

II. — COMUNICAZIONI E RELAZIONI

I fenomeni di cattura nella regione delle Ande.

Studio di geografia fisica del socio dott. GIROLAMO AZZI.

(Con 6 incisioni)

Scopo del lavoro. — Con il presente lavoro ci piace di portare un contributo allo studio delle catture fluviali nella regione delle Ande tra il 35° ed il 45° parallelo latitudine sud, usufruendo dell'abbondante materiale descrittivo e delle ottime carte della Oficina de los limites del Gobierno Cileno, secondo le nuove teorie ed i moderni criteri scientifici che hanno considerevolmente ampliato, additando importanti problemi, e determinato, rilevandone i rapporti con le scienze affini, il campo della geografia fisica.

Partire dalle forme più semplici per spiegare disposizioni incerte e complicate, scomponendo e considerando separatamente i singoli fattori ed elementi geomorfici; studiare i rapporti più semplici per giungere gradualmente ai rapporti più complicati, è questo un procedimento che assicura alle ricerche maggiori probabilità di riuscita.

In nessuna disciplina più che nella nostra l'aforisma, che i fenomeni si studiano per spiegarli e non per renderli più complicati, ha buona ragione di sussistere ed ammonire.

Partendo da una unità oroidrografica geometricamente perfetta, generata per traslazione di una calotta sferica lungo un segmento rettilineo, siamo venuti, modificandola gradualmente con l'interferire irregolare della « pendice » sino a riprodurre le condizioni di rilievo della regione interessata e comprenderne con sufficiente esattezza le modalità della evoluzione.

Sull'equilibrio idrotopografico. — In ogni unità oroidrografica ove condizioni di un ciclo precedente di erosione o la evoluzione attuale del rilievo abbiano già nettamente differenziato una estesa zona costiera, potremo rilevar due porzioni distinte: una « fissa », a monte (la cui traccia è determinata da forti discontinuità topografiche), e l'altra « mobile », a valle (le poco marcate discontinuità topografiche rendono possibili due traccie: idrologica e topografica).

Il segmento fluviale a monte evolve la superficie della terra emersa incidendola in senso verticale con il suo *talweg* e conducendola, con il progressivo scomparire delle superficie poste al disopra delle iperboli (profilo di equilibrio dei fiumi), al peneplano.

Ogni corso immaginato come una massa di acqua in movimento dalle origini alla foce tende a giungere, da ogni punto, al mare, seguendo la via più breve.

Per la maggior parte delle volte, e soprattutto in unità oroidrografiche molto estese, la traccia topografica (serie dei « punti ottimi di passaggio ») costringe il fiume a numerosi spostamenti con formazione di curve che ne sviluppano considerevolmente la traccia (sviluppo computato in ‰ della distanza minima dal punto che si considera alla foce).

L'incisione verticale del *talweg* non procede quindi con eguale norma lungo tutta la traccia, ma la massa d'acqua in certi punti, ove maggiore è il grado di subseguenza, insiste con maggiore intensità sopra una delle rive, tendendo a spostarsi secondo un piano orizzontale.

L'incisione lineare si svolge, per traccia completamente conseguente, secondo il piano verticale su cui giace la traccia stessa; in disposizione subseguente procede invece secondo superficie, la cui inclinazione varia a seconda delle modalità subseguenti cui i singoli elementi fluviali obbediscono.

Possiamo suddividere i vari segmenti di un corso in due gruppi: gruppo conseguente e gruppo subseguente. Gli elementi del primo sono di per sè stabilissimi, le esigenze dello stadio iniziale della evoluzione idrografica essendovi pienamente soddisfatte; nel secondo invece la traccia tende a disporsi normalmente alla direzione attuale, insistendo con maggiore energia sulla riva a valle, e quando modificazioni topografiche considerevoli (es. interferenza della geomorfa « valle » in « bacino chiuso » o « semichiuso »)

stabiliscano una nuova traccia, più vicina alla idrologica, il segmento subseguente ne verrà deviato nel punto di interferenza.

L'inclinazione quindi dei piani secondo i quali procede la incisione lineare varia nelle diverse parti di un corso a seconda del grado di subseguenza dei suoi elementi ed è indice della tendenza della traccia a svolgersi in senso conseguente. E poi che questa tendenza diminuisce quanto più procede la evoluzione verso il peneplano e la rete idrografica, così il suddetto rapporto varia nelle diverse fasi del ciclo di erosione fluviale.

I successivi movimenti epeirogenici in senso alternativamente positivo e negativo, e l'interferire delle formazioni orogeniche hanno modificato e complicato, per la molteplice interferenza di altre geomorfe nella geomorfa monte, il profilo di ogni unità oro-idrografica sin dalla sua ultima emersione.

Dall'inizio della evoluzione del rilievo le discontinuità topografiche danno ai fiumi una traccia non rispondente alle esigenze della conseguenza, ed alle varie parti di un corso diversa attitudine modellatrice.

In ogni momento della evoluzione del rilievo la topografia di una regione risulta appunto nel contrasto tra le forze idrologiche che tendono al peneplano ed al mare e le opposte pendici che vi si oppongono. Nel braccio dei fiumi a monte il passaggio topografico è già nettamente distinto dai passaggi finitimi, percorsi in genere da altre riviere: nell'equilibrio idrotopografico valutando a 5 l'energia idrodinamica ed a 15 la resistenza topografica (valore delle pendici), abbiamo in questi dati la impossibilità di mutamento di direzione del fiume.

Ma quando la evoluzione del sistema idrografico sia notevolmente avanzata, e nel nostro caso nel braccio a valle del fiume, osserveremo i seguenti fatti: 1° la superficie ridotta a peneplano non si abbassa più ulteriormente; 2° le brevi discontinuità topografiche accrescono il numero delle tracce topografiche possibili, più o meno vicine alla traccia idrologica, ed indici, a parità di altre condizioni, della portata e velocità dei corsi d'acqua che vi scorrono. Supponiamo che il fiume segua la traccia AA' avendosi il rapporto 2 : 3, invece di seguire la traccia BB' (resistenza topografica = 4) la quale segnerebbe una via più breve al mare.

Dato ora che una crisi meteorica sollevi improvvisamente il valore idrologico da 2 a 5, rotto l'equilibrio, nel nuovo rapporto 5 : 4

la massa di acqua sarà in grado di superare gli ostacoli topografici seguendo BB' , per ritornare nella direzione antica al passar della piena, pur che la stessa non abbia con l'opera sua (banchi di alluvione, ecc.) cambiato le condizioni locali del rilievo determinando secondo BB' una ben netta serie continua di punti di passaggio.

In unità oroidrografica semplice in forma di calotta sferica abbiamo una unica quota massima che corrisponde al centro, cui tendono i corsi d'acqua sviluppandosi verso l'interno e dove si ricollegano n serie radiali di quote topografiche a valore decrescente verso il mare disposte così che le curve ipsometriche sono sempre tra loro equidistanti. Nella geomorfa allungata che si ottiene per traslazione della superficie circolare secondo un segmento lineare retto (asse dell'unità) i rapporti idrotopografici, quindi anche le modalità della evoluzione del rilievo, restano immutati: tutti i corsi d'acqua hanno eguale lunghezza e sviluppo e le curve inscritte parallelamente alla costa coincidono con le curve ipsometriche e gradualmente si restringono secondo l'asse trasversale fino a che i loro elementi vengono a sovrapporsi all'asse longitudinale dell'unità.

L'evoluzione compendosi più rapidamente verso la costa (per la minor distanza tra le origini e la foce) in continuità con la medesima si sviluppa il peneplano (zona costiera) il quale sempre più si estende a limitare la zona montana, mentre il crinale di displuvio, data l'equidistanza ed il parallelismo alla traccia costiera si abbassa, secondo il piano verticale.

Condizioni dell'America del Sud tra il 35° ed il 48° parallelo. — Le difficoltà che si incontrano nel determinare l'estensione ed il valore dei fenomeni di antecedenza non permettono di stabilire con esattezza quali fossero le condizioni topografiche della zona considerata al momento dell'ultima emersione.

Vi sono tuttavia alcune formazioni abbastanza estese, interessanti ed istruttive, le quali ci permettono di tracciare la norma seguita dalla evoluzione da quel momento, e, sino ad un certo punto, prestabilire e prevedere quali saranno, in genere, le disposizioni future.

Possiamo considerare la zona interessata come la parte mediana d'una unità oroidrografica allungata. La ineguale distribuzione delle quote nella asimmetrica norma di interferenza della geomorfa « pendice » in « monte » fa sì che la evoluzione del rilievo non proceda con eguale velocità nelle due sezioni: orientale ed occidentale di detta unità.

La serie delle quote massime (asse longitudinale) è infatti notevolmente spostata verso ovest e determina nei due versanti una pendenza media diversa. (V. fig. 1)

Sul versante cileno il forte dislivello tra le origini e la foce e la breve distanza dal livello di base (fig. 1) in un con le precipitazioni più abbondanti dalla parte dell'oceano Pacifico, danno all'intero percorso dei fiumi il carattere torrentizio e nelle forme del suolo l'impronta della giovinezza del ciclo erosivo (zona montana).

Ai piedi della zona montana, sul versante argentino, si estende

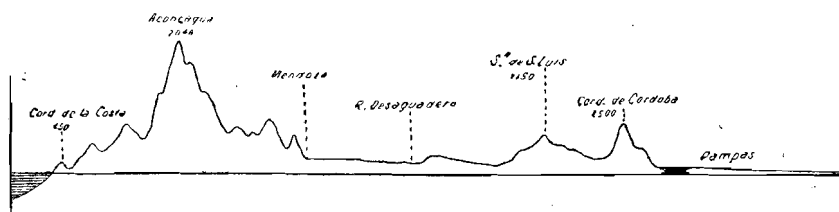


FIG. 1ª — *Profilo trasversale nella regione considerata.*

invece, declinando dolcemente nel mare, l'antico peneplano riemerso, le steppe delle Pampas. Quivi il forte sviluppo dei fiumi ne attenua considerevolmente l'azione modellatrice a monte e crea a valle, nello scarso valore delle discontinuità topografiche, la caratteristica di alvei fluviali con la possibilità (per lievi oscillazioni epirogeniche) di varie tracce per una stessa unità idrografica.

Nei rapporti di equilibrio idrotopografico possiamo considerare la porzione di un fiume in zona costiera indipendentemente dalle diramazioni montane? La lunghezza della traccia in zona pianeggiante non fa che attenuare l'energia modellatrice del segmento a monte e poichè nel nostro caso le tracce a valle hanno uno sviluppo molto uniforme, ammesso anche che per un improvviso spostamento dell'alveo la traccia a monte della unità idrografica *A* (es.: fiume Colorado) venga ed interessare la traccia valliva della unità idrografica *B* (es.: Rio Negro), il valore di tutte le tracce a valle essendo sensibilmente eguale, l'azione modellatrice ne verrà ben poco modificata. Le porzioni a valle ridotte a coefficiente comune possono quindi ricollegarsi ad una qualsiasi delle diramazioni montane. (V. fig. 2).

Per quanto innanzi vedemmo, le condizioni di equilibrio idrotopografico delle tracce a monte sono ben distinte ed uniformi: le fortissime discontinuità topografiche fissano il corso dei fiumi

e marcano gli effetti della incisione lineare, mentre a valle, ove la superficie non è più ulteriormente evolubile l'equilibrio idrotopografico è molto instabile ed una modificazione del fattore idrologico (piena) o del fattore topografico (movimenti epeirogenici od orogenici) sposta gli alvei dei fiumi. Possiamo dunque studiare separatamente le condizioni di equilibrio in zona costiera ed in zona montana.

SEZIONE ORIENTALE. — *Rio Colorado*. — Dal piede delle montagne sino al mare svolge la sua traccia per circa 800 km., cui corrisponde una distanza minima dalla uscita in piano alla linea di costa di quasi 700 km. Lo scarso sviluppo del corso mostra come le condizioni topografiche non siano in contrasto rilevabile con le esigenze di una perfetta conseguenza. Solo nella estrema parte a mare i due rami per cui il Colorado sfocia, il Brazo Nuevo al nord (che dal punto di biforcazione segna il cammino più breve al mare) ed il Brazo Viejo al sud, rivelano la presenza di due tracce possibili: l'idrologica e la topografica.

La portata del Brazo Nuevo in periodi di forti piene è superiore a quella del Brazo Viejo, il quale anticamente costituiva l'unico ramo di sbocco del Colorado. La comparsa del Brazo Nuevo deve forse riferirsi al momento in cui il rio Curaco, del quale segnano l'antica traccia reale una serie di depressioni e lagune dal lago Uerre-Lauquen alla Bahía Blanca, deviato a sud, per causa non nota, elevò improvvisamente il valore idrodinamico del fiume, dal punto di confluenza al mare. (V. fig. 2).

Rio Negro. — A valle del forte Chimpay si aprono verso oriente due depressioni: una a nord percorsa dal Rio Negro si sviluppa per 380 km. ed interessa la linea di costa sotto un angolo di circa 20°; un'altra al sud, attualmente asciutta, con il nome di Cañadon del Gualichu si sviluppa per 200 km. appena (è quindi molto più vicina della precedente alla traccia idrologica) e sbocca nel golfo di S. Mattias tagliando la costa quasi ad angolo retto.

Ivi le condizioni topografiche costiere rivelano ancora con sufficiente chiarezza l'antica foce del fiume con la formazione litoranea della punta Banco de los Lobos, costituita di depositi alluvionali così lavorati e disposti dalle correnti marine del golfo che tagliano il prolungamento dell'antica traccia fluviale.

Subito oltre il forte Chimpay il Rio Negro si divide in due braccia che circuiscono l'isola Choele-Choe lunga 35, larga 18 km.,

cui segue più in basso un'altra biforcazione che limita l'isola Choele-Choe Chica (10 km. $\times$ 3 km.), e per un centinaio di chilometri ancora numerose piccole isole ad area sempre più ridotta si incontrano procedendo verso la costa. Vi è dunque una tendenza ad uno sdoppiamento della traccia (dei due rami che limi-

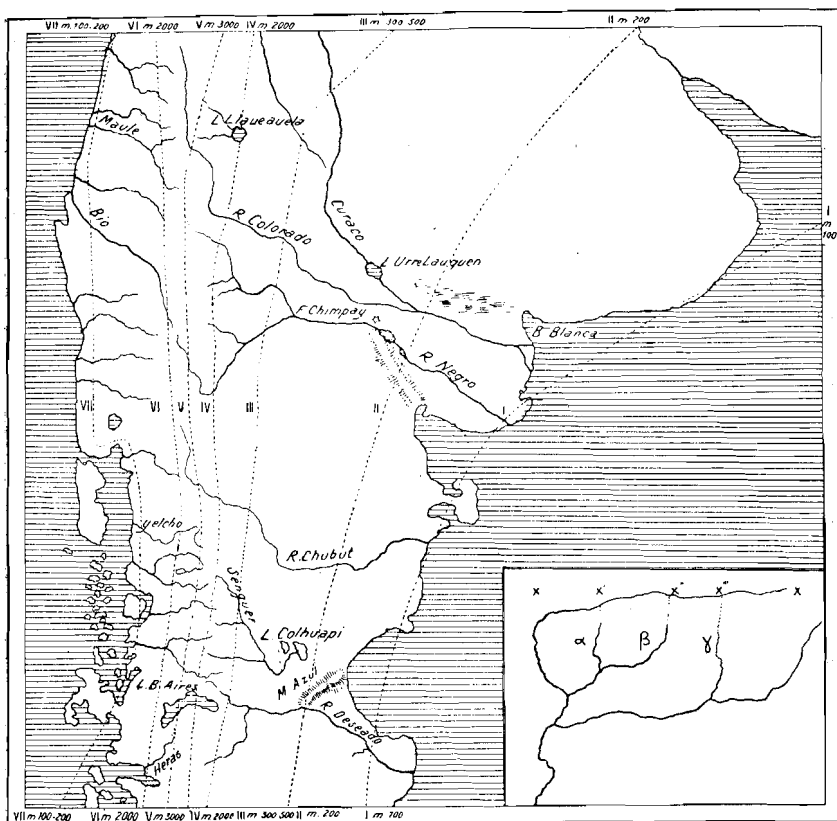


FIG. 2^a — Cartina dell'America del Sud tra il 35° e il 47° parallelo.

tano un'isola, l'uno rappresentando la traccia idrologica, l'altro la topografica), la quale si attenua gradualmente verso il mare con il progressivo differenziarsi di una serie ben netta di « punti di passaggio ».

R. Chubut. — All'uscita dalla zona montuosa che dista in linea retta dalla foce 420 km. esso descrive un ampio arco verso il sud sviluppandosi per quasi 600 km.

R. Mayo e Senguer. — Il sollevamento in blocco della linea costiera misurabile nella scarpata che sale dal mare con brusca rottura di pendenza sino al ciglio di un altopiano con quote tra i 150 ed i 200 m., determina tra il 45° ed il 47° parallelo S. una serie di depressioni limitate tutto attorno da quote superiori. Il lago Colhuapi occupa il centro di una di queste depressioni e fa da livello di base ai corsi riuniti Senguer-Mayo, spostando ad occidente le curve d'isoerosione e mettendo in maggiore rilievo il vantaggio dei fiumi cileni che solcano la Cordigliera sviluppando sempre più verso l'interno i loro bacini collettori.

Rio Deseado. — Dal punto di confluenza del R. Felix esso scorre in direzione O. E. verso il golfo di S. Giorgio, ma, giunto ad una distanza di circa 100 km. dal mare, volge improvvisamente verso S. E. per sfociare nell'Atlantico presso le isole dei Pinguini dopo avere sviluppato così la sua traccia per ben 300 km. (3 × volte più della traccia idrologica). Ai piedi della Meseta Azul una serie di lagune e depressioni segna l'antica traccia. Per quanto il molteplice interferire dei fenomeni epeirogenici ed orogenici in un con le mutazioni del clima rendano spesso oltremodo difficile la interpretazione degli spostamenti degli alvei fluviali, ci sembra tuttavia di potere nel presente caso spiegare con sufficiente chiarezza la deviazione del Rio verso S. E.

Ad oriente del lago Buenos Aires si stende un'ampia valle asciutta, nella quale anticamente scorreva l'emissario del lago, catturato in seguito dal fiume Las Heras, dal versante cileno. La massa di acqua improvvisamente deviata, diminuendo il valore idrodinamico del Rio Deseado, lo costrinse a svolgersi oziosamente per la lunga via, seguendo la traccia topografica di tre volte superiore, come sopra dicemmo, a quella idrologica.

SEZIONE OCCIDENTALE. — Il notevole dislivello tra le origini e la foce, la vicinanza del livello di base, le più abbondanti precipitazioni, l'assenza di una zona costiera danno a tutti i fiumi cileni indistintamente un più elevato grado di autonomia, onde essi tendono ad ampliare ed estendere i loro bacini collettori sempre più a monte, interferendo con il sistema idrografico dell'opposto versante: il crinale di displuvio si abbassa quindi secondo un piano inclinato spostandosi progressivamente verso est. Riportiamo la seguente tabella dei dati morfometrici: dislivello in metri tra le origini e la foce, lunghezza totale del corso, distanza in linea retta tra l'inizio e la foce, percentuale di sviluppo.

Fiumi del versante occidentale	Sviluppo	Lunghezza totale del corso in km.	Distanza minima tra le origini e la foce in km.	Dislivello tra le origini e la foce in m.	Dislivello tra le origini e la foce in m.	Distanza minima tra le origini e la foce in km.	Lunghezza totale del corso in km.	Sviluppo	Fiumi del versante orientale
Rapel-Cachapoa . .	15 %	200	170	2,700	2,800	900	1,200	25 %	Colorado
Rapel.	13 %	230	200	3,000					
Mataquito-Lontuè . .	23 %	235	180	2,800					
Rio Maule	11 %	220	200	2,000					
Rio Nuble	15 %	230	195	2,004	2,700	950	1,100	17 %	Rio Negro
Rio Bio	21 %	380	300	1,800					
Rio Imperial	3,1 %	145	140	1,000					
Rio Tolten	22 %	200	160	1,600					
Rio Rinihue	6 %	180	170	1,500	1,800	580	750	21 %	Rio Chubut
Rio Bueno	6 %	160	150	1,900					
Manso	35 %	140	90	2,000					
Puelo	8,5 %	120	110	2,000					
Yelcho	36 %	220	140	1,600	860 — 200 = 660 m.	200	280	40 %	Senguer } Mayo . . } Lago Colhuapi
Palema	36 %	220	140	1,100					
Pico	5,6 %	170	160	860					
Frias	7 %	130	120	1,000					
Aisen	26 %	150	110	1,080	1000 — 200 = 800 m.	230	260	11 %	Rio Deseado
Heras	15 %	130	110	600					
					580	380	600	36 %	

In B l'acqua ha acquistato una velocità V , e la sua forza erosiva è $m v^2$.

Quale sarà la sua forza erosiva in C ? Per determinarla bisogna calcolare la sua velocità V' in C , in funzione di V . Secondo la formula dello scorrimento delle acque in canali scoperti, si può scrivere:

$$\begin{cases} V = K \sqrt{R \operatorname{tg} i} & (1) \\ V' = K \sqrt{R' \operatorname{tg} i'} & (2) \end{cases}$$

quindi:

$$\frac{V^2}{V'^2} = \frac{R}{R'} \cdot \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} i'} \quad (3)$$

oppure:

$$\begin{aligned} R &= \frac{S}{P} = \frac{h l}{2 h + 1} \\ R' &= \frac{S'}{P'} = \frac{h' l}{2 h' + 1} \end{aligned}$$

da cui:

$$\frac{R}{R'} = \frac{h}{h'} \times \frac{2 h' + 1}{2 h + 1} \quad (4)$$

Ma la portata essendo costante si ha:

$$\begin{aligned} h l V &= h' l V' \\ h V &= h' V' \\ h' &= h \frac{V}{V'} \end{aligned}$$

e sostituendo in (4) h' con il suo valore

$$\frac{R}{R'} = \frac{V'}{V} \times \frac{2 h \frac{V}{V'} + 1}{2 h + 1} = \frac{2 h V + 1 V'}{V (2 h + 1)}$$

e sostituendo in (3) a $\frac{R}{R'}$ il proprio valore e ricordando che $i' = \alpha + i$ si ottiene:

$$\frac{V^2}{V'^2} = \frac{2 h V + 1 V'}{V (2 h + 1)} \times \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} (\alpha + i)}$$

oppure:

$$1. \operatorname{tg} i \cdot V'^3 + 2 h V \operatorname{tg} i V'^2 - V^3 \operatorname{tg} (\alpha + i) (2 h + 1) = 0 \quad (5).$$

equazione di 3° grado che ci dà V' in funzione di α e degli elementi idrodinamici del punto B . (V. fig. 4).

Si può risolvere l'equazione (5) in ogni caso speciale. Supponiamo, ad es., $i = 30^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ et $V = 1^m$ al secondo, il valore di V' sarà approssimativamente eguale a $1^m.25$ per secondo. Considerando una massa di acqua in forza di 10 kg. per secondo, la forza

erosiva in B sarà $10 \times 1^2 = 10$ kg.; in C essa sarà $10 \times 1.25^2 = 15,6$ kg.

La forza di erosione ($m v^2$) nel punto x' del corso AD' (v. fig. 3) sarà, per quanto abbiamo dimostrato, identica alla forza di erosione del corso AD' in x'' . L'azione idrologica dei corsi d'acqua è la stessa in qualsiasi punto di ogni curva ipsometrica ed aumenta progressivamente verso il mare. Queste curve hanno quindi nel nostro caso oltre al significato topografico di riunire tutti i punti aventi una medesima quota (= curve ipsometriche), anche il significato idrodinamico di riunire tutti i punti, ove la massa e la velocità delle acque (valori di $m v^2$) sono le stesse (= curve isoerosive). In unità oroidrogra-

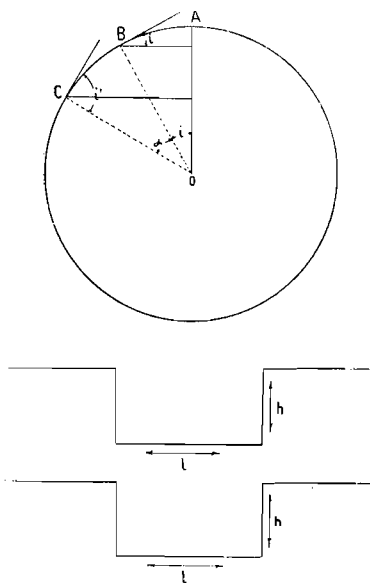


FIG. 4^a.

sferica le curve ipsometriche e quelle isoerosive hanno dunque il medesimo andamento.

Effetto delle irregolarità topografiche orizzontali. — Supponiamo ora (v. fig. 3) che in corrispondenza alla curva 60 si sviluppi una pendenza invertita $S-T$ con quota 70 m. e con asse non completamente normale alla traccia AD . La massa di acqua giunta in V tende per forza viva a superare l'ostacolo ed oscilla idealmente al di qua e al di là del punto V intersezione delle due pendici (di due segmenti che giacciono nei due piani delle pendici) contrapposte, per poi seguire la serie dei punti lungo la falda, ove si hanno condizioni ottime di passaggio. Giunta in S essa trova, secondo il segmento SS' che segna la via più breve al mare, una serie continua di punti ottimi di passaggio. Vogliamo ora vedere quali siano i valori

di $m v^2$ in AV , VS e SS' , quali cioè le conseguenze dell'ostacolo ST sull'azione modellatrice del corso AD .

Consideriamo il punto x in AV : la massa di acque è la stessa come nel punto simmetrico x' , ma la velocità è diminuita per l'attrito maggiore in seguito allo sviluppo notevole della traccia fluviale a valle (1) ($xS' = xD + VS$). Poichè il valore $m v^2$ diminuisce progressivamente a monte, la curva isoerosiva corrispondente al valore modificato di $m v^2$ in x si troverà più verso l'interno. Si ha quindi rientranza della curva di isoerosione e disgiunzione di quest'ultima dalla curva ipsometrica. Ciò che per x si può dire per qualunque altro punto del segmento fluviale AV .

Ed ora consideriamo un punto qualunque in SS' : appena girato l'ostacolo, la massa di acqua trova in S la curva ipsometrica 50 cui corrisponderebbe, in condizioni normali, un valore $m v^2 =$ ad es. a 14 kg. Ma la forza erosiva essendo diminuita per l'attenuarsi della velocità a causa dell'ostacolo, la curva ipsometrica che corrisponde al suo mutato valore si troverà più verso l'interno. Lo stesso possiamo dire per ogni punto del segmento SS' . Analoghe considerazioni valgono pure per il tratto VS : la presenza dell'ostacolo ST diminuisce adunque il valore $m v^2$ su tutti i punti della traccia AS' .

Supponiamo ora che l'ostacolo si sviluppi lungo una curva ipsometrica tanto da individualizzare un punto x a quota determinata, limitato tutto attorno da una serie di quote superiori (bacino chiuso). In quel punto il valore di $m v^2$ si annulla nella immobilità delle masse di acqua che vi si accumulano rapidamente a costituire un lago interno che fa da livello di base ai corsi d'acqua che da ogni parte convergono. (V. parte superiore della fig. 3).

Effetto delle irregolarità topografiche in senso verticale. — Consideriamo ora il caso ove, come a fig. 5, la serie longitudinale dei punti di passaggio in senso conseguente invece che in curva continua, si presenta divisa in due segmenti: un segmento a monte molto, ed un segmento a valle meno inclinato. Nel tratto AB il valore di $m v^2$ va progressivamente aumentando da A verso B

(1) Nella fig. 3 è stata omessa la lettera S' . Essa troverebbe il suo posto nel punto ove il prolungamento della traccia VS interseca la linea di costa.

ed è superiore ai valori corrispondenti in AD (D = al punto corrispondente a B nell'arco AC). Consideriamo mv^2 in x ; il suo valore deve essere necessariamente superiore al valore mv^2 in x' : infatti la distanza Ax essendo minore della distanza Ax' , ne risulterà per il tratto Ax maggiore inclinazione, diminuzione di attriti e, quindi, aumento della velocità. Quest'ultima nel punto di intersezione dei due segmenti subisce una forte diminuzione che attenua il valore di mv^2 in tutti i punti del braccio a monte. Qualunque diminuzione di pendenza agisce quindi come un ostacolo secondo la linea d'intersezione delle due pendici diversamente inclinate.

Le medesime considerazioni possono essere estese dai settori di calotta sferica alle sezioni destra e sinistra di una unità orografica allungata con asse longitudinale di punti di erosione massima.

Esaminando il profilo (V. fig. 1) della regione considerata abbiamo dalla parte del Chilì una pendenza continua ed uniforme ove il valore mv^2 aumenta progressivamente verso il mare; dalla parte orientale invece detto profilo è suddiviso in due segmenti: segmento a monte a forte e segmento a valle a lieve inclinazione. La forte rottura di pendenza ai piedi della zona montuosa (regione Andina) attenua il valore di mv^2 in tutte le diramazioni montane. Ma oltre a queste discontinuità in senso verticale l'irregolare manifestarsi di bradisismi positivi e negativi determina la comparsa lungo la costa di quote elevate che limitano verso l'interno depressioni e bacini chiusi ed hanno per conseguenza il valore di ostacoli in senso orizzontale secondo le modalità precedentemente discusse: ne risulta uno sviluppo considerevole, per ogni traccia fluviale, che ne attenua in ogni punto l'azione erosiva.

Queste lievi ondulazioni, e le brevi serie di colli che nella pianura delle Pampas sviluppano considerevolmente la porzione subseguente dei corsi d'acqua, s'inalzano al di qua e al di là dell'asse dell'unità (la Cordigliera centrale) in pluriseriata linea di possenti catene lungo le cui sinclinali si dispongono le tracce dei fiumi. Il piano sopra il quale giacciono gli assi di queste sinclinali, pure abbassandosi gradualmente verso il sud, presenta delle insellature (depressioni trasversali) che divengono altrettanti

punti di gravitazione idraulica in bacino chiuso od in bacino semichiuso.

Possiamo ben definire come bacino chiuso la geomorfa semplice bacino: una superficie inclinata tutto attorno dalla traccia di un cerchio o di una ellissi ad un punto sottostante a quel cerchio o a quell'ellissi.

La evoluzione ha suo termine nel peneplano formatosi in continuazione allo specchio del lago centrale che fa da livello di base ai fiumi che vi affluiscono.

In un bacino semichiuso abbiamo invece due o più serie di quote decrescenti dalla traccia di un cerchio o di una ellissi

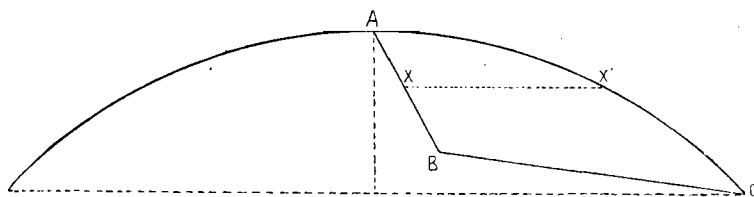


FIG. 5^a.

verso un punto sottostante a quel cerchio o a quell'ellissi e primo elemento di una serie di punti ottimi di passaggio a quote decrescenti verso il mare.

Nelle diramazioni subseguenti montane dei fiumi la quota di ogni punto è superiore a quella che loro competerebbe in condizioni di perfetta conseguenza. Il significato geomorfogenetico delle Cordigliere è quindi quello di un ostacolo ST che rallenta considerevolmente il processo di evoluzione del rilievo spostando verso l'interno tutte le curve isoerosive. Lo sviluppo del braccio SS' è per la vicinanza delle catene all'asse centrale notevolmente superiore a quello del braccio a monte AV , ridotto teoricamente in nulla alle falde della Cordigliera. (V. figg. 3 e 2).

Necessaria temporaneità delle alte forme. — Per quanto, come sopra dicemmo, le numerose discontinuità topografiche notevolmente attenuino la uniformità delle Pampas, riesce tuttavia sempre possibile tracciare, a cominciare dalla costa, tante linee più o meno parallele sulla traccia di quote sensibilmente costanti (fig. 2). La quota media di ognuna di queste curve è superiore alla quota media della curva precedente ed inferiore a quella della curva che ad essa fa

immediatamente seguito più ad ovest. In corrispondenza alla traccia IV si ha un improvviso aumento della quota che diviene tre-quattro volte superiore all'altitudine media corrispondente alla traccia III, e si conserva tale in V ed VI per poi di nuovo improvvisamente declinare. Le linee IV-V-VI segnano le zone di erosione limitata (bacini chiusi) e ritardata (bacini semichiusi) situate molto al disopra dei piani di terzo grado e destinate quindi a scomparire nel processo di evoluzione del rilievo.

Interferenza della geoforma valle nella geoforma bacino. — In un nostro precedente lavoro (1) sul significato delle geomorfe elementari in geomorfogenesi abbiamo distinto due modalità di piano: 1) piano generatore che rappresenta la superficie topografica primitiva e 2) piano terminale (peneplano): tra i due è tutto un ciclo di erosione fluviale.

Nell'attualità è la valle la geomorfa di passaggio (da superficie topografica primitiva a peneplano) la più diffusa in una regione: sono infatti i bacini collettori dei fiumi che sviluppandosi dal versante argentino e da quello cileno interferiscono con le alte geomorfe e vi si sostituiscono. Le modalità di questa interferenza variano a seconda che si tratta di bacini semichiusi o di bacini chiusi, ed in questo caso ancora a seconda del grado di evoluzione dell'alto peneplano.

Interferenza della geomorfa valle nel bacino semichiuso. —

A) *Catture laterali.* — Consideriamo i corsi d'acqua *A C*, *B C* compresi nella medesima sinclinale. Come elementi idrografici autonomi essi tendono alla via più breve per giungere al mare, insistendo con maggiore energia sulla riva a valle, ma sono costretti dai poderosi ostacoli topografici (rapporti i. t. 1 : 50) a defluire l'un verso l'altro nella insellatura della sinclinale che è punto di gravitazione idrologica.

Supponiamo ora che il corso *x* sviluppando sempre più a monte il suo bacino collettore abbassi a poco a poco il crinale sino al piano del *talweg* *A C*, adducendo nel bacino semichiuso una curva ipsometrica di valore topografico molto inferiore a quello della curva più alta che limitava precedentemente il bacino. Il

(1) AZZI G., *Il significato delle geomorfe elementari in geomorfogenesi*, in *Rivista geografica italiana*, anno XIX, fasc. V, 1912.

primitivo rapporto i. t. 1 : 50 viene in quel punto improvvisamente modificato, abbiamo 20 : 1 e la massa di acqua tendendo al mare per la via più breve, si precipita attraverso la breccia così aperta e viene catturata (1).

B) *Aulocapture*. — Come unità idrografica intendiamo un fiume con tutte le sue diramazioni e con tutti i suoi affluenti. Nella evoluzione del sistema idrografico non tutte le parti di un corso hanno identico valore, ma, come nel nostro caso i fiumi del versante cileno tendono a svilupparsi a svantaggio di quelli dell'opposto versante, così pure, quando le condizioni topografiche non siano uniformi, tra le diramazioni di una stessa unità idrografica s'inizia una gara nella quale prevalgono quei segmenti fluviali la cui direzione loro assicura un valore di mv^2 molto elevato.

Il potere catturante di un segmento fluviale è tanto più elevato quanto maggiore ne è il grado di conseguenza (che a parità di altre condizioni aumenta mv^2), e d'altra parte un segmento sarà tanto più catturabile quanto più è subseguito (la subseguita diminuisce mv^2) e sviluppato (aumentandosi così a parità d'altre condizioni il numero delle tracce conseguenti interferenti).

Supponiamo di avere il corso xy in zona che si trovi all'inizio della evoluzione del suo rilievo; il tratto xx tende a divenir conseguente (I stadio evoluzione idrografica), ma ne è impedito dalle condizioni topografiche che lo forzano subseguitamente. Le tracce dei tre rami α , β e γ sono destinate nel loro sviluppo ad interferire con la traccia xx catturandola nel punto d'interferenza (V. fig. 2, angolo a destra).

Di questi tre rami α possiede un potere catturante più elevato per la minor distanza tra il livello di base e le origini e per il minore angolo di deviazione. Esso cattura in x' il segmento $x'x$

(1) Abbiamo creduto inutile disegnare una figura speciale ad illustrazione del fenomeno.

Uno qualunque dei segmenti fluviali, decorrente in sinclinale secondo una serie di quote comprese tra i 1000 e 2000 m., e parallela ad altra serie con valori tra i 300 e i 500 m., alle falde dei monti nel limite della Pampa, ci rappresenta il valore del corso AC (risp. BC). Le tracce dei fiumi cileni per gran parte normali alla direzione delle anticlinali e delle sinclinali, su serie continua di quote rapidamente decrescenti a mare, hanno tutto il carattere di corsi catturanti x .

e successivamente β e γ deviano $x''x$ e $x'''x$, scomponendo così in quattro il primitivo segmento xx . La probabilità di cattura da parte di un corso che si sviluppi dall'opposto versante viene quindi diminuita di 4 volte.

Le autocature attenuano dunque le conseguenze di una ineguale distribuzione del fattore topografico nelle sezioni di una unità oroidrografica allungata ed evitano i grandi ed improvvisi spostamenti del crinale di displuvio.

Interferenza della geomorfa valle in bacino chiuso. — Appena la traccia del *talweg* interessa il punto idrologico del bacino chiuso, questo scompare ed entra a far parte integrante della formazione valliva trasformandosi in bacino semichiuso; si può da quel momento, per ciò che riguarda l'evoluzione del sistema idrografico, ripetere quanto esponemmo a proposito delle catture laterali e delle autocature.

Ad uno stadio di questo processo corrisponde la cattura del lago centrale per il fiume che scorre nel *talweg* interferente, quando la traccia di quest'ultimo venga ad interessare la curva ipsometrica che segna il livello del lago.

La Cordigliera delle Ande, serie delle quote massime (vedi fig. 2) non suddivide la zona montuosa in due metà simmetriche, ma si trova spostata verso ovest, istituendo nella sezione orientale condizioni più favorevoli alla formazione di bacini chiusi. Ed è per questo che i bacini chiusi vengono ad essere interessati nella evoluzione del rilievo anzitutto dalle valli argentine, la prevalenza dei corsi cileni manifestandosi il più delle volte quando ogni traccia del bacino lacustre è già completamente scomparsa.

Vi sono tuttavia casi in cui mentre perdura il processo che tende a portare la traccia del *talweg* argentino sul punto idrologico, un fiume cileno sviluppandosi dall'opposto versante in condizioni di maggiore attività modellatrice (per la vicinanza del livello di base) interferendo nel processo cattura il lago, escludendone, per la maggiore rapidità con cui evolve il rilievo, l'opposto corso analogo, e spostando improvvisamente il crinale di displuvio al di là del lago.

Di questo fatto abbiamo due esempi istruttivi nel lago Buenos Aires e nel lago Lancar: sviluppasi il primo in forma di mezza luna tra il 71° ed il 73° meridiano, mentre il secondo si allunga in una insellatura trasversale lungo il 46° parallelo S. per lo spazio di

27 km. Ad est si continuano entrambi, separatine dalla breve cresta di displuvio, in ampie valli svasate ed asciutte le quali immettono rispettivamente nel bacino del Rio Felix (affluente del Deseado) e del Quilquihue (affluente del Limay). I segmenti vallivi, attualmente non percorsi da tracce fluviali, segnarono in un periodo non molto lontano la via degli emissari argentini dei suddetti laghi, ora catturati dai fiumi cileni. Le gole ristrette e profonde per cui Las Heras e l'Huahum affluiscono tumultuosamente all'Oceano Pacifico sono indizio sicuro di erosione giovane e di recente formazione valliva (V. fig. 2).

Possiamo dunque affermare con certezza che in un momento dopo l'ultima emersione il crinale di displuvio si è spostato per 130 km. ad est in corrispondenza del lago Buenos Aires e per 27 km. nella stessa direzione in corrispondenza del lago Lancar.

Condizioni idrotopografiche della zona limite tra l'Argentina ed il Chili. Modalità nello spostamento del crinale (V. fig. 6). Il corso superiore del Rio Grande, dalle origini fino al punto di confluenza con il Cajon Grande (km. 90), sviluppa la sua traccia parallelamente alla Cordigliera ed alla linea di costa determinando con una forte rientranza delle curve isoerosive un notevole ritardo nella evoluzione del rilievo. Le formazioni vallive conseguenti tendono dall'uno e dall'altro versante a tagliare e deviare il segmento subseguente del Rio Grande. Dalla parte dell'Argentina i rii Alamo e Malargué fanno parte del sistema idrografico di un bacino chiuso di cui il lago Llanquanelo occupa il centro; e ne viene così, per quanto innanzi vedemmo, messo ancor più in rilievo l'elevato potere erosivo delle fiumare cilene: Rio Claro, Mataquito, Lontué e Rio Maule che allargano verso l'interno i loro bacini collettori a crollare la superficie topografica primitiva. Per lo scarso sviluppo ed il piccolo angolo di deviazione il Rio Maule ha le maggiori probabilità di cattura; una diramazione montana del suo corso attraversa la Cordigliera ed in corrispondenza al Paso Trolon abbassa viepiù la traccia del *talweg* verso il piano su cui scorre il Rio Grande.

Avvenuta la cattura, ne risulterà uno spostamento del crinale ad est per 30-60 km. sopra un fronte di ben 90 km.

Tra il Paso Pehuenché ed il Paso Portillo il crinale di displuvio si sdoppia a limitare due bacini chiusi destinati a scomparire nel processo di evoluzione del rilievo.

Il lago Maule, attualmente parte della unità idrografica Rio Maule, era al momento dell'ultima emersione completamente isolato (?) e questa condizione segna sin d'ora la sorte dei due bacini collocati sul prolungamento ideale di due ramificazioni montane del Maule.

Dalle sue origini fino al punto di confluenza con il Trocoman, il Neuquen svolge la sua traccia in senso subseguente per lo spazio di 115 km. a costituirvi un segmento catturabile ed omologo al corso superiore del Rio Grande. Senonchè, mentre la traccia di quest'ultimo si mantiene sensibilmente parallela alla Cordigliera da cui dista 20 km. al massimo, 15 km. al minimo, la traccia superiore del Neuquen taglia la linea di displuvio sotto un angolo di 25 gradi e ne dista 3 km. al minimo, 45 km. al massimo, risultandone così per mv^2 un valore medio superiore a ciò che si otterrebbe in condizioni di perfetta subseguenza, e nell'angolo limitato dalla Cordigliera e dalla traccia fluviale la formazione di numerosi affluenti di carattere più o meno conseguente: Trocoman, Reñileo, Butamallin, Nahueve, Pichi-Neuquen i quali naturalmente rendono impossibile l'improvviso spostamento del crinale per fenomeni di cattura laterale.

D'altra parte, nell'opposto versante, le tracce a monte dei fiumi cileni tendono a disporsi in senso subseguente, attenuando la loro azione modellatrice e rendendo relativamente stabile il tratto di crinale compreso tra i passi Portillo (presso le origini del Neuquen) e Trollope. Anzi tra il Paso Portillo ed il Paso Saco il corso superiore del Rio Melado (cileno) sviluppa con il nome di Cajon de Troncon una traccia perfettamente subseguente lunga 35 km.

Tra i passi Trollope e Pino Achado al di qua ed al di là della Cordigliera svolgono i loro corsi in senso spiccatamente subseguente il Rio Bío (cileno) e il Rio Agrio (argentino), distanti entrambi dal crinale di displuvio dai 20 ai 30 km. Ma a rendere ancor più stabile il crinale in questa zona concorrono le tracce conseguenti del Arrojo Coñipili, Cajon de Huaribauhan e Arrojo antico (appartenenti insieme col Rio Agrio ad una stessa unità idrografica), che nel loro sviluppo tendono ad interessare il corso del Rio Agrio diminuendone dell'80 % la catturabilità con il fenomeno di autocattura.

Tra il Paso Pino Achado e Voroloches la linea di displuvio

corre per oltre 300 km. e limita con le tracce dei rii Colloneura-Aluminé e Limay (che s'intersecano sotto un angolo di 120°) una zona triangolare, ove si sviluppano numerosi corsi in senso conseguente e normali alla direzione della Cordigliera: Aluminé, Pulmari, Quillen, Malleo, Chimehuin, Quilquihué, Traful e Limay. Ciascuno di questi fiumi, ad eccezione del Quilquihué, fa da emissario ad uno dei grandi laghi che si stendono in serie continua ai piedi della Cordigliera tra il Paso Mallin de Ycalma ed il Cerro Ceniza con l'asse longitudinale in direzione ovest-est, così: lago Aluminé, Uruburu, Quillen, Tremén, Huechulafquen, Lolo, Traful, Nahuél-Huapi.

L'andamento del crinale di displuvio è molto regolare, quasi rettilineo in detta zona; ma in corrispondenza del lago Lancar è spostato fortemente ad est, ad oriente del medesimo. Il lago Lancar era una volta, come innanzi abbiamo veduto, drenato dal fiume argentino Quilquihué; esso è perfettamente omologo agli altri laghi e segna nel processo di evoluzione del rilievo uno dei momenti che porteranno la linea di displuvio a spostarsi all'est del sistema dei laghi per un indice di spostamento che varia tra i 30 e i 40 km. (V. fig. 6).

Tra il Cerro Bayo e la

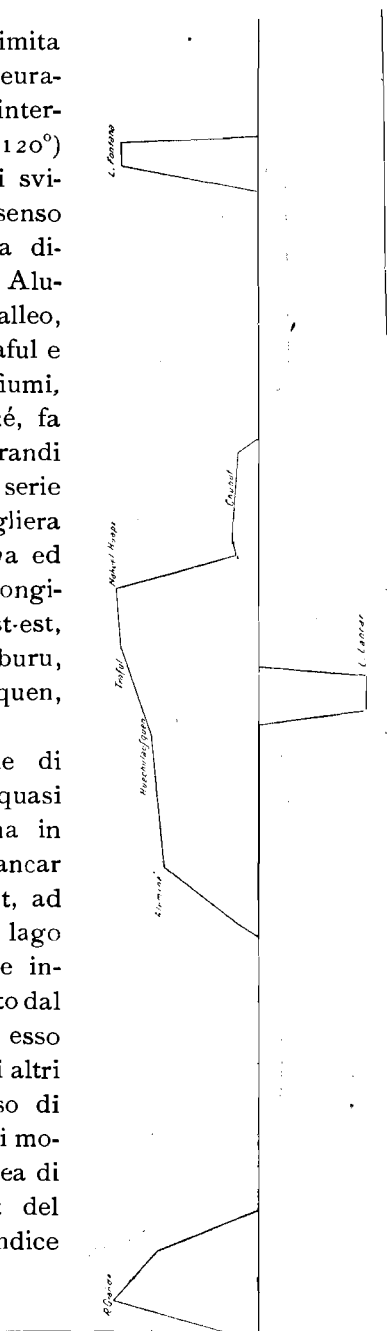


FIG. 6ª — Cartina dimostrativa degli spostamenti del crinale di displuvio considerando tanto gli spostamenti già avvenuti quanto quelli probabili. La traccia del crinale di displuvio è sviluppata linearmente.

Avra de Epuyen, il corso superiore del Rio Chubut corre per uno spazio di 90 km. parallelamente alla Cordigliera, mentre dall'opposto versante cileni numerose fiumare conseguenti allargano sempre più i loro bacini collettori e trovano nella vicinanza del livello di base, che compensa il dislivello relativamente piccolo, la ragione per un valore $m v^2$ molto elevato. La cattura del ramo superiore del Chubut sposterà il crinale per 10-30 km. all'est sopra un fronte di 90 km. circa (V. fig. 6).

Proseguendo verso il sud le tracce montane dei fiumi del versante argentino tendono sempre più nettamente alla conseguenza, ciò che insieme allo sviluppo notevole dei corsi cileni ed al valore diminuito delle quote, dona al crinale di displuvio una certa stabilità.

La regione in esame può essere complessivamente intesa dal punto di vista geomorfogenetico come un gradino formato da due pendici diversamente inclinate. La forza erosiva delle acque, localizzandosi di preferenza sulla pendice a maggiore inclinazione (avente il valore di piano generatore), tende ad istituire una superficie ad inclinazione intermedia riducendo sempre più l'area dell'altra pendice che ha il significato geomorfogenetico di piano terminale.
