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.

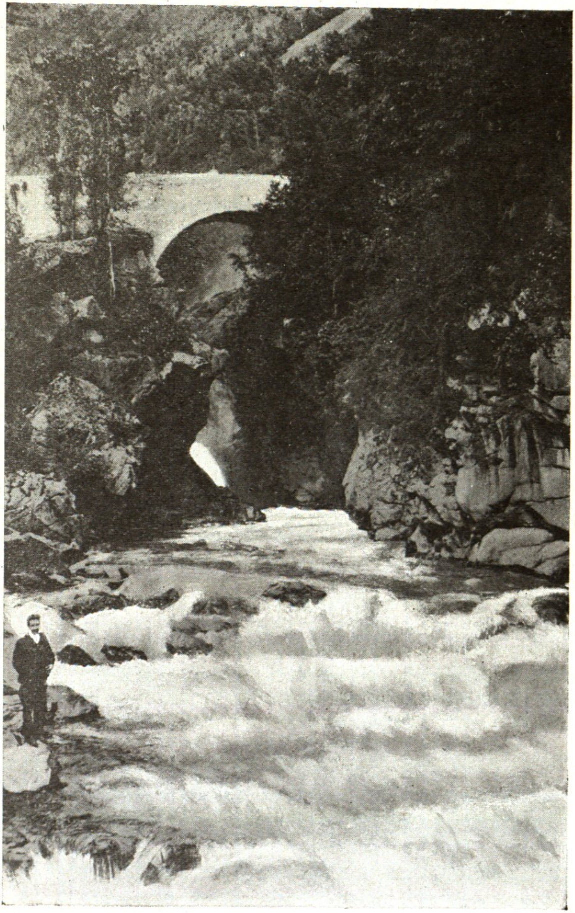
§ 5. Considerazioni pratiche sulla velocità di trasporto.

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 β 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-

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 [24] nell' opera succitata, prendendo a considerare uno strato alluviale, dà per il suo equilibrio la formola

Wang pag 171

$$V \leq \frac{1}{n} \frac{1000\, H i}{(d - 1) \operatorname{tag} a} \qquad (10)$$

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 $n \,.\, V = e$ lo spessore medio dello strato alluviale, in modo che si possa ritenere che la massa degli n ciottoli sia uniformemente ripartita e distesa sulla superficie di 1 metroquadrato formandovi uno strato dello spessore e, allora la formola (10) si converte nella seguente:

$$e \leqq \frac{1000\, H i}{(d - 1) \operatorname{tang} \alpha} \tag{11}$$

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 liscie e levigate che quando sono ruvide e greggie.

Come si vede chiaramente dalle formole (8) e (9) il peso specifico γ 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

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

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

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

Se poi γ assume il valore 1600 kg., allora l'espressione

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

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 $^1/_3$ 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

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{d_2 - 1000}{d_1 - 1000} \tag{12}$$

Veramente, con ciò, si ammette che le quantità β, f e *cos a* non cambino, il che non si verifica specialmente per il coefficiente β 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

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

Wang I
pag 175

e

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

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 $^7/_9$ 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 $b_1 > {}^7/_9\, b_2$, perchè allora il suo peso assoluto cresce. Quando invece il valore di b_1 diminuisca sotto ${}^7/_9\, b_2$, 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

$$v = \sqrt{\frac{\beta \,.\, (d - \gamma) \,.\, f \,.\, b \,.\, \cos \alpha}{\gamma}} \qquad (13)$$