

Dal lavoro originale, apparso nel 1941 sul Vol. 15° del Giornale di Geologia, è stata stralciata la bibliografia.

ANTONIO MARUSSI

IPOTESI SULLO SVILUPPO DEL CARSIAMO

(Osservazioni sul Carso Triestino e sull'Istria)

1.- Stadi iniziali del carsismo. — È noto come fra le zone carsiche europee, le più caratteristiche si trovino in corrispondenza di antiche superfici spianate dall'erosione fluviale. Su tali superfici le acque fluviali poterono continuare a scorrere anche nella prima fase del ciclo successivo, in virtù dell'ancora notevole altezza della falda idrica sotterranea, pressoché stazionaria, rispetto alla superficie esterna.

Possiamo anche ammettere che le correnti fluviali in parola scorressero, almeno in parte, non sulla roccia nuda, ma sopra una coltre alluvionale ricoprente la superficie di spianamento.

Se, trovandosi un corso d'acqua in questo stadio, si verifica un abbassamento del livello dinamico delle acque di fondo rispetto alla superficie topografica, si inizierà il *ciclo carsico*. Tale abbassamento può essere dovuto vuoi ad un sollevamento della regione in seguito all'azione di forze endogene od inarcamenti del suolo, vuoi al crearsi di nuove vie di deflusso alle acque di fondo, ad es. per distruzione di mantelli impermeabili operata dall'abrasione marina (es. distruzione della fascia eocenica in corrispondenza di Duino, presso Trieste) o dall'azione fluviale (es. distruzione della copertura eocenica in corrispondenza del margine della Selva di Ternova e di Piro, ad opera del Vipacco) o da quella delle acque di fondo stesse che cercano di aprirsi uno sbocco verso livelli inferiori; vuoi più semplicemente ancora per il drenaggio più rapido delle acque di fondo stesse causato dalla vascolarizzazione incipiente dovuta al loro moto. Si inizia allora un'infiltrazione sempre più attiva delle acque superficiali, attraverso il manto alluvionale ed attraverso i calcari; e questo segna l'avvento del *periodo carsico*.

Periodi carsici e periodi precarsici, sempre fra loro non nettamente separati, possono essersi alternati anche nell'ambito di una stessa regione, reiterando il ciclo carsico, e dando

luogo a particolari aspetti morfologici, come sarà notato in seguito trattando un caso che si presenta nell'Istria Rossa.

Le acque infiltrantisi fra le alluvioni penetrano nelle litoclasti e nei giunti di stratificazione della roccia calcarea, approfittando di ogni soluzione di continuità in questa che permetta loro di raggiungere i livelli inferiori, andando ad arricchire il flusso delle acque di fondo. La superficie di queste tende allora ad innalzarsi in corrispondenza dei corsi di acqua superficiali, quindi determinando un maggior deflusso. Questo deflusso cagiona a sua volta il manifestarsi del carsismo ipogeo, sotto forma di una rete di canali fra loro comunicanti (gallerie) uniti con la superficie da un sistema di fenditure a prevalente direzione verticale, che tendono a trasformarsi in inghiottitoi.

La massa calcarea interessata dalle acque carsiche può essere divisa in tre zone, a seconda delle condizioni di moto delle acque stesse che vi predominano.

Nella prima zona, la più superficiale, dopo attraversato lo strato alluvionale, le acque che penetrano nelle soluzioni di continuità del calcare, sono soggette alla sola forza di gravità; e pertanto il carsismo da esse generato avrà sviluppo prevalentemente verticale (pozzi, inghiottitoi); nella seconda zona, raggiunta la superficie dinamica delle acque di fondo, esse saranno soggette oltre che alla forza di gravità, anche a quella delle spinte idrostatiche ed idrodinamiche delle falde in moto verso il livello di base regionale; la risultante di queste azioni sarà un moto con direzione prevalentemente orizzontale, e pertanto anche il carsismo che ne nasce avrà uno sviluppo prevalentemente orizzontale (gallerie, corridoi).

Una terza zona infine si può considerare, ed è quella sottostante all'ipotetico livello statico delle acque di fondo. Qui i soli moti che si possono concepire, sono quelli impressi dalle spinte idrodinamiche provenienti dai livelli superiori. Tali spinte sono però da considerarsi di entità quasi trascurabile — fatta eccezione di fenomeni assimilabili a condotte in pressione, non infrequenti nelle regioni carsiche litoranee abbassate rispetto al livello marino: di regola può dirsi inesistente la possibilità del moto di acqua, e quindi del formarsi del carsismo, al disotto del livello statico delle acque di fondo.

L'alternarsi di livelli di gallerie ed inghiottitoi che talvolta la speleologia ci fa conoscere, è pertanto indice dell'oscillare del livello dinamico delle acque di fondo rispetto la superficie topografica. Se in particolare il suo abbassamento è avvenuto per gradi, è chiaro che ad ogni fase di stasi deve corrispondere un livello di gallerie.

2. - Formazione degli inghiottitoi. — Mano a mano che le fessure verticali della prima zona si vanno allargando in virtù della dissoluzione operata dalle acque chimicamente attive che, perdute dal corso d'acqua superficiale, penetrano nell'interno, le sovrastanti alluvioni vengono ad occupare tali cavità, invadendo anche totalmente o parzialmente il sistema di gallerie; attraverso a queste alluvioni permeabili le acque continuano tuttavia a fluire, e grazie ad esse possono tenere le pareti uniformemente bagnate, e quindi sotto azione chimica solvente.

Le alluvioni stesse, se di natura calcarea, vanno soggette all'azione solvente delle acque filtranti; ma la loro dissoluzione trova compenso nell'apporto, da parte del corso epigeo, di nuovo materiale; mentre la dissoluzione delle pareti dei condotti non trova compenso alcuno, e questi condotti possono allora raggiungere le dimensioni talora enormi che la speleologia ci ha fatto conoscere per alcuni inghiottitoi carsici.

Solo ammettendo il riempimento da parte delle alluvioni imbevute delle acque chimicamente attive del corso epigeo, si possono spiegare a nostro avviso quegli inghiottitoi che a volte presentano diametri tali da poter inghiottire per intero un corso d'acqua di grandissima mole, se essi si fossero formati liberi dalle alluvioni, e si può spiegare il fatto di inghiottitoi di gran mole posti a breve distanza uno dall'altro.

3. - Formazione delle doline. — Dove l'inghiottitoio od i sistemi assorbenti di fessure affiorano alla superficie del calcare, ivi le acque che imbevono le alluvioni a guisa di falde freatiche convergono con moto centripeto, e dissolvono perifericamente la superficie calcarea, dandole l'aspetto di un imbuto; nasce così la tipica *dolina carsica*. Anche le pareti di questa sono tenute ovviamente bagnate dalle acque chimicamente attive, in virtù delle alluvioni che mano a mano vanno ad occupare le zone dove il calcare è stato disciolto; e grazie a questa azione uniforme su tutte le pareti della nascente dolina noi possiamo ammirare oggi la forma regolare a imbuto che spesso le contrassegna.

Se il corso d'acqua epigeo divaga sulle alluvioni, il carsismo avrà uno sviluppo prevalentemente esteso in superficie, ma privo di fenomeni profondi; le doline saranno piccole, ma numerose e sparse su vasta zona, in corrispondenza dei posti occupati successivamente dal corso d'acqua vagante e dai suoi affluenti. Questa apparenza del fenomeno si dovrà notare particolarmente sui ripiani carsici privi di linee di impluvio appariscenti, come ad es. su vaste zone dell'Istria Rossa. Gli inghiottitoi avranno pur essi sviluppo meno marcato, mentre altrettanto non potrà dirsi dello sviluppo delle gallerie, dovuto al fluire delle acque di fondo.

Se il paleofiume carsico trovava condizioni favorevoli ad un ristagno delle acque, tanto che ad un certo punto del suo corso si sia potuto formare un lago, ivi il fenomeno carsico avrà una grande estensione in superficie, estensione pari almeno a quella del lago stesso; ma esso sarà in generale poco sviluppato in profondità; poichè noi dobbiamo concepire limitata nel tempo la vita del lago, che rappresenta sempre un fenomeno geologicamente effimero. In tal modo potrebbero spiegarsi i bacini doliniformi molto estesi e relativamente poco sviluppati in profondità.

Se invece il fiume scorreva in una regione morfologicamente ancora giovane, con corso ben marcato, e non ha mostrato quindi fenomeni di divagazione, dovremo aspettarci di trovare, lungo tale corso, fenomeni carsici molto sviluppati in profondità ed allineati lungo la linea di fondovalle. A questo gruppo di fenomeni appartengono le grandissime doline ed uvala che spesso si incontrano nel paesaggio carsico; ed i maggiori fenomeni che la speleologia presenta.

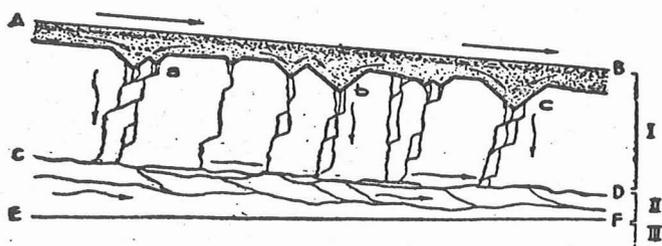


Fig. 1.

AB Corso d'acqua e sue alluvioni; *CD* Superficie limite delle acque di fondo e di carsismo ipogeo da esse generato; *EF* Livello di base; *a, b, c* Doline ed uvala in via di sviluppo.

I Zona dove le acque hanno un moto prevalentemente verticale.

II Zona dove le acque hanno un moto prevalentemente orizzontale.

III Zona delle acque prevalentemente stagnanti.

4. - L'allineamento delle doline. — Esempi tipici di paleofiumi che per lungo tempo hanno mantenuto fisso il loro corso, incidendo solchi e valloni, e lasciando profonde tracce di carsismo lungo la loro via, sono quelli che anticamente occupavano le valli morte del Carso Triestino, e quella di Castelnuovo d'Istria.

Per il corso del Paleotimavo, ed in genere degli antichi fiumi che interessavano il Carso Triestino, le ipotesi fin qui fatte si accordano perfettamente con i risultati dell'osservazione.

Analizzando minutamente la forma della superficie topografica, e cercandone le linee di impluvio anche appena accennate, le quali rappresentano quelle seguite in passato dai paleofiumi; e considerando poi la distribuzione delle grandi doline ed uvala di cui il Carso Triestino è ricco, senza nessuna eccezione si nota che *queste doline ed uvala sono allineate, e che queste linee seguono sempre il fondo di un impluvio.*

Con tanto rigore questa condizione è soddisfatta, che in un caso la posizione apparentemente anomala di una grande dolina (quella di S. Lorenzo, presso Basovizza) mi ha permesso di rintracciare il probabile corso di un grande paleofiume carsico, spezzato nella sua continuità dalla distruzione della fascia eocenica; ed ha permesso di ricostruire il corso del Paleotimavo fra le soglie di Corgnale e Divaccia, ed il punto in cui il Timavo si inabissa a S. Canziano.

Di questi criteri per la distribuzione del fenomeno carsico ci si potrà valere nel ricostruire i corsi dei paleofiumi carsici, nel mentre i casi di distribuzione apparentemente anormale potranno spesso essere indizio di circostanze non più esistenti, sia per sopravvenuti movimenti orogenetici, sia più semplicemente per profonde alterazioni morfologiche.

Con l'abbassarsi continuo del livello delle acque di fondo, e con l'assorbimento progressivo del corso epigeo in virtù del carsismo in sviluppo, diminuisce gradualmente l'energia dei corsi d'acqua superficiali, e diminuisce quindi l'apporto di nuove alluvioni; il dissolvimento e l'asporto di quelle contenute nelle gallerie e nei pozzi continua tuttavia, ma non trova più compenso nell'apporto di nuovo materiale; talchè a lungo andare pozzi e gallerie, non meno che le doline, rimangono vuoti, come noi oggi vediamo.

Quest'ultimo fatto potrà non verificarsi se le alluvioni saranno costituite da materiali insolubili o pochissimo solubili (ad es. arenarie), come può accadere nei punti in cui il corso d'acqua epigeo passava da orizzonti di rocce insolubili o poco solubili a quelle calcaree; nei pozzi e nelle gallerie corrispondenti sarà possibile trovare ancor oggi questo materiale alluvionale, a testimonianza di questa genesi del fenomeno, purchè non sia intervenuto l'asporto meccanico.

Nei pressi di S. Canziano del Timavo ho trovato infatti uno di tali pozzi ancor pieno di alluvioni, costituite da ciottoli di arenaria; e tale scoperta mi ha dato lo spunto per le considerazioni svolte nella presente memoria.

5. - Stadio attuale. — Con lo scomparire dei corsi d'acqua epigei e dei loro letti alluvionali, si entra nello stadio attuale del carsismo giuliano; durante il quale le regioni carsiche ci appaiono con le forme ed i fenomeni che ci sono consueti.

Durante questo periodo le acque superficiali vengono immediatamente assorbite, a meno che non regnino particolari condizioni che permettano loro di mantenersi in superficie, magari temporaneamente. Di regola il deflusso delle acque meteoriche verso il livello di base avviene attraverso le acque di fondo. Queste scorrono nelle gallerie ormai libere da alluvioni, ed all'azione chimica di dissoluzione aggiungono ora quella meccanica di abrasione. Sono i fenomeni che la speleologia ha come oggetto di studio.

La circolazione delle acque sotterranee carsiche è in prevalenza quella delle acque di fondo. Prevale un moto stazionario (se afflussi e deflussi si mantengono costanti per un certo periodo) al disotto della superficie dinamica delle acque; esistono bensì delle zone molto vascolarizzate in corrispondenza, come si è veduto, degli antichi corsi epigei, zone che

assorbono gran parte delle linee di flusso delle acque, nella stessa maniera che un corpo di grande permeabilità magnetica, immerso in un campo magnetico, assorbe gran parte delle linee di flusso magnetiche; tali zone vascolarizzate potranno quindi essere paragonate, in prima approssimazione, ad un corso ipogeo. Rientrano in tale quadro le molteplici risorgive di un fiume carsico ipogeo, ed il fatto dell'intercomunicazione delle acque sotterranee carsiche, riconosciuto ad es. fra il Timavo ed il Vipacco e tra la Foiba di Pisino e l'Arsa.

Le vie di maggior vascolarizzazione ipogea, e quindi di maggior flusso delle acque di fondo, saranno da ricercare, in base alle ipotesi fatte, in corrispondenza degli antichi corsi epigei, ed in particolare di quelli che hanno seguito per un lungo periodo una medesima linea di deflusso, senza vagare, segnando il loro cammino con le tracce del carsismo: sono queste le linee che abbiamo trovato segnate dagli allineamenti di grandi doline.

Così nel Carso Triestino, una delle grandi vie di deflusso era quella che dalla soglia di Corgnale, per Lipizza ed Opicina, porta ad Aurisina; è noto da tempo che a tale via epigea corrisponde un intenso flusso ipogeo, tanto che lungo tale strada si immagina impropriamente defluire il corso sotterraneo del Timavo attuale.

Le misure di gravità eseguite con la bilancia di torsione nel Carso Triestino ad iniziativa del compianto prof. SOLER, hanno confermato poi le vedute secondo le quali le zone di maggior vascolarizzazione e quindi di maggior difetto di masse coincidono, nei terreni esplorati, con quelle del presunto corso ipogeo del Timavo; ma di più, come già ho fatto notare altrove, tali misure hanno rivelato un difetto di massa, rimasto fino ad allora inosservato, in una posizione che corrisponde esattamente a quella che con le ipotesi fin qui fatte si poteva prevedere; in corrispondenza cioè di un altro alveo morto qui appena accennato, ma che nel passato geologico doveva rivestire un'importanza non inferiore al solco di Lipizza-Aurisina, alveo profondamente segnato dal carsismo superficiale.

6. - Considerazioni sulla morfologia delle spianate carsiche. — Nello studio delle spianate carsiche è da ricordare che, mentre i fenomeni carsici superficiali si possono grossolanamente considerare coevi fra loro — in senso geologico — in quanto sono dovuti tutti al periodo in cui le acque superficiali scorrevano su una superficie fondamentale della quale noi vediamo i lembi, non altrettanto può dirsi per i fenomeni speleologici, in quanto la loro formazione può risalire a quest'ultimo periodo, come può invece risalire a fasi anteriori, se il ciclo carsico si è rinnovato; essi possono cioè derivare da una superficie fondamentale più elevata di quella che porta le attuali tracce del carsismo superficiale. Si potranno ritenere tali quegli inghiottitoi che non partono da una dolina, ma che sembrano troncati dall'attuale superficie del suolo.

Così pure bisogna interpretare l'esistenza di inghiottitoi o comunque di fenomeni carsici sviluppati in terreni a rilievo mosso, dove a giudicare dalle attuali apparenze un corso d'acqua non avrebbe potuto mai scorrere; nel senso che tali terreni rappresentano residui di superficie fondamentali più elevate dell'attuale superficie topografica, ultimo stadio del processo di spianamento attraverso il quale le regioni carsiche sono passate.

Il dott. CARLO D'AMBROSI, profondo conoscitore della regione istriana, mi comunica alcune sue osservazioni inedite che confermano tali considerazioni.

In tutta l'Istria Rossa occidentale, ma specialmente nella zona fra Parenzo ed Umago, andando dalla costa verso l'interno, si nota dapprima una fascia della profondità di qualche chilometro, lungo la quale non si osserva sull'odierna superficie topografica quasi alcun fenomeno carsico di apprezzabile risalto; segue una seconda zona, nella quale si cominciano a vedere numerosi inghiottitoi e pozzi, mentre le doline o mancano o sono rarissime e di piccole dimensioni. Una terza zona infine, più interna ancora, presenta la serie completa dei fenomeni carsici. I passaggi dall'una all'altra zona sono naturalmente graduali.

L'ultima zona ci rappresenterebbe un lembo dell'antica superficie fondamentale, che risale al periodo in cui il carsismo si è formato. Le sue forme hanno potuto resistere, perchè collocata in una zona relativamente elevata, e dove quindi il livello delle acque di fondo si è venuto a trovare relativamente assai presto molto depresso; le acque superficiali allora, subito assorbite, non hanno potuto in alcun modo modificare le antiche forme segnate dal carsismo.

La zona intermedia rappresenterebbe invece il risultato di una obliterazione del fenomeno carsico ad opera di processi di denudazione subaerea; poichè in essa non si notano fenomeni superficiali di una certa importanza, ma solo fenomeni profondi: le rare e piccole doline, rappresenterebbero resti inferiori di antiche grandi e profonde doline distrutte dall'erosione, ed in parte sarebbero derivate da crollo tardivo. L'antica superficie topografica può essere stata distrutta dal concorso di vari agenti, fra i quali è da porre in primo luogo l'azione di erosione che su di essa possono aver avuto i corsi d'acqua superficiali in seguito ad una risalita dell'acqua di fondo a livelli superiori, per effetto forse di cause combinate, come bradisismi negativi locali e movimenti eustatici (ricordo in particolare la trasgressione fiandriana), eventualmente col concorso di più abbondanti precipitazioni.

La zona costiera finalmente rappresenterebbe il risultato di una demolizione più spinta della massa calcarea carsificata, le cui doline sarebbero state completamente cancellate e nella quale si troverebbero soltanto le ultime diramazioni degli antichi pozzi e delle gallerie più profonde.

Quest'ultima ipotesi sembra confermata dal fatto che la zona costiera, come quella intermedia, sono di frequente attraversate da ben marcati solchi vallivi della lunghezza di pochi chilometri, i quali sboccano a mare nelle insenature costiere (Porto Cervera, Porto di Daila, Val di S. Lorenzo). Essi testimoniano indubbiamente l'esistenza in tempi ancor recenti di brevi corsi d'acqua superficiali, tanto più che alcuni di essi, durante lo scatenarsi di violenti temporali, riescono anche attualmente a raccogliere nei loro letti e convogliare fino alla costa considerevoli quantità di acqua.

7. - Conclusione. — Lo sviluppo dei fenomeni carsici sotto una coltre alluvionale era già stata prospettata da diversi Autori. Secondo il GRUND, ad es., le acque stagnanti sopra una coltre alluvionale potrebbero, in casi eccezionali, causare delle forme carsiche nei sottostanti calcari; ma tale azione sarebbe da considerarsi, sempre secondo questo Autore, molto attenuata. Il fenomeno era chiamato «carsismo coperto».

Secondo altri Autori invece (CVIJIČ, LEHMANN), la fase di massimo sviluppo delle doline è da ricercare nei periodi in cui la superficie carsica dava ricetto ad estese e folte foreste, ed in cui dunque il suolo era occupato da un alto strato di humus. Tale humus, imbevuto delle acque

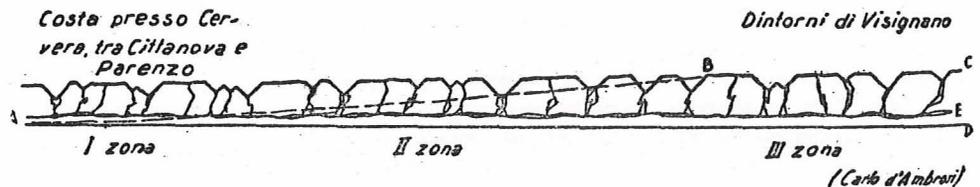


Fig. 2.

Sezione ideale attraverso l'Istria Rossa fra Visignano e Cervera.

ABC Superficie topografica attuale; AD Attuale livello del mare; AE Antico livello delle acque di fondo; FBC Antica superficie topografica.

meteoriche, teneva bagnate uniformemente le superfici calcaree, causando il formarsi delle doline.

L'ipotesi da noi avanzata cerca di spiegare il fenomeno carsico come avvenuto sotto una coltre alluvionale, per azione delle acque di quelle stesse reti idrografiche che hanno scolpito le forme macroscopiche del terreno; non limitandosi al caso delle doline ed in genere dei fenomeni superficiali, ma estendendosi pure al caso delle cavernosità, e cercando le relazioni fra distribuzione del fenomeno carsico e morfologia.

Questa ipotesi dà ragione sia delle forme regolari delle doline imbutiformi, sia dei diametri enormi degli inghiottitoi che così spesso si incontrano nel paesaggio carsico, e di cui le dimensioni e la frequenza mal si possono spiegare con altre ipotesi.

Ma essa ci permette ancora di concepire il meccanismo secondo il quale è avvenuto l'assorbimento di un fiume epigeo per carsismo. Se si vuole infatti ammettere l'assorbimento di un fiume carsico non già attraverso la coltre alluvionale, ma direttamente attraverso le fessure del calcare, è necessario ammettere pure che questo processo si sia sviluppato da valle a monte; e che cioè il corso d'acqua sia stato assorbito in un primo tempo da inghiottitoi aperti in corrispondenza del suo tratto inferiore, e successivamente da inghiottitoi formati mano a mano più a monte. Diversamente infatti rimane inspiegata la circostanza dell'uniforme distribuzione del carsismo lungo una valle morta carsica.

Senonchè, all'aprirsi di un inghiottitoio ed al conseguente inabissarsi del corso d'acqua corrisponde, per il ramo a monte, lo stabilirsi di un nuovo livello di base, dato dall'orifizio dell'inghiottitoio. Tutto il corso a monte deve quindi regolarsi su tale nuovo livello di base. Nel mentre dunque il tratto di valle abbandonata ha raggiunto il suo modellamento definitivo, ed è inattivo, dovremmo vedere il tratto a monte approfondire viepiù il suo corso, in relazione al nuovo livello di base che, per natura di cose, tende ad abbassarsi; e tale fenomeno dovrà ripetersi per ogni successivo inabissarsi delle acque, di guisa che il profilo longitudinale delle valli morte carsiche dovrebbe essere a gradinata, con i gradini più alti a valle, e con gradini pendenti pure verso valle.

In qualche caso eccezionale lo CVIJIČ ha constatato aspetti morfologici che si avvicinano a queste apparenze; ma per quanto riguarda le grandi valli morte carsiche, nessuna di queste presenta aspetti che si possano neanche lontanamente conciliare con tale spiegazione del fenomeno.

Ammettendo invece l'assorbimento del corso d'acqua epigeo attraverso la coltre alluvionale, rimane spiegata l'uniforme distribuzione del fenomeno carsico lungo la sua valle, e rimane pure chiarito come possa essere avvenuta la cattura del corso stesso da parte delle acque di fondo senza modificare il profilo longitudinale della valle medesima.

Le considerazioni che abbiamo fatte sulla morfologia delle spianate carsiche, con particolare riferimento a quelle del Carso triestino e istriano, investono la dibattuta questione del ciclo carsico, venendo ad appoggiare, sulla base dei fatti osservati, le vedute del MAULL in confronto di quelle pur autorevoli del GRUND e dello CVIJIČ.