli e pietre grosse come un pugno, fin sotto lo sbocco dei torrenti Trebbia e Chiavenna, cioè fin presso Piacenza e Cremona, ghiaie fino allo sbocco del Taro (presso Parma), sabbie fino al suo delta e limo presso al suo sbocco nell'Adriatico.

Naturalmente il materiale trasportato si tiene in marcia, finchè la velocità della corrente si conserva superiore alla *velocità limite di trasporto*. Ma quando la velocità media del torrente diminuisce per qualsiasi motivo, per es. per un aumento delle resistenze al moto, allora naturalmente per una parte del materiale trasportato, e propriamente per quello più grosso e pesante, cessano le condizioni che lo mantenevano in movimento ed esso deve arrestarsi.

In seguito di una graduale diminuzione di velocità, deriva un graduale arresto delle materie in modo che quelle più grosse vengono a depositarsi a monte e quelle più minute sottocorrente.

Le precedenti considerazioni portano direttamente al concetto «*di una corrente d'acqua satura di materie*».

Quando la media velocità della corrente sorpassa il valore della velocità-limite di trasporto che corrisponde

al materiale che si trova accumulato sul fondo del corso d'acqua, allora è possibile che una parte di questo materiale si metta in movimento tanto più rapido, quanto maggiore è la differenza della media velocità dell'acqua sulla velocità limite di trasporto. Siccome però quando l'acqua si carica di materie, la sua velocità diminuisce secondo il principio contenuto nella formola (3), così l'acqua non può caricarsi al di là di un certo limite, perchè essa si può intorbidare solo finchè la sua velocità media non è scesa sotto il valore della detta velocità limite di trasporto.

Nel momento in cui queste due velocità sono divenute eguali, allora non può più avvenire escavazione, nè deposito, e l'acqua ha raggiunto il suo *grado di saturazione*.

Un esempio chiarirà meglio quanto si è ora esposto. Sia, per supposto, la velocità media del torrente eguale a m. 9,75 al minuto secondo, e sia invece la velocità limite di trasporto del materiale che si trova nell'alveo eguale a m. 4,00. Allora il grado di saturazione, nella supposizione che il materiale del fondo sia entrato in movimento, si verifica quando la velocità media dell'acqua è diminuita fino a divenire eguale alla seconda.

Dalla formola (3) si desume l'eguaglianza

$$4 = 9,75 \frac{1000}{1000 + a(d - 1000)}$$

Se ammettiamo che il valore di  $d$  sia 2400, allora

$$4 = 9,75 \frac{1000}{1000 + a \cdot 1400}$$

da cui si desume  $a \equiv \frac{5750}{5600}$  ossia approssimativamente

$a = 1$  ossia in questo caso il grado di saturazione si verificherà quando il torrente sottrarrà dal suo alveo e metterà in movimento un volume di materia approssimativamente eguale al volume dell'acqua corrispondente

a quello che passa per ogni minuto secondo dalla considerata sezione, quando il deflusso è limpido.

Dalle suaccennate formole del Du Boys (vedi § 5) relative al movimento degli strati alluviali, si rileva che uno strato dello spessore  $e$  si muoverà molto lentamente e assai più adagio di diversi strati più sottili, i quali abbiano insieme lo spessore  $e$ . È evidente che lo smovimento e il trasporto del primo straterello avverrà molto facilmente e rapidamente e così resterà pure agevolato quello degli strati sottostanti.

Risulta pure evidente che quando si ha uno strato alluviale costituito di materie di grossezza abbastanza uniforme, il cui valore della velocità-limite di trasporto sia all'incirca eguale alla velocità effettiva dell'acqua, le materie dello strato si potranno muovere solo in parte e lentamente, e invece non si muoveranno affatto quando la detta velocità limite sarà maggiore. Se poi lo strato viene suddiviso in diversi altri, ognuno dei quali mostri alla superficie qualche materiale più piccolo, allora ognuno di questi straterelli si muoverà più facilmente; però quelli inferiori meno, in ragione della diminuzione della velocità che subirà la corrente a mano a mano che andrà caricandosi di materie.

*Wang I, pag 180*

**§ 7. Leggi che regolano l'erosione del fondo  
e la formazione del profilo longitudinale.**

Le precedenti considerazioni sono tutte basate sul supposto che si tratti sempre di pietrame che si trova isolato sul fondo. Ma già si è notato che la difficoltà è ben più grande, quando si vogliano determinare in forma analitica i fenomeni dell'erosione nel loro complesso, poichè questa si esercita su materiale che si trova agglomerato alla rinfusa sul fondo.

Tuttavia partendo dalle ricerche suesposte sulla ve-

locità dell'acqua e sulla saturazione della corrente con materie, si arriva a stabilire le seguenti norme generali sulla erosione, le quali fino a un certo grado sono anche fondate matematicamente.

1<sup>o</sup> Quando la velocità media della corrente crea un urto d'acqua tale, formola (5), da superare la resistenza del fondo, allora deve subentrare il fenomeno della erosione.

2<sup>o</sup> Ogni aumento del materiale trasportato, produce a parità delle altre condizioni una diminuzione della velocità media (vedi formola 3) e quindi anche dell'urto dell'acqua e dell'azione erosiva, prescindendo però dal fatto che il materiale che cammina strisciando sul fondo provoca per sè stesso erosione.

Restando ferme le altre condizioni, l'acqua chiara e limpida possederà sempre un potere erosivo maggiore di quella torbida.

3<sup>o</sup> Tosto che la velocità media della corrente, in seguito al crescere del suo grado di torbidezza dipendente dall'attività erosiva del torrente, diminuisce fino al valore della velocità-limite di trasporto corrispondente al materiale che si trova sul fondo, l'acqua perde il suo potere erosivo, perchè non ha più la forza di trasportare il materiale. Allora fra la forza dell'acqua e la resistenza del fondo si stabilisce una specie di equilibrio che in certo qual modo garantisce la stabilità del fondo.

4<sup>o</sup> Questo stato di equilibrio si traduce in qualche modo in una certa regolarità del profilo longitudinale.

Infatti, quando l'acqua del torrente scorrendo uniformemente colla velocità corrispondente a quel materiale di cui è satura arriva a un dato punto *A*, vedi fig. 3, e tutte le condizioni del torrente rimangono invariate, allora, tanto in quel punto quanto a valle del medesimo, non avverranno nè depositi nè scavi e la forma del profilo longitudinale non subirà nessuna variazione. Questa immutabilità di fondo potrà sussistere



anche quando il fondo a valle del punto *A*, ferme le altre condizioni, fosse costituito di materiale più minuto ma di peso specifico eguale, vedansi fig. 4 e 5. Il valore della velocità media dell'acqua allora supererebbe la velocità limite corrispondente al materiale più piccolo e questo potrebbe venire smosso. Ma contemporaneamente, a motivo di questo maggior intorbidamento, avverrebbe una diminuzione della velocità della corrente e l'acqua non sarebbe più in grado di convogliare oltre tutto il materiale più grosso trasportato fino al

*Pelo d'acqua*

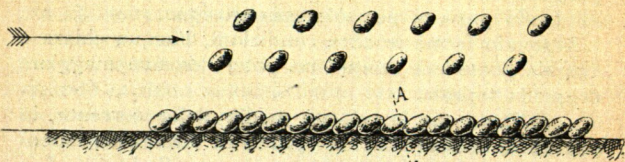
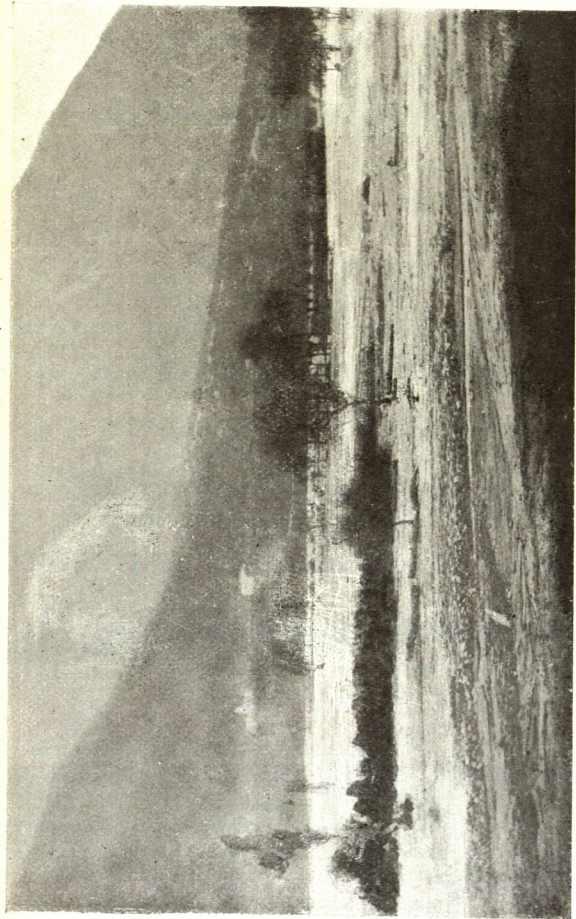


Fig. 3.

punto *A*. Al posto del materiale più minuto sollevato sotto *A* dovrebbe quindi depositarsi una parte del materiale più grosso portato fino al punto *A*, fig. 5. Avverrebbe quindi in certo qual modo sotto il punto *A*, uno scambio di materiale, ma la forma del profilo longitudinale non muterebbe.

Il valore di quella pendenza che in quelle date effettive condizioni dà luogo al trasporto costante e imperturbato di quelle masse di materie, in modo che lo stato del fondo fino a un certo grado non varia, è la così detta « *pendenza naturale* » che fu da Breton<sup>(26)</sup>

<sup>(26)</sup> PHILIPPE BRETON, « Memoire sur les barrages de retenue des graviers dans les gorges des torrents »; Paris, 1867.



Tav. 9. — Fiume Adda nella pianura di Ardenno (Valtellina) durante la piena del 21-22 agosto.

definita « *profilo di compensazione* » « *profil de compensation* » e da Surell (3) « *pendenza limite* » « *pente limite* ». È evidente che anche l'acqua chiara e limpida avrà la sua *pendenza naturale*, alla quale il fondo si manterrà invariato e non verrà eroso, e poichè quando

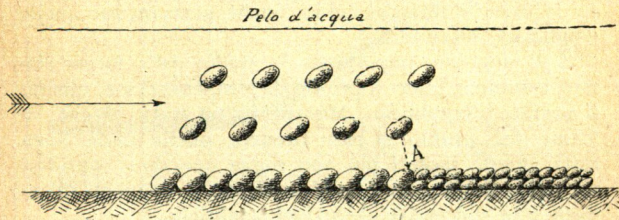


Fig. 4.

Wang I, pag 182

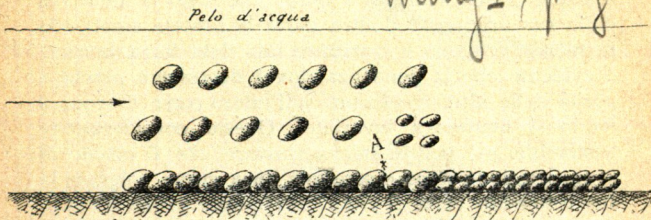


Fig. 5.

l'acqua si trova in questo stato possiede un potere erosivo maggiore di quando è torbida, è chiaro che la pendenza naturale dell'acqua limpida dovrà essere minore affinché l'eccesso della forza della corrente sia paralizzato dal difetto della pendenza.

La pendenza naturale che corrisponde all'acqua limpida, rappresenta propriamente il valore minimo di quella corrente e fu da Breton chiamata « *profilo*

*d'equilibrio* ». Mentre col profilo di compensazione può sempre avvenire la permuta di materie rappresentata dalla Tav. 5, questo scambio non può più naturalmente aver luogo in una corrente che abbia raggiunto il profilo d'equilibrio, perchè in questa non si ha più nessun trasporto di materie. Invece con ambedue i profili si ha la invariabilità del fondo, finchè permangono quelle condizioni effettive.

È di singolare importanza lo studio della forma che può assumere tanto il profilo di compensazione, quanto il profilo d'equilibrio. Mentre su un tratto breve, la forma del profilo si può ritenere quella della linea retta, questa ipotesi più non regge quando si consideri un tratto lungo, come lo dimostrano le seguenti riflessioni e le successive deduzioni analitiche.

Infatti siccome in generale la portata di un corso d'acqua cresce a mano a mano che esso si allontana dalla sua origine, e d'altra parte la portata stessa e la pendenza vengono a costituire una data forza motrice, è evidente che la pendenza dovrà decrescere perchè a parità delle altre condizioni sull'intero corso d'acqua il fondo si mantenga invariato. Questa considerazione basterebbe già per sè sola a provare che il profilo di compensazione deve essere una linea curva volgente la sua concavità verso il cielo. Ma questa forma è riconfermata anche dalla riflessione che il materiale che va depositandosi sul letto del torrente deve subire la legge del naturale processo di sorteggio, già più sopra accennato, in modo che il materiale più grosso si arresti a monte e quello sottile a valle. In tutti i casi dunque nei quali facendo astrazione dalla curvatura della sfera terrestre, il profilo del corso d'acqua presenta la detta concavità, si può concludere che tanto il corso d'acqua stesso quanto il suo profilo si sono sviluppati in modo normale e naturale.

Egli è certo che — senza nulla poter asserire di as-

soluto sulla precisa forma che assume il profilo longitudinale di un corso d'acqua quando ha il suo svolgimento naturale e continuo, e che alcuni scienziati ritengono essere parabolica ed altri cicloidale — non si

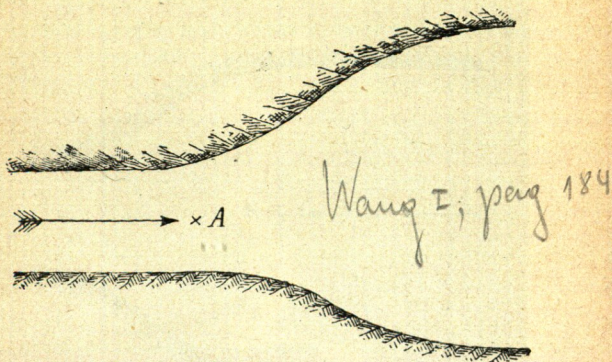


Fig. 6.

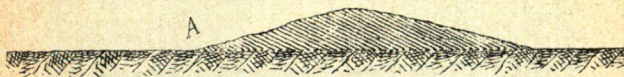


Fig. 7.

può certo presumere che la detta continuità e regolarità di profilo, la quale sempre presuppone una data costanza di rapporti nei deflussi e nelle sezioni, possa, almeno d'ordinario, riscontrarsi nei torrenti, nei quali sono tanto frequenti le variazioni di ogni genere.

Ed è naturale che quanto più grandi saranno queste variazioni, altrettanto maggiori saranno le irregolarità del profilo longitudinale, la cui continuità poi nei tor-

renti è spesso turbata anche da ostacoli insormontabili come banchi rocciosi, od anche da opere artificiali come le briglie o serre, ecc.

Quando, per es., l'acqua satura di materie arriva ad un punto *A* (vedi fig. 6 e 7), dove per una ragione

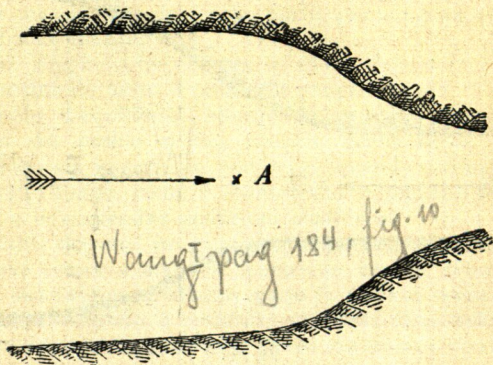


Fig. 8.



Fig. 9.

qualsiasi vi sia un allargamento di sezione, perde velocità e quindi non sarà più in grado di trasportare avanti il materiale convogliato fino in *A*, e parte del materiale stesso, e propriamente quello più grosso e pesante, si depositerà. La massa delle materie che proseguirà sotto *A* sarà minore di quella che arriverà al punto stesso e il profilo invece della sua forma naturale



Tav. 10. — Torrente-burrone Bragonera che con la sua alluvione del giorno 26 giugno 1910 ha sbarrato la Strada Nazionale della Bregaglia ed il torrente Mera (Valtellina).



Tav. II. — Il torrente Mera convertito in lago per le alluvioni del burrone Dragonero (26 giugno 1910).



segnata con linea a tratti nella fig. 7, assumerà l'andamento della linea continua.

Il fenomeno inverso avverrà quando nel punto *A* (vedi fig. 8 e 9) o per un restringimento di sezione o per il contributo di un nuovo affluente, abbia luogo un aumento di velocità e quindi di forza della corrente; in questo caso la corrente si caricherà maggiormente

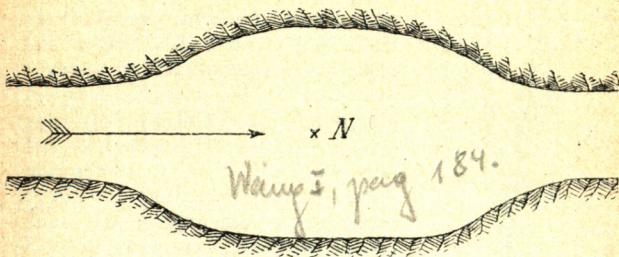


Fig. 10.



Fig. 11.

di materie, a spese di una erosione di fondo, e la massa delle materie convogliate dalla corrente crescerà sotto il punto *A*.

Si vede quindi come sia per causa di depositi, sia per causa di trasporti, il profilo di un torrente può divenire più dolce o più ripido. E si comprende pure che quando a un nuovo deposito venga immediatamente a susseguire uno scavo, o viceversa (vedi fig. 10 e 11), si avrà sempre un punto neutro *N* il quale apparterrà tanto al profilo originario che a quello nuovo.

È però degna di nota la tendenza che ha l'acqua di riprodursi il suo profilo naturale tosto che esso per qualsiasi motivo sia stato turbato.

Per vederne qualche esempio consideriamo il caso rappresentato nella fig. 12, dove, mentre la linea  $AB$  rappresenta il profilo naturale o di compensazione, sia attualmente, per un supposto qualsiasi vigente su un tratto del torrente di notevole lunghezza il profilo  $CDEF$ ; allora è evidente che dove si verifica la maggior pendenza  $CD$  avrà luogo una erosione e invece nel tronco di minor pendenza  $EF$  si formeranno depositi, mentre invece il breve tratto  $DE$  avente andamento parallelo al profilo di compensazione si manifesterà neutrale. Ma è evidente che proseguendo il suaccennato processo di erosioni e depositi, l'avvallamento  $CDEF$  tenderà a risalire in  $C'D'E'F'$  divenendo meno profondo e più lungo, e a poco a poco il punto  $F'$  ascenderà a monte di  $C$  in modo che nel tratto  $CF$  si troverà ristabilito il profilo naturale o di compensazione. Ed è pure ovvio che col tempo sparirà affatto ogni avvallamento.

In modo affatto analogo si comporterà il dosso  $HIKL$ , il quale andrà risalendo facendosi sempre meno rilevato e più lungo, in modo che col tempo sparirà affatto, e il profilo irregolare si convertirà in quello naturale di compensazione.



Fig. 12.

Ma quando i tratti  $CF$  e  $GK$  del torrente, vedi fig. 13, non sono sufficientemente lunghi, perchè il profilo non si possa sviluppare in conformità alla velocità dominante dell'acqua nel modo testè descritto, allora il processo dell'avvallamento o del dosso avverrà invece, con marcia da monte a valle.

In un cavo consimile l'acqua precipita improvvisamente da  $CD$  nella buca  $CDEF$  e incomincia a coroderne il fondo all'estremità inferiore spingendosi verso  $E'F'$ , perchè mentre le materie portate da  $AC$  si depositano a poco a poco in  $CD C'D'$ , invece la parte inferiore  $EFE'F'$  non può reggere all'azione dell'acqua, fattasi più corsiva perchè liberatasi dalle materie. Sotto il punto  $F$  si verificherà un profilo di transizione  $E'F'$ . Progredendo poi sempre più la scarpa  $C'D'$  verso la estremità inferiore della buca, la buca stessa col tempo finisce con lo sparire affatto, mentre il fondo a valle di  $F$  si trova lentamente approfondito e disposto secondo il profilo naturale o di compensazione.

In modo affatto analogo avverrà il processo che porterà alla conversione del dosso  $GHIK$ , fig. 13. A motivo dell'urto della corrente contro  $GH$ , il materiale viene ivi sollevato per depositarsi in  $IK$ , dove l'acqua è più tranquilla. Così il dosso prosegue ad allungarsi e ad

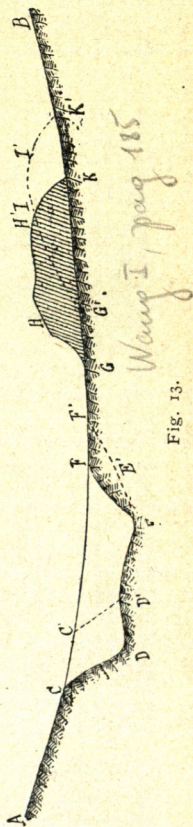


Fig. 13.

abbassarsi nello stesso tempo. Dunque anche in questi due casi, le irregolarità vanno sparendo e il profilo lentamente si converte in quello naturale di compensazione, come abbiamo visto accadere nei due tratti più lunghi precedentemente descritti.

Ora come abbiamo visto che nei tratti sufficientemente lunghi, il processo col quale si eliminano le irregolarità di profilo vanno operando da valle verso monte, e invece in quelli troppo corti la trasformazione avviene con marcia da monte a valle, vi devono naturalmente essere dei tratti di lunghezza intermedia, nei quali non deve avvenire nessun movimento della irregolarità, ma questa deve tendere ad elidersi sul posto soltanto a forza di successivi gradualissimi allungamenti, come appare manifesto dalla fig. 14.

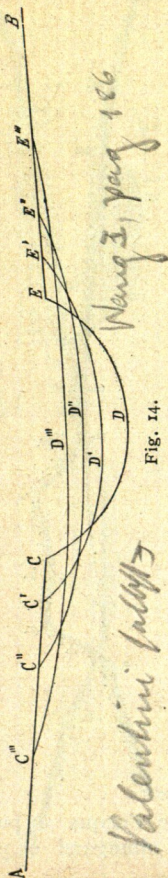
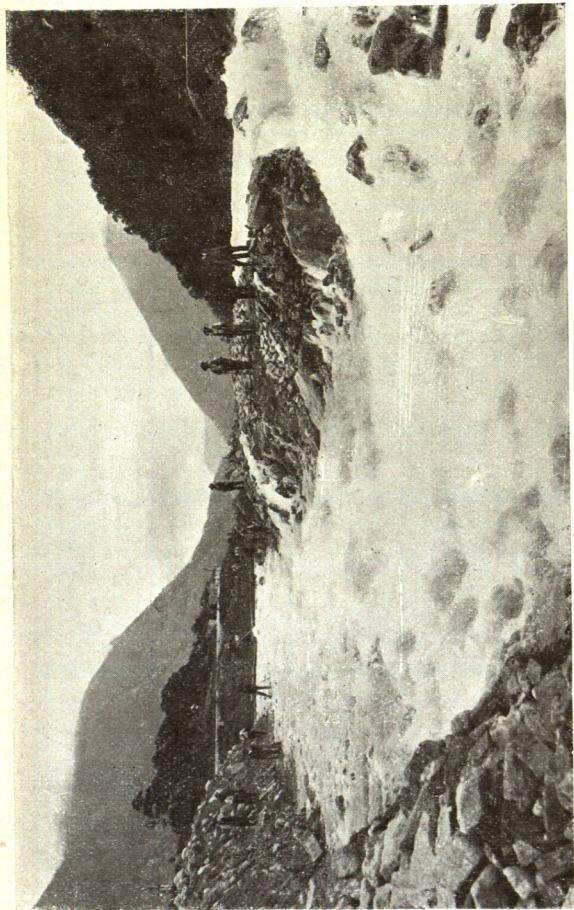


Fig. 14.

### § 8. Pendenza di compensazione e modo di determinare la sua influenza sulla erosione; pendenza di compensazione nella pratica.

È del più alto interesse il poter determinare almeno in modo approssimativo la *pendenza di compensazione* ovvero sia la pendenza naturale che spetta al torrente, quando esso si trova in quelle date concrete condizioni, affinché si possa conoscere quale profilo meglio ga-



Tav. 12. — Scavamento dell'alveo del torrente Mera di fronte alla confluenza del torrente Dragonera.

rantisca il torrente stesso dall'eventualità di erosioni, senza richiedere il bisogno di artificiale consolidamento.

Quantunque il problema offra notevoli difficoltà, perchè la sua soluzione esatta dipende da molteplici coefficienti, alcuni dei quali sono spesso incerti, pur tuttavia, come si vedrà più avanti, riesce sempre possibile di raccogliere elementi sufficienti per determinare nella pratica la pendenza di compensazione in via abbastanza prossimata.

Invece non è difficile trovare un'espressione tecnicamente esatta del valore di questa pendenza.

Infatti dalle precedenti considerazioni intorno alla saturazione delle correnti torbide, emerge che il fondo del torrente in qualsiasi punto si conserva intatto ogni qualvolta la velocità media nella corrispondente sezione trasversale ha il valore espresso dalla formola (13), ossia da

$$v = \sqrt{\frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

*Granz -  
sufficienza*

Ma, poichè in quella sezione la velocità media dell'acqua deve sempre avere il valore dato dalla formola generale del moto, che per semplificazione si ammette uniforme, ossia dalla formola  $v = c \sqrt{R \cdot i}$  e d'altra parte si può porre invece di  $i$  il seno dell'angolo di inclinazione  $\alpha$ , si ottiene l'eguaglianza

$$c \sqrt{R \cdot \sin \alpha} = \sqrt{\frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

ossia

$$\text{tag } \alpha = \frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b}{\gamma \cdot c^2 \cdot R}$$

Rammentando, come si è visto passando dalla formola (8) alla (9), che in media  $\beta = \frac{1}{0,076}$  e osservando che per il valore del coefficiente d'attrito  $f$  per le pietre su pietre si può ammettere  $f = 0,76$ , come pure si può

ritenere  $\gamma = 1000$ , la precedente formola diventa

$$\text{tag } a = \frac{d - 1000}{100} \frac{b}{c^2 R} \quad (14)$$

Indicando con  $H$  l'altezza d'acqua, allora si potrebbe anche invece di  $R$  scrivere  $mH$ , dove  $m$  è un coefficiente che in generale poco dipende dall'altezza  $H$  e che caratterizza la forma della sezione.

Per es. per una sezione rettangola di larghezza  $l$  e di altezza  $H$ , si avrebbe  $R = H \cdot \frac{l}{l + 2H}$ ; e quindi  $m = \frac{l}{l + 2H}$ . Per le sezioni di notevole larghezza, come per es. nei grandi fiumi,  $H$  è assai piccolo in confronto di  $l$ , epperchè si può ritenere  $m = 1$ .

Ad ogni modo quando si voglia porre  $R = mH$  la precedente formola (14) si converte nella seguente:

$$\text{tag } a = \frac{d - 1000}{100} \frac{b}{c^2 \cdot m \cdot H} \quad (15)$$

Da queste formole che esprimono teoricamente la pendenza di compensazione, si desumono le seguenti leggi speciali relative al fenomeno dell'erosione.

1. Quanto più le pietre di cui è costituito il fondo del torrente sono grandi, e più precisamente lunghe, (ritenendo per tale lunghezza la dimensione presa nel senso normale all'urto della corrente), tanto meno efficace sarà l'erosione; poichè, ferme le altre condizioni, queste pietre si mantengono sul fondo con una pendenza relativamente maggiore.

2. Quanto è maggiore il peso specifico  $\gamma$  della corrente, tanto minore diventa il coefficiente  $c$  della velocità, poichè esso, come si è visto dalla formola (4), diminuisce (nella ipotesi che aumenti il peso specifico del liquido) col decrescere della velocità media. Le acque chiare hanno quindi un potere erosivo maggiore di

quelle torbide, e questo potere diminuisce col crescere della torbidezza.

3. Quanto maggiore è l'altezza della piena o dell'acqua  $H$  (ovverosia il raggio medio  $R$ ) e tanto minore è la pendenza di compensazione e viceversa. Nel passare da un profilo stretto ad uno più ampio, l'altezza dell'acqua a parità delle altre condizioni diminuisce e quindi la pendenza deve crescere; e viceversa l'azione erosiva è maggiore in una sezione ristretta che in una sezione ampia. Ciò riconferma le osservazioni già illustrate colla tavola 6 e la fig. 2. Se quindi si vuole ottenere lo scopo che il pietrame e i detriti si mantengano sul posto dove il pendio è il maggiore possibile, bisognerà tendere a diminuire l'altezza della piena e della corrente in genere: dal che riesce evidente, anche in via analitica, la grande importanza delle coltivazioni in genere nei riguardi di una sistematica regolazione delle acque montane, e in particolare poi il valore del bosco a motivo della sua azione ritentiva.

4. A parità delle altre condizioni crescendo la portata da monte a valle, cresce pure l'altezza d'acqua, e invece la grandezza  $b$  diminuisce a motivo del continuo logorarsi del materiale nel suo trasporto. Ne deriva che la pendenza deve continuamente decrescere da monte a valle. Perciò il profilo longitudinale normale, come già è scaturito evidente dalle precedenti considerazioni, risulta ora anche in modo analitico comprovato che deve essere costituito da una linea curva volgente la concavità in alto.

Quando nelle suindicate formole (14) e (15) la quantità  $b$  assume il valore minimo corrispondente alle condizioni locali, allora anche la tangente di  $a$  assume il suo valore minimo. Se l'acqua fosse perfettamente limpida, allora supponendo  $b = 0$ , verrebbe esclusa ogni erosione quando il fondo avesse assunto un profilo di equilibrio orizzontale.



Quando il torrente sbocca dalla sua gola nella pianura in modo da poter innondare le campagne, allora l'altezza  $H$  assume il suo minimo valore. Invece la pendenza di compensazione diventa massima, in modo che il materiale si arresta sul fondo dotato della maggior inclinazione possibile. La detta pendenza fu da Breton<sup>(26)</sup> denominata *pendenza di divagazione*, « *pente de divagation* ». Questa e la pendenza d'equilibrio rappresentano gli estremi della scala di tutti i valori che può assumere la pendenza di compensazione.

Tanto la formola (14) quanto la (15) non si prestano a dare il calcolo della pendenza di compensazione nei casi pratici, in modo facile; e ciò specialmente a motivo della difficoltà di determinare il giusto valore del coefficiente  $c$  di velocità che non solo varia per ogni corso d'acqua, ma anche col suo grado di torbidezza come scaturisce chiaramente dalla formola (4), la quale dà anche il modo di calcolare il detto coefficiente  $c$  corrispondente a un certo grado di torbidezza quando si conosca l'analogo coefficiente per la stessa corrente limpida.

Perciò nella pratica conviene semplificare la ricerca.

L'autore<sup>(27)</sup> ha cercato di determinare il profilo di compensazione dei principali fiumi d'Italia e in un suo secondo lavoro<sup>(28)</sup> ha tentato di trovare una espressione più semplice per la pendenza di compensazione dei corsi d'acqua torrentizi. La formola dalla quale egli è partito è quella (14)

$$\text{tag } a = \frac{d - 1000}{100} \cdot \frac{b}{C^2 R}$$

trasformata nella seguente:

$$\text{tag } a = C \frac{b}{R} \quad (16)$$

(27) CARLO VALENTINI, « Della Sistemazione dei fiumi »; Milano, Hoepli, 1893.

(28) CARLO VALENTINI, « Del modo di determinare il profilo di compensazione e sua importanza nelle sistemazioni idrauliche »; Milano, Bernardoni, 1895.

dove  $C$  è una costante  $= \frac{d - 1000}{100 c^2}$ .

Inoltre egli ha ammesso, che — essendo troppo difficile il determinare con osservazioni abbastanza accurate il rapporto medio dei tre assi generalmente disegnati di ciascuna pietra — convenga in ogni caso supporre questa ridotta a forma cubica; per modo che nella detta formola (16) si deve ritenere che la lettera  $b$  esprima il lato del cubo in cui è convertita la pietra di media grandezza.

Per calcolare poi numericamente la quantità  $b$  è ovvio che quando si tratta di materiale di notevole grossezza bisogna procedere alla misura di ciascuna pietra isolatamente; quando invece si tratta di materiale non grosso, mentre sarà sempre possibile di fare la misura pietra per pietra, tuttavia sarà sempre più conveniente di ricorrere (mediante apposita cassa prismatica) alla misura di una data massa di materiale; e questo ultimo sistema sarà tanto più opportuno quanto più il materiale sarà piccolo. Allora, liberata la massa di tutta la materia terrosa e sabbiosa, si sostituisce la materia stessa, riempiendo la cassa con un volume equivalente d'acqua; e la differenza fra il volume, già ben noto, di tutto il prisma della cassa e il volume dell'acqua che si è introdotta nella cassa, costituisce il volume netto  $V$  di tutto il materiale. Cosicché ritenuto che  $n$  sia il numero delle pietre che formano il totale ammasso del materiale, risulterà:  $b^3 = \frac{V}{n}$ .

La determinazione del coefficiente  $C$  della formola (16) u fatta dall'autore pei principali corsi d'acqua della Valtellina, mediante il metodo dei minimi quadrati, cioè ritenendo che sia un minimo la somma dei quadrati degli errori che si ottengono, scrivendo le equazioni corrispondenti a ciascuno dei detti corsi d'acqua, ossia:

$$\varepsilon_1 = \text{tag } a_1 - C \frac{b_1}{R_1}, \quad \varepsilon_2 = \text{tag } a_2 - C \frac{b_2}{R_2}, \text{ ecc.};$$

il che porta alla condizione  $\frac{d \Sigma \varepsilon^2}{d C} = 0$  ossia all'equazione:

$$\frac{d \Sigma \varepsilon^2}{d C} = - 2 \Sigma \frac{b}{R} \operatorname{tag} a + 2 C \Sigma \frac{b^2}{R^2} = 0$$

e quindi a:

$$C = \frac{\Sigma \frac{b}{R} \operatorname{tag} a}{\Sigma \frac{b^2}{R^2}} . \quad (17)$$

Allora applicando separatamente questa formola tanto ai principali torrenti della Valtellina, che sono in numero di 74, quanto ai fiumi Adda e Mera che ne sono i recipienti e che sono troppo diversi dai loro affluenti specialmente per la pendenza e per la grossezza del materiale convogliato, la formola (16) pei fiumi è risultata:

$$\operatorname{tag} a = 0,871 \frac{b}{R} , \quad (18)$$

e pei torrenti:

$$\operatorname{tag} a = 0,093 \frac{b}{R} . \quad (19)$$

È inoltre da avvertire che il fiume Adda era stato decomposto in quindici tronchi e il Mera in tre; per ciascuno dei quali rispettivamente la pendenza variava da un massimo di 0,0217 a un minimo di 0,00005 per ogni metro lineare pei fiumi, e invece da un massimo di 0,4266 (Val Melera) a un minimo di 0,0180 (Frodolfo) pei torrenti. Il raggio mediò  $R$  variava da 5<sup>m</sup>,50 a 0<sup>m</sup>,60 pei fiumi, e da 4<sup>m</sup>,30 a 0<sup>m</sup>,10 pei torrenti. Infine la grossezza delle pietre andava da 0<sup>m</sup>,046 a 0<sup>m</sup>,007 pei fiumi, e invece da 1<sup>m</sup>,14 a 0<sup>m</sup>,05 pei torrenti.

Gravelius <sup>(20)</sup> ha verificato gli error che si ottenevano

<sup>(20)</sup> Dott. H. GRAVELIUS, « Das Compensationsprofil »; Zeitschrift für Gewässerkunde, 2 Heft, 1899. S. 115.

per la pendenza di compensazione, applicando le suaccennate due formole (18) e (19) ed ha trovato che la pendenza calcolata con le formole stesse differiva da quella effettiva di un errore, che non superava l'11 % perchè gli errori stavano contenuti nei fiumi, fra gli estremi dati dalla formola:

$$\operatorname{tag} a = 0,871 \frac{b}{R} (1 \pm 0,108) \quad (20)$$

e nei torrenti dall'altra formola:

$$\operatorname{tag} a = 0,093 \frac{b}{R} (1 \pm 0,106) \quad (21)$$

Questi errori si possono poi ritenere trascurabili, data la grande difficoltà di determinare esattamente la quantità  $b$ .

A proposito di questa quantità  $b$  poi occorre di fare una avvertenza importante. Teoricamente bisognerebbe determinare la grossezza del materiale medio; ma invece considerando che mentre l'alzamento del letto terminerà solo quando la pendenza sarà diminuita al punto da impedire il trasporto e quindi anche il deposito dei materiali più grossi, d'altra parte le intumescenze moderate sbarazzeranno il fondo dei materiali più minuti finchè resteranno solo i materiali più grossi che funzioneranno da platea impedendo il trasporto degli strati che essi ricoprono, nella pratica converrà prendere la dimensione  $b$  dei materiali più grossi, scartando naturalmente quelli di dimensioni eccezionali e che non sono trasportati dalla corrente, ma caduti dai fianchi del torrente.

Un altro metodo ancora più semplice per determinare il profilo di compensazione è quello proposto da Thiéry nella sua opera già succitata <sup>(21)</sup>; però esso non può applicarsi che nei casi nei quali sul torrente che si considera già vi sia qualche tronco su cui la pendenza di compensazione si sia stabilita in modo naturale da

tempo più o meno lungo (il che si potrà comprendere anche dal colore oscuro che presentano i depositi non più recenti) e inoltre per il tronco di cui si vuole determinare la pendenza di compensazione possa reggere il confronto del tronco preaccennato per stato di torrenzialità, ossia questo stato resti costante.

Infatti il metodo di Thiéry parte dal supposto che si possano ritenere costanti in ambedue i tronchi non solo le quantità  $d$  e  $c$ , ma anche la quantità  $b$  della formola (14); il che equivale a dire che si possano ritenere costanti la qualità, la quantità e la grossezza dei materiali.

Allora se si ammette

$$\frac{d - 1000}{100} \frac{b}{c^2} = A$$

e se si ritiene che per il tronco a pendenza già stabilita sia:

$$\text{tag } a = \frac{A}{R}$$

per l'altro tronco, di cui invece si cerca la pendenza, sarà:

$$\text{tag } a_1 = \frac{A}{R_1}$$

e quindi si potrà scrivere la relazione:

$$\frac{\text{tag } a}{\text{tag } a_1} = \frac{R_1}{R}$$

Ma questa formola non può sussistere che quando le velocità medie dei due tronchi considerati siano eguali; poichè se ciò non fosse, siccome possiamo sempre porre  $\frac{\text{tag } a}{\text{tag } a_1} = \frac{i}{i_1}$ , nemmeno potrebbe essere la eguaglianza  $\frac{\text{tag } a}{\text{tag } a_1} = \frac{R_1}{R}$  la quale non può derivare che dalla condizione che siano eguali rispettivamente le

espressioni delle velocità  $v$  e  $v_1$ , ossia che siano eguali  $v = c \sqrt{Ri}$  e  $v_1 = \sqrt{R_1 i_1}$ .

Allora dovendo essere forzatamente eguali  $v$  e  $v_1$  si avranno anche le seguenti eguaglianze :

$$\frac{Q}{F} = \frac{Q_1}{F_1} \quad \text{ossia} \quad \frac{F_1}{F} = \frac{Q_1}{Q}$$

dove  $Q$  e  $Q_1$  sono le portate ed  $F$  e  $F_1$  sono le superficie bagnate.

Denominando poi con  $C$  e  $C_1$  i perimetri bagnati, poichè i raggi medi  $R$  ed  $R_1$  sono rispettivamente

$$R = \frac{F}{C} \quad \text{e} \quad R_1 = \frac{F_1}{C_1}$$

sostituendo al rapporto  $\frac{F_1}{F}$  il rapporto  $\frac{Q_1}{Q}$  che abbiamo visto testè essere eguali, potremo scrivere :

$$\frac{R_1}{R} = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{C}{C_1}$$

e quindi

$$\frac{\text{tag } a}{\text{tag } a_1} = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{C}{C_1} \quad (22)$$

Mediante questa equazione, quando si conosca la pendenza di compensazione in un punto del torrente, si può determinare il profilo completo di compensazione col semplice confronto della portata e del perimetro bagnato; ciò però sempre nell'ipotesi premessa che lo stato torrenziale non vari.

Se le due sezioni prese a confronto cadono in un tronco a portata costante ed hanno i perimetri bagnati  $C$  e  $C_1$ , il rapporto della pendenza di compensazione è dato dalla relazione :

$$\frac{\text{tag } a}{\text{tag } a_1} = \frac{C}{C_1} \quad (23)$$

Dunque in un tronco a deflusso costante la pendenza di compensazione varia in ragione diretta del perimetro bagnato.

Invece se le sezioni considerate hanno il perimetro eguale, ma cadono in tronchi aventi deflussi diversi  $Q$  e  $Q_1$  si avrà:

$$\frac{\text{tag } a}{\text{tag } a_1} = \frac{Q_1}{Q} \quad (24)$$

Conseguentemente in un torrente il cui perimetro bagnato fosse a un dipresso costante, il profilo di compensazione varierebbe in ragione inversa del deflusso. Nei casi pratici la portata aumentando sempre dalle origini allo sbocco, la formola (24) indica che le pendenze dovrebbero diminuire da monte a valle e quindi il profilo di compensazione dovrebbe gradatamente appiattirsi, ossia essere concavo verso il cielo.

Dalla formola (23) si ricava che quando cala il perimetro bagnato, diminuisce pure il profilo di compensazione, dimodochè pure questa formola serve a chiarire l'andamento del profilo stesso, particolarmente in certi punti speciali. Per es. considerando un allargamento compreso fra due strozzature, si trova confermata l'osservazione già fatta da Costa De Bastelica <sup>(9)</sup> che la forma generale dei depositi è una curva convessa a monte e concava a valle, con un punto d'inflexione verso il mezzo della varice, cioè in corrispondenza alla sua massima ampiezza.

Quando diminuisce il trasporto delle materie, il che può accadere per es. tanto in via naturale, quanto in seguito a lavori di sistemazione, la pendenza si raddolcisce e conseguentemente si produce una tendenza generale allo scavo, che può avere per effetto lo scalzamento e la distruzione delle opere d'arte costruite per la correzione del torrente e in particolare delle briglie; bisognerà quindi stare attenti ed esercitare tutta la vigilanza.

Wang I, pag 193

Tutte le precedenti osservazioni e considerazioni hanno sempre di mira lo sviluppo naturale del profilo longitudinale del corso d'acqua nel caso esclusivo che il trasporto del *materiale avvenga in modo parziale*, cioè secondo i principî del selezionamento che la corrente da sè va esercitando sul materiale trasportato; nel qual caso, come si è già detto, la forma del detto profilo — salvo accidentalità locali che turbino la legge generale — è rappresentata da una linea curva che volge la concavità verso l'alto.

Ma nei torrenti, come si ebbe già occasione di dire, si verifica anche talvolta un altro genere di trasporto di materia, affatto tumultuario, cioè *il trasporto in massa*.

Quando avvengono fatti straordinari, come frane, scoscendimenti, grandi distacchi di terreno e consimili, allora arrivano improvvisamente al letto del torrente, masse enormi di materie, che la corrente non è in grado di smuovere. Però continuando queste materie a poco a poco ad inumidirsi, viene infine un momento in cui tutta la massa spinta dall'acqua invasata a monte, si mette lentamente in marcia.

Questa massa in cui, come abbiamo già visto, molto spesso le materie prevalgono d'assai il volume dell'acqua cammina come una falange compatta.

Questa massa — nella quale, come abbiamo già detto, molto spesso il volume delle materie supera d'assai il volume dell'acqua, e le pietre le più svariate si toccano fra loro commiste col fango che pure le spinge — si muove come una falange compatta, assai lentamente e uniformemente trasportando con sè tutto quanto incontra nella sua marcia. In questa massa dotata di una potenza straordinaria — perchè ha un peso specifico rilevante — avviene però presto, una cernita delle materie, in guisa che quelle più grosse essendo dotate di un maggior grado di forza viva, vengono a trovarsi avanti e precedono le altre. Le materie riescono così a



staccarsi lentamente le une dalle altre e a sorteggiarsi in modo opposto a quello che accade nel trasporto parziale o individuale.

Il materiale più grosso marcia avanti e più davvicino al suolo e quello più sottile sta in dietro e galleggia nella corrente, in guisa che quando tutte queste materie vengono a depositarsi lo fanno in maniera affatto opposta a quella che predomina nel trasporto parziale, perchè il materiale grosso viene a trovarsi sotto e quello più fino sopra.

Quando dopo che il materiale si è depositato, l'acqua abbia a riprendere il suo sopravvento sopra le materie, allora ripiglia anche la sua attività. Cioè naturalmente tenderà prima a smuovere il materiale più minuto, e in seguito, a mano a mano se la corrente avrà abbastanza forza solleverà e trasporterà anche quello più grosso. Cosicchè, come il trasporto verrà ora ad effettuarsi in maniera naturale, anche nella eventualità che accadano depositi, questi si verificheranno con le norme della legge naturale corrispondente al trasporto parziale.

È stato pure notato che il trasporto in massa può avvenire anche soltanto sul fondo quando la corrente sia molto forte e l'acqua riesca a penetrare nei greti del torrente. Il fenomeno avviene in modo che non sempre riesce visibile alla superficie, perchè mentre al di sopra del fondo si verifica il trasporto parziale con le solite norme, al disotto ha luogo il trasporto in massa.

È ovvio che non si possano stabilire leggi generali per il trasporto in massa, il quale forse in alcuni casi ha una grande rassomiglianza col moto ondoso.

In sostanza bisogna limitarsi ad osservare gli effetti e le conseguenze del trasporto in massa, caso per caso in modo da poterne applicare le conclusioni in tutte le eventualità, nelle quali si possa ricorrere alla analogia.

Wang I, pag 195.

Wang  
Anfang

§ 9. **Influenza della portata sulle variazioni della sezione trasversale.**

Lo studio del rapporto fra la marcia dei banchi alluviali e la variazione del profilo trasversale ha assai maggior importanza per la sistemazione di un fiume che per quella di un torrente, e si possono a tale proposito consultare le pubblicazioni sotto indicate <sup>(30)</sup> e <sup>(31)</sup>.

Però anche per torrenti ha sempre non poca importanza lo studio delle relazioni che esistono fra la portata e la sezione.

Può a tutta prima sembrare che le più grandi e notevoli variazioni del fondo abbiano a verificarsi durante il colmo delle piene e forse anche in questo periodo abbia luogo il trasporto della maggior quantità di materia.

Invece ambedue le supposizioni non sono esatte.

Nelle magre, a mano a mano si va staccando dal fondo il materiale sempre più minuto, mentre invece quello grosso resta immobile.

Per questo processo di sorteggio il letto del torrente in un certo modo viene a stabilirsi e subentra uno stato di permanenza che è tanto più grande quanto più lunga è la magra. Tuttavia uno sguardo che potesse penetrare sotto la superficie del fondo, così apparentemente resistente, subito vi scorgerebbe del materiale di piccole dimensioni, nonchè della ghiaia e della sabbia.

Perciò, tosto che sopraggiunga una piena, il detto stato di permanenza viene turbato, perchè la corrente tende a mettere in moto, sebbene con velocità diverse,

---

<sup>(30)</sup> J. FREIHERRN VON GUMPPENBERG PÖTMES, « Der Wasserbau au Gebirgsflüssen »; Augsburg, 1860.

<sup>(31)</sup> FR. KREUTER, H. GARBE e A. KOCH, « Der Flussbau »; Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 3 Band. Der Wasserbau. 3 Auflage. Leipzig, 1897.

tanto il materiale grosso che tappezza il fondo, quanto quello minuto sottostante; sarà però un trasporto non solo parziale ma anche limitato, perchè l'acqua deve incontrare prima una certa difficoltà a smuovere il materiale.

Finchè la piena è nel suo massimo sviluppo, la direzione del filone si conserva immutata, e il torrente defluisce lambendo tutta la sezione e bagnando completamente le rive, in modo che queste non vengono corrose. Ma tostochè la piena incomincia a calare, allora incominciano a depositarsi i materiali più grossi e pesanti e d'altra parte il torrente che è ancora in piena notevole costretto a serpeggiare si porta a corrodere le rive dando luogo a un nuovo trasporto di materiale, che spesso sorpassa in quantità quello che si deposita. È questo il momento in cui in generale si verificano il trasporto della maggior quantità di materiale e le maggiori variazioni nell'alveo.

Si può considerare che l'acqua serpeggia forse ancora più nella magra, ma essa allora danneggia meno. Quando la piena è nel suo colmo, essa non serpeggia affatto e fra i due stati di piena e di magra esiste uno stato durante il quale il trasporto di materiale e la corrosione delle rive sono maggiori. Naturalmente questo

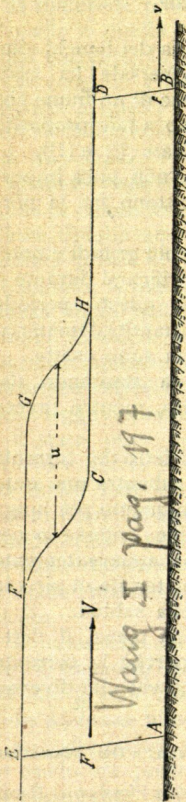


Fig. 15.

stato si verifica tanto nella fase di crescita che in quella di decrescita. Ma vedremo ora come sia molto più pericolosa la decrescita che la crescita.

Consideriamo il tratto di profilo longitudinale  $ABDE$  che è rappresentato nella fig. 15 e nel quale  $CD$  supponiamo che sia il pelo di magra. Allora se indichiamo con  $f$  la sezione, con  $v$  la velocità media e con  $q$  la portata, avremo:  $q = f \cdot v$ ,

Ora se immaginiamo che sopraggiunga una piena la quale incominci a defluire nella sezione trasversale che passa per  $A$ , ivi gli elementi  $f$ ,  $v$  e  $q$  diventeranno  $F$ ,  $V$  e  $Q$  per modo che si verificherà la relazione:

$$Q = F \cdot V.$$

Se consideriamo il fenomeno in un dato istante che supponiamo abbia la durata di un minuto secondo, e tale che la portata nella sezione  $AE$  sia divenuta  $Q$  e invece in  $BD$  sia rimasta  $q$ , l'incremento del deflusso sarà dato da  $Q - q$ . E riteniamo altresì che nello stesso istante l'onda di piena  $FC$  abbia in media progredito verso  $GH$  della quantità  $u$ .

Questa quantità  $u$  equivale anche alla velocità media di propagazione della piena nello stesso istante.

Il volume d'acqua che si trova fra le due onde di piena  $FC$  e  $GH$  è:  $Q - q = (F - f) \cdot u$  da cui si ricava che la velocità media di propagazione della piena è data dall'espressione:

$$u = \frac{Q - q}{F - f}$$

Dunque la detta velocità di propagazione è data dal rapporto fra la differenza dei deflussi e la differenza nelle aree corrispondenti alle sezioni trasversali  $AE$  e  $BD$ .

Ora se al posto di  $q$  e  $Q$  si sostituiscono i loro valori

scritti più sopra, si ottiene:

$$u = \frac{F \cdot V - f \cdot v}{F - f}$$

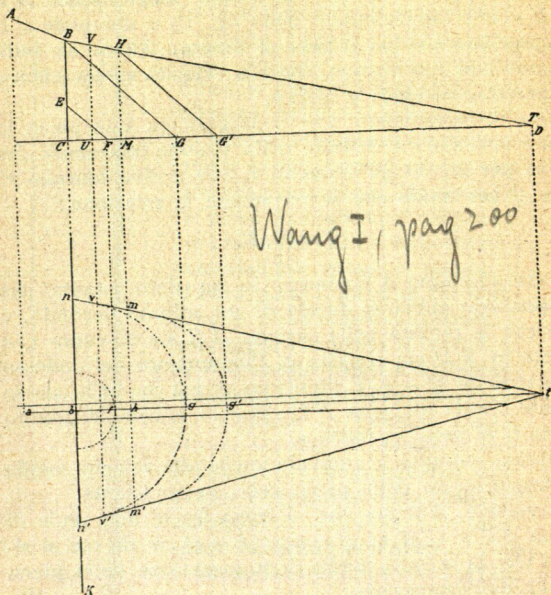


Fig. 16.

e ricorrendo all'artificio di aggiungere e togliere la quantità  $Fv$ , si ha:

$$u = \frac{FV - fv + Fv - Fv}{F - f}$$

ossia:

$$v = \frac{(F - f)v}{F - f} + \frac{F(V - v)}{F - f} = v + \frac{F(V - v)}{F - f}$$

Considerando queste espressioni si vede che quando la piena è nella sua fase crescente le differenze  $V - v$  e  $F - f$  devono risultare positive e contribuire a far crescere il valore di  $u$ , finchè la superficie dell'area bagnata e quindi anche la velocità media cresce. Questo accade sempre quando la piena scorre in un letto rin-

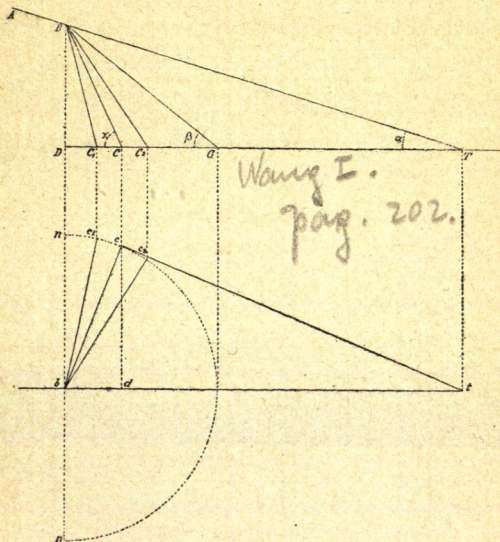


Fig. 17.

serrato perchè allora con la superficie aumenta anche l'altezza dell'acqua e quindi anche la velocità media. Allora la velocità alla base dell'onda di piena sorpassa solo di poco la velocità media del deflusso di magra, mentre la velocità al vertice dell'onda supera la velocità media del deflusso di piena.

Se per avventura talvolta è occorso di osservare un fenomeno inverso, si deve ascrivere al motivo che la corrente avendo straripato, pure con un eventuale au-

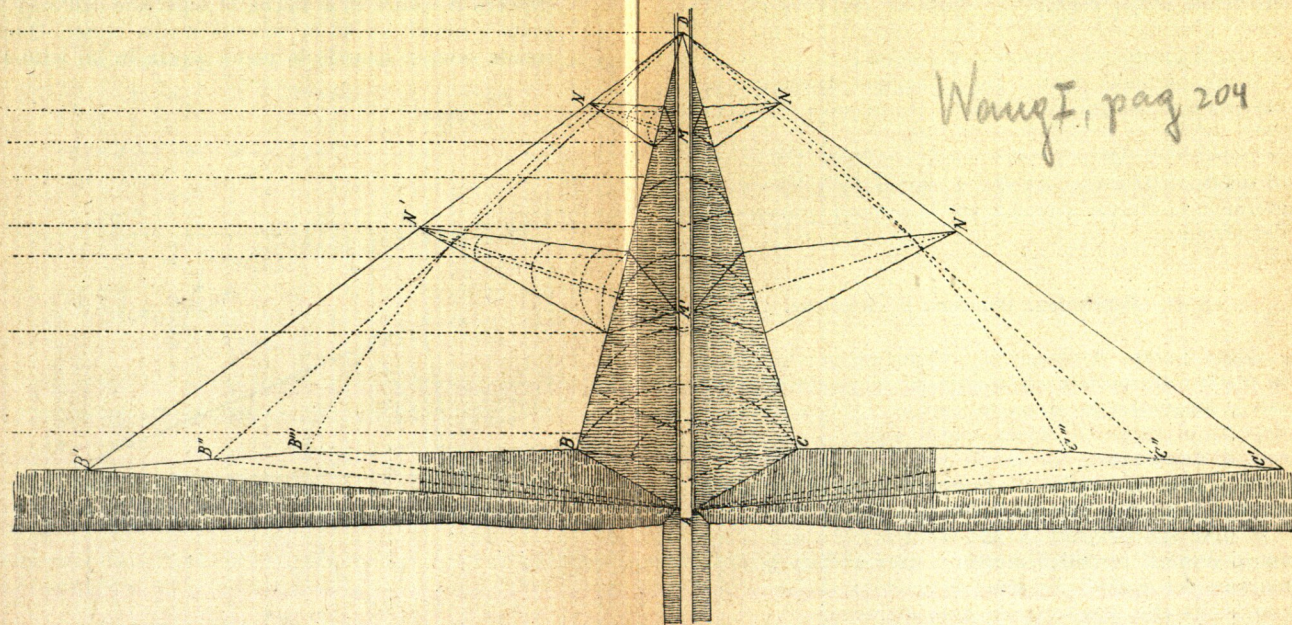


Fig. 18.

mento della superficie bagnata, si deve avere constatata una diminuzione dell'altezza d'acqua e della velocità media.

Quanto più grande è la piena e tanto maggiore viene a risultare la differenza tra la velocità al vertice e quella alla base dell'ondata, e quindi la testa *GH* dell'ondata deve accorciarsi, ossia divenire più ripida.

Un'analogia considerazione della fase di decrescita porta a concludere che esaminando il dorso dell'ondata di piena, si avrà invece coll'accorciarsi della testa del-

l'onda, un allungarsi del suo dorso che si farà tanto più sentito, quanto più progredirà il calo.

Così, per es., una piena la cui crescita è durata solo qualche ora, richiede magari 5-6 ore per decrescere; e mentre l'erosione che essa può esercitare presso il suo colmo dura solo alcuni minuti, resterà attiva per ore durante il calo.

E come la fase di crescita risulta sempre assai più breve di quella di decrescita, le rive del torrente verranno assai maggiormente corrose nel periodo del decremento, senza contare la erosione che avverrà sul fondo a motivo dei depositi che, come si è detto più sopra, si formeranno nel periodo stesso.

Risulta quindi chiaro, che il maggior trasporto di materie e la maggior corrosione, come pure le maggiori variazioni nell'alveo coincidono col periodo decrescente della piena, che è senza confronto più lungo di quello della crescita e che è quindi quello che maggiormente influisce a modificare la sezione trasversale del torrente.

Wang I pag 200

### § 10. Formazione del cono di deiezione.

Come è noto, dovunque il torrente possa depositare le materie trasportate e le condizioni dei profili trasversale e longitudinale siano favorevoli, si formano dei depositi di forma conoidale, che di solito si chiamano coni di deiezione.

Assai spesso, a valle di questi depositi il torrente diventa limpido e innocuo come un ruscello.

Si deve specialmente a De Montrey <sup>(6)</sup> e agli altri autori francesi recenti il merito di aver studiata la formazione dei coni di deiezione in modo razionale e in conformità alle leggi che regolano il trasporto del materiale.

Supponiamo di considerare un torrente  $AB$  (fig. 16) che sbocchi da una gola alpina e arrivando al punto  $B$ , vi trovi la parete  $BC$  verticale e si versi col materiale da esso trasportato sul piano orizzontale  $CD$ . Il torrente potendo quivi spandersi in tutte le direzioni, l'altezza dell'acqua si riduce al minimo e quindi il materiale è costretto a depositarsi e lo fa sotto la pendenza



maggiore possibile, cioè sotto la pendenza di divagazione.

Si viene quindi a formare attorno al punto  $C$  e in pianta attorno al punto  $b$  un piccolo semicono  $CEF$  col vertice in  $E$ , le cui generatrici sono inclinate verso il fondo della valle secondo la pendenza di divagazione. Questa prima parte del processo è perfettamente simile a quanto avviene in un orologio a sabbia. Ma continuando a sopraggiungere materiale il semicono cresce e il suo vertice a poco a poco sale fino a  $B$ . Così arriva il momento che il semicono è rappresentato nel profilo longitudinale dal triangolo  $BCG$  e in pianta dal semicircolo  $ngn'$ . Quando il semicono è arrivato al punto  $B$ , la prima fase della formazione del conoide è finita.

Se l'arrivo del materiale non è continuo ed uniforme possono anche esservi alcune alternative nel processo ed anche possono verificarsi erosioni, ma nel complesso il risultato finale è sempre quello.

La tendenza che ha da una parte il semicono a crescere, e dall'altra il torrente ad accumulare nuove materie presso il vertice  $B$ , fa in modo che il torrente viene ivi a poco a poco a trovarsi racchiuso fra due dossi di materie, che si sforza di trasportare a valle sulla linea  $BH$  disposta secondo la pendenza di compensazione. Mentre invece ai fianchi, tanto a destra che a sinistra della linea  $BH$ , il torrente continua a spandere le sue materie secondo la pendenza di divagazione.

A poco a poco poi il materiale arriva fino a  $T$ . Ed allora il deposito alluvionale è nel profilo longitudinale rappresentato dal triangolo  $BCT$  e nella pianta dalla figura  $nn't$ . La sua forma è in complesso quella d'una piramide triangolare, che ha la sua base nel piano verticale  $BC$ , e di cui una faccia è disposta nel piano della valle  $CD$ , mentre le altre due sono inclinate sul

piano stesso, secondo la pendenza di divagazione e si incontrano sul crinale  $BT$ , che è invece inclinato secondo la compensazione e sul quale scorre uno stretto canale.

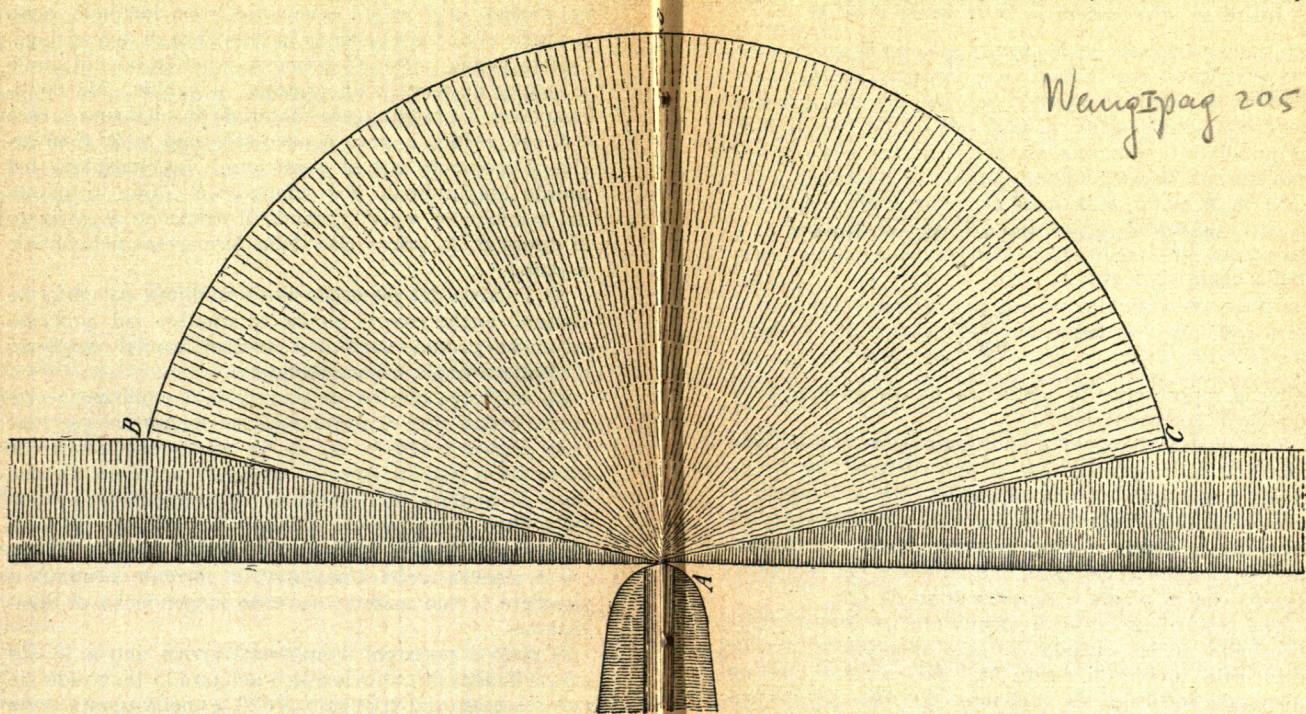


Fig. 9.

Questa seconda fase della formazione del conoide avviene in modo affatto simile anche quando il piano  $BC$

(fig. 16) da cui viene a versarsi il torrente nelle valle principale, invece di essere verticale fosse inclinato dell'angolo  $x$ , come nella fig. 17.

Soltanto allora nella prima fase, invece di un semi-

cono si ha un segmento di cono  $BCG$ , e nella seconda fase il conoide è rappresentato in profilo dal triangolo

$BCT$  e in pianta per metà dal triangolo  $bct$ . È però da notarsi che l'inclinazione del piano di sbocco ( $BC$  in profilo e  $bc$  in pianta) esercita una certa influenza sulla forma che viene definitivamente a prendere il conoide.

Infatti se si considera la  $tc$  tangente a  $bc$ , si ha:

$$\overline{bc}^2 = \overline{bd} \cdot \overline{bt}$$

ossia

$$\overline{DG}^2 = \overline{DC} \cdot \overline{DT}$$

e quindi

$$\frac{\overline{BD}^2}{\text{tag}^2 \beta} = \frac{\overline{BD}}{\text{tag } x} \cdot \frac{\overline{BD}}{\text{tag } a} = \frac{\overline{BD}^2}{\text{tag } x \cdot \text{tag } a}$$

dalla quale si ricava

$$\text{tag } x = \frac{\text{tag}^2 \beta}{\text{tag } a},$$

dove  $\beta$  rappresenta la pendenza di divagazione ed  $a$  quella di compensazione.

Ora quando l'angolo  $x$  ha questo valore esatto allora alla fine della seconda fase si può ritenere che il conoide rassomiglia ad una piramide. Ma se l'angolo  $x$  cresce, allora la piramide si aumenta del segmento conico che in pianta è rappresentato da  $bcc_1$ ; e quando invece l'angolo  $x$  decresce, si diminuisce del segmento conico che in pianta è rappresentato da  $bcc_2$ .

Del resto il processo di formazione avviene in modo consimile anche quando la gola montana e la valle principale invece di essere fra loro separate da un piano sia verticale, sia inclinato, lo sono da una superficie foggiate in qualsiasi modo. E lo stesso avviene quando il fondo della valle principale invece di essere orizzontale, è inclinato.

Il processo di formazione però non è ancora compiuto.

Infatti il canale entro cui scorre il torrente sul crinale  $AD$  del conoide (fig. 18) essendo poco profondo, col continuo sopraggiungere di materie, che non può essere spinto oltre il punto  $D$ , deve a poco a poco riempirsi.

La conseguenza immediata di questa ostruzione del canale è che a destra e a sinistra sui fianchi del conoide si formeranno dei depositi di forma piramidale  $MNN$ ,  $M'N'N'$  ecc. con lo stesso preciso processo con cui si è creata la grande piramide  $BCD$ .

La grandezza di queste piramidi laterali dipende dall'altezza a cui si trovano i punti del crinale  $M, M'$ , ecc.; e le linee  $MN$ ,  $M'N'$ , ecc. sono inclinate verso il piano della valle secondo la pendenza di compensazione.

Così col succedersi di queste piramidi laterali il conoide viene assumendo la forma che è indicata nella pianta col triangolo  $B'C'D$ . I punti  $N'N'$ , ecc. quando il piano della valle è orizzontale si trovano in linea retta; ma siccome il fondo della valle è d'ordinario inclinato, così le alluvioni  $MN$ ,  $M'N'$  ecc. non si allungano nella stessa proporzione, e le linee di delimitazione del conoide sul fondo della valle vengono ad assumere la forma più o meno curvilinea  $DC''$ ,  $DC'''$  ecc.

In ogni caso, a sviluppo completo, il conoide assume la forma del deposito alluviale che si vede rappresentata in  $ABCD$  nella fig. 19, e sul quale la corrente dovunque ha foggiate la pendenza di compensazione.

Quanto più è voluminoso il materiale, che il torrente trasporta e tanto più ripido risulta il conoide.

Naturalmente, col progredire del trasporto del materiale, il delta di deiezione tende a svilupparsi maggiormente, aumentando le sue dimensioni in modo uniforme e quindi tende anche a risalire col vertice  $A$  nell'interno del torrente.

Dalla descrizione testè fatta del modo di procedere del delta di deiezione, si comprende che specialmente durante le due prime fasi le campagne situate lateralmente, ai piedi del conoide possono fruire di una certa sicurezza.

Però non di raro i valligiani cercano di meglio pre-munirsi, costruendo delle opere di difesa sul crinale del conoide, in modo che vengono a turbare la terza fase dello sviluppo del conoide. E col continuo sovralzare del canale va rendendosi sempre più indispensabile anche il rialzo delle dette opere di difesa.

Lo sviluppo della terza fase del conoide viene a essere ostacolato, anche quando alla fine della seconda fase il conoide viene rispettivamente a trovarsi con la sua unghia o nel punto  $T$  (vedi fig. 20), oppure fra i punti  $C$  e  $T$  (vedi fig. 21).

Quando poi il trasporto del materiale venga a diminuire sia in grazia dei lavori eseguiti, sia spontaneamente, il torrente tenderà a formarsi sul crinale del conoide, un profilo, come quello indicato dalla nuova linea  $VW$ ; e in pari tempo tenderà ad escavare sempre più il suo letto. Il che, se costituisce una maggior sicurezza per i terreni situati lateralmente, presenta però una minaccia di scalzamento per le suaccennate opere di difesa e l'inconveniente di un maggiore apporto di materie nel corso d'acqua nel quale affluisce il torrente.

Quando il corso recipiente non ha la forza di spingere avanti le materie portate dal torrente, e la natura della riva opposta in  $a$ , come si vede nella fig. 22 è cedevole, allora può avvenire che il conoide si prolunghi sempre più alla sua unghia, dando luogo a quei serpeggiamenti che non di raro si manifestano nei corsi d'acqua recipienti.

Quando invece la riva  $a$  è resistente, allora nel recipiente avviene un restringimento di sezione che au-

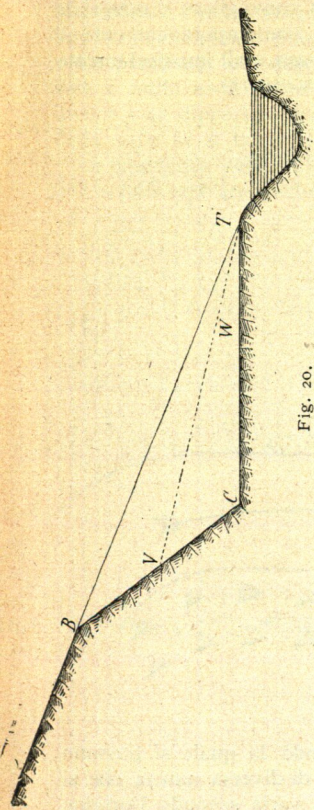


Fig. 20.

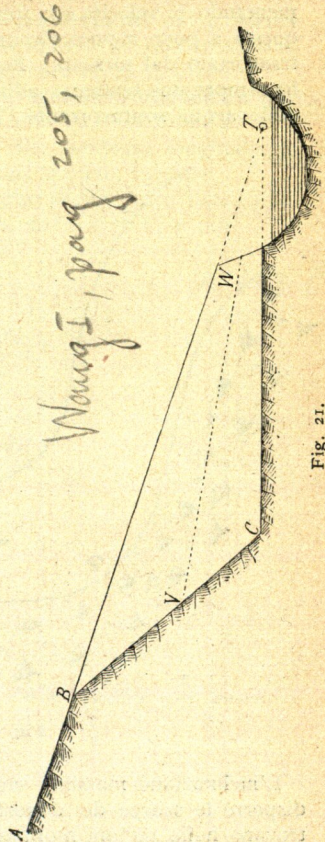


Fig. 21.

mentando la velocità e la forza della corrente, fa sì che questa a poco a poco riesca a convogliare il materiale trasportato dal torrente. Però contemporaneamente si ha sempre una tendenza all'invaso e all'impaludamento delle acque sopracorrente (Tav. 10-13).

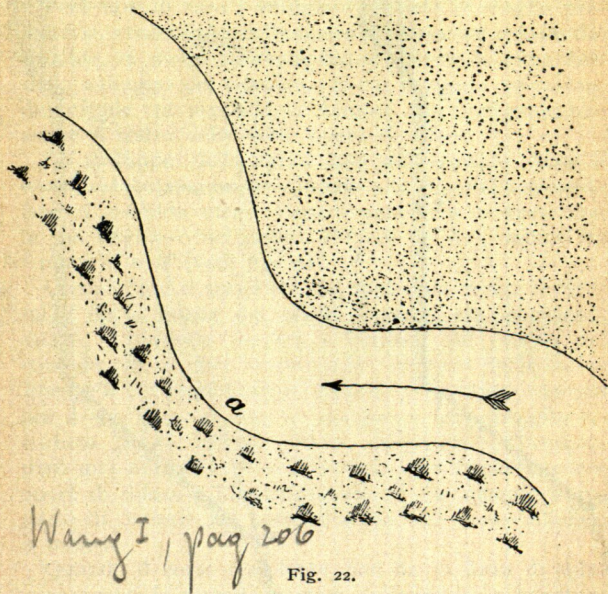


Fig. 22.

L'inclinazione massima secondo la quale si possono disporre le scarpe dei depositi di diversa natura che si trovano nelle regioni montane, varia secondo l'origine del deposito stesso.

Così mentre i depositi che avvengono sui coni di deiezione, che sono disciplinati dai principî testè accen-

nati, raramente superano la pendenza del 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; invece la pendenza che assumono le materie di una frana o di uno scoscendimento può arrivare al 70<sup>0</sup>/<sub>0</sub> e più.

La pendenza dei depositi glaciali o morenici è piccola o nulla se si tratta di una morena frontale, ed è invece a un dipresso eguale alla pendenza longitudinale della valle se si tratta di una morena laterale.

La pendenza delle valanghe oscilla entro limiti assai lati e può arrivare anche al 40<sup>0</sup>/<sub>0</sub> o 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub> e più.

*Wang Fude*

---