

GORTANIA - Atti Museo Friul. Storia Nat.	15 (1993)	5-22	Udine, 31.VII.1994	ISSN: 0391-5859
--	-----------	------	--------------------	-----------------

A. GONANO, D. RIPANTI, F. VAIA

ASPETTI EVOLUTIVI DELLA MEDIA VALLE DEL BÛT (CARNIA)

*ON THE EVOLUTIVE PATTERN OF THE MIDDLE VALLEY
OF THE BÛT RIVER (CARNIA)*

Riassunto breve - La media valle del T. Bût presenta, a distanza ormai notevole dalla fine dell'età würmiana, caratteri evolutivi che ancora la inseriscono tra i territori con dinamicità elevata. Vi si distinguono tre settori con comportamento diverso, per quanto attiene alla velocità di evoluzione, sulla base dei caratteri morfogenetici riscontrati, con aree a comportamento più contenuto; nell'insieme, tuttavia, questo territorio pone decisi problemi all'antropizzazione esistente e futura.

Parole chiave: Geomorfologia, Alpi Carniche.

Abstract - *After the far würmian age, the middle Bût river valley has still many characters, which put it into a high energized system. We have distinguished three portions of this area, which show some way different behaviours. Quite different evolutive velocity crop out: the morphogenetic models demonstrate such a difference, on the basis of the lithological, structural, geomorphic, acclivity and climate peculiarities. Everithing considered, this area seems to be really difficult and delicate as regards the anthropic land use.*

Key words: *Geomorphology, Carnic Alps.*

1. Premessa

Nell'ambito delle attività di ricerca sul territorio della Regione Friuli-Venezia Giulia condotte da parte dell'unità di cui è responsabile F. Vaia, le vallate della Carnia costituiscono oggetto di elevato interesse; infatti la pianificazione e la gestione territoriale devono operare su elementi estremamente delicati, complessi e collegati da vincoli che definiscono equilibri spesso al limite dell'unità quando non già al di sotto di essa. Sulla base di queste considerazioni, il nostro punto di vista è stato quello di analizzare le condizioni dell'ambiente fisico e in particolare lo stato dei versanti per definirne il comportamento e la velocità di evoluzione. Tutto ciò soprattutto in funzione delle modifiche permanenti della conformazione dei versanti stessi, quindi della loro dinamica e del tributo solido conseguente a tutte le forme di modellamento.

Lo studio geomorfologico ha infatti rivelato che l'evoluzione olocenica della media valle del Bût inizia con momenti di elevata dinamicità, a seguito del ritiro delle masse gla-

ciali: l'intenso degrado dei versanti, con la ripresa di energia della rete affluente, carica di sedimenti il fondovalle del collettore, in particolare con forte sviluppo delle strutture di conoide. Dalla distribuzione delle serie di terrazzi si deduce la conseguenza dell'incremento dell'energia di rilievo, cui segue un momento di stasi, concluso da una seconda ripresa del ringiovanimento del territorio sia per fatto climatico che, molto probabilmente, per concomitanza di eventi tettonici sollecitati dal processo isostatico. In particolare, le ultime fasi erosive denunciano il sollevamento del settore meridionale del territorio stesso (FERUGLIO, 1929).

2. Elementi strutturali

Rimandando alla letteratura specifica esistente in proposito (GORTANI, 1920; SELLI, 1963; FRASCARI, 1969), si illustra qui sinteticamente quanto già noto, tenendo conto del condizionamento operato sulla morfogenesi. L'area studiata può essere suddivisa in due zone: una occidentale, estremamente suddivisa e dunque di complicata lettura per quanto riguarda l'assetto strutturale, ed una orientale in cui sono più facilmente riconoscibili i motivi originari. Tuttavia le due aree appaiono in continuità per la presenza di strutture comuni, quali le sinclinali del Tersadia e dell'Arvenis e le faglie a grande estensione, con andamento E-W.

In particolare, il settore occidentale si differenzia per un elevato sviluppo delle linee E-W e NNW-SSE, che determinano maglie di 300-500 m con sensibili dislocazioni dei singoli blocchi, e per la presenza del sovrascorrimento di Sauris, che non compare a oriente del Bût. Tutto ciò potrebbe suggerire l'esistenza di un piano N-S lungo il fondovalle, che ha condizionato la distribuzione degli sforzi nel territorio. Essendo carattere dominante, gli elementi disgiuntivi definiscono lo stile della zona studiata, imponendole un elevatissimo grado di suddivisione. Frequenza e dimensioni spesso ne rendono possibile il rilevamento solo in funzione della morfologia conseguente o delle evidenze aerofotogrammetriche. Maggiore appariscenza hanno le linee orientate E-W, essendo più estese e avendo creato presupposti di agevole erosione delle masse che vi si affacciano. Oltre all'impostazione e allo sviluppo delle principali aste drenanti del sistema locale esse hanno determinato numerose delle forme tipiche dei luoghi in esame: dalle selle e dai passi più importanti alle scarpate e ai gradoni più estesi. Aste minori, forcelle, pilastri ecc. traggono a loro volta impostazione dalla rete definita dai lineamenti meno estesi, ma non per questo meno importanti, orientati NNW-SSE e NE-SW. Le discontinuità principali secondo la direzione N-S intervengono a complicare la struttura, specie nell'area occidentale, per le dislocazioni sia verticali che orizzontali operate sui piani precedentemente descritti. A tutto ciò va

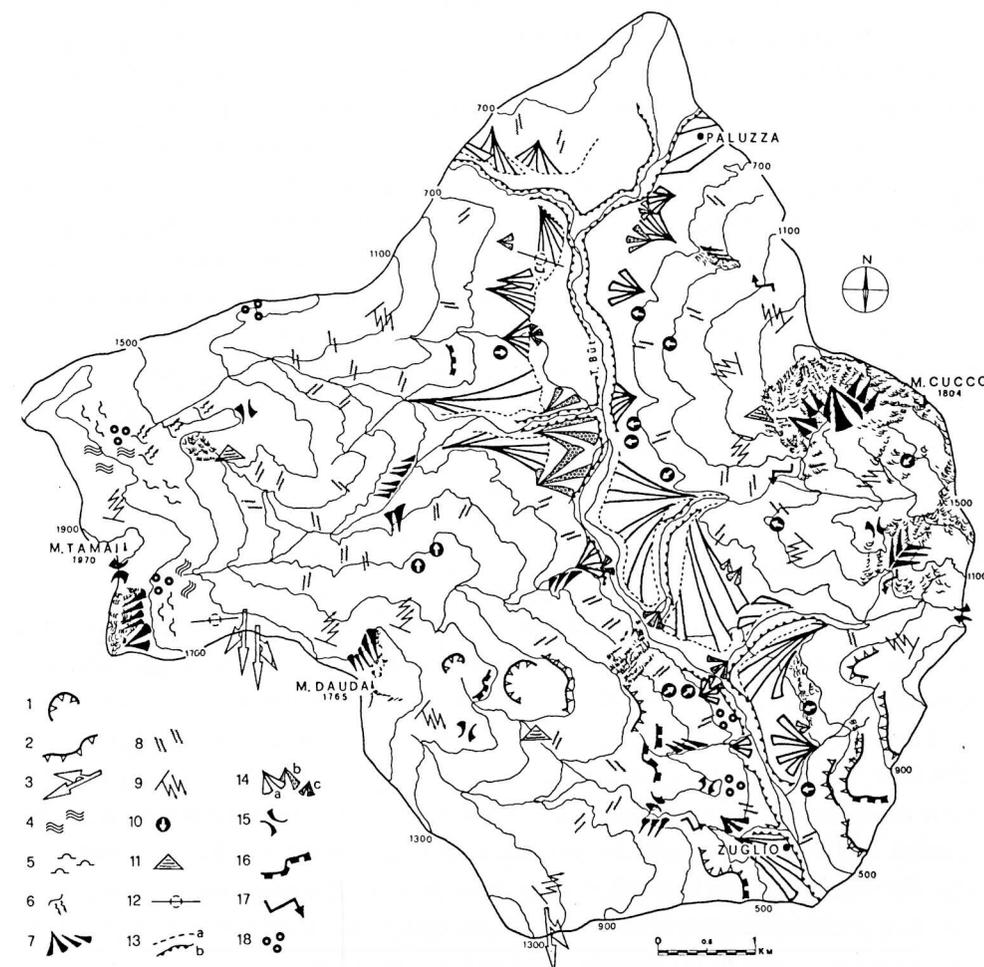


Fig. 1 - Carta morfologica. 1=circhi glaciali; 2=bordi di terrazzo glaciale; 3=trasfluenze; 4=criotur-bazioni; 5=cuscinetti erbosi; 6=geliflusso; 7=con e falde di detrito attivi; 8=ruscellamento diffuso; 9=ruscellamento concentrato; 10=frane; 11=piramidi di terra e torri di erosione; 12=spfondamenti in copertura sciolta; 13=bordi di terrazzo fluviale; 14=coni di deiezione stabilizzati (a) e periodicamente o perennemente attivi (b,c); 15=forcelle e selle strutturali; 16=bordi di terrazzo strutturale; 17=gomiti fluviali; 18=aree modificate per processo antropico.

- Morphologic map. 1=cirques; 2=glacial terrace limb; 3=glacial overflow direction; 4=crioturbations; 5=soil swelling; 6=solifluction; 7=active talus slopes and fans; 8=rill erosion; 9=rainwash; 10=landslides; 11=earth and rock pillars; 12=collapse kettles in quaternary deposits; 13=fluvial terrace limb; 14=stabilized (a) and periodically or perennially active (b, c) alluvial fans; 15=structural forks and saddles; 16=structural terrace limbs; 17=fluvial elbow; 18=anthropic surface alterations.

aggiunto l'effetto morfogenetico delle ampie fasce di breccia di frizione determinate dai sovracorrimenti, primo dei quali la "linea di Sàuris" già citata.

Un cenno meritano ancora le strutture non cartografabili, che rientrano nel campo della minitettonica: dal nostro punto di vista esse devono essere ritenute importanti. Infatti la loro frequenza ha un ruolo sostanziale nella dinamica evolutiva delle masse rocciose affioranti. Fitte pieghettature e le conseguenti frequentissime serie di discontinuità minori provvedono ad incrementare l'erodibilità e quindi a favorire la disgregazione e perciò lo smantellamento dei versanti. In altre parole, l'esistenza delle ministrutture è di rilevante importanza per quanto riguarda le variazioni della permeabilità e della erodibilità dei litotipi esistenti, con produzione di forme teoricamente insospettabili, sulla base della sola costituzione litologica del territorio. Peraltro, queste ministrutture sono le più immediatamente riconoscibili da parte del rilevatore, essendo estremamente diffuse, a conferma del ruolo che assumono nei confronti degli agenti degradanti.

3. Elementi morfologici

Considerando la collocazione geografica e geologica dell'area, riteniamo superfluo sottolineare quali sistemi morfogenetici la caratterizzino: dal glaciale al periglaciale, dall'insieme fluviale a quello strutturale e gravitativo sembra evidente che tutti abbiano operato e in parte tuttora operino sui diversi ambienti in cui si articola l'area (MARINELLI, 1925; GORTANI, 1959). Di maggiore interesse, per il nostro studio, sono invece i presupposti e le conseguenze di ciò che sta accadendo nell'attuale stadio morfogenetico. La elevata dinamica evolutiva del postglaciale ha consentito la impostazione e l'accrescimento di corpi alluvionali e detritici provenienti dalle aree laterali al canale del collettore, con invasione di quest'ultimo e addirittura al suo sbarramento da parte del conoide degli Alzeri, con formazione di una forma lacustre, oggi scomparsa, ma rivelata da numerosi affioramenti di livelli di limo fino a 550 m di quota sopra Sutrio. MARTINIS (1979) ipotizza perciò che il lago si estendesse poco a monte di Paluzza.

La vivacità manifestata dall'ambiente ha avuto dunque sensibili conseguenze, che per certi aspetti, come diremo, perdurano tuttora (QUERINI, 1984, 1987; VAIA, 1980).

In particolare, il territorio esaminato è costellato da numerose forme, peraltro non sempre stabilizzate, derivate dalle condizioni di instabilità, che rappresentano una norma per questo territorio, considerati i presupposti già citati. Ne deriva dunque, anche da questo punto di vista, un carattere eminentemente giovanile degli interfluvii, così come indicato per il sistema drenante dai risultati dell'analisi geomorfica. Ciò tanto più evidente nelle fasce medio-superiori dove sia la litologia che l'erosione hanno imposto elevate

anomalie di gerarchizzazione e comunque sviluppi disarmonici degli ordini inferiori delle aste drenanti. Si osserva che lungo gli alvei di più recente formazione per ripresa erosiva sono state misurate pendenze elevatissime e così dicasi dei versanti che li confinano (oltre 70° anche in sedimenti sciolti), mentre lungo i conoidi di diverso ordine si passa da pendenze medie di 5° a valori di 13°- 14°. Questi dati suggeriscono rapida evoluzione del paesaggio sia in un passato preistorico e storico sia nell'attuale, come testimoniano le cronache, che registrano gli episodi più significativi che hanno coinvolto pesantemente la popolazione.

Compaiono diffusamente fenomeni di erosione accelerata sia lineare che areale e fenomeni franosi, cui si accompagnano forme spesso imponenti di accumulo, che tuttavia altrettanto frequentemente dimostrano la loro instabilità e la tendenza al rapido transito al di fuori dei luoghi di originaria deposizione.

Tutto ciò è ben illustrato anche dai risultati della valutazione del tributo solido (secondo ZEMLIJČ, 1971 e GAVRILOVIČ, 1972), che in questo territorio ci risulta di circa 100.000 mc/anno, tuttavia differenziato sensibilmente per i due versanti della valle del Bût (2/5 in destra e 3/5 in sinistra), con un valore dell'erosione specifica quasi doppio in sinistra ed una elevata attività di trasporto e redistribuzione del materiale sempre in sinistra,

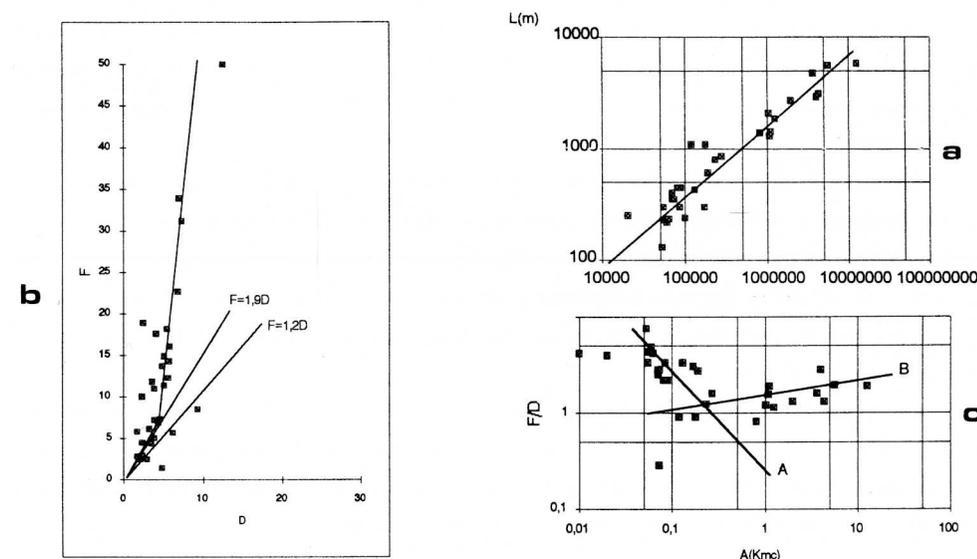


Fig. 2 - Lunghezze medie del drenaggio e aree drenate (a); frequenza F e densità di drenaggio D (b); F/D e aree di ciascun piccolo bacino (A) e dei bacini più estesi (B) (c).

- Average drainage systems lengths and drained areas (a); frequency F and drainage density D (b); F/D and relative areas of the small drainage basins (A) and of the largest ones (B) (c).

rilevabile in particolare in corrispondenza del T. Randis e del T. Ràdine. Un comportamento idrogeologico diverso, che tuttavia non va sottovalutato nell'area definita impropriamente "meno" attiva, cioè la zona in destra del collettore. Per quanto riguarda i singoli sottobacini si osserva solo che la gran parte presenta erodibilità apprezzabile e che i due terzi hanno erosione specifica superiore all'unità, fino a raggiungere valori estremi, più rari, da 6 a 10. Per tutto il bacino del Tagliamento chiuso a Ponte alla Carnia escludendo il Fella, venne valutato (ELC, 1979) un valore medio di 0.77. Quindi anche a distanza dall'esaurirsi dell'età glaciale (VAIA & MUSCIO, 1987), il territorio manifesta recupero di attività erosiva, soprattutto come reazione all'incremento dell'energia di rilievo. Le numerose forme di terrazzo (GORTANI, 1935), suddivise in più ordini, ne sono una delle prove più evidenti, assieme alle aspre reincisioni di molti degli alvei affluenti. Non è da escludere, dal quadro così individuato, l'influenza della più recente attività tettonica (VAIA, 1980), riconosciuta da numerosi autori come generale sollevamento dei rilievi alpini e prealpini carnici e giulii, pur differenziandosi il moto nei diversi blocchi principali in cui si suddividono i sistemi montuosi. L'attività erosiva, per quanto sensibile ovunque, è tuttavia da distinguersi, quanto a modalità ed effetti, in tre fasce di territorio: terrazzi e conoidi di fondovalle; terrazzi di mezzacosta; alte quote. Nella prima prevalgono fenomeni da erosione torrentizia e da esondazione, che coinvolgono direttamente i più frequenti manufatti antropici, che qui si concentrano per ovvii motivi, ma che risentono immediatamente delle scelte fatte. Ulteriore incidenza sull'area si verifica da parte dei fenomeni franosi di diverso tipo, principalmente crolli, che si innescano nelle porzioni di versanti immediatamente sovrastanti.

La seconda fascia, attualmente ancora da definirsi la più stabile in generale, con pendenze modeste e substrato in buone condizioni (non però dal punto di vista sismico), è interessata da alcuni insediamenti ed era sede di attività agricole e pastorali ora per lo più desuete: ciò significa degrado incipiente e progressivamente in peggioramento, specie a carico del sistema drenante, sempre più problematico dal punto di vista del ripristino delle condizioni di equilibrio.

La fascia delle alte quote è in condizioni di instabilità generale, soprattutto in funzione delle caratteristiche geolitologiche, climatiche e della copertura vegetale. L'insistenza di attività antropica indiscriminata in questa stessa fascia altera e altererà profondamente i già labili equilibri, con inevitabili ripercussioni sulle altre due.

4. Elementi del clima

In breve sintesi si espongono i risultati dell'elaborazione dei dati termometrici e pluviometrici registrati nelle stazioni di Zovello, Tolmezzo e Timau in un arco di tempo

variabile per i tre siti, ma compreso tra venti e trent'anni, tranne che per Zovello in cui il periodo di misure è stato di otto anni. Le tre stazioni esprimono in maniera significativa la situazione della media valle del Bût, pur essendone ai margini; quelle di Arta, Avosacco e Paluzza, pur essendo in zona, sono site in fondovalle in analoga posizione geografica e sono state scartate. Tuttavia è interessante osservare che i raffronti tra i dati in esse raccolti e i risultati dell'elaborazione effettuata per le altre stazioni non hanno evidenziato sostanziali differenze.

Informazioni importanti al fine di questo lavoro ci sembrano essere, per quanto riguarda l'andamento della temperatura, soprattutto le escursioni e la frequenza di determinati ambiti di valori, essendo tali aspetti da correlarsi con il modellamento dell'ambiente interessato dalle variazioni di questo elemento climatico. L'area ha raggiunto nel picco estivo un valore massimo di $+36^{\circ}$ e un minimo nel picco invernale di -16° , mentre le medie annue massime e minime si aggirano rispettivamente tra 18° - 20° e 0° .

Quindi mentre si rileva un'escursione assoluta di 52° , la realtà annua è ben più contenuta, essendo l'escursione media tra le medie del mese più caldo e di quello più freddo pari a 17.6° a Zovello e 19.8° a Tolmezzo.

Naturalmente la posizione impone variazioni non sempre rilevanti, ma che possono assumere significato dal nostro punto di vista. Si rileva che l'incremento di quota determi-

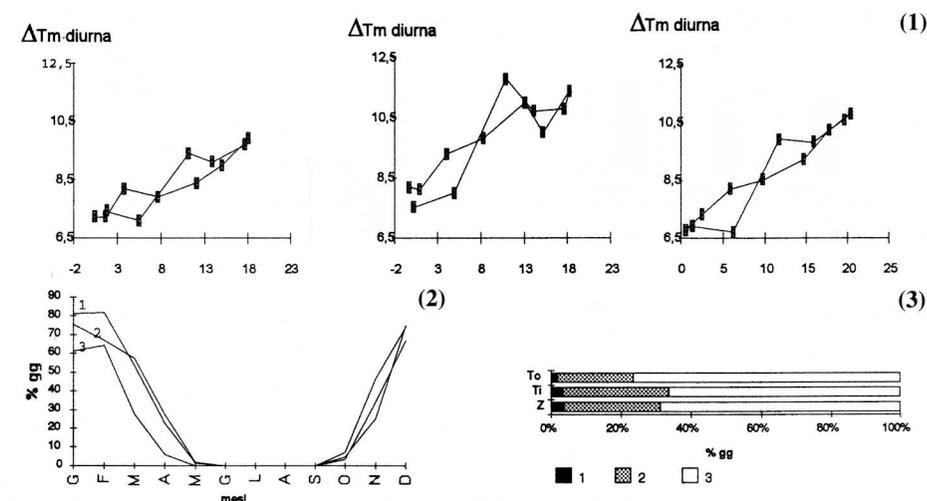


Fig. 3 - In alto, da sinistra, climogrammi per Zovello, Timau e Tolmezzo; in basso, da sinistra, giorni di gelo nell'anno (1=Timau, 2=Zovello, 3=Tolmezzo) e giorni di ghiaccio (1), gelo (2) e disgelo (3) nelle tre stazioni.

- Over, rightward, the climograms near Zovello, Timau and Tolmezzo; under, rightward, annual frost days (1=Timau; 2=Zovello; 3=Tolmezzo) and ice (1), frost (2) and thaw (3) at the three measure stations.

na appiattimento della curva termografica, con spostamento verso il basso di tutto l'andamento; così come l'esposizione (fondovalle o su versante) incide soprattutto sulle escursioni. Tali osservazioni sono compendiate dai climogrammi di fig. 3, in cui Tolmezzo e Timau presentano forti escursioni, con spostamenti verso temperature minori per Timau, ma senza sostanziali mutamenti tra le due stazioni; cosa che invece avviene per Zovello, in funzione della quota e dell'esposizione, che rendono più compresso il climogramma a significare escursioni più ridotte: 26.1° contro i 28.6° e 28.5° rispettivamente per Tolmezzo e Timau. Precisazione del quadro delle premesse climatiche per il degrado è fornita dal grafico dei giorni di gelo, che, coincidendo con il numero minimo dei cicli di gelo e disgelo, rivestono a tal fine notevole importanza. I giorni di gelo si distribuiscono su un arco di 8 mesi. Il massimo dei cicli si ha a febbraio per il fondovalle e a gennaio per le alte quote, confermando il ruolo della quota sul comportamento delle temperature.

Questo quadro, che consente di definire il clima dell'area di tipo moderato, si completa con una temperatura media annua di 9.6° , in accordo con l'isoterma proposta da POLLI (1971).

Le precipitazioni, elemento del clima non certo secondo per la sua importanza nell'evoluzione dell'ambiente, presentano un decremento dei regimi procedendo verso nord,

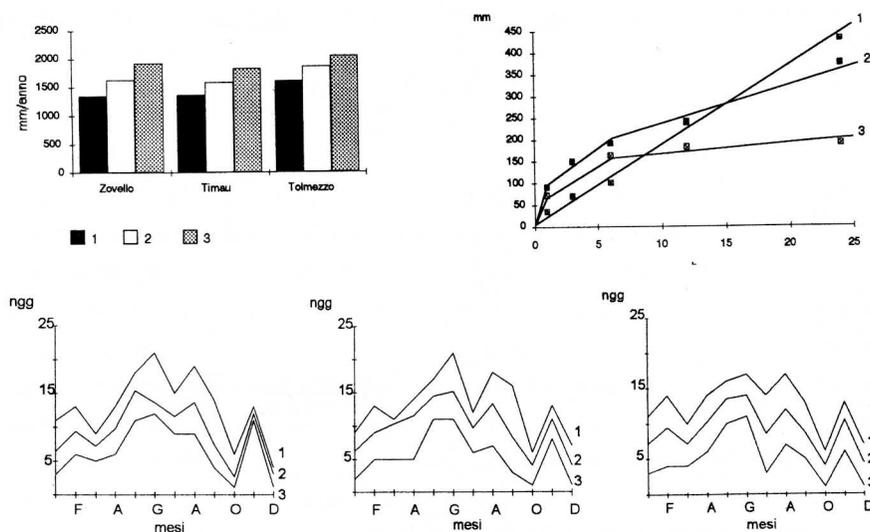


Fig. 4 - Da sinistra e dall'alto: importi pluviometrici minimo (1), medio (2) e massimo (3); possibilità pluviometriche massime da 1 a 24 ore; regime dei giorni piovosi a Zovello, Timau e Tolmezzo.

- Rightward and downward: minimum (1), medium (2) and maximum (3) pluvial input; max rain possibility from 1 to 24 hours; rainy days system at Zovello, Timau and Tolmezzo.

inserendo il bacino nella fascia di transizione tra il regime alpino e quello prealpino-subalpino: sono presenti infatti due picchi in tarda primavera e in autunno, con un massimo secondario in febbraio, mentre compaiono minimi in marzo, in luglio e in ottobre (andamento alpino nel primo semestre e prealpino nel secondo).

L'andamento delle precipitazioni così distribuite non è sempre regimabile dal bacino in funzione della sua struttura; ne conseguono piene anche eccezionali in autunno, con le conseguenze purtroppo ben note. Il grafico di fig. 4 rappresenta le curve di possibilità pluviometrica fino a 24 ore, rivelando come nelle prime nove ore si abbia il massimo incremento nelle aree di fondovalle e come esso sia invece minore, e soprattutto costante, su versante. La difesa si presenta dunque più efficace, in queste ore, nelle fasce a quota superiore, mentre diventa già difficile nei fondovalle, tenendo tra l'altro conto anche dei ridotti tempi di corrvazione. Il 1986 e il 1983 hanno visto il raggiungimento della soglia della catastrofe tra le 3 e le 12 ore dall'inizio dell'evento meteorico. A ciò si aggiunga la coincidenza di questo tipo di eventi con il momento di assenza degli apparati fogliari. Quindi anche se gli importi massimi del bacino non superano i 2000 mm, decrescendo le medie, come detto, dai 1865 mm di Tolmezzo ai 1634 mm di Zovello e ai 1585 mm di Timau, definendo una media annua di 1719 mm, la loro distribuzione nel tempo e nello spazio determina il comportamento ora illustrato. Ciò si deduce agevolmente dai grafici che rappresentano l'andamento massimo, medio e minimo dei giorni piovosi nelle tre stazioni considerate.

5. Lo stato delle masse rocciose

A seguito dei caratteri ambientali illustrati nei capitoli precedenti, si delinea già un potenziale insieme di situazioni improntate da discreta o elevata dinamicità dell'evoluzione dei rilievi. Si tratta ora di verificare se le condizioni delle masse affioranti consentono realmente questo comportamento. Sulla base della letteratura (GORTANI, 1920; FRASCARI & ZANFERRARI in AA.VV., 1977) e del rilevamento di campagna sono state definite cinque classi litotecniche, ciascuna contraddistinta da un valore numerico diverso, che ne quantifica l'influenza sulla stabilità. Sulla base delle caratteristiche geomeccaniche, i numeri decrescono con la tendenza alla stabilità.

Nella classe con valore 10, a comportamento geomeccanico definito "ottimo", rientrano le masse carbonatiche con stratificazione potente o assente, senza intercalazioni terregine (Formazione del Serla e Formazione dello Schlern o Dolomia Cassiana, siglate in carta rispettivamente con Se e DC).

La successiva classe, con valore 8, a comportamento geomeccanico "buono", comprende in prevalenza rocce carbonatiche piuttosto compatte, ma con fitta stratificazione,



Fig. 5 - Carta litotecnica. 1=litologie a comportamento geomeccanico ottimo; 2=litologie a c.g. buono; 3=litologie a c.g. medio; 4=litologie a c.g. scarso; 5=litologie a c.g. pessimo; 6=geometrie di separazione della massa rocciosa (1=4-5 serie; 2=5-6 serie; 3=6-7 serie; 4=8-9 serie di discontinuità); 7=confine litologico.

- Lithotechnic map. 1=lithologies with an excellent geomechanic behaviour; 2=with a good behaviour, 3=with a medium behaviour; 4=with a poor behaviour; 5=with a bad behaviour; 6=rock mass joint geometry (1=4-5 families; 2=5-6 ones; 3=6-7 ones; 4=8-9 ones); 7=lithologic boundary.

frequenti intercalazioni terrigene e ministrutture plicative. Rientra nella classe anche un conglomerato ben cementato con elevate capacità di resistenza e comportamento isotropo in tal senso. Sono qui raggruppati il membro superiore della Formazione a *Bellerophon* (CB), i calcari alla base della Formazione di Raibl (CR) e il conglomerato di Ognissanti (Cg).

La classe con valore 5 raccoglie litologie che hanno comportamento geomeccanico "mediocre", con scarsa resistenza, definita da prevalenza di stratificazione netta e sottile, fitte pieghettature e facile alterazione con conseguente degradabilità della massa. Vi rientrano pertanto le Arenarie di Val Gardena (AVG), i livelli calcarei della Formazione di Werfen (CW) e le siltiti del Werfen (SW).

La penultima classe litotecnica, che assume il valore 3, comprende litotipi con basse capacità e quindi comportamento geomeccanico "scarso": formazioni prequaternarie che hanno ormai subito un elevato degrado della struttura originaria e depositi quaternari con ridotti valori della coesione. Vi compaiono le breccie e le dolomie cariate della Formazione a *Bellerophon* (DB), le siltiti del Gruppo di Raibl (SR), il till glaciale (Ti), le alluvioni recenti (AR) e i coni e le falde di detrito stabilizzati (DS), oltre ai conoidi di deiezione non attivi (CI).

Comportamento geomeccanico "pessimo" è stato attribuito ai litotipi compresi nella classe a valore 1, per lo più sempre al limite della stabilità per pressochè totale perdita della coesione delle rocce prequaternarie e per la pressochè nulla resistenza dei sedimenti quaternari che affiorano in genere in condizioni topografiche e geometriche del tutto precarie. Vi rientrano pertanto i gessi permici (GB), i litotipi della Formazione di Lusnizza (FL), le marne della Formazione del Bivera (MG), i depositi lacustri (DL), le falde e i conoidi di detrito attivi (DI), le alluvioni dei conoidi di deiezione attivi (CA), le alluvioni prossime al thalweg (AT).

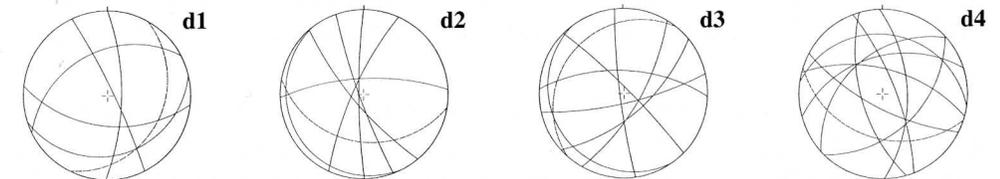


Fig. 6 - Esempi di geometrie disgiuntive: D1=calcari e marne werfeniane tra Fielis e Noiaris; D2=siltiti werfeniane tra Piano e Lander; D3=calcari e siltiti werfeniani verso casera Nondovana; D4=calcari a *Bellerophon*, Rio Piscignon. A tratteggio il piano del versante.

- Joint patterns examples: D1=werfenian limestones and marls between Fielis and Noiaris; D2=werfenian siltstones between Piano and Lander; D3=werfenian limestones and siltstones towards Nondovana farmstead; D4=Bellerophon limestones on Piscignon creek. Dotted line = slope plain.

Il modello di comportamento viene costruito anche in funzione dell'assetto delle masse stratificate e pertanto sono state create classi comprendenti diverse situazioni di giacitura e quindi diversi presupposti per l'instabilità (i valori numerici sono sempre decrescenti con la stabilità). La carta di lavoro raffigura le aree con diverso rapporto geometrico tra stratificazione e superficie topografica, essendo tali rapporti quantificati da valori numerici in funzione della loro influenza sulla stabilità. A ciò si è affiancato lo stato delle masse rocciose, espresso dal tipo e dal grado di fratturazione presentato dalle masse stesse. Le analisi strutturali effettuate in 36 stazioni, statisticamente ed opportunamente distribuite sul territorio, hanno messo in luce cinque diverse situazioni, che si ritengono determinanti per quanto riguarda la potenziale instabilità dei versanti, definite da numero e frequenza delle discontinuità, dalle dimensioni delle stesse e dai rispettivi fattori di sicurezza. I diagrammi rappresentativi delle situazioni limite sono raffigurati in fig. 6. Gli strati a reggipoggio, con direzione posta a meno di 25° rispetto a quella del versante, sono compresi nella classe con valore 10. Quelli a contropoggio con direzione a meno di 25° rispetto a quella del versante, sono inseriti nella classe con valore 9. Gli strati suborizzontali (inclinazione inferiore ai 10°), per la generale tendenza a favorire la stabilità, sono compresi nella stessa classe.

Le situazioni in cui la stratificazione assume disposizioni a traversopoggio del reggipoggio, con direzione posta a più di 25° rispetto a quella del versante, rientrano nella classe con valore 8. La situazione opposta, a traversopoggio del franapoggio, è quantificata da un valore pari a 4; l'ulteriore peggioramento espresso dalla giacitura a franapoggio si quantifica con il valore 2. Valore intermedio, pari a 3, è stato attribuito alle giaciture irregolari rilevate nella ristretta area di Squassa situata a oriente di Fielis: ne emergono condizioni a sfavore della stabilità attenuate sia dalla ricementazione sia dall'inesistenza di superfici con elevata continuità. Tutti i depositi quaternari sciolti presenti nella media valle del Bût non dimostrano particolari resistenze a taglio, pertanto, anche in assenza di prove specifiche, si è attribuito ad essi il valore minore di questa successione di presupposti all'instabilità, pari a 1.

Cinque classi definiscono a loro volta lo stato delle masse rocciose, in funzione del numero e della frequenza delle famiglie di discontinuità che caratterizzano il sistema all'intorno del punto di misura. Nella carta allegata le famiglie con 6 e 7 serie sono state riunite nella stessa classe. Sistemi con 4 serie a spaziatura ridotta o da 5 serie con spaziatura da decimetrica a metrica rappresentano le situazioni migliori, che sono espresse dal valore -1 (tutti i valori sono negativi, così come inteso e necessario al nostro presupposto di elaborazione, in quanto comunque a sfavore della stabilità). Le masse interessate da 5 famiglie a spaziatura ridotta o da 6 a spaziatura da decimetrica a metrica assumono valore

di -2. Allorché la frequenze aumentano e le spaziature diminuiscono generalmente, la compromissione è evidentemente maggiore. Pertanto nel caso di 6 serie con spaziature tali che $1 \text{ cm} \leq s \leq 1 \text{ dm}$, il valore attribuito è pari a -3. Le masse rocciose con spaziatura $1 \text{ cm} \leq s \leq 1 \text{ dm}$ e con 7 serie di discontinuità sono inserite nella classe con valore pari a -4, qualunque sia il litotipo, poiché in ogni caso le masse ne sono fortemente condizionate.

Quando compaiono, come è stato rilevato in alcune aree della media valle del Bût, ben 8 o 9 serie di discontinuità con spaziatura ridotta ($1 \text{ cm} \leq s \leq 1 \text{ dm}$) le condizioni di instabilità appaiono già a prima vista molto accentuate. Alla classe che accoglie queste situazioni è stato attribuito il valore di -5. Per quanto riguarda il grado di libertà della massa rocciosa e dei valori del fattore di sicurezza che lo esprimono, si rileva che nelle stazioni di misura di cui si è detto, sono state individuate 65 situazioni con libertà di movimento. In meno della metà dei casi il fattore di sicurezza risulta $F_s \geq 1.5$, con punte fino a $F_s = 4$. Le altre situazioni dimostrano stabilità per lo più assai precaria, essendo i valori del fattore di sicurezza bassi, molto spesso di molto inferiori a 1.

Tutto ciò conferma la morfologia tormentata da eventi franosi che si riscontra sui versanti della media valle del Bût e ne sottolineano in maniera particolarmente efficace il grado di instabilità.

6. La velocità di evoluzione

I valori attribuiti ai diversi elementi considerati nel capitolo precedente e posti in gioco al fine di valutare il comportamento delle masse rocciose, sono stati posti in reciproca relazione per determinarne l'effetto complessivo, anche in funzione delle caratteristiche climatiche, della copertura vegetale e dell'acclività. La somma algebrica dei valori numerici sopra illustrati giunge in tal modo a quantificare più che il reale grado di stabilità piuttosto la tendenza evolutiva dei luoghi.

La carta tematica che ne risulta, rappresentata in fig. 7, ottenuta dalla diretta sovrapposizione di tutte le carte di lavoro monotematiche, evidenzia pertanto cinque tipi di area con diversa velocità di evoluzione. Dalla somma algebrica dei singoli valori già citati in precedenza risulta, a titolo di curiosità, che in nessuna area si è verificata la sovrapposizione di tutte le classi più sfavorevoli (che porterebbe a un valore di -6) e tuttavia non si verifica la sovrapposizione delle sole classi più favorevoli (il risultato sarebbe un coefficiente pari a 33). Gli estremi numerici ottenuti sono infatti compresi tra 0 e 29.

Semplificando quanto ottenuto nel dettaglio del lavoro svolto, anche per comodità tipografica, gli intervalli sono di 5-6 punti, che definiscono le cinque aree a diversa velocità di evoluzione, così come illustrate dall'elaborato.

6.1. Classe a bassa velocità

Vi rientrano le aree in cui i fattori considerati (comportamento geomeccanico dei litotipi, permeabilità generale, acclività, vegetazione, evidenze di instabilità, giaciture e grado di fratturazione) giocano a favore di una decisa stabilità, che non mostra tendenza ad evolvere verso differenti morfologie. Tali aree sono in percentuale alquanto contenuta sul totale del territorio esaminato. L'intervallo dei valori relativi alla velocità di evoluzione di questa classe è compreso tra 25 e 29.

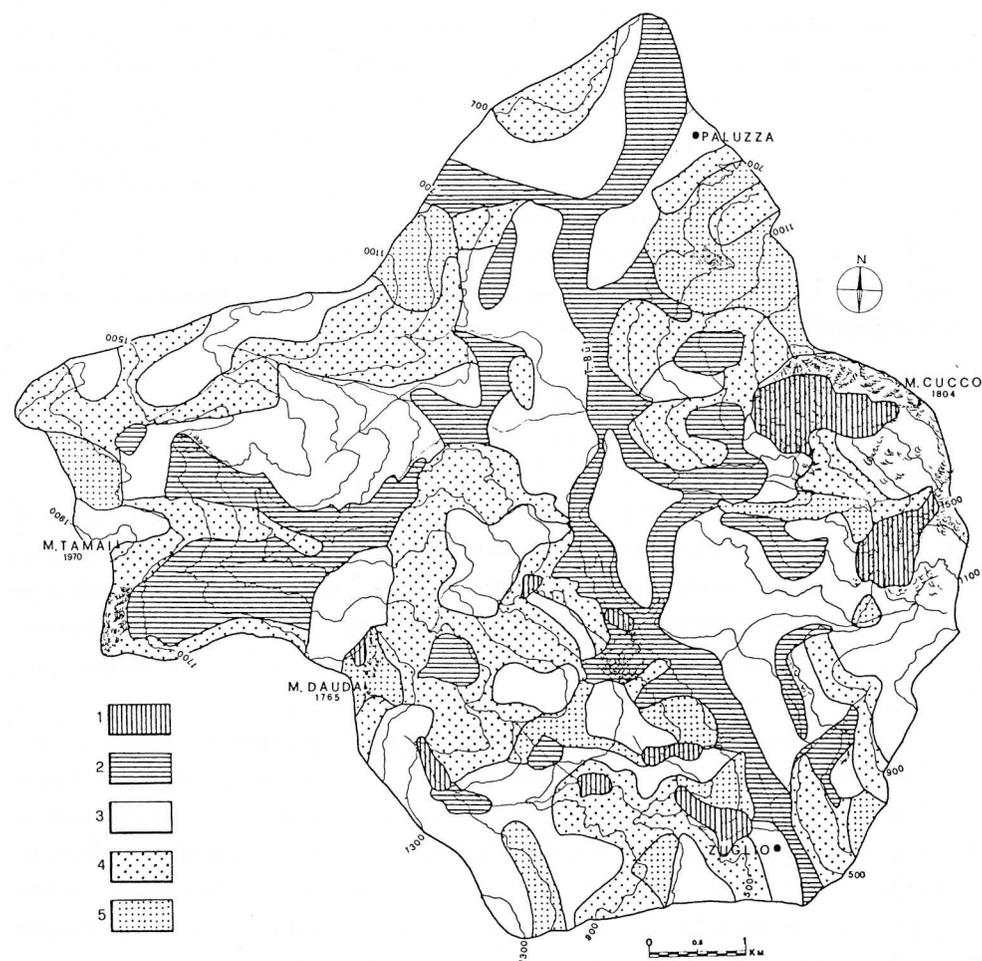


Fig. 7 - Carta delle velocità di evoluzione: 1=elevata; 2=buona; 3=media; 4=moderata; 5=bassa.
- Evolution velocity map: 1=high; 2=good; 3=medium; 4=moderate; 5=low.

6.2. Classe a moderata velocità di evoluzione

Le aree che vi rientrano consentono di considerarle ancora discretamente affidabili, pur rivelandosi gli estremi inferiori caratterizzati da una sensibile dinamicità. Infatti gli estremi della classe sono rispettivamente 24 e 19. Tale classe compare con elevata percentuale ed è inferiore solo alla seguente. Quindi se ne deduce che la media valle del Bût è in manifesta trasformazione del paesaggio solo in aree contenute e ben precise, mentre in media essa è caratterizzata da velocità minori.

6.3. Classe a media velocità di evoluzione.

È la classe più diffusa nel territorio studiato e vi si riscontra una discreta tendenza morfoevolutiva, che talora sfocia in situazioni di precaria stabilità. Spesso ciò è determinato dalla convivenza di fattori pessimi e fattori ottimi o ancora dal sovrapporsi di diversi fattori con valori medi, quindi indicativi di condizioni mediocri, non decisamente destabilizzanti, ma di scarsa affidabilità in senso morfogenetico. Infatti le aree con queste caratteristiche sono interessate non tanto da fenomeni di evidente ed accentuata instabilità, quanto da piccoli e continui episodi di variazione morfologica, con differenziazioni in tal senso definite dai limiti massimo e minimo, rispettivamente pari a 18 e 13. A titolo di esempio osserviamo che le vaste aree tillitiche sono caratterizzate da valori attorno a 13 o 14 e che il limite superiore è raggiunto dal litotipo con ottime caratteristiche geomeccaniche (dolomie del Serla) a traversopoggio del franapoggio con media protezione vegetale.

6.4. Classe a buona velocità di evoluzione

Vi si riscontra la sovrapposizione di elementi in maggioranza sfavorevoli. Le trasformazioni del paesaggio sono evidenti e continue. I limiti della classe sono rispettivamente 12 e 7. Tali situazioni si riscontrano omogeneamente distribuiti su entrambi i versanti della media valle del Bût ed confermano la tendenza del bacino montano a portarsi verso condizioni di miglior equilibrio. Vi si riscontrano aree sottoposte ad erosione accelerata, con frane contenute; continua produzione di detrito; occasionali fenomeni franosi importanti; continua rielaborazione da parte delle acque superficiali.

6.5. Classe ad elevata velocità di evoluzione

I limiti superiore ed inferiore della classe sono 6 e 0. Vi interagiscono elementi i più sfavorevoli alla stabilità o, meglio, i più favorevoli alla dinamicità delle superfici.

Nelle aree così caratterizzate l'evoluzione è continua, con erosione accelerata, frequenti movimenti franosi, aspetti calanchivi diffusi. La tendenza al raggiungimento di condizioni di equilibrio è dunque elevatissima. La percentuale con cui tale classe appare nel territorio non è irrilevante e impone una certa considerazione nella pianificazione e nella gestione del territorio stesso.

7. Conclusioni

La dinamicità della parte mediana del bacino che fa capo al T. Bût è rivelata anche dallo stato della rete drenante, così come risulta dall'analisi geomorfica effettuata, pur con

i limiti imposti dalla incompletezza del bacino entro i confini dell'area considerata. Dei 32 sottobacini distinguibili, solo 3 sono di ordine superiore o uguale al III, occupando però più del 68% dell'intera superficie.

Dall'analisi risulta una esuberanza delle aste del I ordine, con caratteri di scarsa gerarchizzazione, soprattutto per un accentuato condizionamento strutturale, con una certa differenza di comportamento sui due versanti del Bût. Tutto ciò, assieme al fatto che si assiste comunque ad una certa proporzionalità, a tutti i livelli, tra incremento delle lunghezze del sistema e incremento delle aree drenate, induce a ritenere che se da un lato le strutture vincolano lo sviluppo ottimale della rete drenante, dall'altro le litologie e il loro stato siano a favore dello sviluppo della rete stessa.

In queste condizioni, il reticolo esprime una tendenza piuttosto evidente all'erosione per il raggiungimento delle condizioni ottimali, tenuto conto che spesso l'analisi dei più piccoli (e più frequenti) sottobacini è falsata proprio dalle dimensioni.

A questa tendenza contribuisce la distribuzione delle pendenze dei versanti e quindi degli affioramenti. L'acclività compresa tra 30° e 40° è la dominante nell'area, con il 30% di superficie coinvolta; con la precedente classe di acclività tra i 20° e i 30° copre più della metà dell'area, condizionando e favorendo la tendenza alla destabilizzazione delle masse rocciose affioranti. Si tratta infatti di pendenze prossime o superiori al limite consentito dai valori d'attrito posseduto dalle masse stesse.

Anche la distribuzione della copertura vegetale presenta caratteri che rendono vario l'apporto alla stabilità e, per contro, alla diversa velocità di evoluzione. Pur esistendo numerose ed estese aree coperte da bosco misto con ottima capacità di protezione, in particolare sul versante occidentale. Esistono per contro ampie aree in cui la protezione vegetale è nell'insieme scarsa o nulla.

Gli effetti di queste situazioni si riscontrano nei valori del complessivo tributo solido fornito dagli interfluvii alla rete drenante e della relativa erosione specifica.

Da quanto detto finora si può riconoscere un discreto grado di immaturità alla media valle del Bût; tettonica recente, esarazione e sue dirette conseguenze, eventi meteorici importanti (eccezionali, ma pur sempre relativamente frequenti: VEGGIANI, 1987) e azione antropica ne sono i presupposti fondamentali, determinando le tendenze morfogenetiche e le morfologie che attualmente caratterizzano i luoghi. Forme e fenomeni riconosciuti suggeriscono condizioni tutt'altro che prossime all'equilibrio ottimale e quindi elevata dinamicità evolutiva. Infatti più del 60% del territorio ha velocità evolutiva considerevole. I risultati dell'indagine consentono di suddividere la zona in tre ambiti: fondovalle, settore in sinistra del Bût e settore in destra del collettore.

La prima area per più del 75% della sua estensione ha tendenza diffusa ad una dina-

micità accentuata, con velocità di evoluzione da media a buona. Si osserva che alcune superfici, che ad una sommaria osservazione sembravano prive di dinamicità significativa (alle spalle di Arta e di Sutrio), sono in realtà sede di processi evolutivi accelerati. Il fatto che il fondovalle abbia questi caratteri richiede particolare attenzione, poiché coinvolge l'altrettanto elevata necessità di tutela delle aree antropizzate. La precarietà di questa fascia è d'altro canto confermata dalle conseguenze dei picchi annuali dell'alimentazione meteorica. Le fasce di versante prossimali rispondono a questa dinamicità a seguito dell'elevata energia di rilievo, degli effetti ancora sensibili della decompressione postglaciale e del grado di fratturazione delle masse rocciose.

La seconda area individuata, che si identifica con la sinistra della media valle del Bût, presenta velocità evolutiva prevalentemente elevata specie nelle fasce medio-superiori. Vistose sono le forme di instabilità sia per le condizioni geomeccaniche, da scarse a pessime, che per l'elevata acclività media e per la frequenza dei depositi tillitici. Si ritiene inoltre che su questo versante l'esarazione sia stata particolarmente intensa, con conseguenze ancora attuali. Nonostante si siano già manifestati imponenti fenomeni di rilassamento e di assestamento tendenti al riequilibrio dell'area, la parte orientale del territorio studiato dimostra ancora la sua permanenza nei limiti dell'elevata velocità di evoluzione e la possibilità di numerose manifestazioni di instabilità, anche vistose.

Nel terzo settore le aree a velocità evolutiva buona o elevata sono più contenute, rispetto ai settori precedenti. Vi compaiono infatti masse rocciose con caratteri geomeccanici migliori, affioranti su pendici mediamente meno acclivi, anche se tale parametro vi appare distribuito con discreta irregolarità. Ancora una volta si rileva che le fasce più dinamiche sono poste verso il fondovalle; tali caratteri compaiono poi nelle fasce alte, purtroppo interessate soprattutto dal turismo invernale. Sulle pendici dei monti Tamai, Arvenis e Zoncolan si concentrano le aree a buona velocità evolutiva, con possibilità di fenomeni anche estesi di assestamento degli equilibri. L'attività antropica di sfruttamento di queste aree per motivi di turismo invernale non ha tenuto conto manifestamente di tali caratteri.

In conclusione, il quadro che illustra le tendenze evolutive della media valle del Bût rientra nell'ambito dei territori con caratteri ancora giovanili, con attuali e future manifestazioni di dinamicità e quindi di instabilità numerose e consistenti. Solo in corrispondenza delle quote medie del settore occidentale tale tendenza appare smorzata.

Bibliografia

- AA.VV., 1969 - Studio geologico dell'area maggiormente colpita dal terremoto friulano del 1976 (a cura di B. Martinis). *Riv. It. Pal. e Strat.*, 83 (2): 199-393, Milano.
- ELLETTROCONSULT, 1979 - Studio dell'assetto fluviale e costiero della Regione Friuli-Venezia Giulia. *Reg. Aut. F.V.G.*, sez.I, Trieste.
- FERUGLIO E., 1929 - Nuove ricerche sul Quaternario del Friuli. *Giorn. Geol.*, 4: 1-36, Bologna.
- FRASCARI F., 1969 - Ricerche tettoniche nel gruppo montuoso dell'Arvenis (Carnia). *Giorn. Geol.*, 36: 101-126, Bologna.
- GAVRILOVIĆ S., 1972 - Inzenjerin o bujenim touvinij i erozij. *Casopis "Isgradnia"*, spec. iss., pp. 292, Beograd.
- GORTANI M., 1920 - I bacini della But, del Chiarsò e della Vinadia in Carnia. Geologia, morfologia, idrografia. Carta della permeabilità delle rocce. *Uff. Idrogr. R. Mag. a. Acque*, 104, pp.71, Venezia.
- GORTANI M., 1935 - I terrazzi nel bacino montano del Tagliamento e nelle valli contigue. *Giorn. Geol.*, 9 bis: 1-42, Bologna.
- GORTANI M., 1959 - Carta della glaciazione würmiana in Friuli. *Atti Acc. Sc. d. Ist. Bol.*, a. 247, *Rend.*, 11 (6): 3-11, Bologna.
- MARINELLI O., 1925 - Guida della Carnia e del Canal del Ferro. *Tip. Carnia*, pp.704, Tolmezzo.
- MARTINIS B., 1979 - Le acque sulfuree di Arta e il loro ambiente geologico. *Tip. Aviani*, pp. 185, Udine.
- POLLI S., 1971 - Il clima della Regione. *Encicl. Monogr. del FVG*, 1: 442-488, Udine.
- QUERINI R., 1984 - Il nubifragio delle Alpi Carniche Orientali (11 settembre 1983) ed i conseguenti dissesti idrogeologici. *Acc. It. Sc. Forest.*, 33, pp. 52, Firenze.
- QUERINI R., 1987 - Riflessioni sui grandi nubifragi e le piene disastrose del 1966 nelle Prealpi a Alpi Carniche e Giulie. *In Alto*, 69 (4): 135-140, Udine.
- SELLI R., 1963 - Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali. *Giorn. Geol.*, 30, pp. 121, Bologna.
- VAIA F., 1980 - Erosione lineare ed erosione areale del T. Travasans (Moggio Udinese): relazioni con fenomeni di tettonica recente. *St. Trid. Sc. Nat. (Acta Geol.)*, 57: 15-26, Trento.
- VAIA F. & MUSCIO G., 1987 - Le età glaciali quaternarie nella regione carnico-friulana. *Biogeographia*, 13: 15-23, Firenze.
- ZEMLIČ M., 1971 - Calcul du debit solide: evaluation de la vegetation comme un des facteurs antie-rosifs. *Acta Internat. Symp. "Interpraevent"*: 359-370, Villach.
- VEGGIANI A., 1987 - Le fluttuazioni del clima dal XVIII al XX secolo. I cicli di Brückner. *Boll. Soc. Torricelliana di Sc. e Lett.*: 107-159, Faenza.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- Dr.ssa Antonella GONANO
via Moimacco 1, I-33100 UDINE
- Dr.ssa Daniela RIPANTI
via Morosina 14, I-33100 UDINE
- Prof. Franco VAIA
Istituto di Geologia e Paleontologia
dell'Università degli Studi
Piazzale Europa 1, I-34100 TRIESTE