

ENTE TUTELA PESCA DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA-UDINE
LABORATORIO DI IDROBIOLOGIA

P. MOSETTI - F. MOSETTI

NUOVE VEDUTE SULLA FALDA ACQUIFERA DELLA PIANA FRIULANA
(FRIULI-VENEZIA GIULIA)

*NEWS ON THE ACQUIFERS OF THE FRIULI PLAIN
(FRIULI-VENEZIA GIULIA)*

A. MIOLA

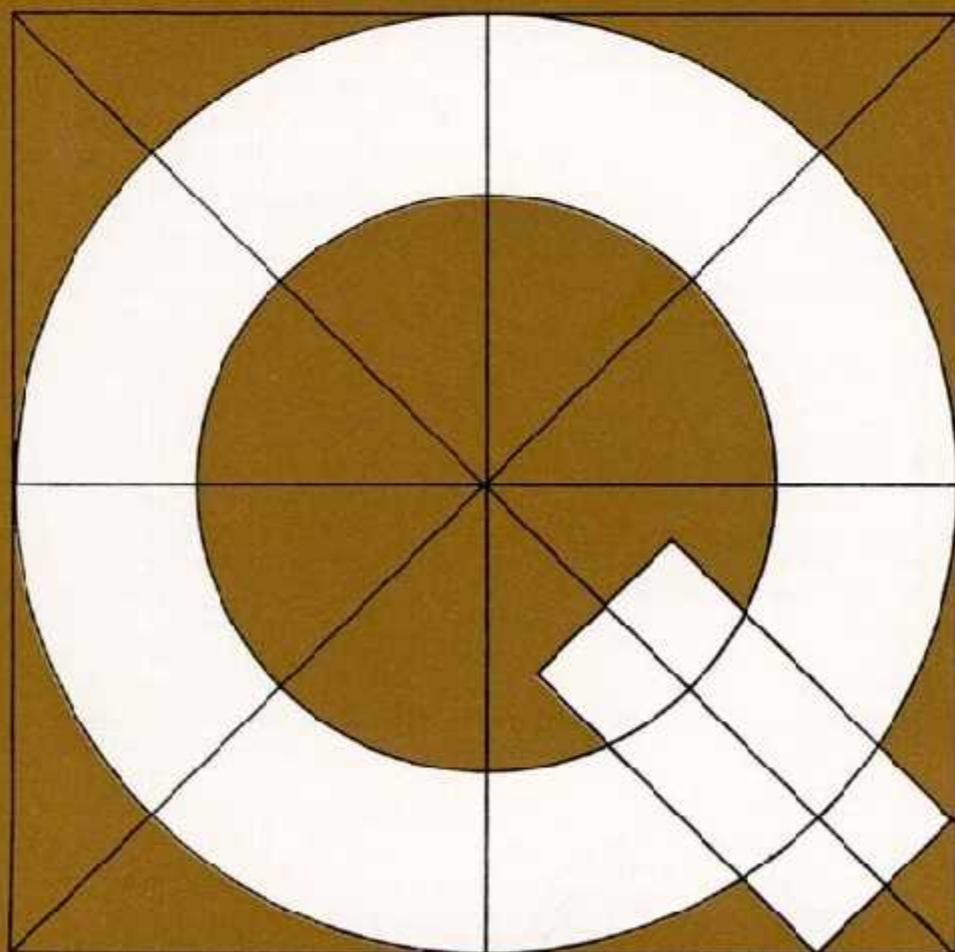
CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DELLA FLORA FITOPLANCTONICA
DEL FIUME STELLA (FRIULI-VENEZIA GIULIA)

*CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF PHYTOPLANKTON FLORA
OF THE RIVER STELLA (FRIULI-VENEZIA GIULIA)*

P. MOSETTI - F. MOSETTI

IL FIUME NATISONE ED I FENOMENI DI CATTURA DEL SUO TRATTO
MONTANO DIMOSTRATI CON UN CRITERIO GEOMATEMATICO

*THE NATISONE RIVER AND A GEOMATHEMATICAL TRIAL
OF THE RELATED CAPTURES*



quaderni etp

RIVISTA DI LIMNOLOGIA numero 12 — 1985

QUADERNI DELL' ENTE TUTELA PESCA - UDINE

Rivista di Limnologia

N. 12 - 1985

Direttore responsabile: **Franco Spizzo**

I «QUADERNI» pubblicano in lingua italiana o in una lingua ufficiale di congressi lavori originali in vari campi della Limnologia, testi di conferenze, atti di convegni, monografie, ecc. Possono venir pubblicate anche note brevi.

I dattiloscritti — composti secondo le norme per gli Autori — vanno inviati a:
Direttore «Quaderni Ente Tutela Pesca»,
Viale Volontari della Libertà N. 37 - 33100 UDINE

I lavori saranno pubblicati nel più breve tempo possibile dopo essere stati sottoposti all'esame del Comitato di redazione che potrà individuare anche lettori di specifica competenza. Quando il lavoro non dovesse risultare adatto ad essere pubblicato sui «Quaderni», la Direzione si riserva di restituirlo senza particolare motivazione.

Per l'acquisto dei «Quaderni», anche arretrati, o per richieste di scambi rivolgersi all'Ente Tutela Pesca.

DIREZIONE E REDAZIONE

Ente Tutela Pesca del Friuli-Venezia Giulia

Viale Volontari della Libertà 37 - Udine - Tel. (0432) 482285 - 482474

DIRETTORE

Franco Spizzo

COMITATO DI REDAZIONE

Giuliano Bonomi

C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia «Dott. Marco de Marchi» - Verbania Pallanza (Novara)

Gilberto Gandolfi

Istituto di Zoologia dell'Università di Parma

Elvezio Ghirardelli

Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste

Ettore Grimaldi

C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia «Dott. Marco de Marchi» - Verbania Pallanza (Novara)

Gabriella Fiorenza Margaritora

Dipartimento di Biologia animale e dell'uomo
Università degli Studi di Roma «La sapienza»

Mario Specchi

Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste

Ente Tutela Pesca del Friuli-Venezia Giulia

33100 UDINE - Viale Volontari della Libertà, N. 37

Tel. (0432) 482285 - 482474

LABORATORIO DI IDROBIOLOGIA

33050 - Ariis di Rivignano (UD) - Via Chiesa, N. 11

Tel. (0432) 775815

Suppl. a NOTIZIARIO E.T.P.

Direzione, Redazione, Amministrazione, 33100 Udine - Viale Volontari della Libertà, N. 37

Autorizzazione del Tribunale di Udine, N. 355 del 31 maggio 1974

Tipografia A. Pellegrini - Udine

Diritti riservati - In caso di riproduzioni, anche parziali, citare la fonte.

copertina - progetto grafico Sandro Comini

NUOVE VEDUTE SULLA FALDA ACQUIFERA DELLA PIANA
FRIULANA (FRIULI-VENEZIA GIULIA)

*NEWS ON THE ACQUIFERS OF THE FRIULI PLAIN
(FRIULI-VENEZIA GIULIA)*

Paola Mosetti * - Ferruccio Mosetti **

Key words: Friuli plain. Hydrology. Quaternary paleogeography. Sea level fluctuations.

Abstract: The knowledges of the hydrology of the Friuli Plain are revised in order to interpreting the paleogeographic evolution of the region. Large alluvional beds are alternate with marine sediments, showing a regular succession of marine and continental contributions in the construction of the plain.

Riassunto: Vengono esposti i risultati ottenuti dopo l'elaborazione e seguente analisi di vari dati stratigrafici raccolti ed eseguiti nel Friuli-Venezia Giulia. Inoltre viene avanzata l'ipotesi di una nuova interpretazione paleogeografica della Bassa pianura friulana. Sono stati messi in evidenza vari nuovi aspetti importanti quali l'andamento del basamento arenaceo nell'area orientale del Friuli e nell'area compresa fra Lignano e La Risaia (Staranzano) fino al contatto col calcare a Sistiana, e soprattutto l'esistenza di diversi livelli argillosi continui da monte a valle e testimonianti altrettanti livelli marini.

Summary: Several boreholes have been examined in the Friuli Plain, in their stratigraphic contents. Such boreholes are available through various drilling plans for the water supply investigations carried out in the last 20-30 years. The main result of the comparisons among the various stratigraphies is the demonstration that the alternance of per-

* Geologa

** Professore all'Università di Trieste

meable (gravel and sand, or, also, conglomerate) layers and impermeables ones (mostly clay) doesn't be random but almost regularly disposed, following the different sea levels in the Quaternary. The lying of such materials of different permeability and origin (clays are generally traces of old sea bottoms while gravels are of continental origin) permits some considerations on the evolution of the Plain as a result of marine and continental actions. The history of the Quaternary in the northern part of the Adriatic sea is reported in the sedimentary structure of the Friuli Plain.

Premessa

Vista la non ancora dettagliata conoscenza dell'idrologia del sottosuolo della Piana friulana abbiamo pensato di raccogliere le informazioni relative alle stratigrafie di pozzi eseguiti nella Regione negli ultimi decenni elaborandone i risultati.

Con l'avanzare del progresso tecnologico da una parte e con la sempre maggiore necessità di reperire acqua dal materasso alluvionale nella bassa pianura friulana dall'altra parte, siamo ora in possesso di stratigrafie che giungono a profondità decisamente superiori di quanto riuscivano ad esserlo solo alcuni decenni fa e che possono permettere così conoscenze migliori e più approfondite sul sottosuolo rispetto alle vecchie rappresentazioni dei Feruglio (Feruglio D. ed E., 1925), del Lorenzi (1911) o di altro ricercatori che nel passato si sono occupati di questo tema.

In questa nota vengono esposti i risultati di una nuova interpretazione paleogeografica della Pianura friulana conseguita ad uno studio più avanzato sulle falde acquifere presenti in profondità.

Comunque la quantità di dati a disposizione non è ancora troppo abbondante; si è andati inoltre incontro a vari problemi di interpretazione stratigrafica a causa della difficoltà nell'elaborazione o addirittura nella lettura stessa dei dati raccolti, dovuta sia ai diversi scopi per cui erano state fatte le terebrazioni (quindi con dettagli purtroppo vari e disomogenei da pozzo a pozzo) sia, soprattutto, per le troppo diverse — e spesso errate — classificazioni usate dai perforatori nella descrizione dei materiali incontrati. Anche se di una certa consistenza numerica le stratigrafie disponibili risentivano della soggettività (per nulla scientifica) dei perforatori e ciò non ha ancora permesso una ricostruzione perfetta delle caratteristiche del sottosuolo, anche se si è riusciti a mettere in evidenza diversi aspetti importanti e nuovi. Fra questi quello che ha sicuramente un ruolo importante è l'aver trovato

— grazie alle correlazioni eseguite lungo una sezione perpendicolare alla costa e che giunge quasi fino alle pendici dei colli flyscioidi orientali — l'esistenza di più livelli argillosi continui da valle a monte alternati ai depositi ghiaiosi. Poichè tali livelli sono estesi su una vasta area essi permettono di dedurre l'esistenza di omogenee condizioni di deposito e di omogenee vicissitudini legate all'alternanza di fasi marine e continentali durante il Quaternario di questa zona.

Tra gli ostacoli trovati per un'adeguata interpretazione va ancora ricordato che i pozzi non sono tutti ubicati con la stessa densità areale e inoltre che molti di essi giungono a profondità insufficienti.

Generalità

Il Friuli-Venezia Giulia può esser variamente suddiviso dal punto di vista fisico. Una discriminazione può essere fatta considerando la Regione formata da tre zone diverse (ma interconnesse) che presentano caratteri morfologici, litologici ed idrologici propri; queste tre zone sono: la zona alpina e prealpina, l'alta pianura friulana e la bassa pianura friulana.

La prima di queste zone verrà qui di seguito soltanto accennata per rendere continua la descrizione geografica, poichè esula dalla nostra ricerca. Saranno infatti solo le due ultime zone che analizzeremo più nel dettaglio, ed in particolare considereremo soprattutto la zona alla sinistra Tagliamento, poichè più ricca di dati stratigrafici, anche se il discorso generale è valido anche per il Pordenonese.

Le zone alpina e prealpina giungono a valle fino all'anfiteatro morenico al centro; a E le Prealpi comprendono i colli del Friuli orientale e l'estremo lembo del Carso; a W del Tagliamento le Prealpi toccano la pianura. Esse sono caratterizzate da un reticolo idrografico molto inciso ed i corsi fluviali che vi scorrono sono alimentati in buona prevalenza dal ruscellamento superficiale, ma anche da numerose sorgenti. La litologia è complessa e variabile e comprende rocce effusive e piroclastiche, rocce debolmente metamorfosate e rocce sedimentarie del paleozoico; rocce sedimentarie prevalentemente carbonatiche del mesozoico; arenarie e calcari eocenici. Abbondanti sono i terrazzamenti e i depositi fluvioglaciali superficiali culminanti nell'anfiteatro morenico. Per quanto riguarda la falda acquifera, è importante un'area a monte dell'anfiteatro morenico, la piana di Osoppo, che ospita una ricca falda, parzialmente di subalvea. Anche le valli fluviali principali (Degano, But, Fella, Tagliamento) nei loro tratti ter-

minali si allargano in vasti depositi alluvionali che ospitano falde anche abbastanza cospicue e uniformi. L'anfiteatro morenico invece è interessato dalla presenza di falde poste a diversi livelli a seconda della costituzione e permeabilità dei depositi. Queste falde sono alimentate in grande prevalenza da apporti meteorici locali ed anche per questo costituiscono un corpo d'acqua a sè stante contenuto nei materiali morenici.

All'interno dell'area morenica l'andamento della superficie freatica è estremamente complicato (Stefanini e Kobec, 1978) e frammentario a causa sia dell'esistenza di lenti argillose di origine fluvioglaciale (che possono determinare limitate falde sospese) sia della variabilità nella permeabilità dei depositi morenici che sono per natura caotici e disomogenei. Alla destra Tagliamento i depositi morenici sono, in un certo senso, sostituiti da quelli alluvionali dei conoidi del Cellina e Meduna, che continuano lungo tutta l'alta pianura friulana occidentale e si arrestano in prossimità della fascia delle risorgive.

Come è già stato detto sono l'alta e la bassa pianura friulana che considereremo nella nostra analisi sulle falde acquifere; è comunque da notare che le falde dell'alta pianura (e di conseguenza, come vedremo in seguito, anche quelle della bassa pianura ad esse direttamente collegate) sono almeno in parte alimentate anche da versamenti dall'anfiteatro morenico, ma l'apporto maggiore deriva, per assorbimento, da perdite di portata dei corsi d'acqua che vi giungono (i casi del Tagliamento a valle di Pinzano, del Torre a valle di Zompitta e del Natisono dopo Cividale sono estremamente significativi al riguardo). Inoltre è considerevole l'apporto dovuto alla piovosità diretta sulla pianura (*).

L'alta pianura friulana si estende dall'anfiteatro morenico del Tagliamento fino alla zona delle risorgive ed essendo costituita dall'unione e parziale sovrapposizione di conoidi fluviali (i maggiori sono

(*) Rileviamo appena, in questa sede, che benchè tale piovosità presenti delle variazioni anche del 100% in anni diversi, esiste una correlazione molto stretta tra il totale di precipitazione nelle aree di pianura (della pianura Friulana) e la quota, per cui si hanno le massime piovosità proprio nella fascia pedemorenica. Quota h e piovosità p sono collegate da una relazione lineare del tipo $p = a + bh$. Tale relazione è valida solo per la pianura. In montagna bisognerebbe tener conto della inclinazione dei versanti esposti alla pioggia e non solo dell'area bruta. Questo potrebbe anche render conto del fatto che la disponibilità d'acqua di certi bacini appare superiore dell'afflusso, calcolato semplicemente sulla proiezione piana del bacino alimentatore.

quelli del Cellina e Meduna, del Tagliamento, del Torre e Natisone e dell'Isonzo, ma anche entità più piccole come il Corno ed il Cormor hanno costruito i loro conoidi) è caratterizzata da un enorme deposito ghiaioso la cui permeabilità è elevatissima. Per questo molto spesso i corsi fluviali che vengono a scorrere in questa zona sono quasi completamente assorbiti nel materasso alluvionale. Inoltre, pur in maniera molto attenuata, la morfologia stessa di questa alta pianura risulta ondulata da W ad E (ed ha anche tracce di paleoalvei) anzichè esser approssimata da un piano inclinato.

La bassa pianura friulana, praticamente pianeggiante, è la continuazione verso mare dell'alta pianura da cui si distingue a valle dalla fascia delle risorgive; lungo questa si ha il passaggio da una formazione a ghiaie prevalenti, dell'alta pianura, ad una con prevalenza di sabbie ed argille, della bassa pianura. La differente costituzione determina un salto nella permeabilità media del materasso alluvionale, da cui consegue il trabocco dell'acqua freatica, attraverso le risorgive. Nella bassa pianura, caratterizzata appunto dalla prevalenza di materiali fini e poco permeabili, è assente (o limitata a piccoli lembi) la falda freatica superficiale, mentre sono presenti vari livelli acquiferi in profondità (compresi fra potenti alternanze argillose) che sono la continuazione (ma a pressioni diverse) delle falde freatiche presenti a monte. Il trabocco naturale delle acque dalle risorgive e la infima pendenza di questa zona ha determinato il formarsi di vaste aree paludose costiere, che sono state quasi totalmente bonificate negli ultimi decenni. La stessa laguna di Grado e Marano non è che una di queste aree — la più vasta — in cui si è avuta la quasi totale ingressione marina.

Caratteristiche di differenziazione delle falde acquifere

Alta Pianura Friulana (falda freatica)

L'ampia zona dell'alta pianura friulana è delimitata a N dall'anfiteatro morenico e dagli ultimi contrafforti flyscioidi del bacino del Torre. I colli arenacei del Friuli orientale definiscono il bordo orientale della pianura friulana che continua poi, nella sua parte più meridionale, col lembo dei calcari del Carso. Il limite meridionale dell'alta pianura è dato dalla fascia delle risorgive. Ad W essa continua, senza un limite che non sia convenzionale, con la pianura veneta.

A monte della linea delle risorgive è presente la permeabilissima

ghiaia, che domina e caratterizza tutto il deposito alluvionale, il quale poggia direttamente sul basamento roccioso compatto. Soprattutto in profondità la ghiaia passa qua e là a banchi di conglomerato che sono intercalati sia con ghiaia sciolta che con sabbia ed anche con qualche lente di argilla che, solo nelle zone più superficiali, è a lembi discontinui, mentre livelli continui di argilla — sia pur ridotti a esilissimi veli in qualche località (e perciò spesso non definiti nelle perforazioni eseguite con maggiore grossolanità) — sono stati individuati già a non grande profondità. Questi livelli argillosi corrispondono a depositi marini o sono collegati a questi. Orizzonti di argilla potrebbero anche essere di natura fluviale; infatti vari fiumi, fluenti più o meno alle stesse quote, determinate, nella antica pianura, dai precedenti livelli del mare, possono aver deposto argille sia nelle zone di minore erosione sia in fasi di più tranquillo deposito. Aver individuato però nel sottosuolo alluvionale diversi livelli argillosi e tutti alternati in maniera omogenea alle ghiaie, distesi con continuità da monte a valle, escluderebbe tale possibilità solo per motivi statistici. Livelli argillosi solo di origine fluviale darebbero lembi discontinui, anche se su quote collegabili tra di loro e indicanti le antiche pianure. E' ovvio che trovare strati di argilla nelle ghiaie è un fatto notevolmente importante (quanto è trovare strati di ghiaia in aree di bassa pianura o presso la costa, dove prevalgono l'argilla o la sabbia) poichè significa individuare dei livelli marini; analogamente i livelli ghiaiosi al di là della linea delle risorgive corrispondono a fatti continentali. Tali orizzonti impermeabili possono verosimilmente tenere sospese delle falde acquifere profonde o chiudere verso l'alto acque profonde più o meno fossili.

La ghiaia dell'alta pianura è permeata in profondità da un'unica falda freatica (almeno fino alla profondità raggiunta in questa zona dalle indagini ^(*)) e salvo modeste eccezioni locali) che, nonostante l'ingente abbondanza degli apporti idrici, non riesce comunque a saturare la formazione ghiaiosa.

Nella zona più alta (sia ai piedi della morena che in destra Tagliamento) si trovano, sotto la superficie, anche più di 40 m di ghiaia più o meno secca prima di giungere al livello freatico, che però da

(*) Solo due pozzi eseguiti anni fa dall'Agip (Terenzano e Lavariano) sono profondi oltre 250 m nella zona dell'alta pianura orientale e uno solo di questi (quello di Terenzano) ha raggiunto il basamento; tutti gli altri, essendo pozzi di sfruttamento idrico e non di ricerca, si arrestano dopo qualche metro, o qualche decina di metri, dall'aver incontrato la falda.

questa profondità in poi si porta fino al sottostante basamento (o ad un livello impermeabile). Verso il limite E della pianura invece la zona ghiaiosa non saturata di acqua è spessa 10 m o meno. Di conseguenza, in senso relativo, il livello della falda freatica si abbassa sempre di più rispetto al piano di campagna, man mano che ci si muove da S verso N e NW, ma rispetto al livello del mare la superficie della falda risulta con un andamento crescente verso N, abbastanza parallelo al piano di campagna e con una pendenza che, anche se è debole (1-2‰), è tale da determinare agevolmente il deflusso delle acque verso valle. In generale la superficie freatica segue l'andamento della morfologia di campagna (attenuandone però l'andamento) ma non è sempre uniforme. Esistono infatti varie zone (seppur limitate) dove la permeabilità dei sedimenti è ridotta. Ciò avviene, per esempio, nelle aree prossime agli affioramenti flyscioidi, e ai piedi della morena, dove le acque dilavanti provenienti da queste zone trasportano (ed hanno trasportato) materiali argillosi o di disfacimento della formazione marnoso-arenacea o abbondantemente presenti entro le morene stesse; questi materiali si sono infiltrati con le acque nei depositi ghiaiosi riempiendo gli interstizi e determinando così degli strati poco permeabili. Inoltre entro la superficie freatica dell'alta pianura friulana sono presenti pure delle intumescenze e depressioni a seconda dell'alimentazione. In più il livello di falda non è costante nel tempo essendo direttamente legato sia ai regimi fluviali che alla piovosità (e agli emungimenti); presentemente è in lieve abbassamento.

L'alimentazione della falda freatica è determinata, come già accennato, in buona parte dalle perdite di portata, per infiltrazione nei sedimenti permeabili, dai corsi d'acqua che scorrono in pianura. I vari bacini fluviali (soprattutto quelli montani) hanno una notevole diversità litologica che determina di conseguenza una altrettanto diversa composizione chimica delle acque dei vari corpi idrici. Come conseguenza di ciò si ha che vengono così a differenziarsi anche le acque di falda. Ciò permette quindi di individuare, almeno nelle grandi linee ed in particolare per le acque del Tagliamento, da un lato l'alimentazione di provenienza delle acque e dall'altro lato la progressiva diluizione e mescolamento fra acque con chimismo diverso man mano che le acque ricevono altri apporti.

Alcune caratteristiche delle acque sono proprietà generalmente conservative, però per altre possono aversi variazioni rispetto alle condizioni naturali causa inquinamenti. Caratteristica attuale di tutti i corsi d'acqua della pianura dell'intera Regione, visto che questi dre-

nano vaste aree ampiamente coltivate, è per esempio la presenza di nitrati in concentrazioni sensibili (normalmente sui 5-10 mg/l) dovuta al forte uso di fertilizzanti inorganici in agricoltura e al fatto che questi non riescono a venir tutti utilizzati dalle piante. I nitrati vengono così in parte dilavati finendo a percolare nelle falde o a defluire nei fiumi.

Una caratteristica naturale delle acque della Regione è la straordinaria abbondanza di solfati (notata già da D. Feruglio nel 1925) ed anche di Stronzio (come più recentemente rilevato sia da Stefanini (1972) che da Verri (1982)) nelle acque del Tagliamento. Le acque della falda dell'alta pianura friulana (ed anche della bassa) che sono interessate, anche attraverso diluizioni o mescolamenti, da acque del Tagliamento, sono ricche in solfati e si distinguono nettamente dalle altre acque di falda anche vicine ma non dipendenti da questa alimentazione. Le acque che risultano dai mescolamenti contengono solfati, o Stronzio, in quantità proporzionale alla quantità di acqua del Tagliamento. Questo fatto costituisce un vero tracciamento naturale che permette di dedurre importanti informazioni sull'entità e la provenienza delle acque sia sotterranee che di risorgiva. Con considerazioni sui solfati contenuti è stato ad esempio possibile mostrare (Mosetti, 1983) che le acque dello Stella sono essenzialmente alimentate dal Tagliamento, quasi come se lo Stella fosse una «seconda foce» del Tagliamento. Nelle acque di falda alimentate invece esclusivamente da fiumi con acque carbonatiche (perchè scorrono in terreni prevalentemente carbonatici) si ha un arricchimento in Ca e Mg, e tale arricchimento è in generale superiore nelle acque di falda rispetto ai corsi superficiali che le alimentano. A questo riguardo si può vedere un'altra grossa differenziazione tra le acque di falda della pianura friulana, e cioè tra quelle alimentate dai bacini dell'Isonzo e del Torre-Natisone e tra quelle alimentate dal Cellina-Meduna: nelle prime si ha un impoverimento del Mg (che non supera i 20 mg/l, ma in genere è inferiore a 10), nelle seconde invece le concentrazioni in Mg superano i 20 mg/l (e i solfati sono quasi nulli). Ciò chiaramente dipende dall'arricchimento o meno in Mg (o dall'impoverimento in Ca) dei litotipi carbonatici presenti nei bacini — soprattutto montani — entro i quali scorrono tali corsi d'acqua. Però questa distinzione è meno importante in pratica di quella che distingue le acque del Tagliamento poichè i due corpi d'acqua del Cellina-Meduna da una parte e dell'Isonzo e Torre-Natisone dall'altra, non vengono a contatto.

Per quanto riguarda la temperatura delle acque della falda, que-

sta è diversa nei valori sia come distribuzione spaziale e temporale sia se si tratta di acque più superficiali o di acque più profonde. Queste ultime sono condizionate sia dalla quota sul livello del mare in cui si trovano sia dalla loro profondità dalla superficie topografica che dalla velocità del flusso. Comunque non sempre le acque situate a maggiori profondità sono le più calde (come del resto non sempre le acque di sorgenti ad alta quota sono le più fredde); esiste sempre una dipendenza climatica, con la piovosità in loco e con l'abbondanza nell'alimentazione. Tuttavia le conoscenze al riguardo non sono ancora molto dettagliate e misure sistematiche delle temperature delle acque regionali cominciano appena ora a venir raccolte a cura dell'Ente Tutela Pesca (Agnoletti et al., 1984).

Normalmente le acque sotterranee profonde non presentano però escursioni di temperatura di carattere stagionale (tranne che nelle condotte carsiche veloci), mentre la falda freatica può accennare tale situazione, con escursioni anche di 1-2 °C. Nelle falde freatiche dagli 8-15 agli 80 m circa di profondità, la temperatura rimane praticamente costante su 11-13 °C, tranne nei casi in cui l'alimentazione idrica sia fortemente rallentata. A profondità maggiori la temperatura è maggiore, ma essa non cresce regolarmente ed uniformemente con la profondità (Mosetti e Feruglio, 1964).

Bassa Pianura Friulana (falde artesiane)

La linea (o meglio fascia) delle risorgive separa la zona superiore con ghiaie prevalenti e con falda freatica da quella situata pressapoco a S, che è la bassa pianura friulana, costituita prevalentemente da argille e limi e caratterizzata da più falde artesiane sovrapposte. La falda freatica dell'alta pianura riesce a saturare la formazione ghiaiosa solo presso le risorgive dove, per un brusco cambiamento di permeabilità al contatto con le formazioni meno porose (quindi meno permeabili) poste a valle, la superficie freatica incontra la superficie topografica; di conseguenza l'acqua trabocca all'esterno. E' così che lungo tale linea (o fascia) vengono a sgorgare copiose quantità di acqua (l'ordine di grandezza medio è di 1 m³/s per km di linea (*)) che vanno poi ad alimentare tutta una serie di rii e collettori (i cosiddetti fiumi di risorgiva). Solo una piccola percentuale (5-10%) del-

(*) Ovviamente è un dato medio perchè la risorgenza non è «diffusa lungo la linea» ma concentrata, in entità variabile, in singoli punti.

l'acqua che costituisce la falda freatica dell'alta pianura va ad alimentare le falde artesiane della bassa pianura.

Comunque la fascia delle risorgive non segue una linea regolare ma presenta forti, sia pur locali, sinuosità. Questo perchè numerose lenti di ghiaia più permeabile (quindi con falda freatica) si protendono oltre la virtuale linea giungendo a volte anche presso il bordo interno della laguna di Grado. Queste lingue di ghiaia appaiono, ad un attento esame, più sollevate delle zone argillose adiacenti, che in genere sono i residui di antiche zone palustri, aventi minima pendenza e rimaneggiate dalle opere di bonifica. Le lingue ghiaiose, che passano in vari punti a lingue sabbiose, sono dovute ai più recenti divagamenti (ordine di grandezza delle centinaia di anni) dei corsi d'acqua, prima della loro arginatura e rettifica.

La bassa pianura friulana, che si estende appunto a valle della linea delle risorgive, è una zona pianeggiante ed uniforme ed è nettamente distinta dall'alta pianura anche per la sua topografia.

Nella bassa pianura troviamo, oltre a depositi alluvionali fini ed alle sopracitate rare lingue ghiaiose, ampie intercalazioni fra depositi tipicamente marini e depositi lagunari o di transizione in dipendenza alle variazioni della linea di costa avvenute nel Quaternario in seguito alle glaciazioni.

Ovviamente sotto tali depositi sedimentari è presente il basamento roccioso, ma le informazioni sulla profondità a cui esso si trova e sulla sua natura (calcareo o arenario) sono molto rare. Questo visto soprattutto l'elevato spessore del materasso sedimentario (dai 200 m circa in poi) che bisogna perforare prima di raggiungere il basamento e la scarsità, nell'area, di dati geofisici discriminativi (*). Comunque terebrazioni eseguite nel centro di Grado, fin dai primi anni del secolo, hanno raggiunto il flysch ad una profondità di circa 250 m, il pozzo de La Risaia, presso Staranzano (eseguito dall'Acega di Trie-

(*) Infatti sia il rilievo geoelettrico che quello sismico (a rifrazione e a riflessione) non hanno grande successo nel rilevamento del basamento sotto i depositi clastici perchè in questa zona la differenza tra le caratteristiche fisiche dei due materiali a contatto non sono molto grandi e sono facilmente perturbate da differenze costitutive superficiali. E' però anche da rilevare che la bassa pianura non è ancora stata mai sottoposta ad un rilevamento geofisico sistematico ed integrale (con moderne metodiche interpretative si riuscirebbe certamente ad eliminare i disturbi) ma solo a interventi sporadici, eseguiti qua e là per scopi locali. Così le perforazioni in genere, trovata l'acqua, si arrestano senza preoccuparsi di indagare a profondità maggiori e spesso si riducono alla cotica più superficiale del materasso alluvionale.

ste) ha raggiunto, sempre il flysch, ma già a 188 m, mentre perforazioni eseguite presso Fossalon hanno toccato il basamento flyscioidale attorno ai 210-220 m. Però a Lignano a profondità di oltre 500 m non si sono trovati che depositi marini (argille e limi). Altre terebrazioni, eseguite sempre dall'Acega di Trieste per il progettato Nuovo Acquedotto, sulla (o poco a monte) fascia delle risorgive, hanno invece trovato il basamento calcareo: per esempio a Cassegliano questo è stato trovato a 193 m di profondità ed è stata perforata nel calcare addirittura una grotta «fossile». I recenti pozzi Acega di San Zanut hanno trovato il calcare a 154 m dal piano di campagna (pozzo n. 11) e a 175 m dal piano di campagna (pozzo n. 6).

Si può così delineare, seppur ancora a grandi linee, l'andamento del substrato roccioso della bassa pianura (la figura 1 ne mostra uno schizzo limitato ad una sezione tirata pressochè parallela alla costa),

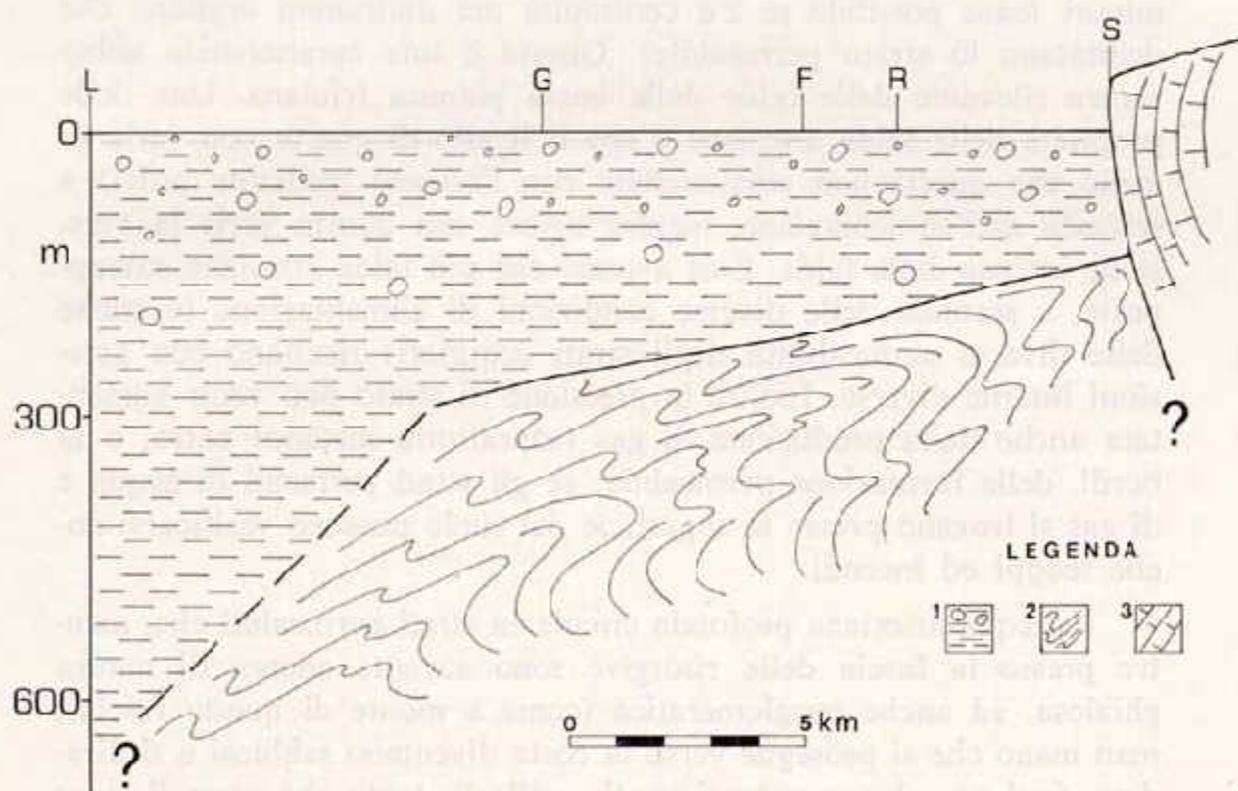


Fig. 1 - Schizzo dell'andamento del substrato roccioso lungo la sezione 2 (di fig. 2). Simbologia: L = Lignano, G = Grado, F = Fossalon, R = La Risaia (località con pozzi profondi), S = Sistiana.

1 = alluvioni (argille, ghiaie, sabbie), 2 = flysch, 3 = calcare.

L'alluvione è indicata genericamente e non si mette in evidenza la sua articolazione in strati. L'andamento del substrato da Grado a Lignano è stato tratteggiato poichè i pozzi anche profondi di quest'area non lo raggiungono. I punti interrogativi sono stati posizionati sotto Lignano dove è sconosciuto il proseguimento del basamento, e presso Sistiana dove è ignota la posizione e la conformazione del contatto fra il flysch ed il calcare (sovrascorrimento?).

anche se ovviamente non si può ancora nè conoscere la conformazione del basamento, individuandone culminazioni o affossamenti, nè la posizione del contatto profondo fra flysch e calcare.

Abbiamo già accennato che la caratteristica essenziale della bassa pianura friulana è la presenza di falde artesiane. Queste falde sono contenute tra strati di materiali impermeabili tanto da non essere in equilibrio con la pressione atmosferica locale (è appunto per questo che vengono anche denominate falde in pressione). Infatti perforando il terreno e mettendo in comunicazione le acque artesiane con la pressione esterna queste, a seconda della loro pressione caratteristica, ossia della pressione di strato, risalgono più o meno. L'artesianità (ossia l'entità di risalita) non cresce però, come sembrerebbe ovvio, uniformemente verso il basso; possiamo trovare sia acque con pressione superiore in livelli più superficiali che acque profonde con pressioni minori (caso possibile se c'è continuità nei diaframmi argillosi che delimitano lo strato permeabile). Questa è una caratteristica abbastanza rilevante delle falde della bassa pianura friulana. Una delle proprietà delle falde artesiane è che il livello di queste non varia (a meno che queste non comunichino con l'esterno mediante pozzi) a seconda dell'alimentazione, mentre invece con questa varia la pressione interna della falda. Così avremo che più falde artesiane sovrapposte, a seconda delle diverse condizioni di alimentazione (e anche delle diverse permeabilità degli strati acquiferi) risultano con pressioni interne diverse. Inoltre la pressione di strato può venir aumentata anche dalla produzione di gas (soprattutto metano) entro, o ai bordi, della formazione permeabile; se gli strati permeati di acqua e di gas si trovano presso la superficie del suolo possono verificarsi anche scoppi ed incendi.

L'acqua artesianiana profonda circola in strati permeabili che, mentre presso la fascia delle risorgive sono sovente ancora di natura ghiaiosa, ed anche conglomeratica (come a monte di questa fascia), man mano che si prosegue verso la costa diventano sabbiosi e si diradano (qui prevalgono potenti strati argillosi), tanto che verso il mare le falde artesiane sono ridotte a profondità elevate e in esili strati compresi entro potenti banchi di argilla. Insomma si ha, in un certo senso, una situazione capovolta: abbastanza a monte delle risorgive esiste un copioso deposito ghiaioso appena intervallato da qualche esile strato argilloso (neanche sempre continuo); abbastanza a valle invece il rilevante deposito argilloso è appena intercalato con esili strati di sabbia (talvolta di ghiaietto). Torbe si presentano pure in

certi livelli. Nella zona immediatamente a cavallo della linea delle risorgive si ha una sfumatura tra le due situazioni opposte.

Le parti più permeabili, che contengono le falde artesiane, sono resti di letti fluviali (anche sabbiosi o sabbiosi-argillosi poichè più lontani dalla zona di alimentazione) che scorrevano in paleopianure poi sommerse e ricoperte da sedimenti marini o di transizione. La larghezza delle lenti permeabili (spesso molto ampia) è dovuta alle vaste divagazioni dei corsi fluviali. Ma la quota cui si trovano è sempre legata ai livelli del mare del passato: non è mai a caso.

Comunque data la minor permeabilità dei terreni nella bassa pianura e le conseguenti basse velocità di deflusso (oltre alla minor percentuale di formazioni permeabili rispetto alla totalità dei depositi alluvionali) la quantità d'acqua che percola le falde artesiane è nettamente inferiore a quella delle falde freatiche (con l'eccezione però dell'area alla sinistra Isonzo che in pratica, più che bassa pianura è ancora zona di transizione a cavallo della fascia delle risorgive, quando non sia ancora da ascrivere all'alta pianura, nonostante la quota e la latitudine).

Le acque artesiane emergono solo attraverso pozzi artificiali, altrimenti defluiscono verso costa e sgorgano per lenta diffusione attraverso il fondo del mare. Infatti, come la falda freatica trabocca per il salto di permeabilità all'incontro tra le formazioni grossolane dell'alta pianura, permeabilissime, e quelle fini e poco permeabili della bassa pianura, così le falde artesiane, una volta raggiunto il mare, diffondono verso l'alto. Un tanto perchè i sedimenti del fondo del mare non sono perfettamente impermeabili e l'acqua marina li permea anche in profondità; così pure l'acqua dolce proveniente «dal basso» riesce a filtrare per questi sedimenti e, per questioni di densità, pur mescolandosi più o meno con l'acqua di mare, risale verso la superficie determinando così delle «sorgenti areali diffuse» d'acqua dolce al contatto con l'acqua salata del mare. La diffusione è molto lenta e la quantità di acqua sgorgante tanto piccola che la diminuzione di salinità provocata è quasi impercettibile, o meglio, una delle componenti della salinità relativamente bassa delle acque dell'Adriatico settentrionale è dovuta anche a questa «diffusione dal basso» di acqua dolce. L'effetto si somma a quello, ben più sensibile, degli apporti superficiali.

Chimicamente le acque delle falde artesiane conservano, seppur diluite (fenomeni di precipitazione legati per lo più alla temperatura e di scambio ionico e di adsorbimento con le argille e la sostanza or-

ganica possono diminuire soprattutto le concentrazioni degli ioni Ca), le caratteristiche composizionali delle falde freatiche a monte, che sono le loro alimentatrici. Così accade che mentre normalmente le acque artesiane sono più mineralizzate delle acque circostanti (soprattutto delle superficiali ma anche di quelle della falda freatica - quando esiste) nella bassa pianura friulana possono esistere acque profonde demineralizzate tanto da essere molto spesso considerate delle ottime acque potabili.

Comunque una generale discriminazione, a prescindere da questi fenomeni secondari, esiste tra le acque orientali, più soggette alle caratteristiche del bacino dell'Isonzo (poverissime di solfati e di Mg), quelle centrali dipendenti dal Tagliamento (ricche di solfati) e le occidentali legate a perdite del Cellina e Meduna (di nuovo poverissime di solfati ma lievemente arricchite in Mg).

Per quanto concerne la temperatura delle acque artesiane, questa va, nelle acque più superficiali, dagli 11 °C ai 13 °C. Normalmente si riscontrano delle temperature crescenti con la profondità, ma, per quanto se ne sa al momento attuale, le falde acquifere della bassa pianura friulana non seguono il grado geotermico (*). Infatti si possono avere aumenti inferiori ai 3 °C per 100 m di profondità come anche aumenti superiori a 3 °C. Per esempio nel sottosuolo di Grado, ad una profondità attorno ai 250 m sono state riscontrate acque con temperature sui 18-20 °C, mentre a Lignano attorno ai 300-400 m di profondità si hanno delle acque con temperature sui 26-28 °C e nell'area compresa fra Pertegada, Bevazzana e Lignano da profondità di circa 400 m provengono acque con quasi 50 °C. Le acque profonde della bassa pianura pordenonese sono invece notevolmente più fredde.

Nuova interpretazione paleogeografica

Nonostante l'Assessorato ai LL.PP. della Regione Friuli-Venezia Giulia abbia raccolto numerosi dati stratigrafici di pozzi, parecchi di questi, da noi consultati, non sono attendibili scientificamente, da una parte perchè i perforatori spesso danno delle informazioni molto approssimative, se non del tutto errate, sui materiali incontrati, dall'altra parte perchè troppi pozzi catalogati e raccolti dall'Assessorato sono

(*) Anche se si tratta di una costante assai grossolana, seguita solo nella larga media.

poco profondi ed inutili per qualsiasi ricerca sia idrologica che geologica che voglia esser estesa alle maggiori profondità. E' stato comunque possibile, dopo opportune cernite, eseguire alcune correlazioni stratigrafiche lungo profili topografici opportunamente scelti. La localizzazione delle sezioni più rappresentative è mostrata nella planimetria di figura 2 (*).

Abbiamo effettuato diverse correlazioni stratigrafiche soprattutto in un'area dell'alta pianura friulana compresa approssimativamente fra i fiumi Natisone e Cormor. Il risultato fondamentale di queste indagini, estese minuziosamente su tutto il vasto materiale messioci a disposizione, è stato che è possibile individuare, già nell'alta pianura, orizzonti continui (o pressochè tali) di argilla alternati alle ghiaie, molto più spesse, e nella bassa pianura orizzonti di ghiaie o di sabbie continui ed alternati a spessi depositi stratiformi argillosi. Le argille, e le ghiaie e sabbie, non sono quindi affatto disposte a caso nel sottosuolo della pianura, ma mediamente su superfici molto ben delimitabili, che si connettono all'evoluzione sedimentaria di tutta la zona ed ai livelli marini successivamente determinatisi nel Quaternario nonchè alle ampie oscillazioni di questi.

Delle varie correlazioni eseguite riportiamo solo le schematiche sezioni 2, 3 e 4; nelle prime due ci siamo preoccupati di mostrare l'andamento del basamento. La fig. 3 (riassuntiva della sezione 3 dedotta dalla comparazione di varie stratigrafie) evidenzia schematicamente l'andamento della formazione arenacea (Flysch) in profondità nella zona orientale del Friuli e la sua continuazione verso W sotto le alluvioni (tale continuazione è stata rilevata dal pozzo di Terenzano dell'Agip). La figura rileva la presenza di una scarpata molto pronunciata e con notevole pendenza, che inizia già ai piedi dell'affioramento flyscioide. La culminazione che si vede più a W e che interrompe la brusca discesa è data dalla radice dei colli di Buttrio. Nelle sezioni 2 e 3 gli orizzonti ghiaiosi e argillosi si differenziano e si presentano comunque alternati nella formazione raffigurata complessivamente come «alluvione». Nella sezione 3 si accenna anzi al fatto che le argille si dispongono secondo profondità privilegiate e non a caso (disponendo il simbolo corrispondente — trattini — secondo certi orizzonti).

(*) Al fine di questa ricerca, indispensabile è stata la disponibilità dell'ing. Verri e del geom. Tellini dell'Assessorato ai Lavori Pubblici della Regione Friuli-Venezia Giulia, che ringraziamo per averci fornito molto gentilmente diversi dati stratigrafici su pozzi eseguiti nella Regione.

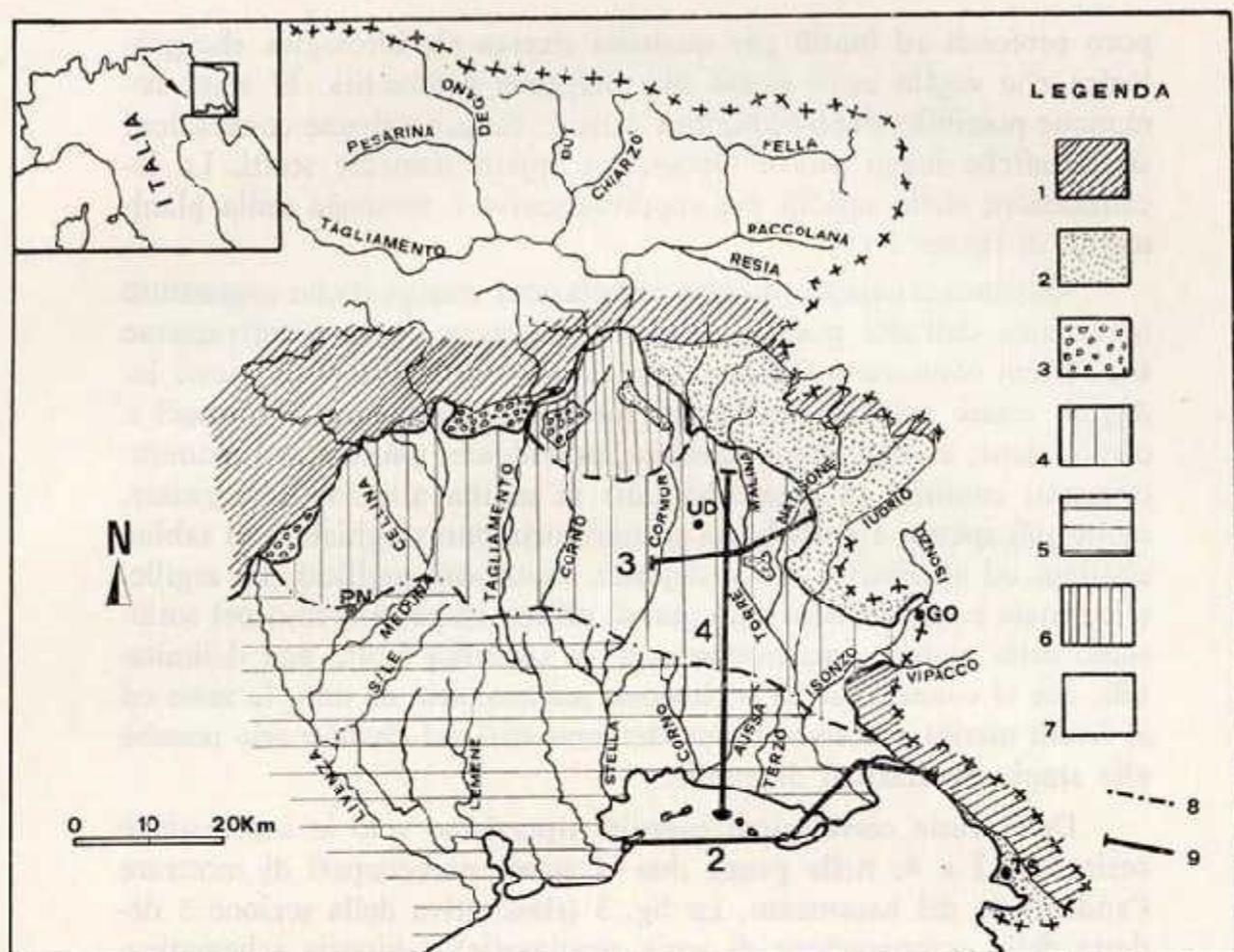


Fig. 2 - Planimetria generale della Regione Friuli-Venezia Giulia con le tracce delle sezioni elaborate per questa nota. La numerazione delle sezioni corrisponde alla numerazione delle figure successive. Simbologia: 1 = calcare, 2 = arenaria, 3 = conglomerato, 4 = alta pianura, 5 = bassa pianura, 6 = anfiteatro morenico, 7 = area alpina e prealpina, 8 = linea delle risorgive, 9 = traccia delle sezioni (2, 5 e 4). Le città principali sono indicate con le sigle delle province (PN, UD, GO, TS).

Sulla sezione 2 sarebbe stato più difficile rappresentare differenziate le argille dato che queste sono dominanti rispetto a ghiaie e sabbie. La sezione 4 invece — pressapoco ortogonale alle precedenti — cerca di dare una rappresentazione di dettaglio degli strati di argilla, che si presentano a profondità «regolari»; in questa sezione sono indicate solo le profondità medie degli strati argillosi, intendendo che a valle delle risorgive questi sono abbondantemente espansi attorno alle linee indicate e che a monte in qualche sondaggio sono esilissimi, appena percettibili.

Un motivo da controllare con sezioni pressochè parallele alla costa, ma disposte via via verso monte, era quello di verificare che

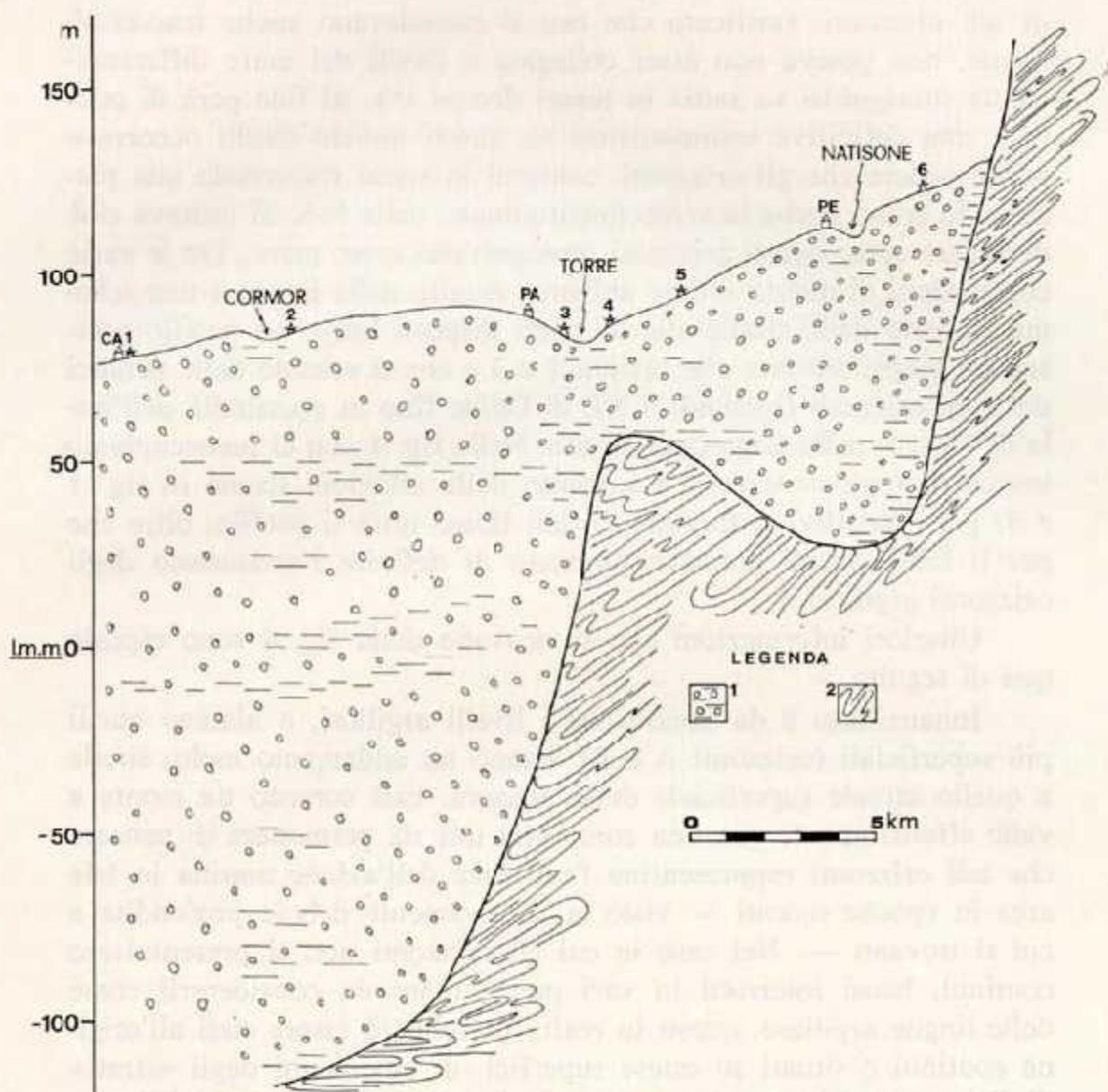


Fig. 3 - Schizzo riassuntivo rappresentante l'andamento del substrato arenaceo nella zona orientale del Friuli (lungo la sezione 3). Simbologia: CA = Campofornido, PA = Pradamano, PE = Premariacco; 1 = alluvioni (ghiaie, argille), 2 = flysch. I pozzi 2 (Terenzano), 4 (Buttrio) e 6 (Cividale) si discostano dalla linea della sezione da 1.5 a 2 km. Anche in questa figura l'alluvione è indicata genericamente senza approfondire la sua articolazione in strati. Comunque si nota chiaramente l'erosione «a falesia» subita dalla formazione arenacea e la radice del Colle di Buttrio che pare delimitare un paleoalveo del Natisone (in effetti si tratta piuttosto di un'ondulazione).

esistevano orizzonti argillosi continui, o più o meno continui, alternati alle copiose ghiaie dell'alta pianura. La continuità da monte a valle di tali orizzonti, verificato che essi si estendevano anche trasversalmente, non poteva non esser collegata a livelli del mare differentemente susseguirsi «a salti» in tempi diversi (*). Al fine però di ottenere una definitiva testimonianza su questi antichi livelli occorre anche vedere che gli orizzonti, continui in senso trasversale alla pianura, lo erano anche in senso longitudinale, ossia N-S. Si trattava cioè di vedere come questi orizzonti proseguivano verso mare. Tra le varie correlazioni di questo ordine abbiamo riunito nella figura 4 uno schema ricavato dalle stratigrafie di pozzi disposti lungo un profilo pressapoco perpendicolare alle sezioni 2 e 3 e che si estende dalle pendici dei colli orientali flyscioidi a NE di Udine fino in prossimità dell'isola di Morgo, nella Laguna di Grado. Nella fig. 4 non ci preoccupiamo invece di rappresentare il basamento delle alluvioni (come in fig. 1 e 3) per l'obiettiva mancanza di dati lungo tutto il profilo, oltre che per il fatto che ci premeva piuttosto di definire l'andamento degli orizzonti argillosi.

Ulteriori informazioni che si ricavano dalla fig. 4 sono esposte qua di seguito.

Innanzitutto è da notare che i livelli argillosi, o almeno quelli più superficiali (orizzonti A e B), hanno un andamento molto simile a quello attuale superficiale della pianura. Essi corrono da monte a valle effettivamente con una continuità tale da permettere di pensare che tali orizzonti rappresentino l'esistenza dell'azione marina in tale area in epoche recenti — visto la relativamente debole profondità a cui si trovano —. Nel caso in cui gli orizzonti non si presentassero continui, bensì interrotti in vari punti, tanto da considerarli come delle lingue argillose, questi in realtà potrebbero essere stati all'origine continui e situati su estese superfici, di cui alcuni degli «strati» di fig. 4 potrebbero rappresentare le intersezioni sul piano della sezione, ma esser stati poi dilavati o erosi proprio dall'azione marina o

(*) Nelle zone fino a 10-20 km dall'attuale linea di costa sono certamente argille marine, come nei pozzi Acega dove sono stati riscontrati nelle argille fossili di molluschi marini (gasteropodi e bivalvi). Se si tratta di argille palustri, o fluviali, nelle zone più a monte (dato incontrollato perchè non abbiamo informazioni sui fossili di pozzi eseguiti da altri) si tratta comunque di livelli prossimi e connessi ai paleolivelli marini individuati dai depositi più a valle, dato che in ogni caso esisteva una continuità tra i livelli della paleopianura ed il livello del mare delle varie epoche.

per lo meno, dopo la regressione marina, esser stati interessati dalla erosione fluviale (*). L'esistenza, attuale, di queste «finestre» negli orizzonti argillosi impermeabili, è di essenziale importanza per l'alimentazione delle falde, per cui anche orizzonti permeabili profondi possono ricevere acque più superficiali.

Nelle varie zone della pianura gli orizzonti argillosi, che in base alle nostre correlazioni sono stati individuati a profondità «regolari», ossia regolarmente estesi a tutta l'area esaminata, possono esser più o meno visibili, perchè più o meno conservati nelle vicissitudini che hanno influito sull'evoluzione dei depositi. Così, per esempio, nelle parti dell'alta pianura gli orizzonti più superficiali possono esser stati abrasati (anche completamente), mentre nella bassa pianura sono spesso più consistenti, e la successione delle alternanze più visibile; al contrario, muovendo verso la costa attuale, taluni strati ghiaiosi possono scomparire e due o più orizzonti argillosi combaciare, quasi fondendosi.

Un'area particolarmente studiata, anche in epoca attuale per il rifornimento idrico di Trieste, è la zona in sinistra Isonzo, tra Ronchi, Pieris e la costa. In questa zona gli strati A e B indicati in fig. 4 sono quasi asportati, mentre invece compaiono regolarmente e denotando grande continuità, gli orizzonti che abbiamo indicato con C, D ed E (sono strati argillosi che compaiono, in sinistra Isonzo, alle profondità medie attorno agli 80, 100 e 130 m) e che delimitano strati di ghiaie o conglomerati che ospitano ricche falde artesiane.

Dalla fig. 4 si nota che il primo orizzonte argilloso, l'orizzonte A, continuo in tutta l'alta pianura, si interrompe poco a S di Palmanova, emergendo. Esso determina la linea delle risorgive, ed il fatto che non si tratti esattamente di una linea ma di una fascia, vuol dire che tale orizzonte presenta delle ondulazioni anche nel piano ortogonale a quello della figura e che quindi la sua emersione avviene a latitudini diverse. L'orizzonte argilloso A è il letto della falda freatica dell'alta pianura friulana (il cui livello superiore è indicato approssimativamente in figura con linea a tratto-punto), che evidentemente è costretta ad emergere presso Palmanova. La fascia (nel piano della figura) permeabile, compresa tra l'orizzonte A e il B, è la prima falda artesiane. Essa non emerge a valle della linea delle risorgive perchè la superficie del suolo è alquanto impermeabile (come accennato in fi-

(*) Anche le falde acquifere possono aver avuto la stessa azione dilavante su parte degli orizzonti argillosi.

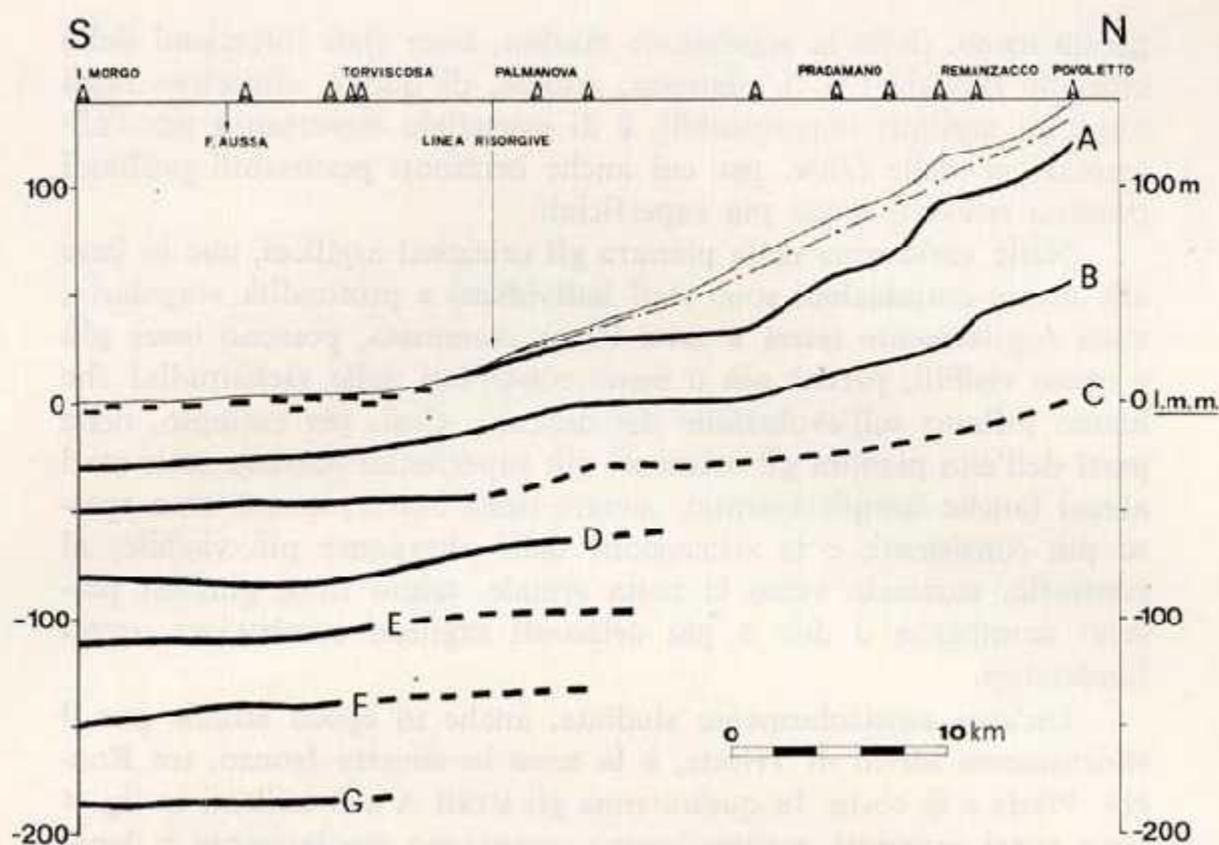


Fig. 4 - Sono rappresentate le tracce dei livelli argillosi continui — indicati in figura con le lettere A, B, C, D, E, F e G — (qui vengono considerati i valori medi dello spessore totale, ossia i livelli indicano le posizioni medie degli orizzonti argillosi — ciò vale soprattutto a S della linea delle risorgive dove l'argilla occupa larghe fasce di profondità e gli orizzonti permeabili sono ridotti in genere a lievi strati) dall'Isola di Morgo a Povoletto, lungo una sezione di direzione S-N ed indicata nella planimetria generale col n. 4. L'orizzonte A, a valle della linea delle risorgive, si confonde col piano di campagna costituito da suoli umico-argillosi impermeabili, indicati in figura con trattini; si nota di conseguenza il deposito recente di alluvioni (ghiaiose) a monte della linea delle risorgive e sopra l'orizzonte A. Nella zona a monte delle risorgive la linea a tratto-punto, che corre tra la superficie topografica e l'orizzonte A, accenna alla superficie media della falda freatica.

gura) con residui dell'orizzonte A e depositi argillosi-umiferi. Questa prima falda artesianica è alimentata a monte, fuori della figura, dove lo strato A si interrompe al contatto con gli affioramenti collinari, nonchè anche lungo la sua estensione sotto lo strato A, dove questo è slabbrato dalle accennate «finestre». Successivamente, a maggiori profondità, compaiono altri strati argillosi ed altri depositi permeabili ospitanti altrettante falde artesiane profonde.

Riguardo all'orizzonte A possiamo dire che in tutta la pianura friulana, sia ad E che ad W del Tagliamento, si trova tale deposito

argilloso, che è situato, pur con varia potenza (e a volte interrotto da finestre), alla profondità media di 20 m dal piano di campagna. In destra Tagliamento Dal Prà e Antonelli (1979) avevano individuato pure tale orizzonte, considerandolo però una lente per la mancanza di ulteriori stratigrafie nella zona di S. Quirino dove esso era stato rilevato. E' però probabile che in destra Tagliamento tale orizzonte sia stato in buona parte sconvolto ed eroso dagli imponenti e recenti conoidi ghiaiosi portati dal Meduna e dal Cellina: in sinistra Tagliamento, cui si riferisce la fig. 4, invece si è avuto un deposito più tranquillo di alluvioni recentissime, che sono appunto quelle in cui scorre la falda freatica.

Questo primo livello argilloso a valle di Palmanova (o poco a monte della fascia delle risorgive) è stato quasi totalmente eroso e dilavato nell'emersione dell'area, durante la regressione marina, e forse anche in concomitanza ad un sollevamento differenziale dell'area montana e del basamento della pianura, perciò sottoposta ad un'erosione «forzata» e di massa da parte dei corsi fluviali. Col ringiovanimento i fiumi tentavano di riprendere nuovamente il proprio profilo di equilibrio e trasportavano cospicue quantità di ghiaie che venivano depositate quasi immediatamente, seppellendo così l'orizzonte argilloso nella parte a monte e preservandolo dal dilavamento. (Da osservare che in prossimità di Palmanova rilievi sismici sembrerebbero aver individuato una grande faglia inversa che potrebbe esser collegata con questo sollevamento differenziale e forse molto rapido).

Riguardo all'origine dell'orizzonte A è evidente che esso è la traccia di una paleopianura, che si raccorda, a valle della linea delle risorgive, con la bassa pianura attuale. Purtroppo non abbiamo alcuna notizia sui fossili presenti nelle argille di questo orizzonte a monte della linea delle risorgive (per la lamentata incuria da parte dei perforatori). Se questi fossili denunciassero la natura marina dello strato è evidente che si tratterebbero di sedimenti di fondo del mare (analoghi a quelli che si formano oggi sul fondo dell'Adriatico), che sono stati elaborati in parte ed anche erosi in una regressione parziale recente. Comunque la zona dovrebbe aver subito un sollevamento in senso assoluto, perchè non è invece pensabile a trasgressioni (ingressioni) marine recenti tali da aver portato il fondo marino a quote di 100 e più m sopra l'attuale livello del mare. Se invece l'orizzonte A, nell'alta (attuale) pianura friulana, risultasse di natura continentale

esso comunque rappresenterebbe un insieme di depositi fluviali in una paleopianura raccordata con un antico livello marino, determinato da un periodo di deflusso molto tranquillo e lento e praticamente in assenza di erosione. Questa erosione invece ha determinato, in precedenza, l'accumulo dei materiali ghiaiosi situati sotto l'orizzonte A. Il discorso del sollevamento sopracitato si rifletterebbe allora sull'orizzonte B.

L'orizzonte B è il più significativo, perchè più chiaramente testimoniante un livello marino. Questo orizzonte è ben delineato e soprattutto continuo, sulla sezione di fig. 4, dalla costa — presso Bocca d'Anfora — fino circa alle pendici dei colli orientali flyscioidi a NE di Udine. L'andamento geometrico dell'orizzonte argilloso è simile al piano topografico attuale, salvo la minor pendenza. Le due pendenze risultano diverse per gli stessi fenomeni già visti riguardo all'orizzonte A: maggiore erosione nell'area a valle, nel periodo immediatamente seguente la regressione marina, e, presumibilmente, maggior tempo di esposizione agli agenti atmosferici in confronto all'area a monte, quasi subito ricoperta da nuovi sedimenti originatisi per il sollevamento della parte montana (o comunque a causa di un abbassamento differenziale delle due zone).

L'orizzonte B è situato approssimativamente 30 m sotto il piano attuale di campagna nella bassa pianura, dalla costa alla linea delle risorgive, per affondarsi relativamente da qui fino alla parte montana (in prossimità dell'affioramento flyscioide) fino ad una profondità di circa 65 m dal piano di campagna. Da notare che nella bassa pianura friulana sono stati riscontrati livelli fossiliferi marini ad una quota di circa 30 m di profondità, ossia nell'orizzonte B, già da E. Feruglio (1936) nonchè da B. Martinis (1957). Noi stessi abbiamo riscontrato fossili marini entro livelli argillosi, nei recenti pozzi Acega, benchè a profondità maggiori; livelli argillosi, più superficiali, contenenti fossili marini potrebbero, per i motivi prima detti, esser stati dilavati ed erosi.

Per un controllo del significato dell'orizzonte B abbiamo anche calcolato il coefficiente di correlazione fra questo livello argilloso (che è continuo da valle a monte) ed il piano di campagna attuale per poter vedere se c'era una certa dipendenza fra il livello terrestre attuale ed il presunto antico livello marino, testimoniato dall'esistenza di questo orizzonte continuo di materiali impermeabili (*). E' stato ottenuto un coefficiente di correlazione pari a 0.993 e ciò significa

che esiste una altissima correlazione fra i due piani analizzati, tanto alta da poter certamente ritenere che il livello argilloso, ora sepolto sotto un potente strato alluvionale, era un livello topografico terrestre in una situazione perfettamente simile a quella attuale (dopo esser stato un livello marino rimaneggiato dalle vicissitudini). Ossia al ritiro progressivo di un mare, di cui tale livello, a meno di successive erosioni, costituiva il fondo, esso (cioè l'orizzonte B) si riduceva a piano di campagna. Il successivo apporto di alluvioni per l'aumentata erosione (con un'ulteriore discesa relativa del livello marino) ha ricoperto questo antico piano di campagna con una coltre pressapoco parallela.

Fasi del genere si sono ripetute dando tutta l'alternanza che noi oggi osserviamo, ossia tutta la pila di strati ghiaiosi ed argillosi, fino al basamento.

L'orizzonte C è ben delineato dalla costa fino ad un pozzo posto in località di S. Maria la Longa (circa 2 km a N di Palmanova), ma da qui a monte, lungo la sezione, non sono stati riscontrati livelli argillosi se non sporadicamente. Questo può esser dovuto sia alla presenza di più numerose «finestre» da slabbrature in questo orizzonte sia dalle imperfette descrizioni stratigrafiche dei perforatori. Comunque però, ancora una volta, Dal Prà e Antonelli (1979), nello studio della destra Tagliamento, hanno individuato un livello argilloso in prossimità di Maniago, più o meno alla stessa quota della virtuale continuazione, verso monte, dell'orizzonte C. La mancata indicazione, nella fig. 4, degli orizzonti C, D e seguenti, da poco a N di Palmanova fino alla parte montana, è soltanto dovuta alla mancanza di dati (per la maggior profondità relativa a cui questi livelli argillosi si troverebbero) in tali aree, e perciò alla grande profondità di perforazione che

(*) Il calcolo è stato eseguito prendendo in corrispondenza di ogni pozzo, situato sempre sulla stessa sezione, la quota h_i del piano di campagna e la quota H_i del livello argilloso B. L'indice di correlazione r è:

$$r = \frac{\sum_1^n (h_i - \bar{h}) (H_i - \bar{H})}{\sqrt{\sum_1^n (h_i - \bar{h})^2 \sum_1^n (H_i - \bar{H})^2}}$$

Normalmente valori dell'indice di correlazione prossimi alla unità indicano una correlazione positiva, ossia una diretta dipendenza fra le due grandezze considerate.

sarebbe necessario eseguire solo per poter toccare questi orizzonti (come già detto, perforazioni fatte solo per cercare acqua si arrestano quando hanno trovato un orizzonte di falda stabile).

Comunque, sempre considerando la sezione riportata in fig. 4, si può ritenere che, a valle dell'attuale fascia delle risorgive, probabilmente il piano topografico del fondo marino inizialmente era, con buona approssimazione, pianeggiante, pressapoco come lo è l'attuale, nel Golfo di Trieste.

Varie fasi regressive e trasgressive si sono susseguite nel tempo. Queste possono essersi generate o in seguito ad una effettiva regressione marina o per un sollevamento isostatico terrestre, dovuto al minor carico dei ghiacci sulla superficie — anche non vicina — nel periodo post-glaciale o per manifestazioni tettoniche (anche «neotettoniche»).

Le trasgressioni (o ingressioni) marine si sono originate nei successivi periodi post-glaciali in concomitanza allo scioglimento dei ghiacci.

In più pare che (Cotecchia et al., 1969) il ciclo regressivo-trasgressivo avvenuto alla fine del Würm nell'Adriatico sia stato estremamente rapido e ciò può essere comprovato dalla frequente alternanza di sedimenti continentali e marini e dal diverso grado di dilavamento di questi.

Comunque il risultato finale è stato il deposito alternato di materiali sciolti «continentali», prodotti dall'erosione (e successivo deposito) delle parti montane, e di materiali più fini ed impermeabili «marini», finchè s'è iniziata a delineare ed a stabilizzarsi una linea di costa, pressapoco in corrispondenza (o poco a monte) dell'attuale fascia delle risorgive. A questo proposito è da notare il piccolo piede di scarpata che troviamo appena accennato dagli orizzonti argillosi B, C e D — presso la linea delle risorgive — e che delinea un evidente cambiamento di pendenza, seppur locale. Probabilmente a valle di questa rottura di pendenza era presente un mare relativamente profondo, mentre a monte esisteva una fascia marina meno profonda, o addirittura una zona lagunare, dove l'apporto detritico era maggiore a causa del già citato sollevamento della parte montuosa (con conseguente maggiore erosione). Anche l'attuale Golfo di Trieste presenta, ai bordi della Laguna di Grado, a 1-2 km dalla costa, una scarpata di 6-10 m d'altezza.

A questo punto si può tentare di ricostruire, seppur a grandi linee, ed in maniera riassuntiva, in questa sede, le vicissitudini avvenute in

generale nella Pianura Friulana e susseguitesì nel tempo. Partiremo dalla fine del Pliocene, ossia da quando l'intera area dell'attuale Pianura Friulana (alta e bassa) era occupata dal mare e si formò un primo strato continuo e relativamente potente di sedimento argilloso. Dopo una generale regressione marina concomitante ad un probabile stadio di sollevamento di tutta l'area, più o meno relativo ed in maniera più o meno differenziale, nel Quaternario intervengono diverse fasi glaciali (almeno quattro, di cui l'ultima è la più considerevole o per lo meno la più vistosamente rappresentata, per i residui lasciati, nella Regione). Potenti masse di ghiaccio occupano le vallate alpine. Fra una fase glaciale e l'altra si susseguono diversi cicli regressivi e trasgressivi, cioè di allontanamento e abbassamento del mare e di ingressione marina, con innalzamento del livello fino a coprire terre prima emerse. La sommersione marina in qualche episodio può esser stata molto rapida (forse catastroficamente rapida). Il pozzo Acega di San Zanut (San Pier d'Isonzo), perforato nel 1984, ha trovato a 154 m di profondità la sommità del calcare con evidenti segni di Karren, contenente inclusioni di terra rossa nonché resti vegetali più o meno carbonizzati, ed in qualche caso addirittura foglie ed evidenti frammenti di corteccia, che non hanno dunque avuto modo di venir dilavati. In più nei periodi post-glaciali i corsi fluviali divenivano più cospicui ed incidevano i propri sedimenti determinando una grande fase di terrazzamento. Tali corsi d'acqua deponevano a valle i materiali di erosione determinando così ampi conoidi di deiezione: si originò infatti una pianura morfologicamente simile all'attuale. Nelle fasi di ingressione marina che seguono gli scioglimenti dei ghiacci varie aree vengono occupate dal mare in modo più o meno vistoso e nella fase regressiva alcune zone, le più avvallate, rimangono per un breve periodo interessate dal mare. Da queste azioni è risultata l'alternanza di materiali continentali e marini (ghiaiosi permeabili ed argillosi o sabbiosi poco permeabili). Anche nell'alta pianura (per non parlare della bassa) si trovano, in profondità, estesi orizzonti torbosi che testimoniano antiche aree acquitrinose e paludose. Con lo scioglimento dei ghiacci — e ne abbiamo già accennato — la superficie tende a sollevarsi per il minor carico: intervengono così fasi di forte erosione e di conseguente terrazzamento. Momenti di relativo riscaldamento delle acque hanno determinato la precipitazione di CaCO_3 e la cementazione delle ghiaie con la formazione di conglomerati.

Sollevamenti dell'intera Regione, sempre differenziali da area a area, sono avvenuti anche in epoca recentissima o addirittura in epoca

storica. Al riguardo basta considerare le numerose deviazioni e divagazioni di fiumi come il Tagliamento e l'Isonzo, che tendono a migrare in modo preferenziale da E verso W: per esempio è oramai noto che l'Isonzo in epoca romana scorreva in prossimità di Ronchi dei Legionari, a ridosso del Carso. Esso, o almeno un suo ramo, sfociava nella zona del Lisert. Pure interessante, nella destra Tagliamento, il reale «spandimento» verso SW dei corsi d'acqua, che dovrebbe dipendere da un'inclinazione prodottasi molto recentemente.

I ghiacciai, nelle loro massime espansioni, hanno portato dei fronti morenici, di cui quello würmiano del Tagliamento è uno degli esempi più tipici e meglio conservati. Le precedenti glaciazioni avvenivano anche con livelli relativi del mare più bassi dell'attuale e si possono esser così determinati dei depositi morenici più «a valle» e più «in basso». Taluni materiali e particolarità morfologiche individuate nel fondo dell'Adriatico settentrionale lo farebbero pensare.

Bibliografia

- AGNOLETTI M. C., BUDA-DANCEVICH M., PARADISI S., PORTANOVA C., SILLANI L., SPECCHI M., STOCH F. - 1984 - Dati idrologici, marzo-dicembre 1981. *Quaderni Ente Tutela Pesca*, Udine, suppl. 1.
- BORTOLAMI G. C., FONTES J. C., MARKGRAF V., SALIEGE J. F. - 1977 - Land sea and climate in the Northern Adriatic region during late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 21.
- COTECCHIA V., DAI PRA' G., MAGRI G. - 1969 - Oscillazioni tirreniane e oloceniche del livello del mare nel golfo di Taranto, corredate da datazioni col metodo del radiocarbonio. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, IV.
- DAL PRA' A., ANTONELLI R. - 1979 - Indagini geologico-tecniche sul sottosuolo della pianura alluvionale dei torrenti Cellina e Meduna (Pordenone). *St. Trentini di Sc. Nat.*, Trento, V, 56.
- FERUGLIO D. - 1925 - La zona delle risorgive del Basso Friuli tra Tagliamento e Torre. Parte II. Studio fisico-chimico e agronomico. *Ann. Staz. Chim. Agr. Sper.*, Udine, 3, 1.
- FERUGLIO E. - 1925 - La zona delle risorgive del Basso Friuli tra Tagliamento e Torre. Parte I. Descrizione geologica e idrologica. *Ann. Staz. Chim. Agr. Sper.*, Udine, 3, 1.
- FERUGLIO E. - 1936 - Sedimenti marini nel sottosuolo della bassa pianura friulana. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 55, 1.
- LORENZI A. - 1911 - La provenienza delle acque e la regione sorgentifera del fiume Stella nel Friuli. *Mem. Geogr.; Riv. Geogr. Ital.*, 5, 15.
- MARTINIS B. - 1957 - Osservazioni stratigrafiche sul sottosuolo di Lignano (Udine). *Riv. Ital. di Paleont. e Strat.*, 63, 3.
- MOSETTI F. - 1983 - Sintesi sull'idrologia del Friuli-Venezia Giulia. *Quaderni Ente Tutela Pesca*, Udine, 6.

- MOSETTI F., FERUGLIO G. G. - 1964 - Schizzo dell'Idrologia della Piana Friulana. *Atti Conv. sui Contr. della Geol. e della Geof. nell'econ. della Reg. F.V.G., Del Bianco ed., Udine.*
- STEFANINI S. - 1972 - Le Acque freatiche tra il fiume Livenza ed il torrente Torre (Friuli-Venezia Giulia). *Mem. Soc. Geol. Ital., 11.*
- STEFANINI S., KOBEC O. - 1978 - Caratteristiche idrogeologiche e chimiche della falda freatica nell'anfiteatro morenico del Tagliamento (Friuli-Venezia Giulia). *Quaderni IRSA, Roma, 34 (8).*
- VECCHIA O., DE WRACHIEN D., MAGINI A. - 1968 - Le acque sotterranee nella pianura friulana orientale. *Tip. Ambrosini, Perne.*
- VERRI G. - 1982 - Modelli per la mappatura delle variabili del territorio. *Ordini degli Ingegneri, 29° Congresso nazionale, Venezia, aprile 1982.*

CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA
DELLA FLORA FITOPLANCTONICA DEL FIUME STELLA
(FRIULI-VENEZIA GIULIA)

*CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF PHYTOPLANKTON
FLORA OF THE RIVER STELLA (FRIULI-VENEZIA GIULIA)*

Antonella Miola *

Key words: Friuli-Venezia Giulia (North Eastern Italy). Phytoplankton.

Abstract: Phytoplankton populations and some chemical and physical parameters of water quality were studied in the River Stella (Friuli-Venezia Giulia). Monthly samples were collected at 13 fixed stations along the river from January to November 1982.

Riassunto: Dal gennaio 1982 al novembre dello stesso anno, è stata condotta una ricerca sulle acque del fiume Stella (Friuli-Venezia Giulia) con lo scopo di studiarne i popolamenti fitoplanctonici ed alcuni parametri fisico-chimici, temperatura, pH, conducibilità, alcalinità, durezza, contenuto in ossigeno e presenza di solidi sedimentabili. I campionamenti sono stati effettuati con frequenza mensile in undici stazioni fisse disposte lungo tutto il corso dello Stella, una sul fiume Taglio e una sul Torsa. I risultati delle analisi fisico-chimiche hanno messo in evidenza caratteri basici, di elevata conducibilità e buona ossigenazione per le acque di tutto il corso del fiume. Nell'analisi dei popolamenti fitoplanctonici sono state identificate 71 specie e varietà di alghe. Tra queste prevalgono le Diatomee, seguite dalle Cloroficee. Si sono potuti individuare un popolamento euplanctonico nella parte più lenta del fiume, vicino al suo delta e due popolamenti costituiti da specie planctoniche facoltative e fitoplanctoniche in stazioni più a monte, che risentivano maggiormente della corrente del fiume.

Summary: Phytoplankton communities and some chemical and physical pa-

* Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova

rameters of water quality — temperature, Hydrogenion-ion concentration (pH), conductivity, alkalinity, hardness, Oxygen content — were studied over a period of 11 months from January to November 1982 in the River Stella (Friuli-Venezia Giulia). Monthly samples were collected at 13 fixed stations. The results of physical and chemical analysis showed that no different situations occur along the river. A high content of Oxygen, a basic pH and a high conductivity seem to be common characters of all the stations along the river. Phytoplankton study revealed the presence of 71 species and varieties of algae. The most important group was the Diatoms; the Chlorophyceae Chlorococcales and Volvocales constituted the only group beside the Diatoms which were relatively numerous. In the upper and central sampling stations two algal communities were identified. They were constituted by facultative planktonic and tytoplanktonic species. In a lower sampling station an algal community but eu planktonic was identified.

Introduzione

In questo lavoro vengono presentati i risultati di una ricerca sui popolamenti fitoplanctonici e su alcune caratteristiche chimico-fisiche delle acque del fiume Stella (Friuli-Venezia Giulia). Lo scopo di questa indagine era di fornire una prima documentazione su questo ambiente finora mai oggetto di studi, ma di indubbio valore naturalistico.

La sede della ricerca è stato il laboratorio di Idrobiologia dell'Ente Tutela Pesca del Friuli-Venezia Giulia, ad Ariis di Rivignano (Udine).

Alcune notizie sul fiume Stella

Il fiume Stella attraversa da Nord a Sud la parte meridionale della pianura friulana, rimanendo compreso tra i fiumi Tagliamento a occidente e Isonzo ad oriente. Ha origine nella zona delle risorgive, che si estende attraverso tutta la pianura friulana, formando da Nord-Ovest a Sud-Est un grande arco che passa attraverso Cordenons, Cordero, Palmanova, Pieris e Monfalcone (fig. 1). Lo Stella si forma alla confluenza di due rogge, la roggia Puroia e la roggia Ribosa a Nord-Ovest di Flambruzzo (fig. 2). Dopo aver attraversato questo paese, riceve l'affluente Taglio, ma solo dopo il paese di Ariis di Rivignano, il letto del fiume si allarga e le acque scorrono con maggiore velocità. Prima di attraversare il paese di Chiarmacis lo Stella accoglie anche le acque del fiume Torsa. Attraverso un percorso molto sinuoso e formando numerosi meandri, lo Stella bagna anche i paesi

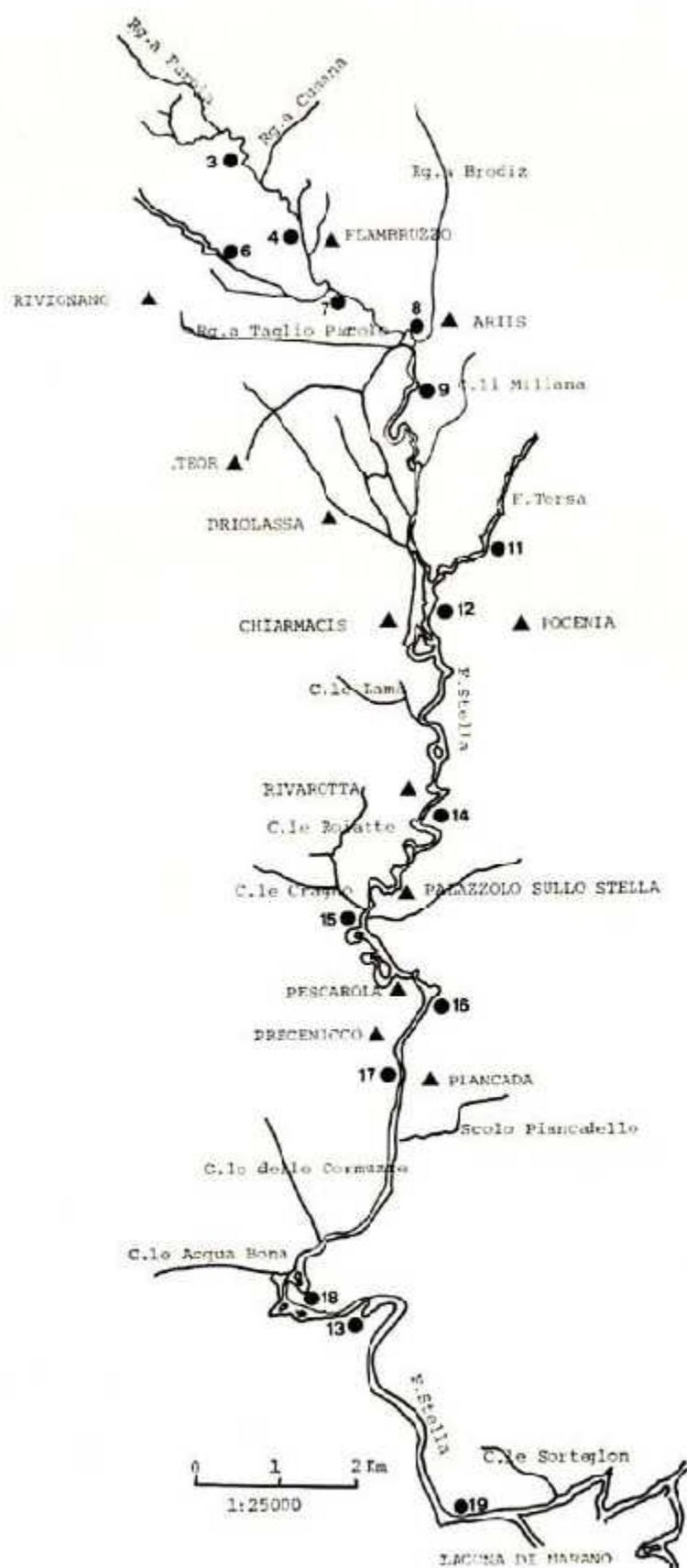


Fig. 2 - Fiume Stella: stazioni di campionamento (●).

origine nella zona delle risorgive. La sua portata media annuale, registrata all'idrometro di Casale Sacile è di 34 mc/sec (1926-31, 1935-55); portate maggiori, tra i fiumi della regione friulana, vengono registrate solo per l'Isonzo, il Tagliamento e il Livenza. Il suo regime è il più costante tra quelli dei fiumi friulani. Generalmente la portata media-massima viene registrata nel mese di novembre, indicando un regime subalpino, mentre quella media-minima in agosto.

La pianura friulana è stata formata dalle alluvioni fluvio-glaciali; la parte bassa, dove scorre il fiume Stella, prevalentemente è costituita da alluvioni argillose.

Tra i caratteri climatici generali mi sembra opportuno considerare, per quanto brevemente, quelli pluviometrici, in quanto direttamente legati alle modalità di alimentazione delle falde idriche. L'altezza pluviometrica annua supera in quasi tutta la regione il valore di 1000 mm. Nella pianura le precipitazioni invernali e primaverili sono inferiori ai 1500 mm, ma in genere superano i 1100 mm. Le precipitazioni sono abbondanti nel periodo autunnale con punte massime nel mese di novembre. Un secondo massimo si verifica tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate (Valussi, 1961).

Materiali e metodi

I campionamenti di acqua per le analisi chimico-fisiche e biologiche sono stati effettuati con una frequenza mensile, dal gennaio 1982 al novembre dello stesso anno. Sono state scelte undici stazioni dall'origine del fiume fino alla sua immissione nella laguna di Marano (fig. 2).

Altre 2 stazioni sono state disposte nei due principali affluenti del fiume Stella, il fiume Taglio e il fiume Torsa, poco prima della loro immissione nello Stella. In dieci stazioni il campionamento è stato effettuato al centro della corrente alla profondità di 20-50 cm. Per lo studio del fitoplancton sono stati prelevati campioni nelle stazioni 3, 9 e 13, alla distanza di 2 m circa dalla riva a 20 cm di profondità.

Queste stazioni sono state scelte perchè disposte in anse tranquille del fiume all'inizio, alla fine e circa alla metà del suo corso.

In ogni stazione veniva rilevata la temperatura dell'acqua tramite termometro a mercurio, il pH e la conducibilità.

Inoltre veniva misurata la velocità della corrente con un correntometro.

Cinque prelievi d'acqua, effettuati con un contenitore metallico

da 1,5 l e mescolati in un unico recipiente, costituivano un campione cumulato utilizzato per le varie analisi.

Nelle stazioni 3, 9 e 13 venivano conservati 250 cc di tale campione in bottiglie di vetro per l'analisi del fitoplancton. Per fissare e conservare il contenuto algale del campione vi veniva subito aggiunta la soluzione di Lugol acidificata in ragione dell'1% (Vollenweider, 1969).

Le analisi chimiche venivano effettuate in laboratorio il giorno stesso della raccolta o il giorno successivo. Nel frattempo i campioni venivano conservati al buio e al freddo.

L'analisi dell'Ossigeno disciolto è stata condotta secondo il metodo titolometrico di Winkler; il calcolo della percentuale di saturazione è stato effettuato seguendo la procedura indicata da Schwoerbel (1970).

L'alcalinità alla fenoftaleina e totale è stata analizzata seguendo la metodica tratta da Goltermann (1970).

L'analisi della durezza totale, espressa in CaCO_3 mg/l è stata eseguita tramite titolazione simultanea di Ca e Mg secondo Katz et alii (1964).

L'analisi delle sostanze solide sedimentabili è stata effettuata usando i coni di Imhoff.

Per lo studio delle comunità fitoplanctoniche sono stati analizzati al microscopio invertito campioni d'acqua fatti sedimentare in appositi cilindri con fondo mobile. Le specie algali raccolte sono state determinate con i seguenti lavori: Bourelly (1966, 1968, 1970), Hustedt (1930), Prescott (1962), Tiffany e Britton (1952).

Risultati

Caratteri chimico-fisici delle acque

La temperatura delle acque del fiume Stella (tab. I) è stata soggetta, nel corso dell'anno, ad un notevole sbalzo: dai 7°-8° C misurati in gennaio ai 19°-20° C misurati in luglio. Lungo il corso del fiume, invece, dalle origini all'uscita in laguna, non sono state osservate sostanziali differenze di temperatura.

Le misure del pH (tab. II) hanno generalmente indicato un carattere basico dell'acqua. I valori sono rimasti compresi nell'inter-

vallo 7.5-8.5. Valori attorno ad 8 sono stati misurati nelle stazioni più a monte fino alla stazione 9.

Per uniformare i valori di conducibilità misurati, sono stati tutti riportati a 25° C (tab. III). Il contenuto dei soluti dell'acqua è risultato essere piuttosto elevato nei mesi di gennaio-marzo, la conducibilità misurava infatti 650-750 S/cm. Valori più bassi, compresi nell'intervallo 500-600 S/cm, sono stati rilevati invece negli altri mesi dell'anno, in particolare nei mesi di ottobre e novembre.

L'analisi delle sostanze solide sedimentabili è sempre stata negativa.

La quantità di Ossigeno (tab. IV-V) contenuta nelle acque dell'alto corso del fiume fino circa alla stazione 9, è rimasta in genere al di sopra del valore di saturazione, probabilmente in relazione al percorso accidentato che in questo tratto le acque compiono. Il tratto successivo ha presentato invece una percentuale di saturazione inferiore, compresa tra il 90% e il 70%. La concentrazione di Ossigeno delle acque era intorno ai 10-12 mg/l nell'alto tratto del fiume e tra i 7 e i 10 mg/l nel tratto successivo.

Per quanto riguarda l'alcalinità (tab. VI), essa è rappresentata da bicarbonati; infatti l'alcalinità fenoftaleinica, alla quale concorrono gli ossidrili e i carbonati, ha sempre assunto il valore 0. Sono stati misurati valori di alcalinità totale compresi tra 3.05 e 3.85 meq/l.

Le analisi chimico-fisiche effettuate sulle acque del fiume Taglio, raccolte poco prima della loro confluenza nello Stella, hanno indicato caratteri diversi nelle acque dei due fiumi. Il pH e la conducibilità delle acque del Taglio sono sempre state superiori a quelli delle acque del tratto dello Stella a monte della confluenza del Taglio. Le acque del fiume Torsa sembrano invece differenziarsi meno, relativamente a questo aspetto da quello dello Stella.

Popolamenti fitoplanctonici

L'analisi dei popolamenti algali di campioni d'acqua prelevati nelle stazioni 3, 9 e 13 è stata condotta con il primo scopo di identificare le specie che li componevano e di rilevarne l'importanza, da un punto di vista numerico, all'interno del popolamento.

L'osservazione al microscopio ottico di più campioni, raccolti nei vari mesi dell'anno, per ogni stazione ha consentito di individuare 71 specie e varietà appartenenti a 5 classi: 8 Cianoficee, 1 Euglenoficea, 6 Pirrofiticee, 32 Diatomee e 24 Cloroficee. Risulta evidente che

Tab. I - Temperatura dell'acqua (°C).

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	7	10.2	12.4	—	17.0	19.0	—	—	—	12.5
4	7	10.2	12.4	14.5	17.0	18.0	17.0	16.3	14.0	12.0
7	7	—	12.2	—	16.5	18.0	12.5	16.3	14	12.0
8	7.5	—	12.3	14.5	17.0	18.0	17.0	16.4	13.7	12.0
9	7.5	10.1	12.0	14.0	16.5	18.5	17.0	16.3	14.0	12.0
12	8.0	—	9.3	12.0	14.0	16.0	15.5	15.0	13.0	—
14	7.5	—	9.2	11.5	14.0	15.5	16.0	15.0	13.0	—
15	7.5	—	9.2	12.0	13.5	16.0	16.5	15.3	13.0	—
16	7.0	—	9.5	12.0	14.0	16.5	17.0	15.6	13.0	—
17	7.0	—	9.8	12.5	13.5	16.5	17.3	16.0	13.0	—
18	7.0	—	10.3	13.0	14.0	19.0	18.5	16.9	13.0	—
13	—	—	11.2	14.5	16.5	19.5	20.0	17.6	13.3	—
19	7.0	—	11.0	13.5	16.5	19.7	18.7	17.3	13.3	—
6	7.5	—	12.4	14.5	17.5	18.5	18.0	17.5	14.0	12.0
11	7.5	—	11.4	13.0	16.0	17.5	16.5	15.6	14.0	12.0

Tab. II - pH.

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	—	—	8.1	—	8.0	7.9	8.0	8.0	7.8	7.6
4	—	—	8.1	8.2	7.9	8.0	—	—	—	7.5
7	—	—	8.2	—	7.9	8.0	7.9	8.0	7.8	7.6
8	—	—	8.3	8.2	8.0	8.0	8.0	8.1	7.9	7.7
9	—	—	8.1	8.1	8.0	8.1	7.9	8.0	7.8	7.7
12	—	—	7.6	7.7	7.7	7.7	7.5	7.5	7.7	—
14	—	—	7.9	7.8	7.7	7.7	7.7	7.6	7.9	—
15	—	—	7.9	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	8.1	—
16	—	—	7.9	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	—
17	—	—	7.9	7.9	7.7	7.7	7.8	7.7	7.8	—
18	—	—	7.9	7.8	7.7	7.8	7.9	7.8	7.8	—
13	—	—	8.1	8.5	7.9	7.9	8.2	7.9	7.8	—
19	—	—	8.1	8.0	7.7	8.0	8.1	8.0	7.8	—
6	—	—	8.4	8.2	8.0	8.1	8.0	8.1	7.9	7.8
11	—	—	7.9	8.1	8.0	8.0	7.9	7.9	7.8	7.7

Tab. III - Conducibilità a 25 °C (uS).

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	687	—	736	—	644	601	—	—	—	536
4	700	—	736	540	624	595	554	588	592	528
7	698	—	731	—	621	589	616	593	586	530
8	695	—	727	540	621	587	556	585	585	529
9	695	—	755	452	—	594	491	585	598	532
12	710	—	674	532	581	585	632	611	569	—
14	706	—	649	538	575	587	624	606	567	—
15	709	—	745	538	577	586	626	607	577	—
16	711	—	749	544	575	593	629	608	572	—
17	711	—	759	550	572	596	632	609	573	—
18	709	—	757	559	566	598	664	610	573	—
13	—	—	897	594	695	606	886	575	576	—
19	2362	—	2303	1240	563	780	3006	2086	1170	—
6	728	—	736	547	628	601	564	593	584	529
11	800	—	762	558	—	627	578	626	617	561

Tab. IV - Ossigeno disciolto (mg/l).

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	—	—	11.20	—	10.34	10.22	—	—	—	8.13
4	—	—	11.65	11.81	10.67	9.98	—	10.39	9.96	8.26
7	—	—	12.06	—	10.35	9.72	10.39	10.35	9.83	8.42
8	—	—	11.89	11.34	9.77	9.89	10.11	10.45	9.64	8.75
9	—	—	12.46	11.28	10.10	9.99	8.86	10.07	9.84	8.73
12	—	—	—	9.65	8.49	8.80	8.53	8.36	9.18	—
14	—	—	10.41	9.59	8.37	8.42	8.37	8.30	9.12	—
15	—	—	10.14	9.21	8.26	8.17	8.14	8.21	9.09	—
16	—	—	9.99	8.95	8.18	8.06	7.82	7.98	8.97	—
17	—	—	10.16	8.95	8.11	7.88	7.86	8.00	8.95	—
18	—	—	9.63	8.78	7.93	7.78	8.16	8.29	8.93	—
13	—	—	10.28	15.19	10.47	8.06	12.97	9.13	8.95	—
19	—	—	10.35	10.29	7.50	9.07	9.61	9.78	9.16	—
6	—	—	12.04	11.36	9.97	10.27	10.00	10.46	9.93	9.10
11	—	—	11.90	11.99	10.85	10.79	9.96	9.56	9.78	8.01

Tab. V - % di saturazione dell'Ossigeno.

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	—	—	108.2	—	110.3	113.3	—	—	—	78.8
4	—	—	112.6	119.6	113.8	108.5	—	109.3	99.8	79.2
7	—	—	116.0	—	109.4	105.7	100.7	108.8	98.5	80.7
8	—	—	114.6	114.8	104.2	107.5	107.9	110.2	95.9	83.8
9	—	—	119.3	113.1	106.6	109.7	94.5	105.9	98.6	83.7
12	—	—	—	92.5	85.0	91.9	88.3	85.6	90.0	—
14	—	—	93.3	90.9	83.8	87.1	87.5	85.0	89.4	—
15	—	—	91.0	88.3	81.9	85.3	85.9	84.6	89.1	—
16	—	—	90.2	85.8	82.0	85.0	83.4	82.8	87.9	—
17	—	—	92.4	86.8	80.4	83.1	84.3	83.7	87.7	—
18	—	—	88.6	86.1	79.5	86.2	89.7	88.3	87.5	—
13	—	—	96.6	153.8	110.5	90.1	146.6	98.6	88.3	—
19	—	—	96.8	102.0	79.2	101.8	106.0	105.0	90.4	—
6	—	—	116.6	115.0	107.4	112.7	108.8	112.7	99.5	87.2
11	—	—	112.4	117.5	113.5	116.2	105.2	99.1	98.0	76.8

Tab. VI - Alcalinità - TA (meq./l).

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	—	—	3.35	—	3.50	3.65	—	—	—	3.40
4	—	—	3.40	3.65	3.50	3.60	3.55	3.60	3.65	3.40
7	—	—	3.30	—	3.30	3.45	3.55	3.45	3.60	3.40
8	—	—	3.20	3.00	3.35	3.45	3.40	3.40	3.50	3.35
9	—	—	3.25	3.45	3.35	3.40	3.40	3.45	3.50	3.35
12	—	—	3.45	3.45	3.50	3.55	3.55	3.60	3.60	—
14	—	—	3.40	3.65	3.45	3.55	3.55	3.55	3.70	—
15	—	—	3.50	3.45	3.45	3.65	3.55	3.55	3.70	—
16	—	—	3.45	3.60	3.35	3.70	3.50	3.60	3.65	—
17	—	—	3.50	3.65	3.35	3.60	3.55	3.45	3.70	—
18	—	—	3.50	3.45	3.25	3.65	3.55	3.40	3.65	—
13	—	—	3.60	3.35	3.45	3.70	3.60	3.45	3.75	—
19	—	—	3.45	3.50	3.05	3.70	3.50	3.50	3.85	—
6	—	—	3.15	3.20	3.35	3.45	3.40	3.35	3.55	3.25
11	—	—	3.90	3.90	3.90	4.05	4.00	3.90	4.05	3.80

Tab. VII - Durezza totale (CaCO₃ mg/l).

N° stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	ott	nov
3	—	—	—	—	474	466	462	468	482	447
4	—	—	—	—	482	459	—	—	—	461
7	—	—	—	—	448	454	458	458	484	450
8	—	—	—	—	456	471	459	469	480	461
9	—	—	—	—	444	468	463	470	493	461
12	—	—	—	—	470	473	470	474	490	—
14	—	—	—	—	462	469	462	475	478	—
15	—	—	—	—	443	472	460	470	493	—
16	—	—	—	—	445	475	472	466	479	—
17	—	—	—	—	455	477	476	472	483	—
18	—	—	—	—	422	473	463	471	490	—
13	—	—	—	—	447	472	494	471	490	—
19	—	—	—	—	419	499	701	618	550	—
6	—	—	—	—	658	466	464	471	480	458
11	—	—	—	—	476	480	483	478	503	481

le forme predominanti sono le Diatomee. I risultati di molte ricerche sulle popolazioni algali di ambienti d'acqua corrente concordano nel considerare questa classe di alghe una loro componente caratteristica. Szemes (1967) indicava, ad esempio, le Diatomee come forma dominante nelle acque del fiume Danubio, lungo tutta la sua lunghezza; Evans (1971) e Lack (1971) facevano una considerazione analoga per il Tamigi; Swale (1964, 1969) per i fiumi inglesi Lee, Stour e Severn ed infine Aykulu (1978) per il fiume Avon, sempre in Inghilterra.

Tra le specie e varietà di Diatomee identificate, 6 sono Diatomee centriche e 26 sono Diatomee pennate. Le centriche, però prevalgono come frequenza sulle pennate nella stazione 13, che è la stazione più vicina allo sbocco del fiume nella laguna e che meno risente della corrente del fiume. In una ricerca sul fiume Sacramento in California, Greenberg (1964) similmente osservò che con il diminuire della corrente, nelle stazioni più vicine al delta del fiume, le Diatomee centriche aumentavano la loro frequenza rispetto alle pennate.

La classe delle Cloroficce costituisce l'unico gruppo, oltre a quel-

lo delle Diatomee, di una certa importanza nel plancton del fiume Stella, come numero di specie e come frequenza. Tra le specie di Cloroficee prevalgono quelle appartenenti all'ordine delle Clorococcali e delle Volvolocali. Il gruppo delle Cloroficee sembra essere l'unico gruppo, oltre a quello delle Diatomee che viene regolarmente ritrovato nel plancton dei fiumi (Round, 1981).

Nella tabella VIII sono indicate tutte le specie e varietà di alghe identificate durante la ricerca per ognuna delle tre stazioni. La loro abbondanza è stata valutata in base alla frequenza con la quale le singole specie comparivano all'esame microscopico di più campioni per ogni stazione. I simboli utilizzati — R, S, F, A, D — si riferiscono ad altrettante classi di frequenza — Raro, Sporadico, Frequente, Abbondante, Dominante. In seguito ad un esame della letteratura è stato possibile riferire per alcune specie le caratteristiche ecologiche dell'habitat nel quale generalmente vivono. I testi consultati sono i seguenti: Dell'Uomo (1981), Symoens (1957), Bourelly (1966, 1968, 1970), Prescott (1962).

Da un primo esame della tab. VIII appare che i popolamenti algali delle tre stazioni scelte per lo studio del fitoplancton del fiume Stella, siano costituiti da raggruppamenti di specie diverse. Nella stazione 3 le specie più frequenti sono *Melosira varians* C.A.Ag. (fig. 4) e *Diatoma vulgare* Bory (fig. 3) con due varietà, *Diatoma vulgare* v. *producta* Grunow e *Diatoma vulgare* v. *ovalis* (Fricke) Hustedt.

Assieme a queste specie si trovano, anche se con minor frequenza, le specie *Cocconeis placentula* (Ehr.) (fig. 6), *Cymbella* sp., *Gomphonema augur* Ehr. (fig. 9), *G. constrictum* Ehr. (fig. 8), *G. olivaceum* (Lyngbye) Kutz., *Navicula placentula* (Ehr.) Grun., *Nitzschia acicularis* W. Smith. Più specie del genere *Navicula* Bory (fig. 5) caratterizzano invece il popolamento algale della stazione 9. Meno frequenti nella stessa stazione sono le specie *Rhodomonas minuta*, *Achnantes lanceolata* Breb., *Cocconeis placentula* (Ehr.), *Cymbella* sp., *Gomphonema olivaceum* (Lyngbye) Kutz., *G. constrictum* Ehr. e *Nitzschia acicularis* W. Smith. Infine nella stazione 13 abbondanti sono gli individui appartenenti alle specie *Cyclotella compta* (Ehr.) Kutz., *C. glomerata* Bachmann, *C. ocellata* Pant., *Cyclotella* sp. e *Chlamidomonas* sp.. Presenti nello stesso popolamento anche se con frequenza minore, sono le specie *Rhodomonas minuta*, *Cocconeis placentula* (Ehr.) *Navicula cryptocephala* Kutz., *Navicula* sp. e *Rhoicosphaenia curvata* (Kutz.) Grun.

Le specie che caratterizzano il popolamento algale della stazione

Tab. VIII - Specie algali del fiume Stella: distribuzione nelle tre stazioni di prelievo, quantità relative, caratteristiche ecologiche delle specie più significative.

	stazioni prelievo			caratteristiche ecologiche			
	3	9	13				
CYANOPHYCEAE							
<i>Anabaena</i> sp.	—	R	R				
<i>Dactylococcopsis Smithii</i>	—	—	R				
<i>Lyngbia limnetica</i>	—	R	S				
<i>Merismopedia elegans</i>	R	—	—	E			
<i>Nodularia spumigena</i> v. <i>minor</i>	—	R	—				
<i>Oscillatoria limosa</i>	—	R	—	F			
<i>Oscillatoria planctonica</i>	—	R	—	F			
<i>Phormidium tenue</i>	R	R	S	T			
EUGLENOPHYCEAE							
<i>Euglena</i> sp.	—	R	R	E			
PIRROPHYCEAE							
<i>Ceratium hirundinella</i>	—	R	—	E			
<i>Peridinium</i> sp.	—	R	—	E			
<i>Rhodomonas minuta</i>	R	F	F	E			
CHRYSOPHYCEAE							
<i>Dinobryon divergens</i>	—	—	R	E	I		
<i>Dinobryon sociale</i>	—	R	—	E			
BACILLARIOPHYCEAE							
<i>Cyclotella compta</i>	CENTRICAE		—	—	A	E	
<i>Cyclotella glomerata</i>			—	—	A	E	A
<i>Cyclotella ocellata</i>			—	R	A	E	
<i>Cyclotella</i> sp.			S	S	A	E	
<i>Melosira italica</i>			—	R	—	E	
<i>Melosira varians</i>			A	R	S	F	B
<i>Achnantes lanceolata</i>	PENNATAE		S	F	S	T	
<i>Amphora ovalis</i>			S	R	—	T	B
<i>Diatoma vulgare</i> v. <i>producta</i>			A	S	R	F	B
<i>Diatoma vulgare</i> v. <i>ovalis</i>			A	S	R	F	B
<i>Cocconeis placentula</i>			F	F	F	T	
<i>Cymatopleura solea</i>			—	R	—		
<i>Cymbella</i> sp.			F	F	S	T	
<i>Fragilaria crotonensis</i>			—	—	S	E	
<i>Fragilaria costruens</i>			—	—	S		
<i>Gomphonema augur</i>			F	R	S	T	
<i>Gomphonema constrictum</i>			F	F	—	T	B
<i>Gomphonema olivaceum</i>			F	F	S	T	B
<i>Gyrosigma</i> sp.			—	R	S	T	
<i>Navicula cryptocephala</i>			—	F	F	T	
<i>Navicula gracilis</i>			—	R	—	T	B

	stazioni prelievo			caratteristiche ecologiche	
	3	9	13		
<i>Navicula placentula</i>	F	R	S	T	
<i>Navicula pupula</i>	—	R	—	T	I
<i>Navicula seminulum</i>	—	R	—	T	
<i>Navicula</i> sp.	—	A	F	T	
<i>Nitzschia acicularis</i>	F	F	S	F	
<i>Nitzschia palea</i>	—	R	R		B
<i>Nitzschia obtusa</i>	—	R	—		
<i>Rhoicosphaenia curvata</i>	S	S	F	T	B
<i>Surirella</i> sp.	—	R	—		
<i>Synedra acus</i>	—	—	S	F	
<i>Synedra ulna</i>	S	S	S	F	B
CHLOROPHYCEAE					
<i>Carteria multifilis</i>	VOLVOCALES		R	—	S T
<i>Chlamidomonas</i> sp.	—	—	—	—	A E
<i>Eudorina elegans</i>	—	—	—	—	R
<i>Actinastrum hantzschii</i>	CHLOROCOCCALES		R	R	R E
<i>Actinastrum gracillimum</i>	—	R	—		
<i>Ankistrodesmus Brunii</i>	—	R	—		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	—	R	S	F	A
<i>Characium</i> sp.	—	—	—	—	R
<i>Coelastrum cambricum</i>	—	—	—	—	R E
<i>Coelastrum microporum</i>	—	S	S		S E
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	—	R	—		
<i>Pediastrum boryanum</i> v. <i>duplex</i>	—	R	R	E/T	B
<i>Pediastrum</i> sp.	R	—	—		
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	—	—	—	—	S T
<i>Scenedesmus armatus</i>	—	—	—	—	R T
<i>Scenedesmus obliquus</i>	—	—	—	—	S T
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	—	R	S		T
<i>Scenedesmus</i> sp.	S	R	S		T
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	—	R	—		E
<i>Selenastrum minutum</i>	—	—	—	—	S
<i>Closterium gracile</i>	ZYGNEATALES		R	R	—
<i>Closterium venus</i>	R	R	R		
<i>Closterium</i> sp.	—	—	—	—	S
<i>Mougeotia</i> sp.	—	R	—		T

CYANOPHYCEAE 8 specie
 EUGLENOPHYCEAE 1 specie
 PYRROPHYCEAE 6 specie
 BACILLARIOPHYCEAE 32 specie
 CHLOROPHYCEAE 24 specie

LEGENDA

R - raro; S - sporadico; F - frequente;
 A - abbondante; D - dominante.
 E - euplanctonico; T - licoplanctonico;
 F - planctonico facoltativo.
 A - acidofilo; B - basofilo; I - indifferente

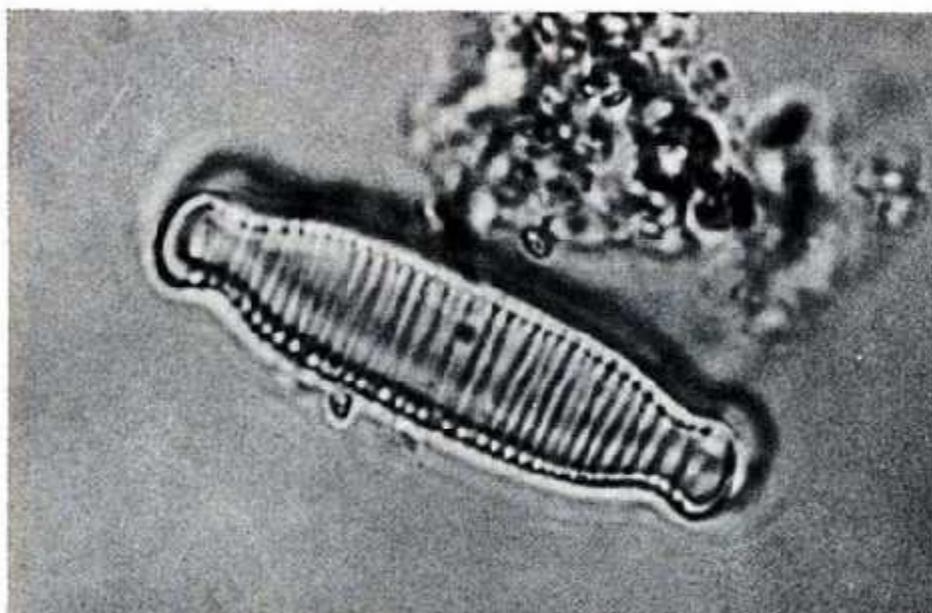


Fig. 3 - *Diatoma vulgare* Bory ($\times 1000$).

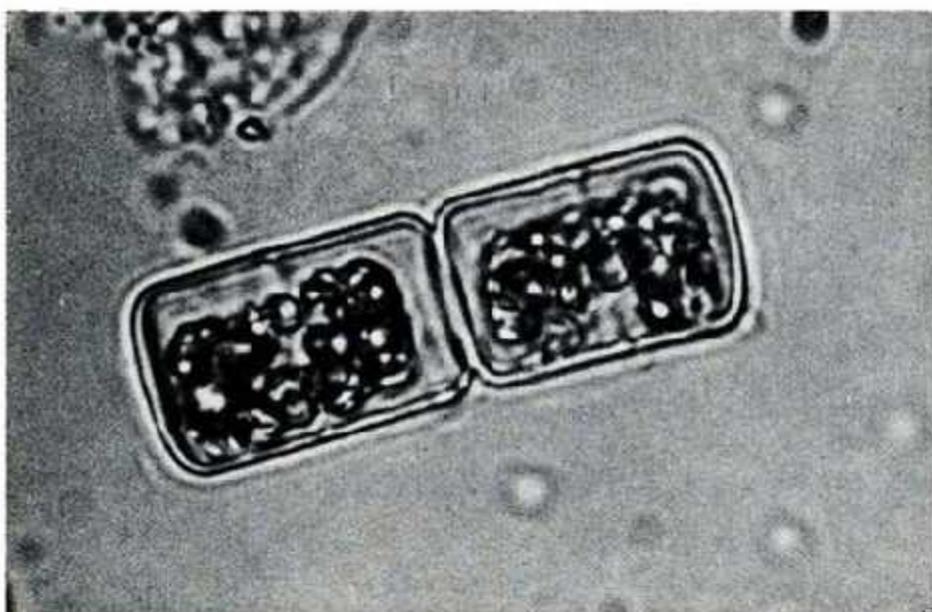


Fig. 4 - *Melosira varians* C.A.Ag. ($\times 1000$).

3, *Melosira varians* C.A.Ag. e *Diatoma vulgare* Bory (classe di frequenza A), vengono considerate da Symoens (1957) come specie planctoniche facoltative; si adattano ad habitat diversi e vivono bene sia nelle comunità bentoniche che in quelle planctoniche. *Melosira varians* C.A.Ag. e *Diatoma vulgare* Bory formano normalmente co-

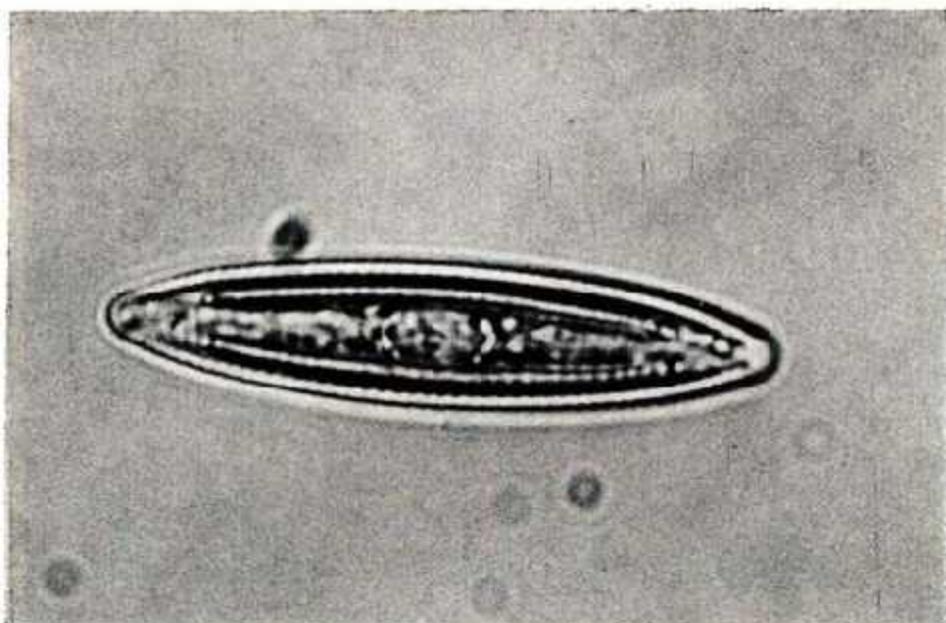


Fig. 5 - *Navicula* sp. ($\times 1000$).

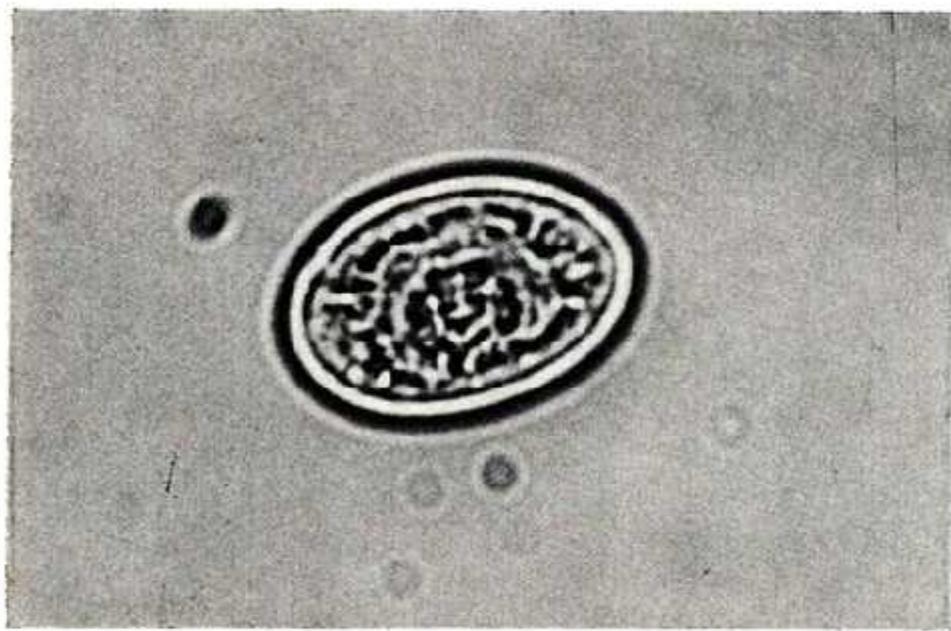


Fig. 6 - *Cocconeis placentula* Ehr. ($\times 1000$).

lonie filamentose fisse per una estremità alle rive, a pietre del fondo, a macrofite o a qualsiasi tipo di oggetto. La corrente dell'acqua fa ondeggiare tali filamenti e facilmente ne provoca il distacco. Di conseguenza prelevando il campione d'acqua in un ambiente dove proliferano queste specie è molto probabile raccoglierne individui isolati

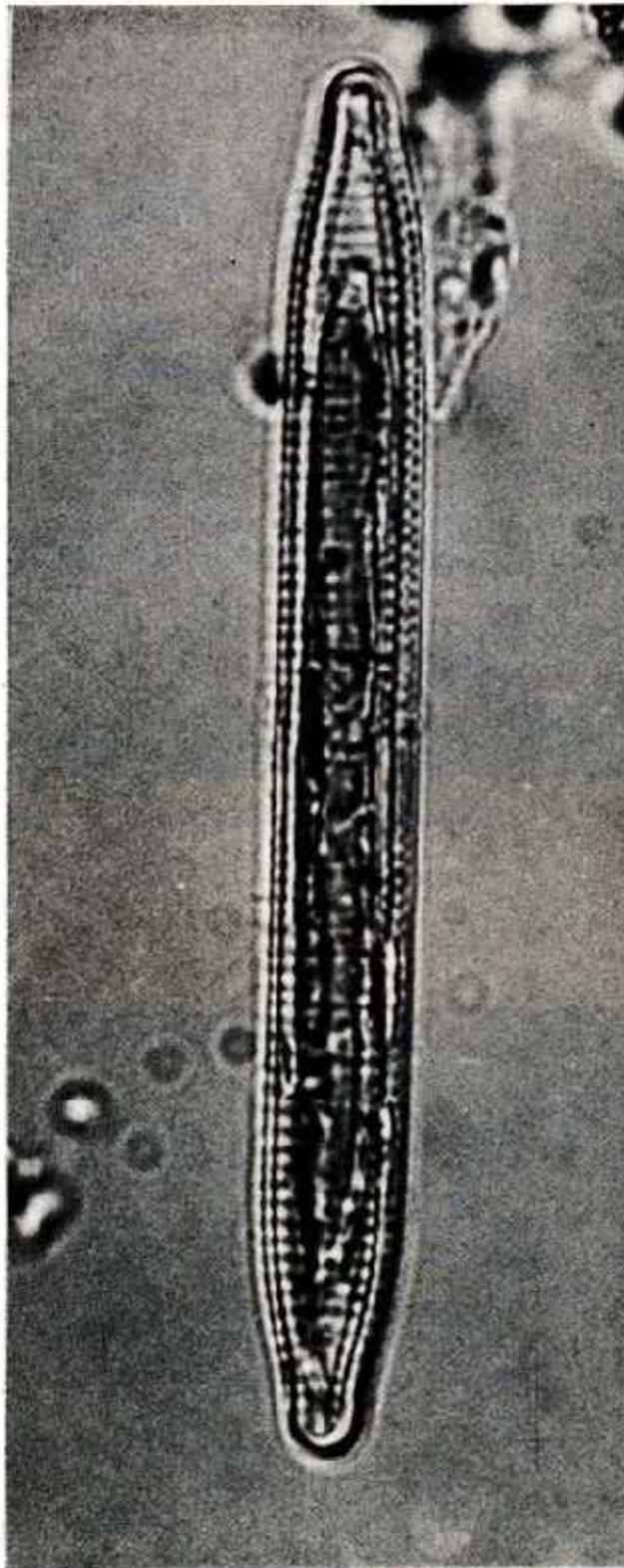


Fig. 7 - *Synedra ulna* (Nitzsch.) ($\times 1000$).

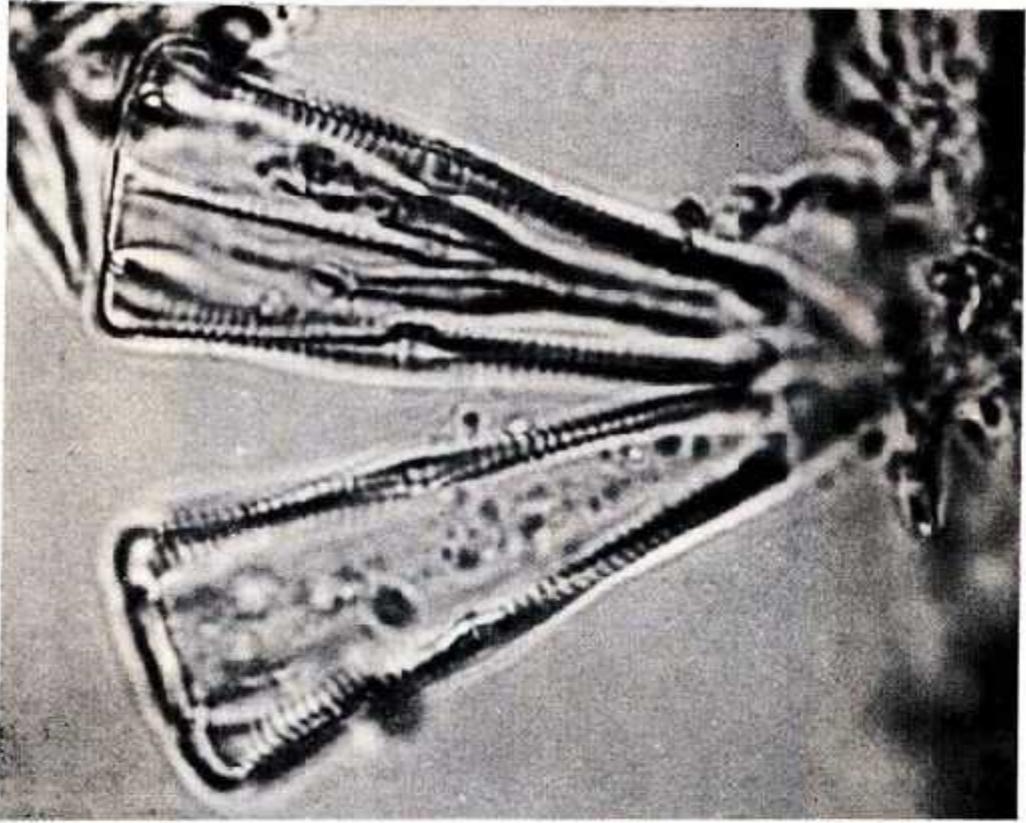


Fig. 8 - *Gomphonema constrictum* Ehr. ($\times 1000$).



Fig. 9 - *Gomphonema augur* Ehr. ($\times 1000$).

o brevi colonie. Anche la specie *Nitzschia acicularis* W. Smith, ritrovata in questa stazione (classe di frequenza F), ha abitudini analoghe alle precedenti. Le altre specie frequenti nella stazione 3 vengono invece considerate da Symoens (1957) planctoniche accidentali, cioè ticoplanctoniche.

Gli individui di queste specie sono tipicamente littorali o bentonici, trattenuti nel plancton dal movimento dell'acqua; sopravvivono in queste comunità ma sviluppandosi solo limitatamente. Nei campioni d'acqua analizzati molto frequenti erano i frustuli vuoti di organismi di queste specie.

Tali considerazioni portano a concludere che nelle acque del fiume Stella, nel tratto in cui si trova la stazione 3, caratterizzato da una corrente piuttosto vivace, non viva una comunità propriamente planctonica. Si può invece presumere la presenza di una associazione di alghe bentoniche a *Melosira varians* C.A.Ag. e *Diatoma vulgare* Bory (Symoens, 1957). Questo tipo di associazione è stato individuato anche da Dell'Uomo (1970) nella flora algale del fiume Potenza (Marche) e sembra sia caratterizzato dallo sviluppo di specie di acque basiche ed eutrofe. La misura del pH nei campioni prelevati nella stazione 3 durante il periodo della ricerca ha in effetti sempre indicato valori di pH attorno a 8. Inoltre nella vicinanza del luogo del prelievo venivano scaricate le acque di un allevamento di pesci, presumibilmente ricche di nutrienti e con un effetto eutrofizzante.

Il genere *Navicula*, che caratterizza il popolamento algale della stazione 9, è frequentemente considerato un genere ticoplanctonico, come pure le altre specie frequenti nei campioni d'acqua prelevati in questa stazione. Questi risultati escludono anche per il tratto di fiume in cui è localizzata la stazione 9, la presenza di un vero e proprio popolamento planctonico. La corrente è ancora piuttosto forte e in grado di coinvolgere nel suo flusso anche alghe fissate a substrati vegetali o litici, costituenti quindi un popolamento solo accidentalmente planctonico. Si può presumere, invece, la presenza di una associazione bentonica a *Navicula* (Budde, 1928) Symoens, 1954, che è stata osservata anche da Symoens (1957) in corsi d'acqua rapidi nella regione delle Ardenne. La stazione 13 si diversifica dalle altre due stazioni. Il popolamento algale si distingue infatti per la presenza di specie tipicamente planctoniche appartenenti ai generi *Cyclotella*, *Chlamidomonas* (classe di frequenza A) e *Rhodomonas* (classe di frequenza F). Tra le stazioni scelte nello Stella per lo studio del plancton, la stazione 13,

situata in un meandro morto del fiume, è quella con acque più tranquille, quasi ferme; in queste condizioni, probabilmente, le specie algali ritrovate possono rimanere sospese nell'acqua per un tempo considerevole, tanto da potersi dividere più volte e costituire quindi delle vere e proprie comunità euplanctoniche.

Conclusioni

I risultati di questa prima indagine sulle acque del fiume Stella non hanno evidenziato alcuna sostanziale differenza lungo il corso del fiume nelle caratteristiche chimico-fisiche delle acque. La basicità, l'elevata concentrazione dei soluti e una buona ossigenazione sembrano essere caratteristiche di queste acque.

L'esame dei popolamenti algali in tre parti distinte del fiume ha messo in evidenza come una comunità euplanctonica viva solo nella stazione 13 con acque più ferme. La presenza di alghe euplanctoniche nelle acque correnti è stata spesso messa in discussione. Secondo alcuni autori (Krieger, 1927; Butcher, 1932, 1940; Swanson e Bachmann, 1976; Roeder, 1977) il fitoplancton dei fiumi ha origine dai popolamenti di laghi e paludi comunicanti in qualche modo con il corso d'acqua oppure dalle comunità che vivono nei sedimenti del letto e delle sponde del fiume; alcuni individui in quest'ultimo caso verrebbero strappati dal substrato sul quale si ancoravano e coinvolti nel flusso della corrente. Senza dubbio individui appartenenti a queste comunità possono entrare a far parte di una comunità planctonica lotica, come è stato messo in evidenza anche in questa indagine. Nonostante sono stati individuati generi di alghe che compiono il loro ciclo vitale in acqua corrente, moltiplicandosi e dando luogo talvolta a ricchi blooms (Round, 1981). Tra questi generi molti appartengono al gruppo delle Diatomee centriche e sono stati individuati anche nello Stella. Tuttavia è stato riscontrato da molti autori (Brook e Rzoska, 1954; Roeder, 1977; Cushing, 1964), in accordo con quanto osservato nello Stella, che popolamenti euplanctonici si sviluppano solo nelle parti dei fiumi dove la corrente è più debole e che esiste una proporzionalità inversa tra la velocità della corrente e l'entità della biomassa fitoplanctonica.

L'indagine bibliografica sulle caratteristiche ecologiche di parte delle specie algali identificate, ne ha evidenziato la preferenza verso habitat di acque basiche, che può essere confermata dai risultati delle analisi chimico-fisiche delle acque, condotte durante questa ricerca.

Ringraziamenti

Ringrazio vivamente la Dott. Renata Trevisan del Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova, con la quale ho proceduto alla revisione delle specie algali del fiume Stella. Intendo anche ringraziare il personale dell'Ente Tutela Pesca del Friuli-Venezia Giulia per l'indispensabile collaborazione durante i prelievi.

Bibliografia

- AYKULU G. - 1978 - A quantitative study of the Phytoplankton of the River Avon, Bristol. *Br. phycol. J.*, 13, 91-102.
- BOURELLY P. - 1966 - Les Algues d'eau douce: algues vertes. Boubée, Paris.
- BOURELLY P. - 1968 - Les Algues d'eau douce: algues jaunes et brunes. Boubée, Paris.
- BOURELLY P. - 1970 - Les Algues d'eau douce: algues bleus et rouges. Boubée, Paris.
- BROOK A. J., RZOSKA J. - 1954 - The influence of the Gabel Aulya Dam on the development of Nile plankton. *J. anim. Ecol.*, 23, 101-114.
- BUDDE H. - 1928 - Die Algenflora des Sauerländischen Gebirgsbaches. *Arch. f. Hydrobiol.*, 19, 433-520.
- BUTCHER R. W. - 1932 - Studies in the ecology of rivers. II. The microflora of rivers with special reference to the algae on the river bed. *Am. Bot.*, 46, 813-861.
- BUTCHER R. W. - 1940 - Studies in the ecology of rivers. IV. Observations on the growth and distribution of the sessile algae in the river Hull, Yorkshire. *J. Ecol.*, 28, 210-225.
- CUSHING C. E. Jr. - 1964 - Plankton and water chemistry in the Montreal River-Lake System, Saskatchewan. *Ecology*, 45 (2), 308-313.
- DELL'UOMO A. - 1981 - Studio algologico del bacino torboso-lacustre del Laghestel (Trento). *St. Trent. Sci. Nat. Acta Biologica*, 58, 169-230.
- DELL'UOMO A. - 1970 - Contributo alla flora algale del fiume Potenza (Marche). *Riv. Idrobiol.*, 9 (3), 201-234.
- EVANS J. H. - 1971 - Biological applications of particle size analysis. *Proc. Soc. Analyt. Chem.*, 7/8, 260-264.
- GOLTERMAN H. L. - 1970 - Methods for chemical analysis of fresh waters. I.B.P. Handb. 8, Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- GREENBERG A. E. - 1964 - Plankton of the Sacramento River. *Ecology*, 45 (1), 40-49.
- HUSTEDT F. - 1930 - Bacillariophyta in Pascher: Die Süßwasser flora Mitteleuropas, H 10.
- KATZ H., NAVONE R. - 1964 - Methods for simultaneous determination of Calcium and Magnesium. *J. Americ. Water Assoc.*, 56, 121-124.
- KRIEGER W. - 1927 - Zur Biologie des Fluss plankton Untersuchungen über das Potamoplankton des Havelgebiets. *Pflanzenforsch.* 10, 1-66.
- LACK T. J. - 1971 - Quantitative studies on the phytoplankton of the rivers Thames and Kennet at Reading. *Freshwater Biol.*, 1, 213-224.
- PRESCOTT G. W. - 1962 - Algae of the Western great lakes area. W.M.C. Brown Co. Publishers, Dubuque, Iowa.

- ROEDER D. R. - 1977 - Relationship between phytoplankton and periphyton communities in a Central Iowa Stream. *Hydrobiol.* 56, 145-151.
- ROUND F. E. - 1981 - The Ecology of Algae. Cambridge University Press.
- SCHWOERBEL J. - 1970 - Methods of Hydrobiology. (Fresh-water Biology). Pergamon Press, Oxford.
- SWALE E. - 1964 - A study of phytoplankton of a calcareous river. *J. Ecol.*, 52, 433-446.
- SWALE E. - 1969 - Phytoplankton in two English rivers. *J. Ecol.*, 57, 1-23.
- SWANSON C. D., BACHMANN R. W. - 1976 - A model of algal exports in some Iowa streams. *Ecology*, 57, 1076-1080.
- SYMOENS J. J. - 1954 - Les principales associations algales des eaux courantes de l'Ardenne et des régions voisines. *VIII Congrès Intern. Bot. (Paris, 1954). Rapports et Comm. parvenus avant le Congrès, Sect. 17 (Phycol.)*, 166-167.
- SYMOENS J. J. - 1957 - Les eaux douces de l'Ardenne et des régions voisines: le milieu et leur végétation algale. *Bull. Soc. Rap. Bot. Belg.*, 89, 111-315.
- SZEMES G. - 1967 - Systematisches Verzeichnis der Pflanzenwelt der Donau mit einer Zusammenfassenden Erläuterung. In *Limnobiologie der Donau*. Ed. R. Liepolt. Liefg. 3, 70-131.
- TIFFANY L. H., BRITTON M. E. - 1952 - *The Algae of Illinois*. Univ. Chicago Press.
- VALUSSI G. - 1961 - *Friuli Venezia Giulia*. U.T.E.T., Torino.
- VOLLENWEIDER R. A. - 1969 - A Manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. I.B.P. Handb. 12, Blackwell Sci. Publ., Oxford.

IL FIUME NATISONE ED I FENOMENI DI CATTURA DEL SUO
TRATTO MONTANO DIMOSTRATI CON UN CRITERIO
GEOMATEMATICO

*THE NATISONE RIVER AND A GEOMATHEMATICAL TRIAL
OF THE RELATED CAPTURES*

Paola Mosetti * - Ferruccio Mosetti **

Key words: Regional hydrology of the Friuli Region. Neotectonics. Geomathematics.

Abstract: Geomathematical tools have been applied for characterizing several phenomena concerning the capture of the Natisone in recent times. The results are in agreement with some observations; a dead channel cut in the limestones seems to be an evident trace of an old path of the river.

Riassunto: Il Natisone è un fiume dal corso particolarmente complicato, interessante terreni litologicamente diversi e manifestante, nel suo percorso, evidenti fenomeni di cattura con solchi fluviali abbandonati, come la valle di Staroselo verso l'Isonzo o la Bocca di Pradolino, che «cortocircuitava» un tempo l'attuale percorso a NW di Stupizza. Nel testo si descrivono le particolarità di questa situazione. Mentre l'esistenza di catture e deviazioni è molto semplice da dimostrare intuitivamente, con la semplice morfologia dei bacini, la dimostrazione quantitativa è assai più difficile e, si può dire, non esiste un «metro» per queste prove. Noi proponiamo un criterio geomatematico. L'area A di un bacino e la lunghezza massima L del corso d'acqua da questo alimentato (lunghezza cioè dalla sorgente più distale alla foce o ad una confluenza principale) non variano a caso ma sono legate da una legge relativamente semplice del tipo $L = aA^b$. Tale legge ha in media gli stessi parametri numerici (a e b) in bacini omogenei.

* Geologa

** Professore all'Università di Trieste

Ricavati i parametri a e b per bacini adiacenti (e anche per bacini secondari confluenti) al Natisone, si prova immediatamente che con questi il fiume attuale esce abbondantemente dalla norma, nel senso che ha una lunghezza L incompatibile con l'area A , nel confronto coi bacini vicini. Situazioni precedenti alla cattura, come il passaggio per il Solco di Pradolino, ora impervio al fiume perchè sollevato da recenti processi tettonici (del resto abbondanti anche con altri esempi nella zona), darebbero soluzioni assai più confacenti. L'attuale corso del fiume risulterebbe impostato su un corso preesistente ereditato e la situazione non ha ancora raggiunto l'equilibrio.

Summary: The Natisone is a small river running at the extreme NE borders of Italy: a part is flowing into the Yugoslavian territories. This river has a very complicated recent course, derived from some captures. Such aspects and phenomena are described in this paper. In order to supply a criterion for evaluating the captures, some geomathematical concepts have been performed. A relationship between the catchment area A and the length L of the river has been computed, as average, over several other rivers (some of these tributaries of the Natisone) having homogeneous conditions concerning the geohydrology of the basins. The same relationship has been tested on different channels of the Natisone for revealing, by the discrepancies with the averaged rule, the displacements of the course. A best fitting channel has been located in this manner: this is a old course of Natisone, now displaced from recent tectonic movements.

Il Natisone

Il corso attuale del Natisone è tale da far pensare a vistosi fenomeni di cattura sia da parte del corso principale che dai suoi affluenti.

La zona più importante e vistosa che dimostra palesemente la cattura è quella di Robic, presso Caporetto, dove si estende indecisa-mente una piana tra la valle dell'Isonzo e quella del Natisone: la differenza di quota di soli 12 m può far pensare ad una cattura (deviazione verso E di un paleo-Isonzo che scorreva nel Natisone oppure verso S di un paleo-Natisone che scorreva verso oriente nell'Isonzo) provocata da un semplice eccezionale alluvionamento *) o da accumuli morenici determinati dai ghiacciai.

Inizialmente la parte superiore dell'Isonzo si sarebbe versata per

*) A puro titolo di notizia si riferisce che qualche vecchia cronaca riporta tale fenomeno (o un fenomeno del genere) come avvenuto addirittura nell'Alto Medioevo.

l'attuale valle del Natisone. Questo avrebbe determinato una diversa portata del Natisone di pianura e forse una sua foce separata da quella dell'Isonzo, ma evidentemente con una situazione differente della pianura, situata con livelli del mare ben diversi dell'attuale.

Prescindendo comunque da queste notizie che non hanno ancora avuto conferma, è molto probabile che il Natisone un tempo abbia tagliato l'inverosimile ansa a SW di Caporetto, attorno al Monte Mia, e fosse defluito per l'attuale solco secco di Pradolino immettendosi nel corso «attuale» presso Stupizza.

Le caratteristiche salienti del Natisone attuale sono le seguenti (fig. 1):

Il fiume nasce da un fitto genere di piccole sorgenti dal Gran Monte, presso Cornappo, adiacenti alle sorgenti del Cornappo, maggior affluente del Torre (in cui defluisce, tra l'altro, anche attraverso fenomeni di cattura). Uno spartiacque appena accennato divide i bacini del Cornappo e del Natisone.

Il Natisone nasce come Rio Bianco (o dalla confluenza del Rio Bianco col Rio Nero) e scorre in profonde e tortuose gole scavate in calcari marnosi e marne ad E di Taipana. In quest'area (tra gli affluenti Podiama e Podiauer provenienti rispettivamente dal M. Cripia e dal M. Namlen ad W e tra gli affluenti Lerada e Forcadizza provenienti da M. Carnizza a SW) il Natisone riceve un tributo abbastanza abbondante dal versante settentrionale dei colli orientali del Friuli; i bacini adiacenti sono quelli del Malina, del Grivò, del Chiarò di Prestento e del Chiarò di Torreano, per citare i maggiori (fig. 4).

Il Natisone quindi sbocca nella piana di Staroselo, ed a Robic, presso Caporetto, piega improvvisamente a S compiendo una grande ansa attorno al M. Mia, completamente calcareo, per insinuarsi nella valle tra il M. Mia ed il M. Matajur che è visibilmente ereditata. Infatti il Natisone montano scorreva verosimilmente per la forra di Pradolino (la Bocca di Pradolino), lasciando il M. Mia ad E. Mentre il tratto che attualmente il Natisone percorre pressapoco da Podibela a Robic probabilmente costituiva un affluente di destra di un paleo Isonzo + Natisone (proveniente dalla valle tra Saga e Trnovo a NW di Caporetto) e nasceva dal versante meridionale del M. Stol (sopra Boreana).

Il solco di Pradolino è una interessantissima forra (fig. 2) la cui quota di fondovalle è di 475 m ed è sollevata rispetto all'attuale valle del Natisone di quasi 250 m. Un sollevamento della zolla M. Vogu-M. Mia deve aver fatto deviare il fiume nella posizione attuale. In

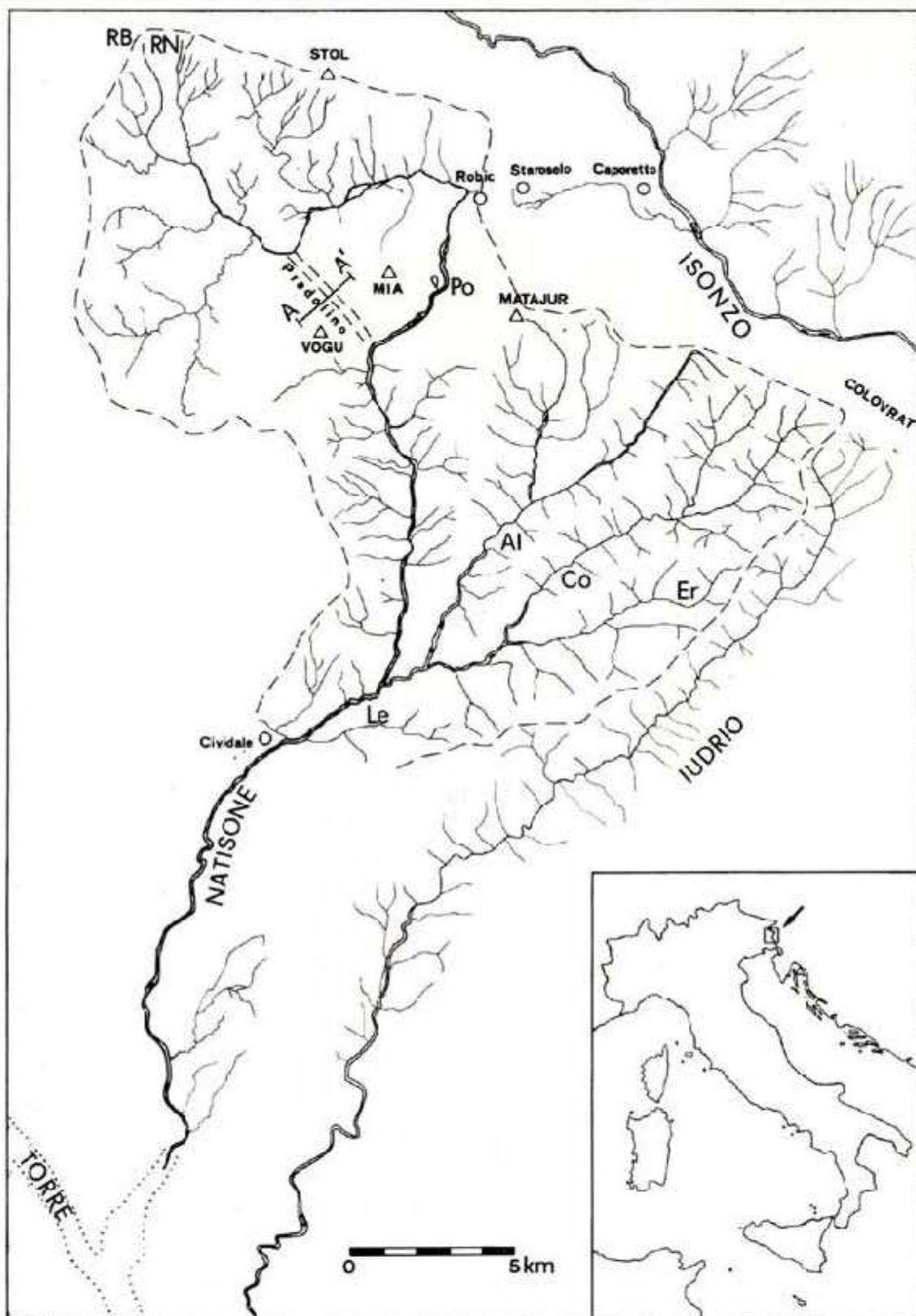


Fig. 1 - Principali elementi del reticolo idrografico del bacino del Natisone. RB = rio Bianco, RN = rio Nero, Po = sorgenti Poiana, Al = torrente Alberone, Co = torrente Cosizza, Er = torrente Erbezzo, Le = torrente Lesa. A-A' indica la traccia del profilo riportato in fig. 2. L'area racchiusa dalla linea tratteggiata rappresenta la delimitazione del bacino montano del Natisone.

più a quote attualmente elevate (attorno ai 950 m) entro la forra stessa è ben delineato un paleo-alveo (il profilo di fig. 2 lo mette chiaramente in evidenza), che potrebbe testimoniare la posizione entro il solco di Pradolino del Natisone (o anche di un ramo di ghiacciaio) immediatamente prima del citato sollevamento che avrebbe obbligato il fiume a scavarsi una profonda forra; un ulteriore aumento (anche parossistico) del sollevamento dell'intero blocco M. Vogu-M. Mia avrebbe poi costretto il fiume a deviare. Il Natisone sarebbe stato quindi catturato da un affluente di destra del paleo-Isonzo + Natisone. In seguito poi o al sollevamento dell'area di Caporetto o al presunto forte alluvionamento interessante l'attuale sella di Caporetto, l'affluente di destra del paleo-Isonzo viene improvvisamente troncato; a questo punto però il Natisone oramai ha già stabilizzato il suo nuovo percorso. E' comunque da notare che l'eccessivo approfondimento del solco di Pradolino può esser stato ulteriormente «tagliato» da un concomitante movimento di inclinazione dei blocchi rocciosi (M. Vogu-M. Mia) che ha ancor più accentuato il dislivello ora presente fra la paleovalle del Natisone e quella attuale.

Nel percorso del Natisone tra Stupizza e Cividale non ci sono manifestazioni particolarmente importanti, salvo alcune gradonature o terrazzamenti manifestanti antichi percorsi del fiume (vedi profilo del Natisone presso Pulfero in F. Mosetti, 1983). Lungo questo tratto il Natisone scorre incassato entro i calcari fra il M. Mia ad W ed il M. Matajur ad E, per poi proseguire il suo corso nelle arenarie del Flysch fino a Cividale. Praticamente privo di affluenti (che non siano ruscelletti di versante) da Robic verso valle, solo presso S. Pietro al

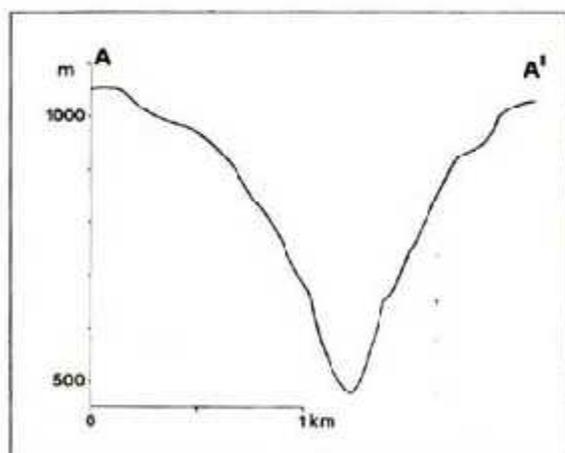


Fig. 2 - Profilo, lungo la sezione A-A' di fig. 1, della forra (o Bocca) di Pradolino.

Natisone il fiume riceve in sinistra un gruppo di grossi affluenti, quali l'Alberone, il Cosizza e l'Erbezzo.

Attualmente sia l'Alberone che il Cosizza sono generati dalla confluenza di due torrenti (o rughi) disposti simmetricamente rispetto al virtuale prolungamento del tronco principale e costituenti dei bacini molto ben delineati. Per l'Alberone abbiamo ad W il torrente Amburna ed a E il torrente Rieca; il Cosizza è alimentato ad W dal rugo Zavelincelam ed a E dal torrente Rieca. Se si osserva però lo schizzo idrografico di fig. 1 si nota che questi fiumi all'origine probabilmente risalivano verso NE — attraversando l'attuale valle dell'Isonzo, evidentemente non ancora formata — collegandosi, o meglio continuando, con affluenti attuali presenti in riva sinistra dell'Isonzo stesso. Presumibilmente un sollevamento del Colovrat-Matajur (forse contemporaneo, o comunque probabilmente dovuto allo stesso meccanismo, al sollevamento del M. Vogu-M. Mia) ha determinato il taglio di questi bacini ed originato così l'attuale tratto di valle dell'Isonzo. Si osserva ancora, oltre ai lembi dei bacini originari tagliati dall'attuale corso dell'Isonzo tra Caporetto e Tolmino, che il torrente Rieca dell'Alberone appare particolarmente infossato e termina presso Luico (Livek) con un vero cul de sac, che è impossibile spiegare se non con una antica continuazione del corso in un bacino esteso al di là dell'attuale Isonzo. Tale situazione è evidentissima sulla Tavoletta 1 : 25.000 (Caporetto) dell'I.G.M..

Inizialmente questi corsi d'acqua — Alberone, Cosizza, Erbezzo — dovevano presumibilmente essere dei fiumi indipendenti, oltre che di lunghezza superiore all'attuale, anche con un percorso simile e parallelo fra di loro e con una direzione pressapoco parallela a quella dello Iudrio. Successivamente al già citato sollevamento della parte montana del Natisone e del complesso Colovrat-Matajur, questi corsi idrici sono stati catturati dal Natisone forse per bilanciare in qualche modo l'alimentazione mancante (in seguito alla deviazione dell'Isonzo superiore) da parte del paleo-Isonzo nella valle attuale del Natisone. Pare strano che lo Iudrio, con un andamento molto simile ai fiumi in questione, non sia stato pure catturato ma sia riuscito a mantenere la sua individualità. Invece l'Alberone, il Cosizza e l'Erbezzo si sono trovati in condizioni di venir catturati dal Natisone. Evidentemente la cattura deve esser stata provocata da una inclinazione differenziata di tutta la plaga flyscioide a seguito del sollevamento del Colovrat-Matajur.

I fenomeni di cattura si possono intuire molto facilmente, ma invero sono difficilmente dimostrabili in maniera quantitativa. Il me-

todo che proponiamo nel seguito può esser usato per una prima discriminazione quantitativa del processo di cattura, o, quanto meno, per metter in evidenza il fenomeno in un modo che non sia soltanto qualitativo ed intuitivo.

Principio geomatematico

E' noto che l'elemento fondamentale di un corso d'acqua è l'area del bacino d'alimentazione, la cui determinazione però può essere molto spesso precaria, in special modo in terreni carsici. E' però importante rilevare che all'area del bacino di alimentazione è legata in maniera semplice la lunghezza del tronco fluviale che lo drena. Queste due grandezze non variano a caso ma seguono una generale disposizione del tipo

$$L = a A^b \quad (1)$$

dove L è la lunghezza del corso d'acqua misurata dalla sorgente (o dal ruscello) più lontana alla foce, o alla confluenza nel fiume principale ed A è l'area del bacino alimentante; a e b sono due parametri che, nella media, risultano abbastanza costanti in fiumi «regolari».

E' oltretutto ovvio che più è lungo un corso d'acqua più grande deve essere necessariamente l'area del bacino d'alimentazione; tale relazione può essere resa quantitativa con la (1) anche se, ovviamente, ci sono molte discrepanze, in particolare a seguito di catture o quando un corso d'acqua ha cospicue perdite o cospicue rialimentazioni occulte. Proprio questi fenomeni possono venir posti in rilievo dalle discrepanze, in un singolo corso o bacino, rispetto ad una legge media.

Nel 1961 Grey ha ricavato, sulla base dei risultati anche di altri autori che hanno operato essenzialmente nel Nordamerica, una relazione empirica molto valida che lega le due grandezze L ed A in modo tale che

$$L = 1.40 A^{0.568} \quad (2)$$

Una abbondante serie di dati sperimentali controllati dal Grey soddisfa col 24.8% di errore standard alla legge sopramenzionata.

E' però ovvio che, essendo i parametri a e b ricavati per un certo gruppo, o famiglie, di fiumi con caratteristiche idrologiche proprie, e specialmente in bacini situati omogeneamente rispetto all'erosibilità, una relazione del tipo (1) potrà essere valida in generale solamente per gruppi omogenei di bacini, mentre di regione in regione

la relazione potrà essere, pur nella generale similitudine, leggermente diversa.

S'è osservato che spesso relazioni del tipo (1) hanno all'esponente di A un valore che non per caso è molto prossimo a 0.5 (la relazione ricavata da Grey lo conferma); ciò significa che troveremo molto spesso delle leggi di tipo vicino a

$$L = a \sqrt{A}$$

Se potessimo considerare le aree dei bacini come delle figure geometriche piane e semplici (fig. 3) noteremmo che se l'area del bacino fosse a forma di quadrato di lato L si avrebbe che

$$A = L^2 \quad \text{ossia } L = A^{1/2} \quad (3)$$

cioè la (1) con $b = 1/2$ ed $a = 1$.

Mentre se l'area del bacino fosse invece un rettangolo di altezza L e di base $2l$ avremmo che

$$A = L \times 2l \quad \text{e, se } l = \frac{L}{p}, \quad A = \frac{2}{p} L^2 \quad \text{ossia}$$

$$L = \sqrt{\frac{p}{2}} A^{1/2}.$$

Se fosse $p = 4$ avremmo $L = \sqrt{2} A^{1/2}$, cioè $L = 1.4 A^{0.5}$ (4) molto simile alla relazione ricavata da Grey come media di un grande numero di casi.

Se fosse invece $p = 6$ ($l = \frac{L}{6}$) si avrebbe

$$L = \sqrt{3} A^{1/2} \quad (5)$$

che è una relazione pure valida come approssimazione di molti casi reali.

Ed ancora, se invece l'area di un bacino potesse essere assimilata ad un triangolo equilatero di altezza L e di lato l ($l = L \sqrt{\frac{4}{3}}$), avremmo ovviamente che

$$A = \frac{L}{2} \times L \sqrt{\frac{4}{3}}, \quad \text{ossia } A = L^2 \sqrt{\frac{1}{3}} \quad \text{da cui, di nuovo,}$$

$$L = 1.32 A^{1/2} \quad (6)$$

Nel caso, ancora, di un bacino di forma circolare, con diametro L , avremmo che

$$A = \frac{L^2}{4} \pi \quad \text{e quindi} \quad L = \frac{2}{\sqrt{\pi}} A^{1/2} \quad \text{ossia, anche,}$$

$$L = 1.13 A^{0.5} \quad (7)$$

In base alla generica forma dei bacini questi si possono spesso as-

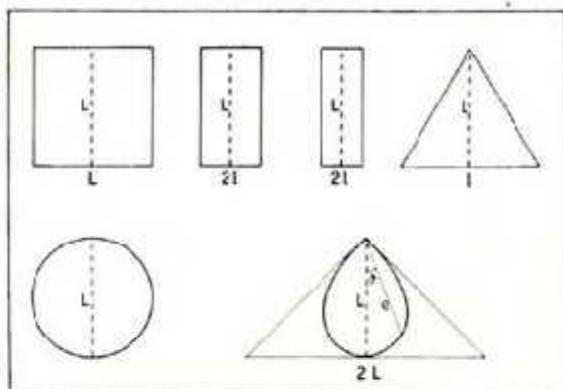


Fig. 3 - Figure geometriche rappresentanti le principali possibili forme a cui tendono assomigliare i bacini fluviali. La linea verticale tratteggiata indicata con L, entro tali figure geometriche, rappresenta la posizione e la lunghezza che avrebbero i corsi d'acqua drenanti bacini con tali forme.

similare ad un lobo di lemniscata (la curva di equazione polare $\rho = L \sqrt{2 \cos 2\theta}$), dove il tronco drenante avrebbe lunghezza L; l'area del lobo della lemniscata è la metà di quella del triangolo isoscele di altezza L e di base 2L (fig. 3); avremmo perciò $A = L^2/2$ che ci riporta ancora alla

$$L = \sqrt{2} A^{0.5}$$

Il risultato della relazione di Grey porta molto vicino al bacino a forma di lobo di lemniscata. Ciò potrebbe forse significare che tutti i bacini tendano in media, o con la maturità, ad assumere tale forma; ed infatti Grey ha trovato la sua media da moltissimi fiumi.

Comunque il fatto che la lunghezza di un corso d'acqua non sia mai esattamente pari nè a \sqrt{A} nè a $\sqrt{2A}$ nè a $\sqrt{3A}$, o per lo meno l'area del bacino che lo drena non sia mai esattamente assimilabile ad una forma geometrica piana, in cui l'esponente di A è 0.5, non è semplicemente dovuto al fatto che un bacino non è una superficie piana, anche se la approssima parecchio, come risulta dal fatto che in genere l'esponente b della (1) è vicino a 0.5. Si tratta piuttosto di una certa compensazione che interviene dal considerare vari casi di superfici diverse e relativi tronchi drenanti, per i quali, singolarmente, dovrebbero esser valide relazioni leggermente diverse da quella che si ricava come legge media.

Individuare una simile relazione appare molto importante per due principali motivi:

1. In una regione geneticamente ed idrologicamente omogenea tutti i corsi d'acqua devono essere legati da una eguale legge lunghezza-area del bacino (entro i limiti d'errore di misura ed entro una fluttuazione che potremo individuare come «scarto naturale»). Le deviazioni da una tale legge indicano manipolazioni o artificiali (per esempio rettifiche del corso idrico) o naturali (principalmente per fenomeni di

cattura fluviale). L'individuazione delle deviazioni di un fiume della stessa famiglia da una relazione del tipo (1) può servire a determinare quantitativamente catture fluviali o altri accidenti.

2. La determinazione della lunghezza di un corso d'acqua in base alla misura diretta sulla cartografia dell'area del bacino. Infatti l'area di un bacino d'alimentazione si determina in modo relativamente semplice in base all'orografia, ed è un valore assai esatto se non sussistono fenomeni carsici nelle zone d'esame. Mentre la lunghezza di un fiume può essere di difficile lettura e dipende fortemente dalla scala della carta consultata, nel senso che maggiore è il dettaglio (maggiore è la scala chilometrica) maggiore risulta in genere anche la lunghezza del corso idrico. Per non parlare della difficoltà che si incontra a misurare la lunghezza di un corso fluviale meandriforme.

Questi inconvenienti non si incontrano se la lunghezza del fiume viene misurata direttamente sul terreno, ma evidentemente si tratta di un lavoro che non conviene fare se si dispone già di rilievi pubblicati. La determinazione dell'area del bacino fluviale invece è molto meno legata alla scala chilometrica. Ovviamente se nel bacino esaminato sono presenti manifestazioni carsiche anche l'area desunta dalla cartografia non è più un valore esatto; si ricorrerà allora alla determinazione indiretta dell'area del bacino in base alla misura della portata del corso d'acqua principale. Area del bacino A e portata del corso d'acqua q sono infatti ancora legate da una relazione empirica del tipo $q = m A^n$. *)

In altri studi, ma sempre soggiacendo alle indeterminazioni relative alla lunghezza di un corso d'acqua in relazione alla scala, o all'area di bacini non ben delimitabili, si può passare anche alle determinazioni del perimetro del bacino e al suo legame con l'area o con la lunghezza del fiume drenante.

Scopo della ricerca

Il bacino del Natisone in genere (e la parte montana soprattutto) è stato interessato anche in epoche recenti, sia pur difficilmente quantificabili, da intense vicissitudini tettoniche che hanno determinato imponenti fenomeni di cattura interessanti sia il corso principale del Natisone che taluni suoi affluenti.

*) Nel caso del Natisone col suo sviluppo attuale del bacino (1+2 di fig. 4), di area $A = 167.72 \text{ km}^2$, la portata media risulterebbe (Mosetti, 1984) di 7.64 mc/sec .

Per tale motivo, essendo l'intero bacino del Natisone (e bacini adiacenti ed omogenei), nonostante tutto, caratterizzato da una certa omogeneità strutturale ed idrogeologica, abbiamo voluto verificare la legge del tipo (1) soprattutto perchè fenomeni di cattura, constatabili solo in maniera qualitativa possono risultare del tutto ipotetici se non si cerca di dimostrare in qualche modo, quantificando, la cattura stessa.

Una tale quantificazione può essere realizzabile col controllo della (1) sul bacino totale o su sue parti. Naturalmente poichè i parametri della (1) sono variabili da regione in regione, abbiamo in un primo tempo cercato di stabilire questi in maniera il più omogenea possibile. Per questo abbiamo verificato una legge del tipo (1) su vari corsi d'acqua e relativi bacini, nel Friuli orientale, che si trovano in condizioni simili al Natisone. Si tratta in parte di affluenti del Natisone, quali l'Alberone, il Cosizza e l'Erbezzo e loro parti, dello stesso Natisone montano, nonchè dei torrenti drenanti i versanti meridionali dei colli orientali del Friuli, tra il Torre ed il Natisone, anche se non sono affluenti di quest'ultimo.

Una visione d'insieme è riportata in fig. 4 dove sono delimitate le aree dei bacini esaminati ed i rispettivi tronchi fluviali principali. I valori delle aree desunti dalle carte 1 : 100000 sono riportati nella tabella I.

Nell'analisi delle aree dei bacini e delle lunghezze dei corsi d'acqua ci siamo fermati nella zona immediatamente a monte della piana alluvionale, da una parte perchè solo i bacini montani sono ben delineabili orograficamente (ed idrologicamente), dall'altra parte perchè se avessimo misurato il corso idrico fino a valle, entro le alluvioni, avremmo aumentato la lunghezza L di una quantità che non è dipendente dallo sviluppo del bacino, ma piuttosto dall'alluvionamento subito da una parte di questo, ora sepolto dalle alluvioni della pianura friulana.

Sono stati analizzati 14 bacini fluviali di cui 5 non appartenenti al bacino del Natisone (torrente Malina ed adiacenti) ma che sono stati fatti comprendere nell'elaborazione matematica al fine di avere più dati possibili (ma omogenei) per poter avere una migliore determinazione dei parametri e quindi per poter saggiare meglio la validità della legge. Le caratteristiche strutturali ed idrogeologiche del bacino totale del torrente Malina (Malina s.s. e suoi affluenti), confinante verso SW con quello del Natisone, sono — come è già stato detto — in generale parecchio simili a quest'ultimo.

La tabella I riporta le aree e le rispettive lunghezze dei tronchi

principali dei bacini rappresentati nella fig. 4 e misurati direttamente sulla carta 1 : 100000. Alcuni bacini, quali quelli del torrente Alberone e del torrente Cosizza, sono stati ulteriormente suddivisi, visto che orograficamente è stato possibile individuare in entrambi due bacini montani ben definiti anche se, ovviamente, di dimensioni chiaramente inferiori; tale suddivisione è stata effettuata sempre allo scopo di utilizzare nel computo il maggior numero possibile di dati omogenei. In questi due casi la lunghezza del tronco principale (dell'Alberone e del Cosizza) misurata sulla carta è stata considerata come la media delle due biforcazioni, nel senso che non è possibile dare una preferenza per quanto riguarda la possibilità di appartenenza del corso principale ad uno o all'altro bacino.

Con questa serie di aree e di lunghezze abbiamo stabilito, me-

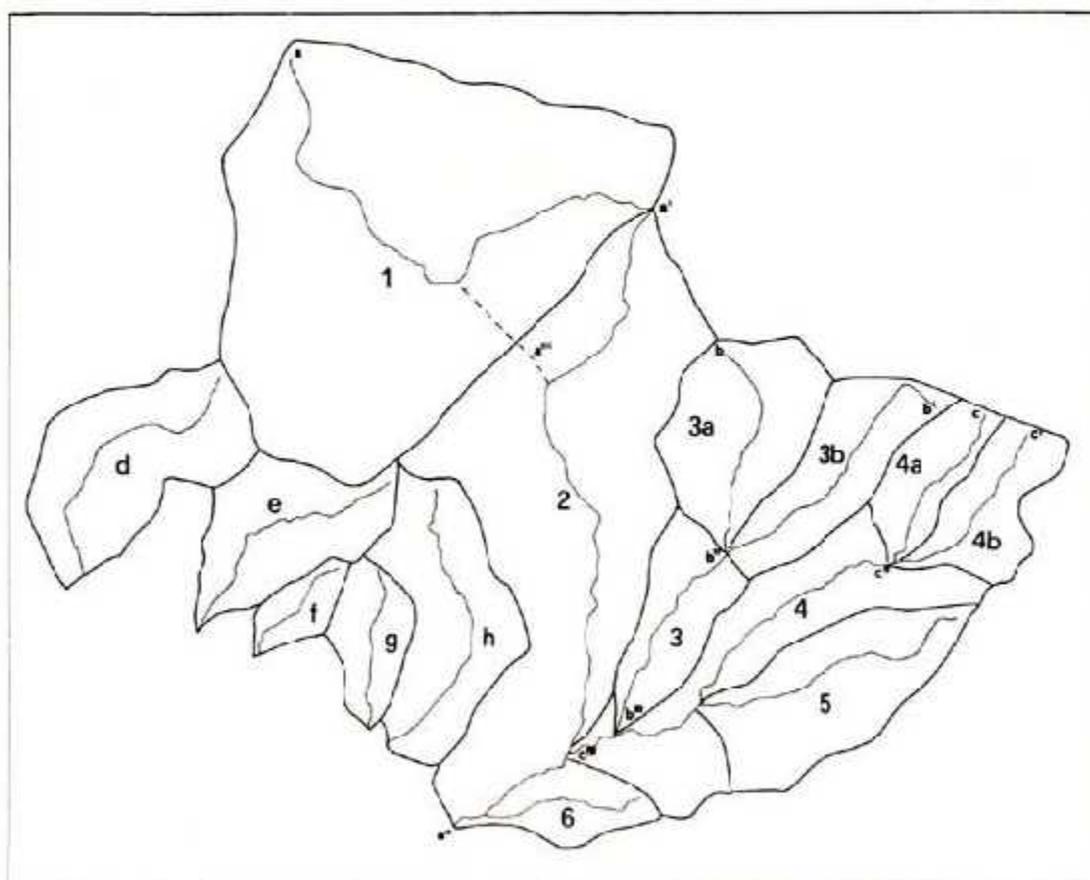


Fig. 4 - Delimitazione delle aree dei bacini fluviali considerati nel calcolo della relazione (8); sono riportati pure i principali rispettivi tronchi fluviali drenanti, la cui lunghezza massima è stata misurata direttamente sulla carta 1 : 100000. In tabella I vengono riportati, oltre alla simbologia presente nella figura, i valori delle aree dei bacini e delle lunghezze dei corsi d'acqua. La linea a-a'-a'' è il corso del Natisone (v. fig. 1). La spiegazione delle lettere e numeri è in tab. I.

TABELLA I *)

BACINI	Simbologia di fig. 4	A_m	$\log A_m$	L_m	$\log L_m$	L_c
Natisone fino a Robic	1	99.25	1.997	16.7	1.223	20.05
Alberone	3	44.58	1.649	14.2	1.152	13.14
Amburna	3a	18.50	1.267	6.5	0.813	8.26
Rieca di Alberone	3b	15.10	1.179	8.6	0.934	7.42
Cosizza	4	43.67	1.640	17.9	1.253	13.00
Zavelin celam	4a	7.90	0.898	5.6	0.748	5.27
Rieca di Cosizza	4b	10.65	1.027	5.8	0.763	6.17
Erbezzo	5	20.80	1.318	8.7	0.940	8.79
Lesa	6	7.78	0.891	5.0	0.699	5.23
Malina	d	22.70	1.356	8.7	0.940	9.21
Grivò	e	15.94	1.202	7.9	0.898	7.64
Grivò di Raschiacco	f	3.91	0.592	3.7	0.568	3.64
Chiarò di Prestento	g	7.20	0.857	4.9	0.690	5.02
Chiarò di Torreano	h	21.11	1.324	8.6	0.934	8.86
Natisone fino a Cividale	1+2	167.72		38.8		26.45
Natisone fino a Cividale con affluenti di sinistra	1+2+ 3+4+ 5+6	284.55		38.8		34.96
Alto Natisone fino a Stupizza	1bis	83.64		13.3		18.32
Natisone fino a Cividale attraverso il Solco di Pradolino	2bis	158.30		29.4		25.66

*) Il percorso misurato per il Natisone fino a Robic è quello indicato in fig. 4 come a-a'; per il torrente Alberone è b''b+b'''b'/2; per il Rieca di Alberone è b''b' e per l'Amburna è b''b; il percorso misurato per il torrente Cosizza è quello indicato in figura come c'''c+c''c'/2, mentre c''c è il percorso misurato per il rigo Zavelin celam e c''c' è quello per il Rieca di Cosizza. La lunghezza misurata per il Natisone fino Cividale, che vale 38.8 km, è indicata in fig. 4 con a-a''. Per l'Alto Natisone fino a Stupizza (1bis) abbiamo considerato il percorso a-a'', mentre per il Natisone fino Cividale e passante attraverso il solco di Pradolino la lunghezza misurata è quella indicata in figura come a-a'''-a''.

diante il metodo dei minimi quadrati, i valori di a e b che compaiono in una legge del tipo (1).

La relazione calcolata è

$$L = 1.77142 A^{0.527796} \quad (8)$$

che, come si vede, differisce alquanto, ed è ovvio, da quella del Grey, pur trattandosi formalmente della stessa legge. Comunque anche in questo nostro caso l'esponente di A è vicino a 0.5, mentre il coefficiente di A è molto prossimo alla $\sqrt{3}$. Ne consegue che, riferendoci al discorso sulle assomiglianze delle aree dei bacini a delle semplici forme geometriche piane, in generale i bacini considerati si approssimano parecchio a delle forme rettangolari di altezza pari ad L e base pari ad $L/3$, oppure a dei triangoli isosceli d'altezza L e di base $2/3 L$, oppure ancora ad un lobo di lemniscata con area equivalente.

La corrispondenza generale tra i dati della tabella I, che riporta sia i valori delle lunghezze dei corsi d'acqua misurati (L_m) sulla carta che quelli calcolati con la (8) (L_c), si può notare anche dalla fig. 5 che dà una sostanziale corrispondenza, in media, tra la retta calcolata ed i valori osservati. Si vede che in genere la corrispondenza è buona, pur con scarti, negativi o positivi, quasi sempre però di entità ragionevoli. Si distinguono comunque, con valori più discosti, il Natisone fino a Caporetto (il cui bacino è indicato in fig. 4 col numero 1), il torrente Amburna, affluente dell'Alberone (indicato con la denominazione 3a) ed il torrente Cosizza (indicato con il numero 4), che evidentemente risentono di catture. Si potrebbe pensare, tralasciando per il momento il bacino montano del Natisone, che il torrente Amburna abbia risentito di una cattura a monte, visto che l'Alberone (indicato col n. 3), la cui lunghezza del corso è stata considerata — nella misura diretta — come la media dei due probabili percorsi e quindi

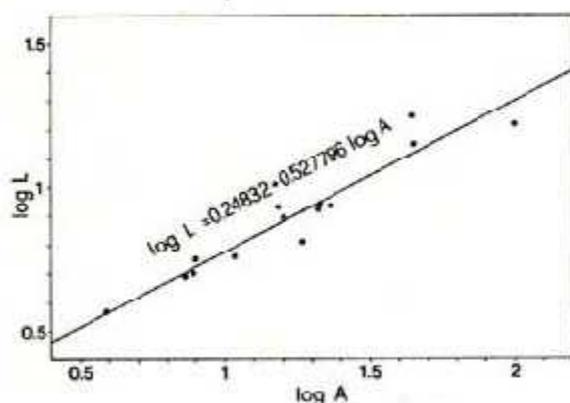


Fig. 5 - Rappresentazione diagrammatica dei valori delle aree e delle lunghezze analizzate. La retta di equazione

$Y = 0.24832 + 0.527796 X$ rappresenta la relazione empirica da noi calcolata. In ordinata $Y = \log L$, in ascissa $X = \log A$; i valori di $\log L$ e $\log A$ sono riportati nella tabella accanto ai rispettivi valori di L ed A .

comprendente anche l'Amburna, cade quasi sulla retta indicata in fig. 5, mentre il torrente Cosizza abbia risentito di una cattura a valle, poichè sia il bacino indicato come 4a che quello indicato come 4b, per lo stesso motivo di sopra, hanno una ottima corrispondenza.

Il bacino del Natisone vero e proprio, ossia quello delimitato dai versanti drenati direttamente nel Natisone, è stato suddiviso in due parti: una è quella comprendente la parte montana, col Rio Bianco, fino al gomito di Robic — 5 km ad W di Caporetto — (in fig. 4 è indicato 1); l'altra parte dal gomito di Robic e giunge fino a Cividale del Friuli (2 in fig. 4).

Visto che ci interessava comprovare la cattura del Natisone, nell'elaborazione matematica è stato considerato solamente il bacino montano, il cui attuale spartiacque incontra quasi perpendicolarmente, al lato S, il citato solco di Pradolino.

In fondo alla tabella I è stato aggiunto il Natisone fino a Cividale, la cui lunghezza dalle sorgenti è di 38.8 km, prima con un'area comprendente il bacino montano (1 in fig. 4) ed il bacino indicato col n. 2 e che vale 167.72 kmq, poi con un'area di 284.55 kmq, ossia la somma di tutti i vari bacini (degli affluenti di sinistra) appartenenti al bacino vero e proprio del Natisone (in fig. 4: 1+2+3+4+5+6). La lunghezza calcolata dalla (8) nel primo caso vale 26.45 km, nel secondo caso 34.96 km, contro i 38.8 km reali. La prima discrepanza ci dice che la lunghezza è incompatibile con l'area (quest'ultima è decisamente troppo piccola), anche se, nonostante tutto, nel Natisone fino a Robic c'è una maggiore corrispondenza tra la lunghezza misurata e quella calcolata, ma non una collimazione. Ciò significa che con la situazione attuale del percorso del Natisone, si esce completamente dalla famiglia esaminata di corsi d'acqua per la quale è valida la legge (8). Anche l'aggiunta dei bacini di sinistra (Alberone, Cosizza, Erbezze, ed il più piccolo Lcsa) non è sufficiente a giustificare la lunghezza, che è come «se fosse di un altro fiume» da cui il corso attuale è stato ereditato (e per altro fiume può anche intendersi lo stesso Natisone ma con un percorso accorciato). Da questo si deduce insomma la cattura.

Se invece facessimo passare il Natisone per il solco di Pradolino, la lunghezza del corso d'acqua risulterebbe pari a 29.4 km (tale percorso è indicato in fig. 4 con la simbologia a-a'''-a''); valore molto più vicino a quello calcolato con la (8) e perciò molto più compatibile, rispetto a quello del percorso attuale del Natisone (coi 26.45 km dedotti dall'area di 167.72 kmq, ed anche coi 34.96 kmq della soluzio-

ne $A = 284.55 \text{ km}^2$). Si può quindi ritenere valida la possibilità che il Natisone passasse per il canale abbandonato, ora relativamente sollevato, fino circa 480 m, rispetto al fondavalle attuale.

Il Natisone passante per il solco di Pradolino deve essere perciò considerato un percorso compatibile con una legge valida per tutto il restante bacino ed i bacini adiacenti: ossia il vero Natisone.

L'attuale grande ansa che gira attorno al M. Mia rappresenta la cattura subita dal Natisone da parte di un altro fiume, che si può indicativamente mostrare essere l'Isonzo (o un suo affluente). La discrepanza tra la L_m e la L_c nel bacino 1 può però anche indicare che l'alto Natisone era affluente dell'Isonzo presso Caporetto.

Tornando ancora un momento alla tabella 1 può essere importante notare che i valori delle lunghezze L calcolate dalla (8) *) per i bacini di dimensioni inferiori, quindi di lunghezza L reali dei relativi corsi d'acqua non elevate, sono decisamente più prossime ai valori misurati direttamente sulla carta; ciò soprattutto a causa della difficoltà — già detta precedentemente — nel misurare le lunghezze dei corsi fluviali maggiori sia per la presenza dei meandri sia per l'esistenza di diverse divagazioni (artificiali e non), statisticamente più frequenti, che non sempre permettono di identificare il reale percorso del corso d'acqua. Inoltre è da ribadire ancora che relazioni del tipo (1) hanno validità superiore se applicate ad aree ristrette, mentre per aree più grandi la legge ha ancora una certa validità ma diventa più grossolana.

Conclusioni

Prima di finire vogliamo tornare ancora un momento sulla «Bocca di Pradolino», un interessantissimo autentico canyon delle Prealpi friulane, che deve rappresentare un tratto abbandonato del paleo-Natisone. E' una spaccatura che divide, proprio sopra Stupizza, le falde SW del monte Mia dal monte Vogu, ma che presenta inusitate pendenze per essere semplicemente una valle fluviale abbandonata. An-

*) Abbiamo anche voluto, per provare l'attendibilità della legge, eliminare dai calcoli il bacino montano del Natisone (1 in fig. 4); la relazione così ottenuta vale

$$L = 1.53965 A^{0.5851} \quad (9)$$

parecchio simile alla (8) ma i cui calcoli, relativi alla misura delle lunghezze dei vari corsi d'acqua, si discostavano maggiormente dalla realtà rispetto a quelli ottenuti applicando la (8), e quindi non ulteriormente utilizzata.

che il suo decorso, praticamente rettilineo per circa 2 km, non dovrebbe corrispondere ad un semplice effetto erosivo. L'origine tettonica della forra pare evidente: si tratta di una frattura che ha ospitato per un certo tempo il corso del Natisone, che fluiva molto più «regolarmente» di oggi. Nel sollevamento di tutto il cosiddetto ellissoide del M. Mia, che ha portato a quote ormai incompatibili col Natisone (470-480 m) il fondovalle di questo canyon, deve esserci stato anche un ribaltamento, con un relativo restringimento della forra. Qualche manifestazione di carsismo ha pure contribuito a questa formazione. Indubbiamente l'accidente è singolarissimo, tanto la valle è tagliata rettilineamente (e con larghezza pressochè costante) da sembrare una trincea artificiale, se non fosse per il sovrastare di alcune centinaia di metri di versante. Da entrambi i lati il versante appare notevolmente deformato per quanto riguarda il corso delle isoipse. Il solco è citato in Feruglio (1925) e Gortani (1926).

Questa zona singolarissima e particolarmente bella, del bacino del Natisone, non pare sia stata molto studiata nè sia particolarmente nota; altrimenti, forse, non sarebbe stata interessata così direttamente dal confine italo-jugoslavo, che peraltro ricalca perfettamente quello italo-austriaco del 1866, che sembra esser stato fatto passare appositamente, o quasi per scherzo, nel bel mezzo della forra, compiendo uno stranissimo — quanto discutibile — zigzag proprio per incurvarvisi.

Concludendo si possono enumerare alcune ipotesi sulle catture e deviazioni che si sono verificate nella zona del bacino del Natisone e corsi collegati, senza voler indicare alcuna prescrizione sulla successione temporale dei fenomeni (del resto impossibile allo stato attuale delle conoscenze, poichè ci manca un «metro» per queste determinazioni).

Caso I. (fig. 6).

L'alto Isonzo, dopo la stretta di Caporetto devia, anzichè a SE, come oggi, a WSW ed a S, scendendo per l'attuale valle del Natisone, da Robic a Stupizza a Cividale. Le diverse ampiezze delle valli dell'alto Isonzo e del Natisone, che non si raccordano perfettamente al momento attuale, non sono una prova contro questa ipotesi: infatti la deviazione dell'Isonzo per il Natisone può esser durata poco; le valli esser state diversamente elaborate da successive, e differenti, azioni dei ghiacciai ed anche da azioni tettoniche. In questa fase l'Isonzo dopo Caporetto riceve, nella valle di Selo, un piccolo rio

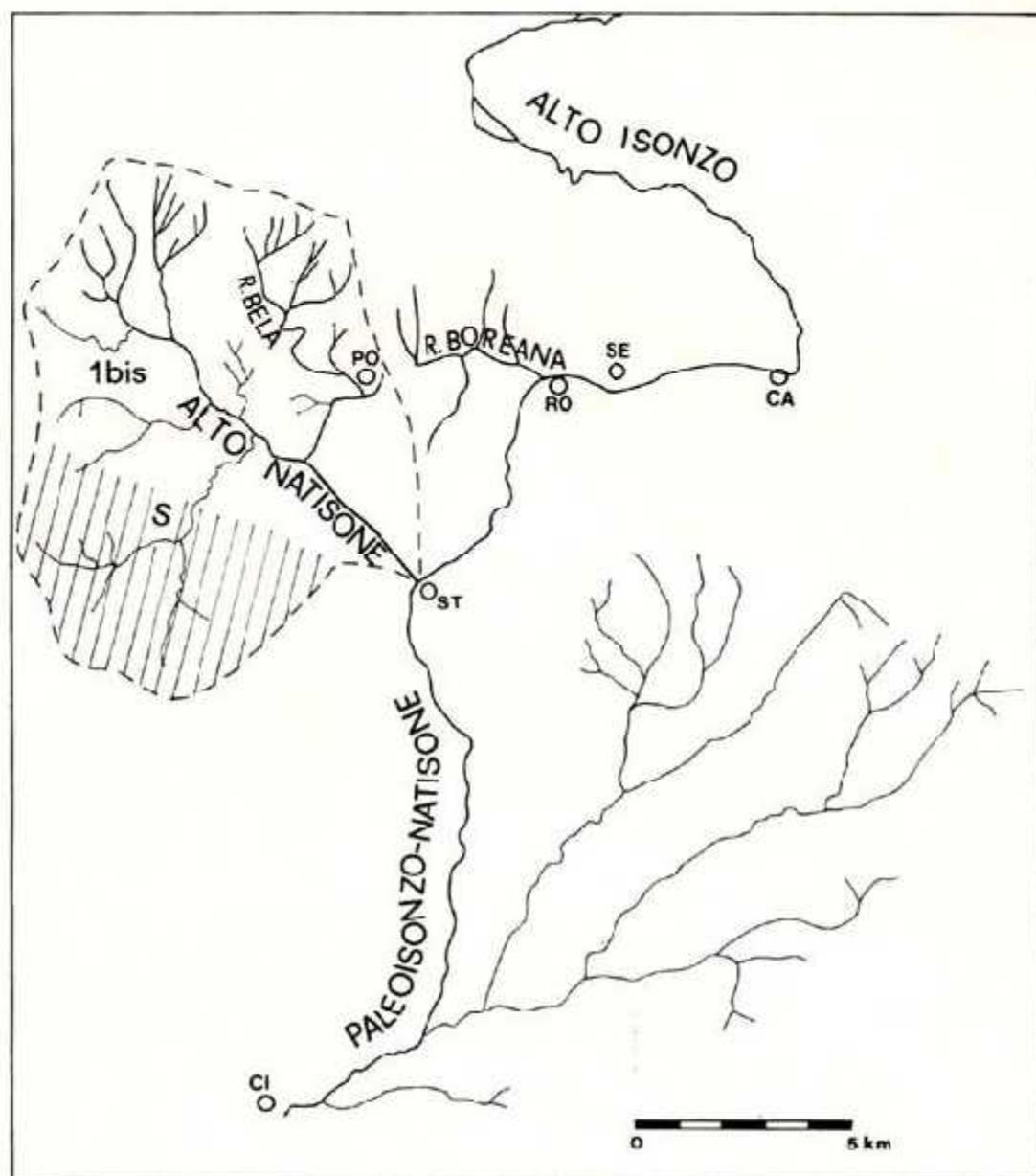


Fig. 6 - Schematizzazione della situazione, comportante catture e deviazioni nel bacino del Natisone, descritta nel Caso I. L'area racchiusa dalla linea tratteggiata ed indicata con 1bis rappresenta il bacino parziale dell'alto Natisone. L'area tratteggiata indicata con S rappresenta l'area in eccesso per una buona corrispondenza dei valori delle lunghezze misurate L_m con quelle calcolate dalla (8), (L_c), per il corso d'acqua drenante il bacino 1 bis. PO = Podibela, ST = Stupizza, RO = Robic, SE = Staroselo, CA = Caporetto, CI = Cividale del Friuli.

(Rio di Boreana) sulla cui traccia è impostato attualmente un tratto del Natisone. L'alto Natisone proseguiva nel solco di Pradolino, allora completamente pervio, dopo aver ricevuto in riva sinistra il Rio Bela (di Bergogna) che nel tratto terminale, dopo Podibela, ricalcava in verso opposto un tratto del corso dell'attuale Natisone. Questo com-

plesso fluviale confluiva nel Paleoisonzo-Natisone a Stupizza. Il bacino parziale dell'alto Natisone chiuso a Stupizza aveva un'area di 83.64 kmq (indicato in fig. 6 come 1bis) e la lunghezza massima misurata (L_m) è di 13.3 km; la lunghezza L_c ricavata dalla (8) è di 18.32 km. Ne risulta una L_c troppo elevata, questo perchè il bacino considerato è aumentato di un'area S (la parte SW del bacino 1bis) probabilmente acquisita successivamente per ulteriori catture fluviali.

Caso II. (fig. 7).

Il ghiacciaio dell'Isonzo (o i ghiacciai, in diverse successive glaciazioni) ha scavato il tratto di valle sotto il Polonig (il cui solco terminale è scavato a forra per successivo ringiovanimento locale provocato da innalzamento); dalla zona di Caporetto il ghiacciaio si dirigeva sia verso W, nella zona di Selo, dove però tosto terminava, sia verso SE dove si prolungava fino a Tolmino (o oltre) con una abbondante ablazione nella valle. L'Isonzo di conseguenza si preparava a non scendere più per la valle del Natisone. L'alto Natisone, non interessato dal ghiacciaio (o interessato solo marginalmente e temporaneamente), riusciva a scorrere per il solco di Pradolino e, allo sbocco di Stupizza, riceveva solo un piccolo rio (di Poiana) scendente da Robic e rinforzato dalle sorgenti Poiana. L'area di tale bacino (2bis di fig. 7) era di 158.3 kmq e la lunghezza L_m massima, contata fin dalle sorgenti del Rio Bianco dal Gran Monte, supposte già attive, di 29.4 km contro la lunghezza calcolata (L_c) dalla (8) che dà un valore di 25.7 km. Quest'ultimo risultato non si discosta eccessivamente dal percorso misurato direttamente sulla carta. Comunque, già precedentemente avevamo constatato la migliore corrispondenza fra la L_c e la L_m per un Natisone passante per il solco di Pradolino, anche se, prima, avevamo considerato il valore dell'area attuale del bacino (1+2 di fig. 4). E' una ulteriore conferma che il Natisone originariamente scorresse attraverso il suddetto solco, e quindi può essere provata la cattura fluviale.

Caso III. (fig. 8).

Al ritiro del ghiacciaio l'Isonzo prosegue ormai da Caporetto verso il Colovrat. Tutta la parte montana è ormai avulsa dal Natisone, anche per il sollevamento relativo del Colovrat-Matajur-Mia. Il brevissimo ramo del rio di Poiana cattura il rio di Boreana e a sua volta

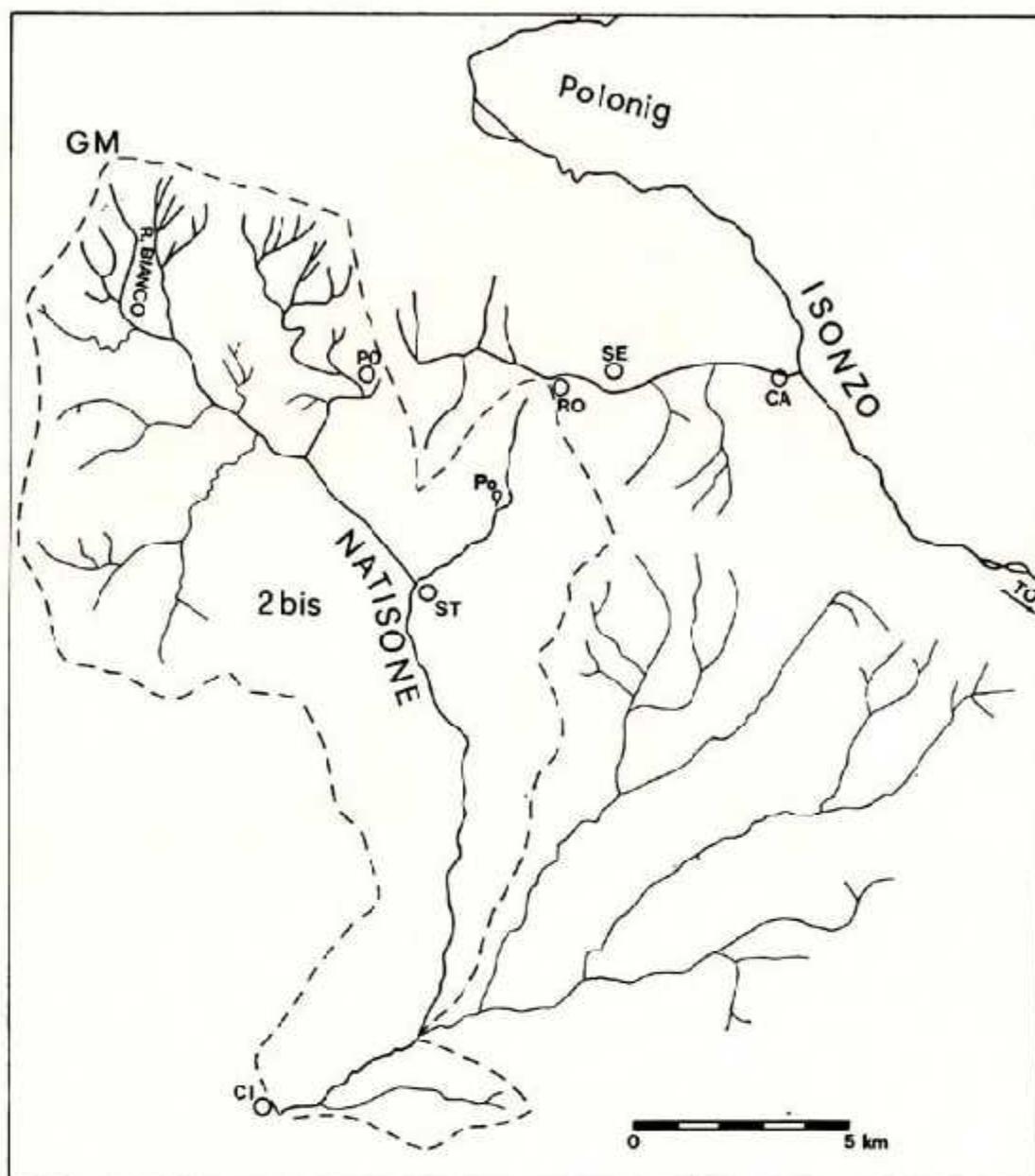


Fig. 7 - Schematizzazione della situazione descritta nel Caso II. L'area racchiusa dalla linea tratteggiata ed indicata con 2bis rappresenta il bacino del Natisone nel tempo del Caso II. GM = Gran Monte, Po = sorgenti Pciana, PO = Podibela, ST = Stupizza, RO = Robic, SE = Staroselo, CA = Caporetto, TO = Tolmino, CI = Cividale del Friuli.

anche il rio Bela, tanto che si forma il gomito di Robic. Però l'alto Natisone scende ancora per la forra di Pradolino.

Caso IV.

L'«ellissoide» di M. Mia si solleva e la forra di Pradolino si alza.

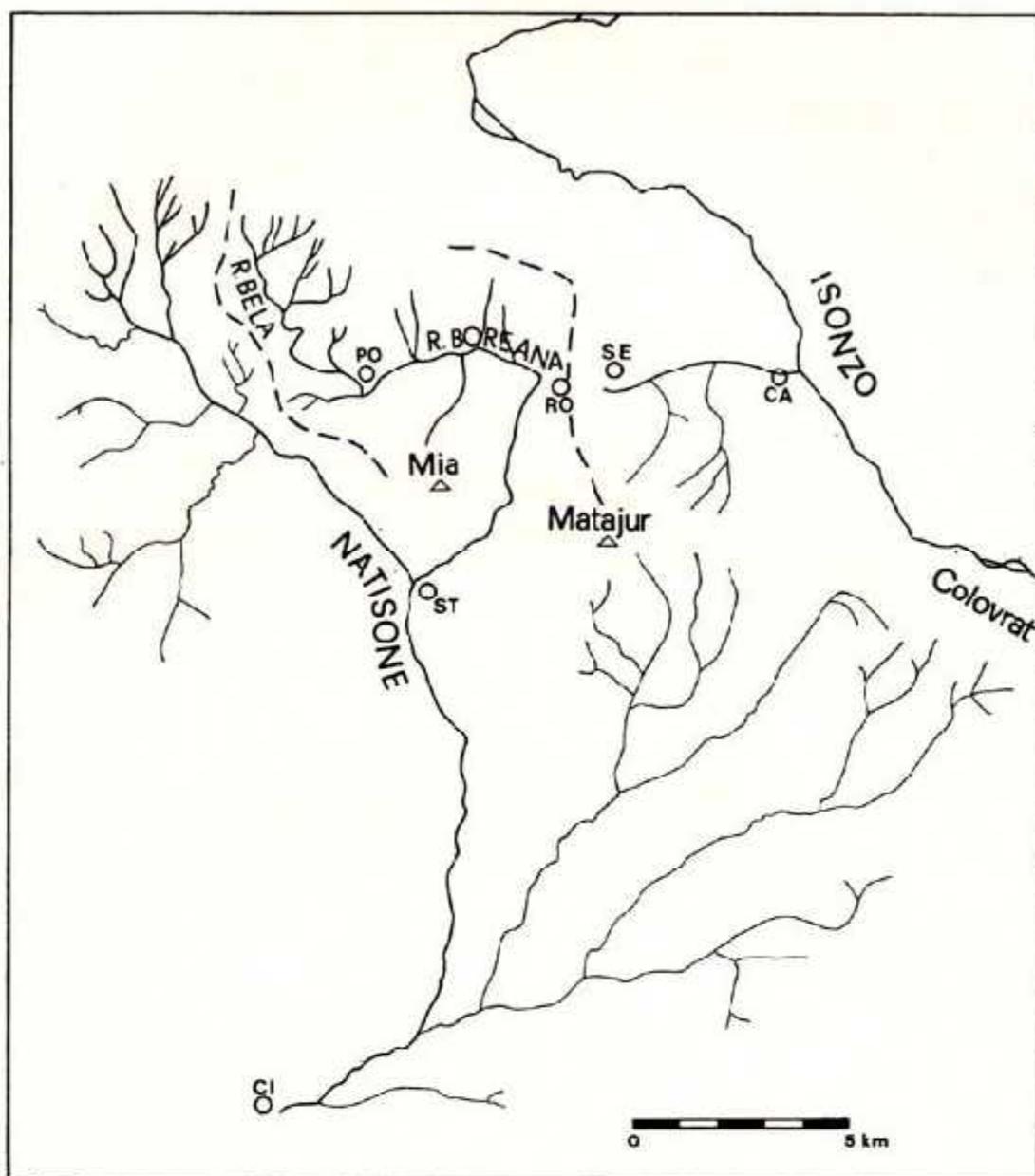


Fig. 8 - Schematizzazione della situazione descritta nel Caso III. Le due linee tratteggiate indicano i nuovi limiti del bacino venutisi a formare dopo i sollevamenti Colovrat-Matajur-Mia. PO = Podibela, ST = Stupizza, RO = Robic, SE = Staroselo, CA = Caporetto, CI = Cividale del Friuli.

Il rio di Poiana, che ha già catturato il rio di Bergogna e il Bela, riesce a catturare anche l'alto Natisone e si forma così il corso attuale.

In questo, considerando il totale del bacino, anche senza gli affluenti di sinistra (Alberone, Cosizza ed Erbezzo), l'area è di 167.72 km² e la lunghezza L_m del corso d'acqua è di 38.8 km, contro la L_c ricavata dalla (8) di 26.45 km; la relazione è completamente squili-

brata rispetto alla media della zona e rappresenta un non raggiunto equilibrio, ovvero la formazione di una «nuova idrologia», che si stacca dalla preesistente rimasta documentata nel resto del bacino.

Questa è la migliore documentazione della cattura.

Bibliografia

- EAGLESON P. S. - 1970 - Dynamic Hydrology. McGraw-Hill B. Comp., p. XVI, 462.
- FERUGLIO E. - 1924-1925 - Le prealpi fra l'Isonzo e l'Arzino. Bull. Ass. Agr. friulana.
- GORTANI M. - 1926 - Guida geologica del Friuli. Stab. Tipografico «Carnia», Tolmezzo, vol. 1, fasc. 1.
- GREY D. M. - 1961 - Interrelationships of Watershed Characteristic. Journ. Geoph. Res., 66, 4.
- MOSETTI F. - 1983 - Sintesi sull'Idrologia del Friuli-Venezia Giulia. *Quaderni Ente Tutela Pesca, Udine, 6.*
- MOSETTI P., MOSETTI F. - 1984 - Una relazione per le portate dei corsi d'acqua del Friuli-Venezia Giulia. *Quaderni Ente Tutela Pesca, Udine, 9.*

NORME PER GLI AUTORI

I lavori o le note devono essere redatti in forma concisa e il numero delle tabelle e delle figure limitato allo stretto necessario. I lavori potranno essere di un massimo di 25 cartelle dattiloscritte compresi i riassunti e la bibliografia; le note brevi di non più di 5 cartelle. I lavori e le note dovranno essere corredati da un riassunto in italiano e da un summary in inglese con la relativa traduzione del titolo in inglese nel caso il lavoro non fosse scritto in quest'ultima lingua.

I lavori dovranno essere dattiloscritti a doppio spazio su una sola facciata del foglio in modo da contenere circa 40 righe di 60 battute. Per facilitare una rapida revisione devono essere inviati in due copie.

Le illustrazioni devono essere contrassegnate sul retro con un numero progressivo. L'Autore potrà dare alla Redazione suggerimenti ed uno schema per la composizione delle figure. Dei disegni dovranno essere inviati l'originale ed una riproduzione, delle fotografie due copie. Disegni e foto dovranno contenere istruzioni sul rapporto di riduzione. Le tabelle con le spiegazioni relative e le didascalie (con traduzione in inglese) delle figure devono essere inviate su fogli a parte.

Il testo, salvo casi particolari, dovrà essere generalmente così articolato:

- a) Titolo del lavoro in italiano
- b) Titolo del lavoro in inglese
- c) Nome dell'Autore o degli Autori
- d) Ente di appartenenza degli Autori e indirizzo
- e) Parole chiave
- f) Abstract di non più di tre righe (in inglese)
- g) Riassunto
- h) Summary
- i) Introduzione
- l) Materiali e Metodi
- m) Discussione
- n) Conclusioni
- o) Bibliografia.

Le citazioni bibliografiche nel testo devono essere indicate in maiuscolo (quindi nel dattiloscritto saranno sottolineate due volte). La bibliografia dovrà essere in ordine alfabetico e dovrà comprendere il nome degli Autori, la data di pubblicazione, il titolo completo del lavoro, il titolo abbreviato del periodico sottolineato (le abbreviazioni devono essere fatte secondo le norme di «Bibliographic Guide for Editors and Authors» dei Chemical Abstracts o di «World List of Scientific Periodicals» 4th Ed., London 1964-65 o infine di «Serial Sources for the Biosis Data Base» della Bio Sciences Information Service), il numero del volume, il numero del fascicolo (tra parentesi) ed infine i numeri della prima e dell'ultima pagina.

Es.: SPECCHI, M. e OREL, G. - 1968 - I popolamenti dei fondi e delle rive del valone di Muggia presso Trieste. Bol. Soc. Adriatica Scienze. Trieste, 56 (1), 137-161

Gli Autori riceveranno 25 estratti gratuiti. Altri estratti potranno essere forniti a pagamento.

QUADERNI E.T.P. GIÀ PUBBLICATI

- N. 1 - 1981 - A. Rasi - E. Reisenhofer - M. Specchi: INDAGINI SU ALCUNI LAGHI DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA.
- N. 2 - 1981 - E. Tortonese: I SALMONIDI ITALIANI.
- N. 3 - 1982 - S. Dolce - M. Specchi: CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DELL'ITTIOFAUNA DI ALCUNI STAGNI DEL CARSO TRIESTINO.
- N. 4 - 1982 - F. de Cristini - M. Specchi: CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SUL POLIMORFISMO EMOGLOBINICO IN «SALMO TRUTTA FARIO» E «SALMO GAIRDNERI» DELLE ACQUE DEL FRIULI.
- N. 5 - 1982 - M. Buda Dancevich - S. Paradisi - L. Sillani - M. Specchi: OSSERVAZIONI PRELIMINARI SULLA DISTRIBUZIONE DI ALCUNE SPECIE ITTICHE DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA.
- N. 6 - 1983 - F. Mosetti: SINTESI SULL'IDROLOGIA DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA.
- N. 7 - 1983 - G. A. Amirante: STUDI IMMUNOISTOCHEMICI SULLA PRESENZA DELL'ENZIMA FOSFOPROTEIN-FOSFATASI IN AVANNOTTI DI TROTA IRIDEA (SALMO GAIRDNERI RICH.).
- G. B. Delmastro - G. Forneris - C. Sarra: DIETA ESTIVA DI SALVELINUS ALPINUS (L) Osteichthyes, Salmonidae) IN UN LAGO D'ALTA QUOTA DELLE ALPI OCCIDENTALI.
- N. 8 - 1984 - A. Mojetta: NOTIZIE SULL'ITTIOFAUNA GIULIANO-FRIULANA NELLA LETTERATURA.
- A. Di Marcotullio - G. A. Amirante - E. A. Ferrero: IL QUADRO EMATOLOGICO IN SPARUS AURATA.
 - M. Specchi - F. Stoch: STUDIO PRELIMINARE SULLE COMUNITA' PLANCTONICHE DI TRE RACCOLTE D'ACQUA NEL CARSO TRIESTINO.
- N. 9 - 1984 - P. Mosetti - F. Mosetti: UNA RELAZIONE PER LE PORTATE DEI CORSI D'ACQUA DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA.
- F. Stoch - S. Dolce: ALIMENTAZIONE E RAPPORTI ALIMENTARI DI TRITURUS ALPESTRIS ALPESTRIS (Laur.), TRITURUS CRISTATUS CARNIFEX (Laur.) E TRITURUS VULGARIS MERIDIONALIS (Boul.). (Osservazioni sull'alimentazione degli Anfibi: III).
- N. 10 - 1985 - E. Tortonese: INTERESSE SCIENTIFICO E PRATICO DI UNA FAMIGLIA DI PESCI OSSEI: GLI ATERINIDI.
- N. 11 - 1985 - AA.VV.: IL LAGO DI RAGOGNA.