

MARIA E. MASSARO (*), MARIA RUSSO (*) & AGOSTINO ZUPPETTA (**)

ANALISI INDIRETTA DELL'ENTITÀ DELL'EROSIONE NEL BACINO DEL FIUME TAMMARO (APPENNINO CAMPANO)

ABSTRACT: MASSARO M.E., RUSSO M. & ZUPPETTA A., *Fluvial erosion in the Tammaro River basin (Campanian Apennines)*. (IT TSSN 0391-9838, 1996).

A multiple regression analysis, using network geomorphic parameters drainage density Dd and density of hierarchical anomaly Δa as independent variables, was performed to calculate the value of suspended sediment yield Tu . The calculated values mainly fall into the $[72,69 \div 1048,77]$ tons/km²/year class interval, therefore testifying that almost 94% of the basin area is characterized by low-medium intensity erosional processes, a phenomenon that can be easily understood considering the nature of the geologic formations outcropping in the Tammaro hydrographic basin mainly made of competent, low-erodible rocks. High values of suspended sediment yield, belonging to $[826,43 \div 3405,90]$ and $[> 3405,90]$ tons/km²/year class intervals, are found for sub-basins located closer to the valley bottom, on the eastern side of the Tammaro River where more less competent rocks outcrop. Finally, we have evaluated the suspended sediment yield for the whole Tammaro basin as 273 tons/km²/year, an estimate that leads to 216540 tons/year of total amount of suspended eroded sediment in the basin.

KEY WORDS: Quantitative geomorphology, Fluvial erosion, Campanian Apennines, Italy.

RIASSUNTO: MASSARO M.E., RUSSO M. & ZUPPETTA A., *Analisi quantitativa indiretta dei processi di erosione nel bacino del Fiume Tammaro (Appennino campano)*. (IT TSSN 0391-9838, 1996).

È stata utilizzata una metodologia messa a punto dagli Autori della scuola romana per stimare il deflusso torbido unitario medio Tu nel bacino idrografico del fiume Tammaro. Essa consiste in un'analisi regressiva multipla che ha permesso di individuare delle relazioni logaritmiche e/o semilogaritmiche che correlano i parametri geomorfici caratteristici del reticolo idrografico, in qualità di variabili indipendenti, con il $\log Tu$.

In particolare, per il bacino del Tammaro sono state utilizzate le equazioni in cui compaiono il parametro densità di drenaggio Dd , che controlla in larga parte le variazioni del Tu , e l'indice di anomalia gerarchica Δa perché interessato dal più basso coefficiente di correlazione con

Dd . I valori del trasporto torbido unitario così calcolati appartengono per la quasi totalità all'intervallo $[72,69 \div 1048,77]$ tonni/km²/anno. In termini percentuali più del 93% dei bacini esaminati risulta quindi caratterizzato da processi erosivi di intensità medio-bassa perché impostati in prevalenza su litotipi arenacei e calcarei lapidei poco erodibili. Valori del trasporto torbido particolarmente elevati, appartenenti agli intervalli $[826,43 \div 3405,90]$ e $[> 3405,90]$ tonni/km²/anno, sono tipici di processi erosivi intensi e sono stati determinati per sottobacini caratterizzati da una maggiore erodibilità dei litotipi affioranti.

Il valore del trasporto torbido unitario calcolato per l'intera rete drenante del Tammaro, pari a 273 tonni/km²/anno, è invece tipico di bacini in cui affiorano litotipi poco erodibili. Infine, la quantità totale dei materiali erosi nell'intero bacino, ottenuta sommando la quantità di materiali che in ogni sottobacino viene asportata annualmente dai versanti e convogliata come carico torbido nel collettore principale, è risultata pari a 216540 tonni/anno.

TERMINI CHIAVE: Bacini di drenaggio, Geomorfologia quantitativa, Erosione fluviale, Appennino campano.

INTRODUZIONE

La stima, diretta o indiretta, della quantità di materiali trasportati in sospensione dalle acque incanalate riveste un ruolo importante quando si voglia valutare l'intensità dei processi erosivi in atto in un bacino di drenaggio.

La stima diretta viene effettuata analizzando i dati raccolti con apparecchiature sperimentali per la misura dell'erosione del suolo e del trasporto solido dei corsi d'acqua (CIET & TAZIOLI, 1978; BECCHI & *alii*, 1979; FERRETTI & *alii*, 1979).

Per i bacini sprovvisti di stazioni di misura dedicate, il deflusso torbido Tu viene stimato invece per via indiretta utilizzando parametri climatici e/o morfometrici quali precipitazioni, erodibilità del suolo, lunghezza e pendenza dei versanti, temperatura, presenza di opere di sfruttamento e di difesa del suolo, etc. (COOKE & DOORNKAMP, 1974 e bibliografia; GAZZOLO & BASSI, 1961; 1964). In questo ambito, a partire dagli anni '80, alcuni Autori della scuola romana hanno messo a punto per i bacini idrografici della penisola italiana una metodologia basata sull'analisi regressiva

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli «Federico II».

(**) Dipartimento di Scienze Fisiche «E.R. Caianiello», Università degli Studi di Salerno, sede di Benevento.

Lavoro eseguito e pubblicato con i Fondi Murst 60% & 40% (Resp.: M. Russo e A. Zuppetta).

multipla di fattori geomorfici esprimibili in termini numerici. Si tratta di una metodologia di analisi, utilizzabile per qualsiasi bacino di drenaggio, che ha portato ad individuare una serie di relazioni quantitative che legano il $\log Tu$ ai parametri che, esprimendo il grado di organizzazione e di sviluppo della rete drenante, costituiscono i principali fattori dell'erosione (LUPA PALMIERI, 1983; CICCACCI & *alii*, 1987 e bibliografia; LUPA PALMIERI, 1989).

Il presente lavoro è consistito appunto in un'analisi geomorfica della rete drenante del Fiume Tammaro, volta alla determinazione quantitativa di quei fattori dell'erosione che compaiono nella relazione utilizzata per il calcolo del Tu . I risultati ottenuti sono stati espressi sinteticamente in una carta tematica.

IDROGRAFIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE DEL BACINO

Il bacino idrografico del Tammaro, fiume che nasce dalle propaggini sud-orientali dei Monti del Matese tra il Colle Finocchiaro e Monte Tre Confini, occupa buona parte dei Fogli 162 (Campobasso), 173 (Benevento) e, per un settore molto limitato, il Foglio 174 (Ariano Irpino) della Carta Topografica d'Italia. Ha una forma allungata in direzione NW-SE, un'estensione di 675,70 km² e una quota media di 590,13 m s.l.m.. Il corso d'acqua principale divide il bacino in due parti non simmetriche: nelle aree a settentrione il fiume è accostato infatti allo spartiacque di destra; nella parte centrale, da Campolattaro fino al Vallone S. Ni-

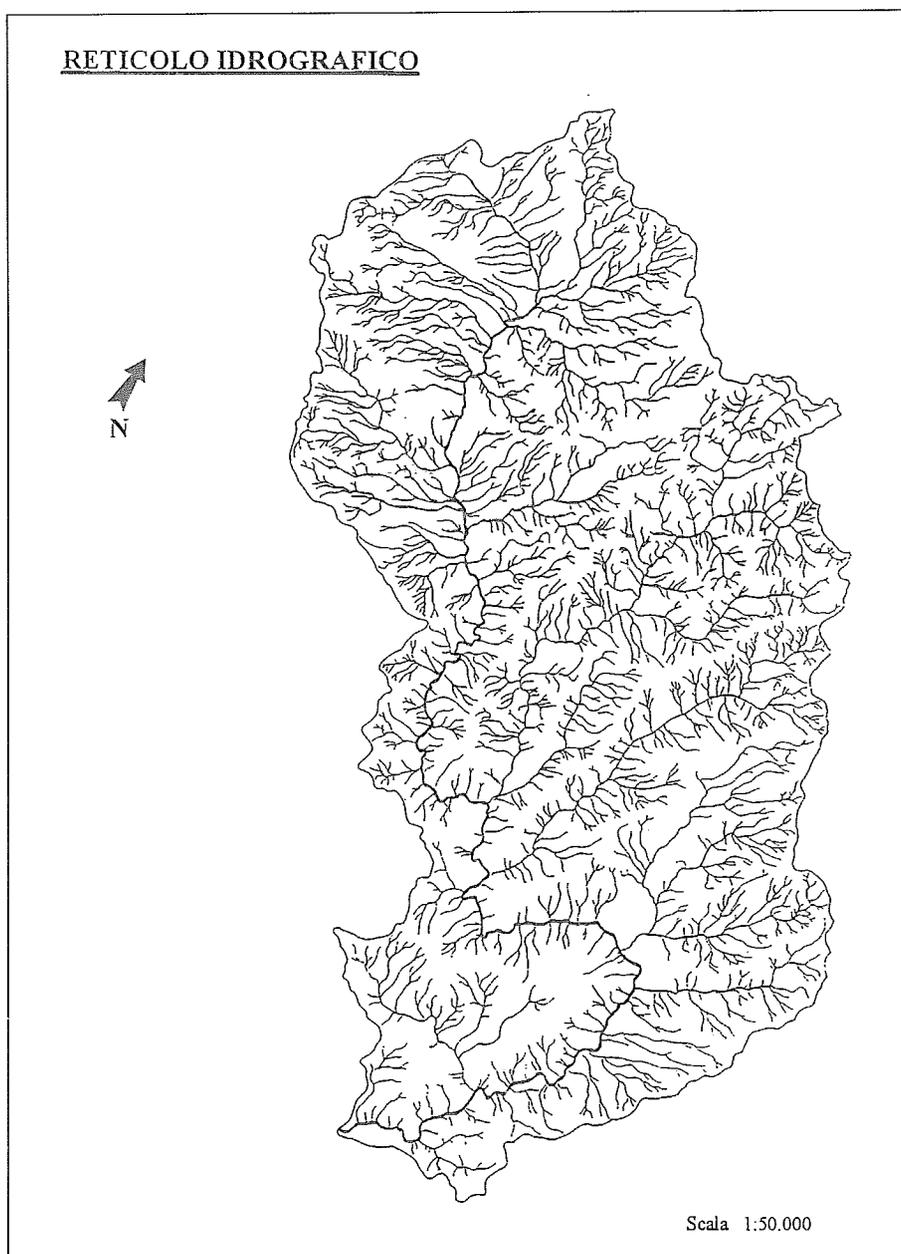


FIG. 1 - Bacino del Fiume Tammaro: ubicazione e reticolo di drenaggio.

FIG. 1 - Areal distribution of drainage network in the Tammaro basin.

cola, forma due grosse anse con concavità rivolte a sud ed infine in quella meridionale, fino alla confluenza con il Calore, scorre a ridosso dello spartiacque di sinistra (fig. 1). Questa posizione non centrale del corso d'acqua, unita ad una maggiore competenza dei corpi rocciosi che vi affiorano, ha favorito la formazione di sottobacini molto estesi e di forma piuttosto allungata sia nell'area nord-orientale che in quella sud-occidentale con un reticolo di drenaggio di tipo dendritico sub-parallelo.

Le temperature, registrate per il periodo 1953-1962 dal Servizio Idrografico del Ministero Lavori Pubblici nelle stazioni di Apice, Montecalvo Irpino, S. Croce del Sannio e Benevento, oscillano tra minimi raramente inferiori a 0°C e massimi distribuiti in tre mesi con valori $\geq 20^\circ\text{C}$. Tra gli elementi del clima, è però la piovosità che, insieme alla litologia e alle strutture geologiche, ha contribuito ad esercitare un controllo sull'evoluzione delle forme del paesaggio e sullo sviluppo del reticolo idrografico superficiale.

L'analisi statistica delle precipitazioni si è basata sui dati mensili registrati durante lo stesso periodo da otto stazioni interne al bacino (Campolattaro, 449 m; Colle Sannita, 719 m; Morcone, 640 m; Paduli, 358 m; Pescosannita, 380 m; S. Croce del Sannio, 724 m; Sepino, 716 m; S. Giorgio La Molara, 580 m). Altre dodici stazioni esterne al

bacino di drenaggio (Apice, 225 m; Benevento, 170 m; Campobasso, 686 m; Castelvetere Valfortore, 706 m; Cerreto Sannita, 277 m; Cusano Mutri, 479 m; Guardia Regia, 733 m; Montecalvo Irpino, 585 m; Montefalcone Valfortore, 850 m; Riccia, 700 m; S. Lorenzo Maggiore, 357 m; Vinchiaturò, 624 m) sono state utilizzate come punti di controllo per costruire la carta delle isoiete e la carta dell'indice di stagionalità *S.I.*.

Come mostra il diagramma di probabilità di fig. 2, le medie annue calcolate per ciascuna stazione seguono una distribuzione di tipo normale e sono riferibili quindi ad una sola popolazione con un coefficiente di asimmetria molto basso (0,204) e una media di 931,7 mm/anno. L'indice di stagionalità *S.I.* (DINGMAN, 1994; MARKHAM, 1970) e la distribuzione delle isoiete indicano inoltre che le piogge sono concentrate nel mese di dicembre con un coefficiente di persistenza e una quantità annua che aumentano con gradualità da est verso ovest dove, in corrispondenza di Morcone e Sepino, sono localizzati i massimi di precipitazione media annua (fig. 3 a, b, c, d).

In sintesi, si è in presenza di un'area a clima temperato, da sublitoraneo a subcontinentale, con estati calde ed inverni non molto freddi (Gruppo C di KOEPPEN) in cui solo localmente, come nel settore nord-occidentale del ba-

OSSERVAZIONI TOTALI: 8		
VARIABILE	SI	PIOGGE
N° DI DATI	8	8
MINIMO	31.000	741.000
MASSIMO	47.000	1179.000
AMP. INTERVALLO	16.000	438.000
MEDIA	38.375	931.750
VARIANZA	23.696	25020.786
DEV. STANDARD	4.868	158.180
ERRORE STANDARD	1.721	55.925
ASIMMETRIA(G1)	0.352	0.204
KURTOSIO(G2)	-0.439	-1.173
SOMMA	307.000	7454.000
C.V.	0.127	0.170
MEDIANA	37.000	927.000

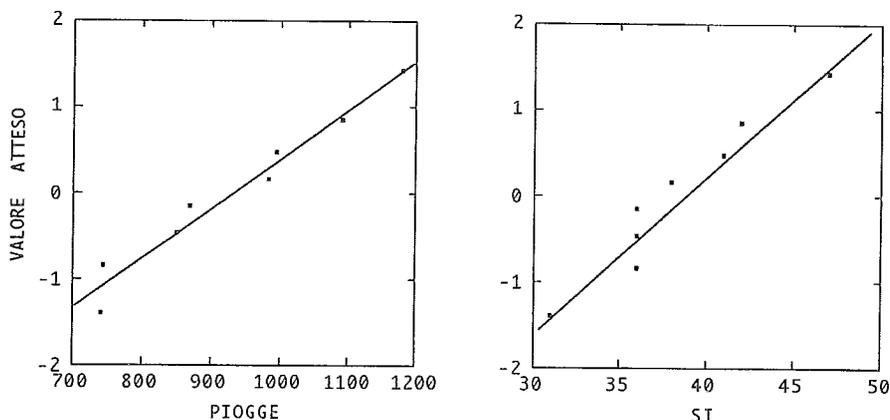


FIG. 2 - Parametri statistici e distribuzione di probabilità dell'indice di stagionalità *S.I.* e della piovosità.

FIG. 2 - Statistical parameters and probability plots for the seasonality index and the mean annual precipitations in the Tammaro river basin.

volgono i terreni lagonegresi e irpini. Numerose sono invece le faglie che, con direzioni prevalenti N110°-140° e N50°-70°, hanno controllato l'andamento sia del corso d'acqua principale che dei suoi affluenti.

Partendo dai dati della geologia, ci è sembrato opportuno costruire, ai fini della presente nota, una carta geolitologica del bacino di drenaggio raggruppando i terreni delle varie formazioni che vi affiorano oltre che per composizione litologica anche per grado di competenza. Nella carta, in fig. 4, i vari litotipi sono stati separati in otto complessi.

Complesso A

Comprende i detriti di falda e di frana che si rinven-
gono diffusamente alla base dei rilievi carbonatici in forma di

depositi detritici formati da clasti calcarei e/o marnosi a granulometria eterogenea, talvolta mescolati a terriccio bruno.

Nella zona meridionale, nelle vicinanze degli abitati di Pietrelcina e Pago Veiano, le aree in frana sono costituite da spesse coltri di detriti non dissimili dai detriti di falda.

Complesso B

Nella parte settentrionale del bacino, nei pressi di Morcone e Sepino, si rinven-
gono spesso dei sedimenti, talora terrazzati, la cui facies testimonia la presenza di importanti episodi fluvio-lacustri del Pleistocene. Su questi terreni si rinven-
gono i depositi alluvionali recenti, molto eterogenei dal punto di vista granulometrico.

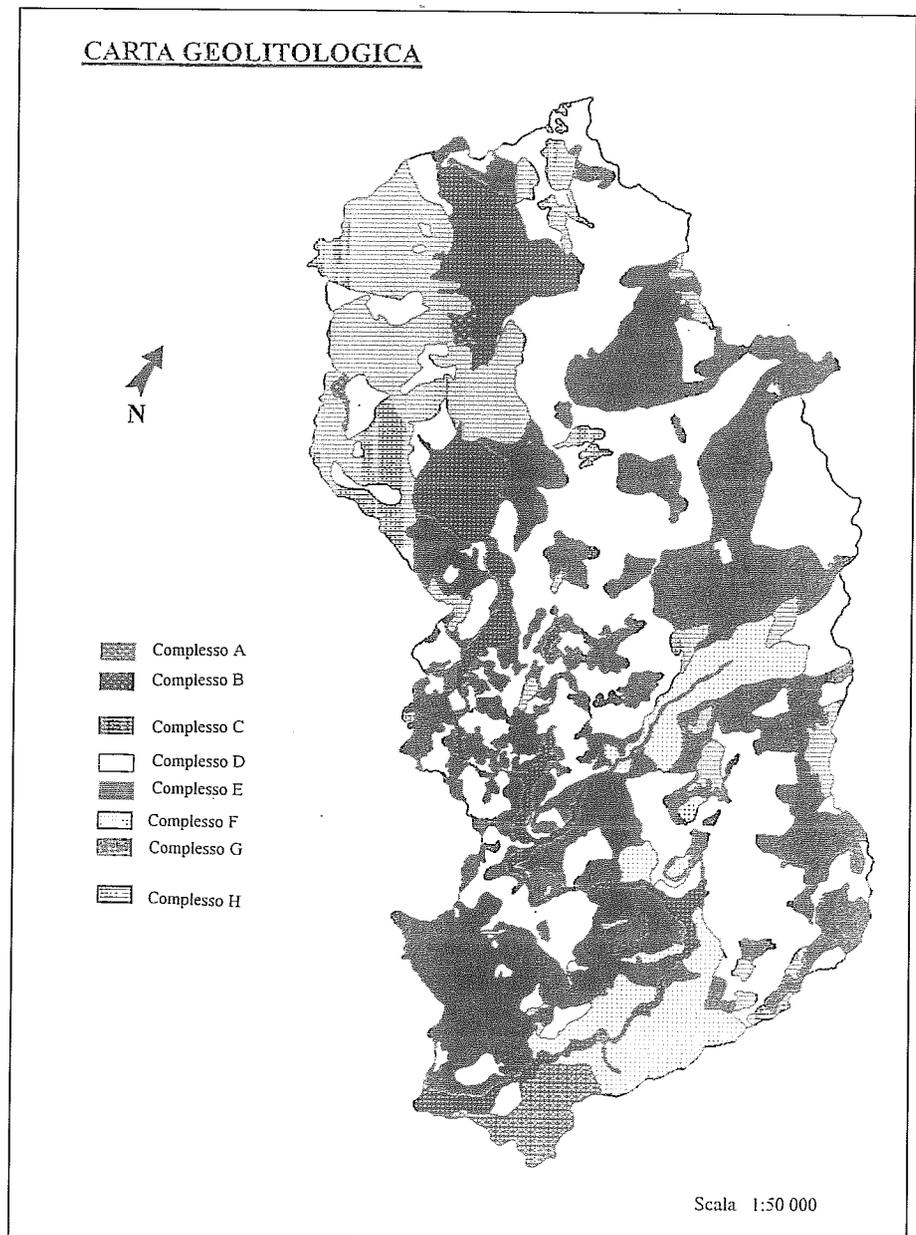


FIG. 4 - Carta geolitologica: sono rappresentati otto complessi (da BUDETTA & alii, 1979; modificata)

FIG. 4 - Lithological map of the Tammaro basin: eighth main complexes have been reported.

Complesso C

Si tratta di litotipi a bassissima competenza rappresentati da sabbie e arenarie giallastre mal cementate cui si alternano sottili lingue di argille azzurre, più o meno sabbiose. Affiorano in tutta la zona sud-orientale del bacino, dando luogo ad una caratteristica morfologia collinare molto dolce, incisa da ampi valloni, su cui sorgono importanti insediamenti abitativi come Paduli.

Complesso D

Ne fanno parte litotipi a competenza media presenti un po' ovunque nel bacino e rappresentati in prevalenza da arenarie. In particolare nella zona centrale, da Colle Sannita fino a Campolattaro, è possibile individuare sia corpi arenacei con intercalazioni marnose, sia corpi arenaceo-pelitici al cui interno sono intercalate delle quarzarenite. Affioramenti non molto estesi di arenarie litoidi si rinvengono, infine, nelle zone di S. Giorgio la Molara, Campolattaro e Circello.

Complesso E

Così come suggerito in letteratura, sono riconducibili a questo complesso i termini calcareo-marnosi a competenza medio-bassa della serie di Frosolone e dei flysch dauni. Occupa in prevalenza la zona sud-occidentale del bacino, e intorno all'abitato di Pago Veiano e a sud di Campolattaro è rappresentato da calcareniti sottilmente stratificate e da marne di colore bianco così intensamente scagliettate da essere confuso talora con un detrito biancastro.

Complesso F

I litotipi di questo complesso affiorano in tutto il bacino del Torrente Reinello fino al Torrente Tammarecchia e alla confluenza con il Tammaro, e più a sud intorno all'abitato di Pietrelcina. La cartografia geologica ufficiale li colloca alla base delle sequenze in facies di flysch affioranti di tutta l'area. Si tratta di grossi banchi di marne grigio-scure

fissili, cui si intercalano termini lutitici e calcilutitici grigio-verdi a frattura concoide dello spessore di 30 cm circa.

Complesso G

Affiora in diverse aree del bacino. Tra i litotipi che lo compongono è possibile riconoscere oltre ad argille marnose e marne policrome finemente scagliettate anche delle calcareniti spesso in grossi blocchi e zolle. I termini più spiccatamente argillosi, con caratteristico colore rosso e verde, sono presenti in prevalenza nelle zone centro-orientali del bacino. Spesso in questi terreni compaiono sottili livelli di paleosuoli bruni e rossicci determinanti per la ricostruzione paleoclimatica e paleogeografica dell'area.

Complesso H

Si tratta di litotipi ad alta competenza, costituiti in prevalenza da calcari e calcari marnosi, che formano l'ossatura dei rilievi dell'area nord-occidentale del bacino tra Sepino e Morcone. Presentano una stratificazione molto marcata e un alto grado di fratturazione soprattutto laddove affiorano i termini calcarei più competenti.

ANALISI GEOMORFICA QUANTITATIVA

L'analisi geomorfica quantitativa è stata svolta per porre in risalto i processi di erosione, trasporto e sedimentazione legati alla dinamica fluviale del Tammaro. Si è proceduto per prima cosa a disegnare una carta in scala 1:25.000 dell'intero reticolo fluviale utilizzando come base le tavolette I.G.M.I. opportunamente integrate da foto aeree e da osservazioni di campagna. Sono stati individuati in totale 198 sottobacini compresi tra il I e il V ordine, per ognuno dei quali sono stati calcolati i parametri morfometrici caratteristici.

Aspetti areali del bacino: aree e densità di drenaggio

La tabella 1 contiene, per singolo ordine, i dati relativi alle aree che competono ai diversi sottobacini. La regres-

TABELLA 1 - Parametri morfometrici relativi ai bacini parziali del Tammaro

TABLE 1 - Morphometric parameters in the Tammaro drainage basin

Bacino n°	u	A	Dd	Δa	Tu	Mat.eroso mc/anno	Bacino n°	u	A	Dd	Δa	Tu	Mat.eroso mc/anno
1	3	1,56	3,22	0,00	314	490	21	1	0,30	3,90	0,00	525	158
2	3	1,95	4,24	0,00	675	1.316	22	2	0,84	2,71	0,00	215	181
3	2	1,55	3,09	0,00	286	443	23	5	32,13	2,86	0,28	256	8.225
4	3	4,50	3,76	0,23	498	2.241	24	4	10,00	3,20	0,46	345	3.450
5	3	1,75	3,39	0,00	357	625	25	3	2,29	2,72	0,11	221	506
6	3	3,78	3,16	0,00	300	1.134	26	1	0,16	4,56	0,00	863	138
7	1	0,06	6,83	0,00	2.477	149	27	4	26,54	2,34	0,57	186	4.936
8	2	1,35	2,02	4,50	370	500	28	2	1,73	2,98	0,00	262	453
9	2	0,88	1,58	3,00	186	164	29	1	0,11	2,55	0,00	190	21
10	1	0,56	2,27	0,00	154	86	30	4	6,05	4,00	0,36	617	3.733
11	2	3,00	2,13	0,00	139	417	31	1	0,35	2,51	0,00	185	65
12	2	0,67	2,87	0,00	241	161	32	1	0,28	3,11	0,00	289	81
13	1	1,06	2,08	0,00	133	141	33	2	1,05	2,05	0,00	131	138
14	2	0,75	3,67	0,00	440	330	34	4	6,05	4,00	0,45	630	3.812
15	1	0,22	3,09	0,00	286	63	35	4	5,29	2,94	0,50	288	1.524
16	2	0,83	3,65	0,00	435	361	36	2	0,19	4,84	0,00	1.065	202
17	1	0,41	2,88	0,00	244	100	37	3	2,39	3,41	0,00	364	870
18	2	0,99	2,91	0,00	249	247	38	2	1,82	1,71	0,00	102	186
19	2	1,38	2,78	0,00	227	313	39	2	0,50	2,96	0,00	259	130
20	1	0,32	4,47	0,00	804	257	40	2	0,37	4,14	0,00	626	232

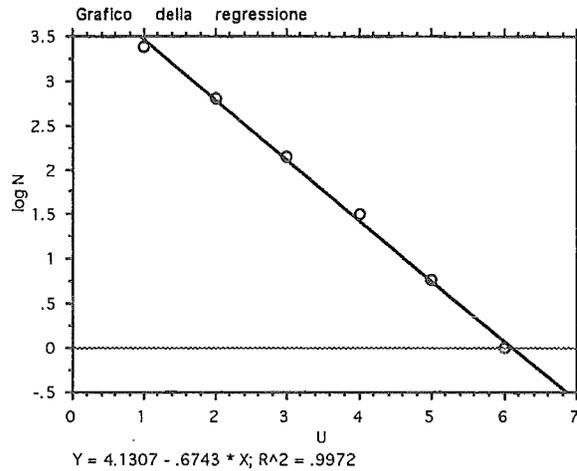
Bacino n°	u	A	Dd	Δa	Tu	Mat.eroso mc/anno	Bacino n°	u	A	Dd	Δa	Tu	Mat.eroso mc/anno
41	3	2,35	3,06	0,00	280	658	121	1	0,12	3,42	0,00	365	44
42	2	1,31	2,05	0,00	130	170	122	3	1,26	2,79	0,00	227	286
43	2	0,70	2,97	0,00	261	183	123	1	0,49	1,41	0,00	81	40
44	5	20,05	3,75	1,08	604	12.110	124	3	0,80	3,05	0,00	277	222
45	2	3,56	3,40	0,00	359	1.278	125	1	0,42	1,98	0,00	124	52
46	2	0,64	3,95	0,00	546	349	126	1	0,22	1,95	0,00	122	27
47	4	22,47	2,88	0,76	293	6.584	127	2	1,39	2,53	0,00	187	260
48	4	4,97	3,32	0,32	366	1.819	128	2	0,59	2,03	0,00	129	76
49	2	0,50	3,40	0,00	360	180	129	1	0,60	2,77	0,00	224	134
50	3	6,08	3,54	0,03	405	2.462	130	2	0,93	2,84	0,00	236	219
51	3	5,95	3,17	0,19	316	1.880	131	3	1,98	2,72	0,00	216	428
52	2	1,13	4,04	0,00	581	657	132	2	2,12	1,85	0,00	113	240
53	2	0,79	3,41	0,00	362	286	133	3	2,33	2,11	0,00	137	319
54	2	1,42	4,26	0,00	688	977	134	1	0,27	3,26	0,00	324	87
55	3	1,20	3,73	0,13	477	572	135	5	57,36	2,44	0,86	214	12.275
56	4	5,58	3,28	0,27	351	1.959	136	1	0,10	5,10	0,00	1.292	129
57	1	0,23	4,96	0,00	1.160	267	137	4	19,74	2,17	0,27	153	3.020
58	4	4,42	3,54	0,56	456	2.016	138	2	0,63	2,25	0,00	152	96
59	1	0,13	2,38	0,00	168	22	139	2	0,27	3,74	0,00	466	126
60	3	1,06	3,63	0,00	429	455	140	2	0,46	2,63	0,00	202	93
61	2	0,40	4,33	0,00	722	289	141	3	1,82	2,25	0,00	152	277
62	2	0,25	3,72	0,00	458	115	142	2	0,55	1,33	0,00	76	42
63	2	0,72	2,76	0,00	224	161	143	3	5,18	2,18	0,00	144	746
64	2	0,55	4,53	0,00	841	463	144	1	0,82	1,38	0,00	79	65
65	3	0,92	4,17	0,00	645	593	145	2	0,50	3,10	0,00	288	144
66	3	1,36	3,28	0,00	329	447	146	1	0,21	2,38	0,00	168	35
67	2	0,43	4,72	0,00	972	418	147	4	6,64	3,10	0,21	303	2.012
68	1	0,22	3,41	0,00	363	80	148	1	0,71	2,68	0,00	209	148
69	1	0,42	3,33	0,00	343	144	149	2	1,53	3,02	0,00	271	415
70	2	0,46	4,33	0,00	723	333	150	1	0,17	2,41	0,00	172	29
71	3	1,12	4,37	0,11	764	856	151	2	1,21	3,96	0,00	548	663
72	3	2,40	3,92	0,06	540	1.296	152	1	0,56	2,64	0,00	204	114
73	1	0,10	4,90	0,00	1.112	111	153	2	0,58	3,12	0,00	292	169
74	1	0,19	2,21	0,00	148	28	154	2	0,24	3,75	0,00	469	113
75	1	0,63	3,08	0,00	283	178	155	2	0,33	2,45	0,00	177	58
76	2	0,34	2,74	0,00	219	74	156	2	0,37	2,81	0,00	232	86
77	2	0,31	4,74	0,00	988	306	157	2	0,15	6,80	0,00	2.443	366
78	3	0,86	3,88	0,00	518	445	158	2	2,81	2,60	0,00	198	556
79	4	1,36	6,15	0,39	2.095	2.849	159	1	0,06	5,33	0,00	1.540	92
80	1	0,07	4,00	0,00	566	40	160	2	1,51	2,21	0,00	147	222
81	2	0,34	5,53	0,00	1.784	607	161	3	3,16	3,17	1,07	391	1.236
82	1	0,17	3,18	0,00	305	52	162	1	0,20	3,15	0,00	299	60
83	1	0,23	5,09	0,00	1.280	294	163	3	1,63	2,51	0,00	185	302
84	1	0,19	2,05	0,00	131	25	164	2	0,20	4,80	0,00	1.032	206
85	2	0,11	4,00	0,00	566	62	165	1	0,26	2,62	0,00	200	52
86	1	0,81	2,78	0,00	226	183	166	2	0,35	4,74	0,00	988	346
87	1	0,50	3,30	0,00	334	167	167	1	0,39	2,56	0,00	192	75
88	3	2,14	3,74	0,14	482	1.031	168	2	0,23	5,39	0,00	1.608	370
89	2	0,16	4,31	0,00	715	114	169	1	0,24	1,58	0,00	92	22
90	3	2,72	3,15	0,36	324	881	170	2	0,26	3,04	0,00	275	72
91	2	0,13	5,62	0,00	1.903	247	171	2	0,80	2,20	0,00	146	117
92	2	0,47	2,64	0,00	203	95	172	2	1,56	2,65	0,00	206	321
93	2	0,75	3,01	0,00	270	203	173	1	0,16	4,31	0,00	715	114
94	2	0,90	2,78	0,00	226	203	174	2	0,37	4,76	0,00	999	370
95	2	0,55	2,51	0,00	185	102	175	1	0,12	5,42	0,00	1.639	197
96	2	0,15	4,40	0,00	764	115	176	2	0,10	7,80	0,00	3.585	359
97	2	0,39	3,85	0,00	504	197	177	1	0,13	2,00	0,00	126	16
98	2	0,62	2,94	0,00	254	157	178	1	0,14	5,57	0,00	1.841	258
99	2	0,20	4,25	0,00	683	137	179	1	0,19	3,32	0,00	338	64
100	1	0,23	1,52	0,00	88	20	180	2	1,04	3,34	0,00	344	358
101	5	122,40	3,28	1,51	470	57.528	181	3	6,87	1,60	0,12	96	660
102	1	0,07	4,29	0,00	701	49	182	1	0,42	2,71	0,00	215	90
103	2	0,39	4,54	0,00	848	331	183	1	0,11	3,82	0,00	493	54
104	1	0,49	0,88	0,00	54	26	184	1	0,52	2,69	0,00	212	110
105	1	0,26	3,85	0,00	504	131	185	1	0,29	1,83	0,00	111	32
106	2	0,73	2,82	0,00	233	170	186	1	0,11	2,36	0,00	165	18
107	1	0,24	3,38	0,00	354	85	188	1	0,31	2,10	0,00	135	42
108	1	0,19	3,42	0,00	366	70	190	1	0,18	1,78	0,00	107	19
109	1	0,35	3,34	0,00	345	121	192	4	29,98	1,98	0,80	150	4.497
110	1	0,07	3,71	0,00	456	32	194	2	0,86	2,56	0,00	192	165
111	1	0,29	1,90	0,00	117	34	196	2	1,28	1,61	0,00	94	120
112	3	4,79	2,26	0,00	153	733	198	2	0,77	2,05	0,00	131	101
113	1	0,16	1,94	0,00	120	19	200	1	0,25	2,16	0,00	142	36
114	2	0,19	2,74	0,00	219	42	202	1	0,24	2,75	0,00	221	53
115	5	57,20	3,35	2,10	572	32.718	204	2	1,00	2,09	0,00	135	135
116	1	0,55	2,24	0,00	150	83	206	1	0,15	1,87	0,00	114	17
117	1	0,34	1,59	0,00	92	31	208	1	0,16	3,31	0,00	338	54
118	1	0,89	2,25	0,00	152	135	210	3	4,56	2,43	0,09	178	812
119	1	0,32	0,91	0,00	55	18							
120	2	0,26	4,04	0,00	582	151	F. Tammaro	6	675,70	2,75	0,89	273	216.540

sione dei logaritmi delle aree in funzione degli ordini indica che anche nel bacino del Tammaro è verificata la legge delle aree di HORTON (1945). Il coefficiente b della retta di regressione riportata in fig. 5 consente di stimare a $1,9 \text{ km}^2$

il valore medio delle aree del bacino di drenaggio, valore che sta ad indicare che in media $1,9$ rappresenta il coefficiente moltiplicativo per passare dal valore delle aree di un dato ordine a quello dell'ordine immediatamente inferiore.

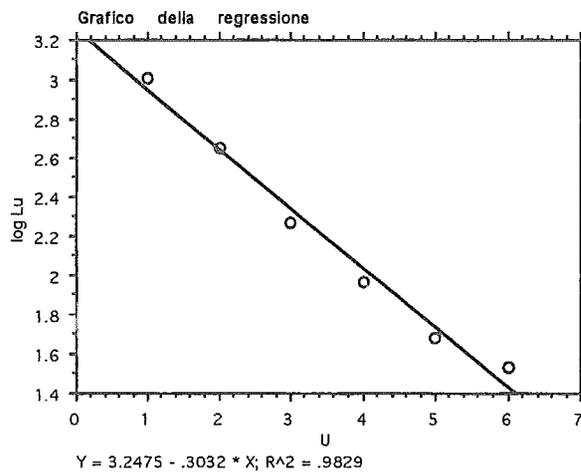
Regressione: $\log(N)$ vs. U

Numero dati	6
Num. dati mancanti	0
R	.9986
R ²	.9972
R ² ricalcolato	.9965
RMS residuale	.0744



Regressione: $\log Lu$ vs. U

Numero dati	6
Num. dati mancanti	0
R	.9914
R ²	.9829
R ² ricalcolato	.9787
RMS residuale	.0836



Regressione: $\log Au$ vs. U

Numero dati	6
Num. dati mancanti	0
R	.9910
R ²	.9820
R ² ricalcolato	.9776
RMS residuale	.0791

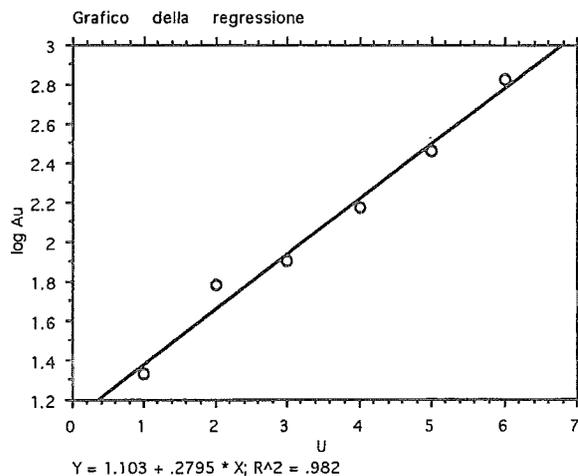


FIG. 5 - (a) Numero N_u , (b) lunghezza media Lu , (c) aree di drenaggio medie Au dei canali di ciascun ordine u del bacino di drenaggio di ordine VI del Fiume Tammaro.

FIG. 5 - (a) Numbers N_u , (b) average lengths Lu , (c) average drainage areas Au of streams of each order u in the sixth-order Tammaro drainage basin.

Tra i parametri areali è stata inoltre presa in considerazione la densità di drenaggio Dd , perché essa costituisce un indicatore importante della scala lineare delle forme del paesaggio in una topografia erosa da un corso d'acqua e consente quindi di paragonare i diversi aspetti della topografia.

In tabella 1 sono riportati i valori di Dd calcolati per i 198 sottobacini del Fiume Tammaro. Essi variano da un minimo di 0,88 fino ad un massimo di 7,8 e la piccola coda positiva nell'istogramma di fig. 6 fa sospettare la presenza di più popolazioni nel campione di dati ottenuto. Per descrivere le variazioni di Dd nelle diverse zone del bacino, è stato quindi necessario costruire il diagramma di probabilità di fig. 6 riportando in ordinate la frequenza cumulativa percentuale dei dati trasformati in logaritmi. Il diagramma ha consentito di ripartire i dati in due popolazioni la cui ampiezza è stata ottenuta sommando e sottraendo alla media il valore della deviazione standard $2s$.

Generalmente le densità di drenaggio minori ($0,6 < Dd < 1,5$) sono localizzate nei fondovalle alluvionali e nelle aree in cui affiorano estesamente i litotipi competenti calcarei e quarzarenitici e/o ad alta permeabilità, con i minimi distribuiti nei dintorni di Pago Veiano. Valori elevati ($1,6 < Dd < 5,9$) della densità di drenaggio sono stati invece rinvenuti laddove il reticolo di drenaggio si è sviluppato su litologie argillose e argilloso-marnose delle formazioni scarsamente permeabili e facilmente erodibili delle unità irpine e delle unità lagonegresi. È da sottolineare che, a cavallo tra la 1^a e la 3^a popolazione, si pongono dei bacini a densità di drenaggio intermedia, il più esteso dei quali è il bacino 181 impostato su arenarie gialle e sabbie del Pliocene altamente permeabili affioranti nei dintorni di Paduli. Infine, le densità di drenaggio massime ($Dd = 7,8$) riguardano aree in cui affiorano i litotipi argillosi poco competenti e impermeabili delle unità lagonegresi.

Aspetti lineari caratteristici del reticolo idrografico

Per descrivere in dettaglio il reticolo idrografico sono stati ricavati i valori medi riguardanti il rapporto di biforcazione Rb , il rapporto di biforcazione diretto Rbd , l'indice di biforcazione R , il numero di anomalia gerarchica Ga , l'indice di anomalia gerarchica Δa e la densità di anomalia gerarchica ga (AVENA & LUPA PALMIERI, 1969). Il calcolo, non eseguito per i bacini di ordine I perché poco significativi, ha fornito dei risultati interessanti come mostra la tabella 1.

Il rapporto di biforcazione Rb assume per i due terzi dei bacini parziali valori compresi tra 3 e 5 caratteristici di bacini di drenaggio sulla cui evoluzione non viene esercitato un controllo da parte delle strutture geologiche. In 46 dei rimanenti bacini Rb assume il valore minimo 2; si tratta di reticoli perfettamente organizzati, distribuiti in maniera uniforme sull'area del bacino principale, appartenenti per la quasi totalità al II ordine ad eccezione dei bacini 5 e 122, entrambi del III ordine, ubicati rispettivamente nelle aree di testata e di fondovalle del Fiume Tammaro. I reticoli notevolmente disorganizzati sono rappresentati infine dai bacini 50, 64, 158 e 180 con valori di Rb compresi

tra 5,79 e 7, e dal bacino 45 il cui valore di $Rb = 11$, eccezionalmente alto, testimonia un forte controllo da parte delle strutture geologiche sulla sua evoluzione (AVENA, GIULIANO & LUPA PALMIERI, 1967). Infine, come proposto da HORTON (1945), il valore medio di Rb per l'intero bacino è stato stimato dal coefficiente b della retta di regressione di fig. 5, tenendo presente che esso corrisponde a $\log Rb$. Il risultato ottenuto, pari a 4,72, è tipico di un bacino «normale» sufficientemente omogeneo e abbastanza stabile.

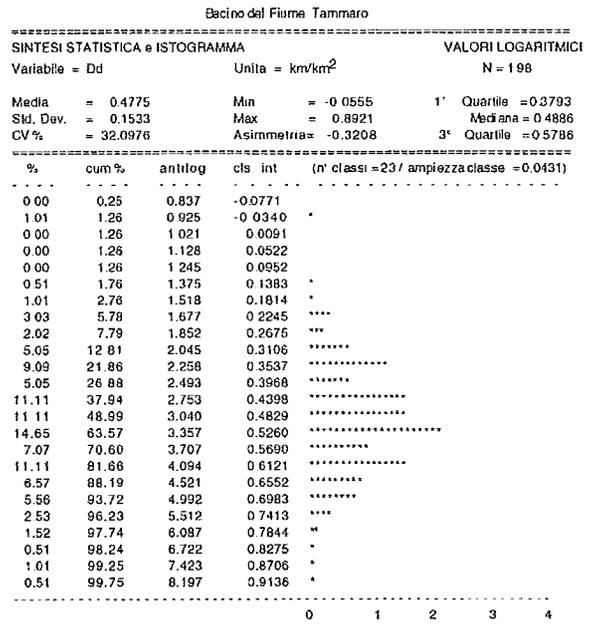
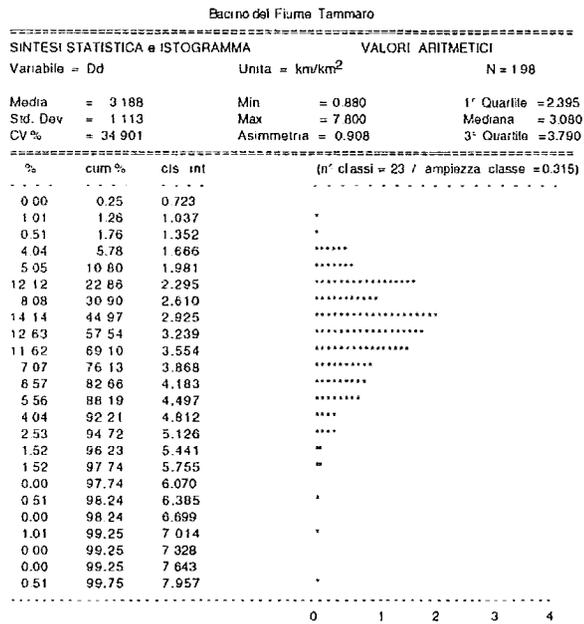
Dati i limiti di rappresentatività del solo Rb (AVENA, GIULIANO & LUPA PALMIERI, 1967), si è preferito calcolare il rapporto di biforcazione diretto Rbd che consente di definire in maniera univoca l'organizzazione gerarchica del reticolo. L' Rbd medio ha un valore di 3,67 che non si discosta molto dal valore omologo di Rb . La maggior parte dei valori calcolati ricade comunque nell'intervallo $[3 \div 5]$, valori ancora una volta caratteristici di bacini «normali». Solo pochi bacini presentano valori anomali di Rbd ; tra essi vanno segnalati il bacino 45 e il bacino 50 (Vallone S. Marco) che mostrano i segni tangibili di un controllo tettonico espresso, per il Vallone S. Marco, da una faglia normale a direzione N80° che ha rialzato il blocco roccioso su cui è costruito l'abitato di Morcone.

Nel dettaglio, è inoltre possibile notare come la quasi totalità dei bacini parziali abbia valori di Rbd uguali o prossimi a quelli di Rb , indice di bacini in stato di massima conservatività (MELTON, 1957). Fanno eccezione alcuni sottobacini, caratterizzati da anomalie gerarchiche più o meno accentuate, per i quali è stato calcolato l'indice di biforcazione R . In particolare, i valori di $R > 1$ suggeriscono per i sottobacini 90, 101, 115, 161 e 192 ancora la presenza di un controllo litologico e/o soprattutto strutturale sulla loro evoluzione (AVENA, GIULIANO & LUPA PALMIERI, 1967). Infine, seguendo questi Autori, il valore medio 1,15 di R ottenuto per l'intero bacino non starebbe ad indicare uno stadio evolutivo senile per i sottobacini che ne fanno parte, ma piuttosto che tutti i reticoli sono in una fase avanzata di organizzazione gerarchica.

Per valutare il grado di organizzazione dell'intero bacino, sono stati calcolati inoltre i valori di Ga , Δa e ga in tutti i bacini parziali. L'analisi complessiva dei dati ha messo in evidenza come tutta l'area sia caratterizzata da una uniforme organizzazione dei reticoli. Si tratta di una chiara risposta alle condizioni climatiche e litologiche relativamente uniformi che caratterizzano l'area e che hanno dato luogo a reticoli dendritici sub-paralleli in cui sono rari i fenomeni di cattura e le anomalie gerarchiche pronunciate.

Circa il 90% dei bacini parziali infatti, assume per tutti i tre parametri il valore 0, indicativo di reticoli di drenaggio bene organizzati e con forme semplici.

Risultati piuttosto interessanti hanno fornito invece i bacini 44, 101, 115 e 135, tutti di ordine V e variamente distribuiti in tutto il bacino. I valori molto alti in essi riscontrati, generalmente imputabili a controlli tettonici e/o litologici, sono nel nostro caso da mettere in relazione con la litologia che sta operando un forte ed evidente controllo su processi erosivi in atto, intensi e abbastanza estesi.



Bacino del Fiume Tammaro

SOMMARIO DEI PARAMETRI STATISTICI PER L'ANALISI DI PROBABILITA'

Nome del File Dati = TAMMDD.TXT

Variabile = Dd Unità = km/km² N = 198

NCI = 23

Trasformazione = Logaritmica Numero di Popolazioni = 2

n° di Osservazioni omesse = 0

Stime del Raw Data Maximum Likelihood Parameter

Maximum LN Likelihood Value = 93.589

Gradi di Libertà Parametrizzati = 3

Popolazione	Media	Std Dev	Percentuale
1	0.959	0.764	1.10
		1.203	
2	3.037	2.181	98.90
		4.228	

Soglie di Default

Moltiplicatore Dev. Std. = 2.0

Pop	Soglie
1	0.609
2	1.566

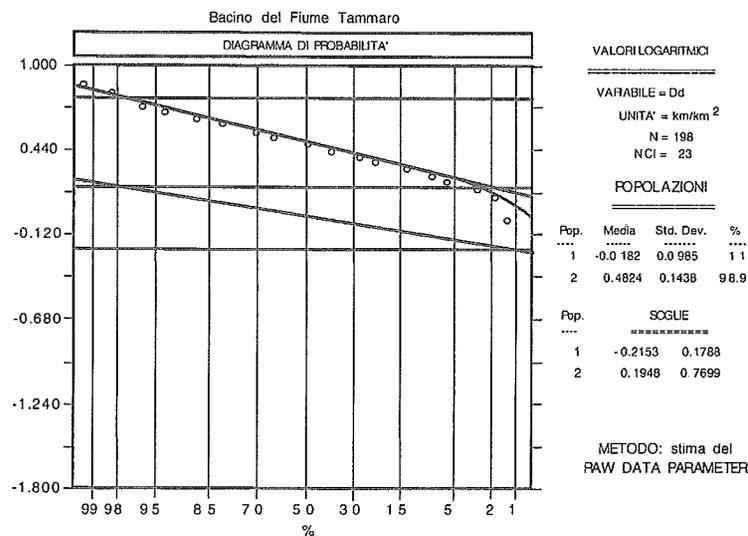
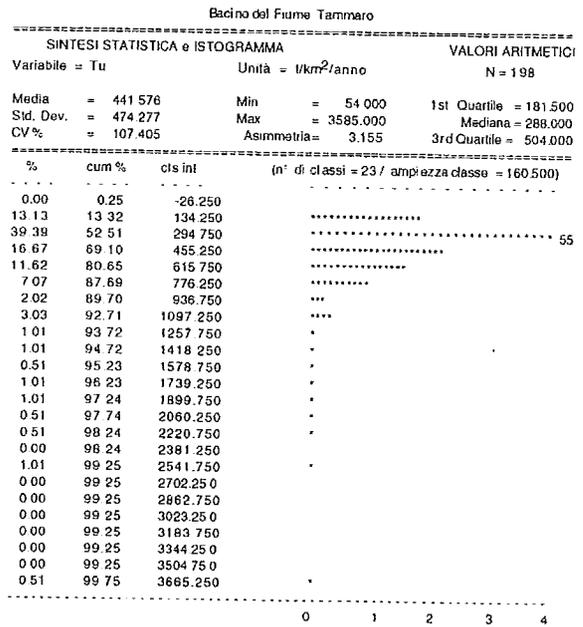
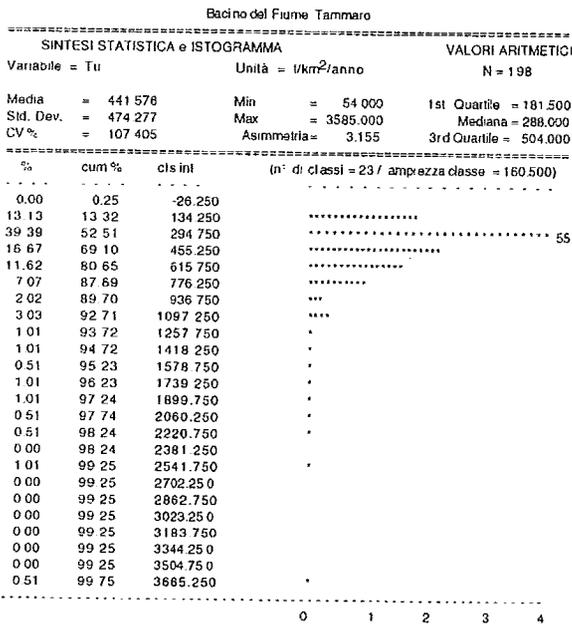


FIG. 6 - Istogramma e distribuzione di probabilità della densità di drenaggio Dd.

FIG. 6 - Histogram and probability plot of the density drainage Dd.



Bacino del Fiume Tammaro

SOMMARIO DEI PARAMETRI STATISTICI PER L'ANALISI DI PROBABILITA'

Nome del File Dati = TAMMTU.TXT

Variabile = Tu Unità = t/km²/anno N = 198
 NCI = 23

Trasformazione = Logaritmica Numero di Popolazioni = 2
 n° di Osservazioni omesse = 0

Stima del Raw Data Maximum Likelihood Parameter

Maximum LN Likelihood Value = -63.367

Gradi di Libertà Parametrizzati = 3

Popolazione	Media	Dev. Std.	Percentuale
1	276.113	141.674	93.47
2	1677.257	1177.568	6.54

Soglie di Default

Moltiplicatore Dev. Std. = 2.0

Pop	Soglie
1	72.693
2	826.747

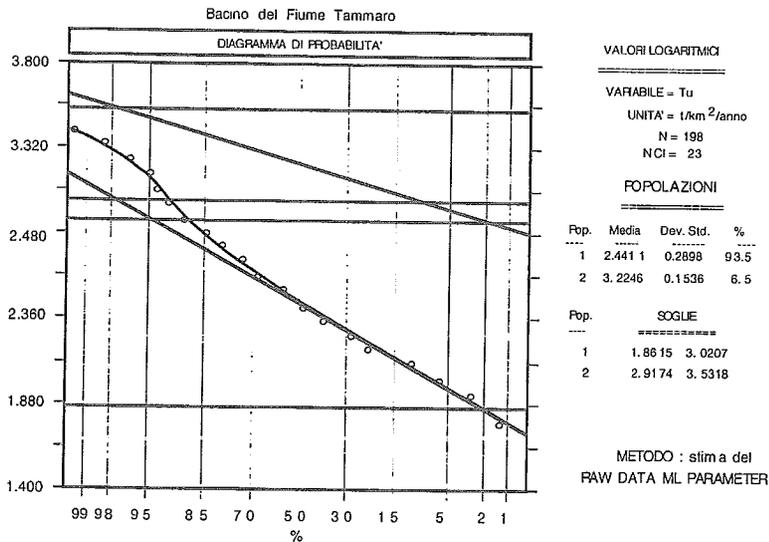


FIG. 7 - Istogramma e distribuzione di probabilità del deflusso torbido unitario medio Tu .
 FIG. 7 - Histogram and probability plot of the average suspended sediment yield Tu .

INDICE DI EROSIONE

Le ricerche effettuate dagli Autori della scuola romana (vedi LUPIA PALMIERI, 1983; e bibliografia) su 20 bacini drenati da importanti corsi d'acqua della penisola italiana hanno mostrato che è possibile esprimere il logaritmo del deflusso torbido unitario medio annuo di un corso d'acqua ($\log Tu$), in funzione della densità di drenaggio Dd e di una o più variabili indipendenti rappresentate o dalla portata annua Q , o dai parametri climatici p^2/P e $Px\sigma$, oppure infine dall'indice di anomalia gerarchica Δa e dalla densità di anomalia gerarchica ga . Le equazioni delle rette di regressione calcolate, tutte caratterizzate da alti valori dei coefficienti di determinazione, sono state utilizzate dagli stessi Autori per una valutazione indiretta dell'entità di erosione in bacini drenati da corsi d'acqua sprovvisti di stazioni per la misura dei sedimenti sospesi.

È questo il caso del bacino del Fiume Tammaro per il quale, non disponendo di dati significativi per tutti i parametri climatici (vedi p.e. le temperature), si è deciso di utilizzare quelli morfometrici. La matrice di correlazione ottenuta per queste grandezze (tab. 2) ha permesso inoltre di individuare nell'indice di anomalia gerarchica Δa , negativamente correlato con Dd , la seconda variabile indipendente da associare a Dd nella regressione. Si è proceduto così a calcolare il $\log Tu$ mediante le equazioni:

$$(a) \log Tu = 1.44780 + 0.32619 \cdot Dd + 0.10247 \cdot \Delta a$$

$$R^2 = 0.963$$

$$(a') \log Tu = 1.05954 + 2.796871 \cdot \log Dd + 0.13985 \cdot \Delta a$$

$$R^2 = 0.961$$

avendo cura di utilizzare, come suggerito da LUPIA PALMIERI & alii (1989), la relazione (a') per i sottobacini con valori di $Dd > 6$, la relazione (a) per i rimanenti.

TABELLA 2 - Matrice di correlazione di Pearson delle variabili indipendenti

TABLE 2 - Pearson correlation matrix among independent morphometric variables

MATRICE DI CORRELAZIONE DI PEARSON							
	Dd	Rb	Rbd	R	Ga	ga	Δa
Dd	1.0000						
Rb	0.1148	1.0000					
Rbd	0.1338	0.5556	1.0000				
R	0.0804	0.8224	0.4516	1.0000			
Ga	0.0023	0.2137	-0.0340	0.1812	1.0000		
ga	-0.0283	0.2060	-0.0223	0.2074	0.4900	1.0000	
Δa	-0.0533	0.1799	-0.0386	0.2133	0.7831	0.7903	1.0000

STATISTICA χ^2 DI BARTLETT: 724.126 DF = 21 PROB = 0.000
MATRICE DELLE PROBABILITÀ DI BONFERRONI

	Dd	Rb	Rbd	R	Ga	ga	Δa
Dd	0.0000						
Rb	1.0000	0.0000					
Rbd	1.0000	0.0000	0.0000				
R	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Ga	1.0000	0.0527	1.0000	0.2229	0.0000		
ga	1.0000	0.0756	1.0000	0.0707	0.0000	0.0000	
Δa	1.0000	0.2357	1.0000	0.0537	0.0000	0.0000	0.0000

NUMERO DI OSSERVAZIONI: 198

La tabella 1 mostra insieme ai valori dei parametri che compaiono nelle equazioni anche i valori del trasporto torbido Tu calcolati per ciascun sottobacino. Nella tabella sono stati riportati anche i contributi forniti dalle aree drenate da aste di I ordine ed affluenti nei corsi d'acqua principali perché di entità non trascurabile. I valori minimo e massimo del trasporto torbido appartengono rispettivamente al sottobacino 104 (54 tonn/km²/anno) e al sottobacino 176 (3585 tonn/km²/anno).

CARTA DELL'INDICE DI EROSIONE: CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per mostrare sinteticamente le variazioni di Tu lungo tutto il bacino si è pensato di elaborare la carta dell'indice di erosione di fig. 8. A tal fine, si è per prima cosa provveduto a costruire con i valori calcolati del trasporto torbido un diagramma di probabilità per individuare nel campione trattato le popolazioni che lo compongono. Il diagramma di fig. 7 mostra in effetti che, relativamente al Tu , è possibile estrarre dal campione dei 198 sottobacini studiati due popolazioni:

- la *popolazione B* con valori compresi nell'intervallo [72,69÷1048,77] e una media di 278,49;

- la *popolazione D* con valori compresi nell'intervallo [826,43÷3405,90] e una media di 1822,86.

Queste popolazioni, ottenute sommando e sottraendo alla media il valore della deviazione standard ($2s$), sono state utilizzate insieme a quelle determinate da valori del $Tu < 72$ (*popolazione A*) e da valori del $Tu > 3405,90$ (*popolazione E*) per costruire la carta di fig. 7. Nella carta è stata anche rappresentata la *popolazione C* mista, con valori compresi nell'intervallo [826,43÷1048,77], determinata dalla sovrapposizione tra le popolazioni *B* e *D*.

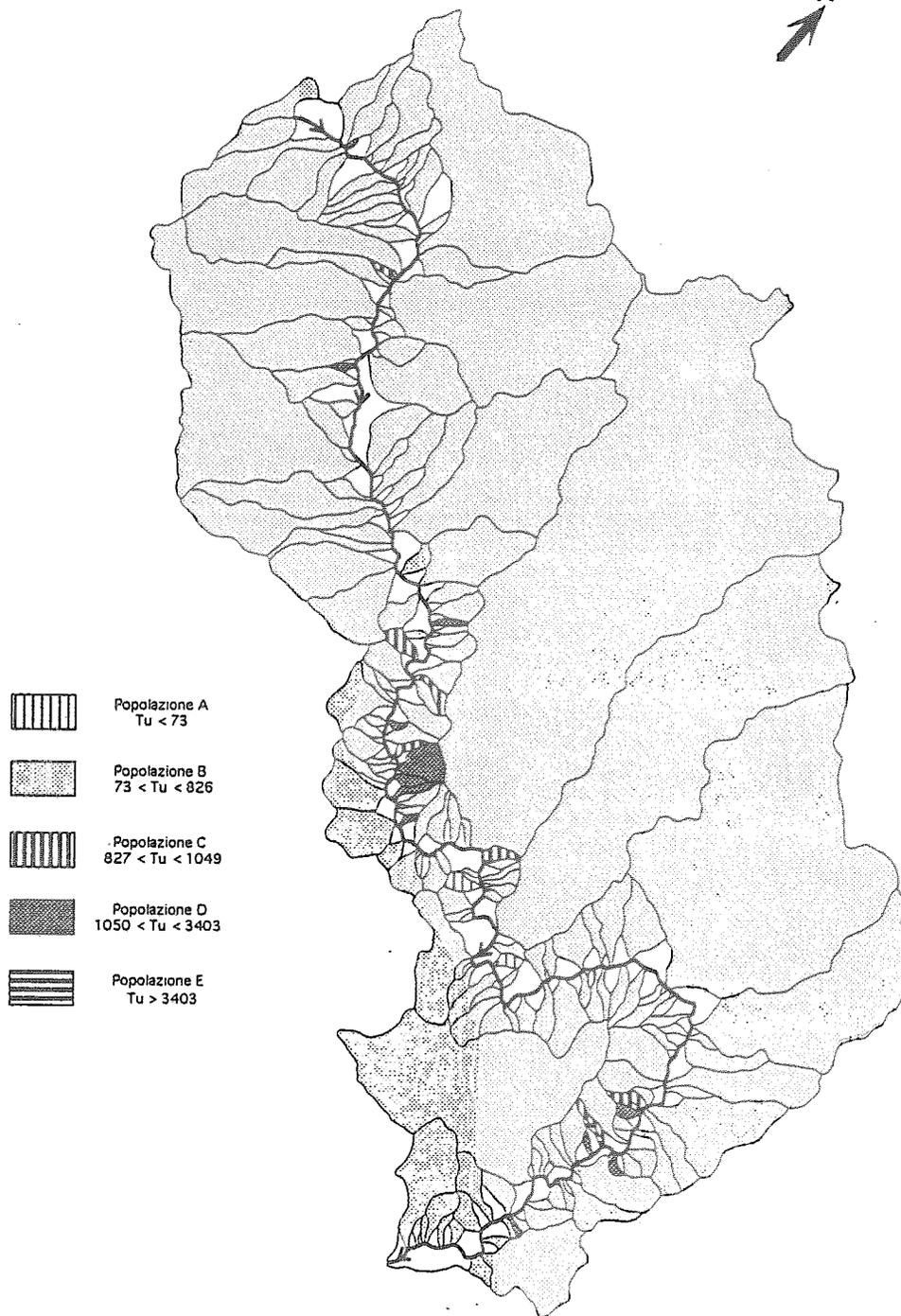
Come si può subito notare, la quasi totalità dei bacini parziali appartiene alla *popolazione B*. In termini percentuali, quasi il 95% dei sottobacini analizzati è interessato quindi da processi erosivi di intensità medio-bassa in conseguenza dei litotipi competenti poco erodibili su cui essi sono in prevalenza impostati.

Valori del trasporto torbido particolarmente elevati, tipici di processi erosivi intensi, interessano solo una piccola percentuale dei sottobacini ($\approx 5\%$) e sono abbinati per lo più a bacini prossimi al fondovalle. Questa apparente anomalia può essere spiegata con la maggiore erodibilità dei litotipi presenti in queste aree, che normalmente, a parità di altre condizioni, sono sede di processi erosivi meno intensi rispetto a quelli che si verificano nelle aree di testata.

Infine, è utile sottolineare che il materiale asportato dalle acque incanalate nei 74 sottobacini a monte della diga in terra di Campolattaro risulta pari a 43774 mc/anno, ossia a circa un terzo del trasporto solido totale. Si tratta di una quantità di detrito non trascurabile, di cui bisognerà tener conto per calcolare i tempi di interrimento e per valutare, in funzione di essi, se sia economicamente conveniente mettere in esercizio la diga.

Come si vede, la misura del deflusso torbido unitario medio Tu , pur costituendo una valutazione approssimata

CARTA DELL'INDICE DI EROSIONE



Scala 1:50.000

FIG. 8 - Carta dell'indice di erosione (Tu in $\text{tonn}/\text{km}^2/\text{anno}$). I valori calcolati sono stati suddivisi in cinque classi di frequenza, di ampiezza variabile in funzione della distribuzione.

FIG. 8 - Erosion index map: reported values of Tu are estimated in $\text{tons}/\text{km}^2/\text{year}$.

dei materiali che annualmente vengono asportati dai versanti, può fornire un dato utile a chi progetta interventi tecnici sul territorio, soprattutto se si considera, come sottolineato da STRAHLER (1964) e COOKE & DOORNKAMP (1974), che in presenza di condizioni climatiche umide il carico torbido costituisce da solo circa il 90% del trasporto solido totale di una rete drenante.

BIBLIOGRAFIA

- AVENA G.C., GIULIANO G. & LUPIA PALMIERI E. (1967) - *Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 86, 781-796.
- AVENA G.C. & LUPIA PALMIERI E. (1969) - *Analisi geomorfica quantitativa in: «Idrogeologia dell'alto bacino del Liri (Appennino centrale)»*. Geol. Rom., 8, 319-378.
- BECCHI I., BILLI P. & TACCONI P. (1979) - *Trasporto solido e parametri fisici di un bacino idrografico. Prime relazioni osservate nei bacini sperimentali dei TT. Virginio e Pesciola*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 275-279.
- BUDETTA P., CORNIELLO A., DE' MEDICI G.P., DE RISO R., LUCINI P., NICOTERA P. & NOTA D'ELOGIO E. (1979) - *Il bacino del F. Tammaro (Campania): geologia, geomorfologia, idrologia, risorse idriche*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Napoli, 14, 1-73.
- CICCACCI S., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1979) - *Quantitative expression of climatic and geomorphic factors affecting erosional processes: indirect determination of the amount of erosion in drainage basins in Italy. An approach*. In: *Superficial mass movements in Mountain Regions*, Polish-Italian Seminar, Poland, Szymbark, May 1979, 76-89.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1980) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 99, 455-516.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1987) - *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basin through geomorphic, climatic and hydrological parameters*. International Geomorphology, II, Wiley & Sons, Chichester, 49-68.
- CIET P. & TAZIOLI G.S. (1978) - *Sul trasporto torbido del T. La Canala (Basilicata)*. Geol. Appl. Idrogeol., 13, 141-157.
- COCCO E., ORTOLANI F., PESCATORE T., RUSSO M., TORRE M. & COPPOLA L. (1974) - *Le Unità Iripine nell'area di Monte Marzano, Appennino meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 13, 607-654.
- COOKE R.U. & DOORNKAMP J.C. (1974) - *Geomorphology in Environmental Management*. Clarendon Press, Oxford, 413 pp.
- CROSTELLA A. & VEZZANI L. (1964) - *La geologia dell'Appennino foggiano*. Boll. Soc. Geol. It., 83, 121-142.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P. (1973) - *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Atti Conv. «Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino», Acc. Naz. Lincei, Quaderno n° 183, 49-72.
- DINGMAN S.L. (1994) - *Physical Hydrology*. Macmillan Publ. Co., New York.
- FERRETI P., MORATTI L., PELLEGRINI M. & ZAROTTI L. (1979) - *Il bacino sperimentale del Rio delle Viole (Appennino Emiliano). Primi risultati*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 269-274.
- FLEMING G. (1969) - *Design curves for suspended load estimation*. Proc. Inst. Civ. Eng., 43, 1-9.
- FOURNIER F. (1949) - *Les facteurs climatiques de l'érosion du sol*. Assoc. Geogr. Franc. Bull., 203, 97-103.
- FOURNIER F. (1960) - *Climat et érosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Presses Univ. de France, Paris, 201 pp.
- GAZZOLO T. & BASSI G. (1961) - *Contributo allo studio del grado di erodibilità dei terreni costituenti i bacini montani dei corsi d'acqua italiani*. Min. Lav. Pubbl., Gior. Gen. Civ., 1, 9-19.
- GAZZOLO T. & BASSI G. (1964) - *Relazione tra i fattori del processo di ablazione e il trasporto solido in sospensione nei corsi d'acqua italiani*. Min. Lav. Pubbl., Gior. Gen. Civ., 6, 377-395.
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Amer. Bull., 56, 275-370.
- LANGBEIN W.B. & SCHUMM S.A. (1958) - *Yield of sediment in relation to mean annual precipitation*. Trans. Am. Geoph. Un., 39, 1076-1084.
- LUPIA PALMIERI E. (1983) - *Il problema della valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Atti XXIII Congr. Geogr. It., Catania, II (I), 143-180.
- LUPIA PALMIERI E., CENTAMORE E., CICCACCI S., CIVITELLI G., CORDA L., DEL MONTE M. & FREDI P. (1989) - *Analisi geomorfica quantitativa di alcuni bacini idrografici dell'area abruzzese*. Contratto di ricerca Enea-Università degli studi di Roma «La Sapienza»: *Rapporto sull'attività svolta nella seconda fase delle indagini*.
- MARKHAM C.G. (1970) - *Seasonality of precipitation in the United States*. Ann. Ass. Am. Geogr., 60, 593-597.
- MELTON M.A. (1957) - *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology*. Technical Report 11, Dept of Geology, Columbia University.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI (1953-1962) - *Annali Idrologici*. Elenco e caratteristiche delle stazioni. Distribuzione della temperatura dell'aria in Italia nel periodo 1953-1962. Precipitazioni medie mensili annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1953-1962. Portate e bilanci idrologici.
- MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1986) - *Appennino centro-meridionale: sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., anno 177-202.
- MORISAWA M. (1968) - *Streams, their dynamics and morphology*. McGraw-Hill, New York.
- SCANDONE P. (1972) - *Studi di geologia lucana: nota illustrativa della carta dei terreni della serie calcareo-silico-marmosa*. Boll. Soc. Natur. Napoli, 225-300.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - *Carta Geologica d'Italia*. Fogli 172 (Campobasso), 173 (Benevento), 174 (Ariano Irpino).
- STRAHLER A.N. (1964) - *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In: CHOW V.T., ed.: *Handbook of Applied Hydrology*, section 4-II, 39-76, McGraw-Hill, New York.
- WILSON L. (1973) - *Variations in mean annual sediment yields as a function of mean annual precipitation*. Am. J. Sc., 273, 335-349.