

FRANCESCO GATTO (*) & RUGGERO MAROCCO (**)

MORFOMETRIA E GEOMETRIA IDRAULICA DEI CANALI DELLA LAGUNA DI GRADO (FRIULI - VENEZIA GIULIA)

Abstract: GATTO F. & MAROCCO R., *Morphometry and hydraulic geometry of channels of the Grado Lagoon (Friuli - Venezia Giulia)*. (IT ISSN 0391-9838, 1993).

The aim of this paper is to carry out a deeper study of tidal systems and in particular of lagoon hydrographic networks, with reference to the Lagoon of Grado (Northern Adriatic Sea). The scope of the study is to underline, by analysing the morphometry of the riverbeds, the meanders and the hydraulic geometry of the channels, the similarities and differences between tidal and fluvial canalization, in order to apply this knowledge to reconstruct the environmental evolution or for the recognition of buried paleochannels.

The analysis of the hydrographic network as a whole points out that the methodology used to study fluvial systems can only be applied in part to lagoon systems, as the latter present particular features that can be summarized as the bidirectional flows and as normal outflooding of channels waters.

Tidal network is composed of main channels, that conduct river or marsh waters towards the sea, and secondary channels, that distribute and receive waters from tidal planes, according to a system of hierarchization of the network, which is very similar to that proposed by ASHLEY & ZEFF (1988).

Quantifying the development of the canalization of the Grado Lagoon, it is seen that, on an average, one square km of lagoon basin subtends 1 km of the main channel and a secondary channel of the same length. The analysis of the morphometry of the channels and lagoon meanders has shown that these do not differ greatly from meandering fluvial channel. It is to be pointed out that the relation between different dimensions of the beds and the lagoon meanders are defined by empirical laws that differ only minimally from those summarized by WILLIAMS (1986) for channel in general.

The only important difference seen, is that concerning the development of the meanders (Am), which is greater in fluvial channel than in lagoon channels. This difference seems to be only partly related to the different characteristics of the flows, whereas, it is greatly attributable to the different conditions of stability of the embankments, given that lagoon banks are set by the colonization of halophyte plants. On examining the equations that link channel flow and channel morphometry, there appear to be important connections between the wavelength

of the meander, the width of the channel and the flow. The study of the hydraulic geometry of the lagoon channels has shown that there is great analogy between the innermost segments of lagoon network and of the fluvial canalizations, whereas the main segments are different.

KEY WORDS: Drainage network, Lagoon, Channel geometry, Friuli-Venezia Giulia (Italy).

Riassunto: GATTO F. & MAROCCO R., *Morfometria e geometria idraulica dei canali della Laguna di Grado (Friuli - Venezia Giulia)*. (IT ISSN 0391-9838, 1993).

Questo studio si propone di approfondire le conoscenze dei sistemi mareali e in particolare dei reticoli idrografici lagunari facendo riferimento alla Laguna di Grado (Alto Adriatico). L'obiettivo è quello di evidenziare, attraverso l'analisi della morfometria degli alvei e dei meandri e la «geometria idraulica» dei canali, le analogie o differenze tra canalizzazioni lagunari e fluviali al fine di utilizzare queste conoscenze per una eventuale discriminazione di questi ambienti nel passato e per il riconoscimento di paleoalvei sepolti.

L'analisi del reticolo idrografico nel suo complesso ha messo in evidenza che nelle lagune si possono applicare solo in parte le metodiche acquisite dallo studio dei sistemi fluviali, e questo soprattutto a causa della peculiarità del sistema lagunare che si può sintetizzare nella bidirezionalità dei flussi e nella regolare esondazione delle acque dai canali. In ogni modo il reticolo lagunare risulta organizzato in canali principali, che convogliano le acque dei fiumi o delle paludi interne verso il mare, e canali secondari che distribuiscono e ricevono le acque dalle piane di marea secondo un tipologia di reticolo molto simile a quella proposta da ASHLEY & ZEFF (1988). Quantificando lo sviluppo delle canalizzazioni della Laguna di Grado, risulta che, mediamente, 1 km² di bacino lagunare sottende 1 km di canale principale e la medesima lunghezza di canalizzazione secondaria. L'analisi morfometrica dei canali e dei meandri lagunari ha messo in rilievo che questi non differiscono di molto dai canali dei fiumi meandriformi. Segnatamente, le relazioni che intercorrono tra le diverse grandezze degli alvei e dei meandri lagunari sono definite da leggi empiriche che si discostano di poco da quelle compendiate da WILLIAMS (1986) per i canali in generale. L'unica differenza significativa si registra per lo sviluppo dei meandri (Am) che risulta essere minore nei canali lagunari rispetto a quelli fluviali. Questa diversità però sembra essere solamente in parte legata alle differenti caratteristiche dei flussi, mentre è in gran parte imputabile alle diverse condizioni di stabilità degli argini, essendo quelli lagunari fissati da piante alofite. Dalla verifica delle equazioni che legano portate liquide dei canali e morfometria degli stessi è risultato che esistono significative relazioni tra lunghezza del meandro, ampiezza del canale e portata. La «geometria idraulica» dei canali lagunari ha infine evidenziato che esistono forti analogie tra i tratti o segmenti iniziali dei canali lagunari e le canalizzazioni fluviali, confermando la differenziazione dei tratti o segmenti centrali o terminali, delimitati dalle barene di canale.

TERMINI CHIAVE: Rete idrografica, Laguna, Geometria dei canali, Friuli - Venezia Giulia.

(*) Via Campoformido 29, 33100 Udine.

(**) Istituto di Geologia e Paleontologia - P.le Europa 1, 34100 Trieste.

Lavoro eseguito con i contributi M.U.R.S.T. - Fondi 60% (Progetto Geomorfologia ed evoluzione del Friuli - Venezia Giulia, Responsabile F. Vaia) e del Progetto Strategico C.N.R. «Sistema Lagunare Veneziano».

Ci preme ringraziare F. Vaia per la lettura critica del manoscritto e per i suggerimenti nello svolgimento della ricerca. Un ringraziamento particolare a Stefano Caressa per il prezioso aiuto in campagna ed a Augusto Dovier per l'ospitalità concessa durante i rilievi del C.le Bacan. Un grazie anche alla Dott.ssa Raffaella Piani per la determinazione quantitativa del particellato in sospensione.

PREMESSA

Recentemente, una serie di articoli pubblicati da un volume speciale di *Marine Geology* (vol. 82, 1988) sulle lagune del Great Sound (New Jersey) ha rilanciato gli studi degli ambienti lagunari in generale e delle canalizzazioni mareali in particolare, puntualizzando le analogie e le differenze che si riscontrano tra canali fluviali e canali lagunari.

Questo argomento, che non aveva ricevuto in passato molta attenzione da parte dei ricercatori, apre nuove possibilità per quanto attiene alla paleoidrografia e soprattutto a quella dei sistemi lagunari, con applicazioni più svariate. Si pensi ad esempio alla Laguna di Venezia e alla possibilità di ricostruire i caratteri idrologici della laguna prima degli ultimi massicci interventi antropici. E questo sulla base dell'analisi delle rappresentazioni cartografiche dei secoli scorsi, mirabilmente eseguite dai Provveditori delle Acque della Repubblica Veneta. Altre applicazioni si possono trovare per ricostruzioni ambientali che abbracciano periodi più lunghi di quelli prima citati, quali il Quaternario. Ad esempio, tutta la piattaforma continentale adriatica è incisa da una serie di paleoalvei, oggi sepolti, che sarebbe molto interessante attribuire a percorsi fluviali o lagunari o alla riutilizzazione di uno di questi. Lo stesso vale per ampi tratti della bassa pianura veneto-friulana.

Alla luce di queste possibilità si è programmata una ricerca articolata in due fasi. Una prima fase, compendiata in questa nota, prevede lo studio geomorfico quantitativo del reticolo idrografico della Laguna di Grado e segnatamente dei caratteri morfometrici e della «geometria idraulica» dei suoi canali (con il significato di LEOPOLD & MADDOCK, 1953) con l'obiettivo di:

- a) verificare le relazioni empiriche tra dimensioni e forma degli alvei dei canali lagunari e dei loro meandri, in analogia a quanto proposto da WILLIAMS (1986) per i canali di fiumi meandrici;
- b) mettere in risalto eventuali ulteriori differenze tra canali lagunari e fluviali.

La seconda fase della ricerca prevede l'eventuale applicazione dei risultati conseguiti per la definizione genetica delle diverse canalizzazioni riscontrabili ancora oggi sul fondo dell'Alto Adriatico (MAROCCO, 1989a) e dei paleoalvei sepolti della piattaforma continentale (STEFANON, 1984, 1985). La scelta della Laguna di Grado come banco di prova su cui svolgere la prima fase della ricerca, oltre a fattori legati alla comodità logistica e al buon grado di conoscenza raggiunto sui diversi aspetti del sistema paralicco, è stata determinata dalla presenza di uno sviluppato reticolo idrografico non riscontrabile nelle altre lagune dell'Alto Adriatico.

AREA DI STUDIO

La Laguna di Grado si estende per complessivi 76 km² circa (16 km di lunghezza e 5 km di larghezza) nella parte più orientale dell'Alto Adriatico, a ridosso del delta digitato del fiume Isonzo. Essa rappresenta l'ambiente laguna-

nare più recente del complesso morfologico costituito dall'insieme della laguna di Marano e di Grado, e più in generale, prendendo in considerazione tutto l'arco dell'Alto Adriatico, del sistema lagunare veneto-friulano che comprende la Laguna di Comacchio, quella di Venezia, di Caorle ed infine quella di Marano e Grado. Segnatamente, la Laguna di Grado si è formata circa 1400 anni fa, a causa di una diversione del fiume Isonzo verso Est e conseguente ingressione marina sul territorio abbandonato (MAROCCO, 1991) mentre, ad Ovest, la Laguna di Marano si era già formata (5540 anni fa; MAROCCO 1989, 1991), come del resto, ancora più ad Ovest la Laguna di Caorle e quella di Venezia (BORTOLAMI & alii, 1977). La relativa giovane età di questa laguna si evince da tutta una serie di testimonianze morfologiche che non hanno riscontro nelle lagune circostanti. Tra queste si ricordano la forma arcuata di protendimento verso il mare, classica di un delta abbandonato non ancora eroso dagli agenti meteomarinari; l'elevata presenza di aree emerse, con quote superiori a 2 m sul l.m.m. che corrispondono ad alti morfologici della paleopianura preesistenti alla trasgressione; la presenza di barene e soprattutto di uno sviluppato sistema di canalizzazioni che vivificano le aree intertidali e subtidali.

Gli scambi della laguna con il mare Adriatico vengono assicurati da quattro bocche. Da Est ad Ovest, bocche di: Primo, Grado, Morgo (in via di occlusione) e Porto Buso, irrigidite da una serie di moli guardiani o arginature, costruiti negli anni 1930-50 a seguito dell'ultima regimazione idraulica lagunare eseguita dal Magistrato delle Acque di Venezia. Ogni bocca sottende un omonimo bacino lagunare, definito da labili partiacque, costituito da una relativa bassa percentuale di aree emerse o semichiusure (che assommano a circa 20% dell'estensione del bacino, di cui gran parte valli da pesca) e il rimanente 80% da aree soggette al libero espandersi delle maree. Nell'ambito di queste ultime si riconoscono le piane di marea (circa 60% del bacino), aree pianeggianti o a debole pendenza, colonizzate da fanerogame marine (*Ruppia maritima*) e angiosperme (*Zostera marina* e *Zosterella noltii*) ultimamente da alghe come l'*Ulva*, la *Chaetomorpha* e la *Gracilaria*. Le piane sono solcate da canali e delimitate da paludi (aree sommerse anche in situazione di minima marea), ubicate quasi sempre ai margini verso terra dei bacini. I canali presentano ampiezze variabili da pochi metri a 450-500 metri, con profondità da alcuni centimetri ad un massimo di 14 metri e portate liquide medie variabili da 200 a 1 000 m³/s (DORIGO, 1965). Per le portate solide, il particellato veicolato alle bocche lagunari (componente inorganica e organica) ammonta, in situazione invernale con calma di vento e marea sizigiale, a 4,6 mg/l in bassa marea e a 2,4 mg/l in alta (BRAMBATI & alii, 1983). Al lato dei canali si sviluppano le barene (barene di canale di ALBANI & alii, 1984), colonizzate da una fitta vegetazione di alofite tra cui *Salicornia*, *Limonium* e *Spartina*.

Le maree, vero motore dell'idrodinamismo lagunare, sono semidiurne con oscillazione media di 65 cm, risultante dall'escursione di 105 cm in situazione di sizigie e di 20 cm in quadratura. L'oscillazione di marea induce una circola-

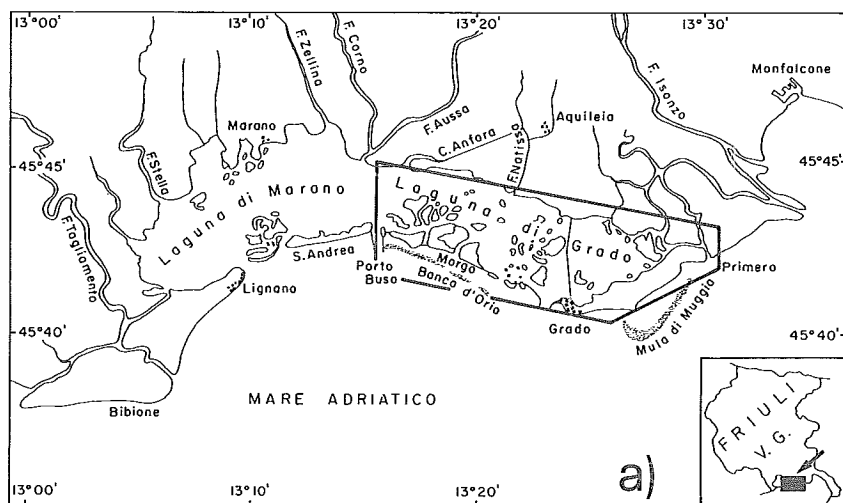


FIG. 1 - a) Ubicazione della Laguna di Marano e Grado. b) Reticolo idrografico della Laguna di Grado. I numeri in cerchietto nero indicano i canali analizzati (delucidazioni nel testo).

FIG. 1 - a) Location of the Marano and Grado Lagoon. b) Hydrographic network of the Grado Lagoon. The numbers indicate the analyzed channels (see details in the text).

zione forzata delle acque all'interno della laguna che si traduce in una corrente di marea che si inverte mediamente ogni 6 h circa.

I canali sopportano la quasi totalità della circolazione delle acque solamente durante le fasi iniziali del flusso e terminali del riflusso. Nei rimanenti periodi le acque esondano dai canali espandendosi liberamente sulle piane tidali e sulle paludi (flusso) o convergono verso la bocca o i canali (riflusso).

La Laguna di Grado risente solo indirettamente dell'influsso delle acque dolci circostanti (F. Isonzo ad Est e Ausa-Corno ad Ovest). L'unico fiume immissario è il Natissa, fiume di antica storia, oggi si risorgiva, con bacino di circa 74,9 km² e portate massime di 63 m³/s e minime di 10-20 m³/s (BRAMBATI & *alii*, 1983).

METODOLOGIE ADOTTATE

Il reticolo lagunare è stato ricostruito sulla base di riprese aerofotogrammetriche in bianco e nero (scala 1:33 000 circa) eseguite dall'I.G.M. nel Giugno 1984 e nel Maggio del 1990 (scala 1:8 400 circa). Come base cartografica si sono utilizzate le tavolette I.G.M. Porto Buso (1949), Grado (1949) e Primero (1959), affiancate dalla cartografia tecnica della Regione Friuli - Venezia Giulia (scala 1:5 000). Sono stati distinti i canali naturali da quelli totalmente artificiali o in parte obliterati da rettificazioni, risagomature, ecc., risultanti dall'analisi della cartografia storica (diverse levate I.G.M.) e soprattutto dai rilievi della Carta Corografica del Litorale eseguita nel 1830 (Archivio di Stato di Trieste; scala 1:86 000 circa). Si è passati quindi alla

individuazione di 13 canali, di chiara origine naturale e solo minimamente intaccati da opere antropiche, che scorrono nei seguenti bacini, da Est ad Ovest (fig. 1 b):

- Bacino di Primero: 1) C.le Primero - Frasiimon,
2) C. Cavegi;
Bacino di Grado: 3) C.le Grado - Biero, 4) C.le S. Pietro d'Orio - Sdrettolo, 5) C.le Mee,
6) C.le S. Marco, 7) C.le Figariola,
8) C.le Tajada, 9) C.le Bacan;
Bacino di Morgo: 10) C.le Morgo;
Bacino di Porto Buso: 11) C.le Croce - Lipan, 12) C.le Anfora Vecchia - S. Giuliano, 13) C.le Mezzano.

Su ognuno dei suddetti canali si è proceduto alla misura ed elaborazione statistica dei parametri morfometrici dei meandri e degli alvei qui di seguito riportati, Lc (lunghezza del canale), Lm (lunghezza del meandro), Rc (raggio di curvatura), Am (ampiezza del meandro), S (sinuosità), W (larghezza del canale) e infine d (profondità del canale) utilizzando, per quest'ultimo parametro, i rilievi dell'unica carta batimetrica della laguna eseguita dal Magistrato delle Acque di Venezia nel 1952. In una fase successiva si sono eseguiti rilievi batimetrici e topografici sul Canale Bacan (Bacino di Grado) al fine di verificare la bontà dei dati ricavati dall'analisi delle aerofotografie e dalla cartografia regionale, e completare l'indagine focalizzando l'attenzione sui rapporti che intercorrono fra parametri morfometrici e portate liquide e solide dei canali lagunari. Sono state misurate durante un ciclo di marea sizigiale (24.9.1991):

- l'altezza di marea (ogni 10 min);
- la velocità di flusso e riflusso (ogni h, con croci di deriva);
- la quantità di particellato in sospensione (ogni h, alla profondità di 30 cm dalla superficie, con bottiglie da 2 l).

Per la determinazione del particellato sono state usate le metodiche introdotte da BANSE & alii (1963), modificate da BRAMBATI & alii (1983).

IL RETICOLO IDROGRAFICO DELLA LAGUNA DI GRADO

Il primo passo compiuto nell'indagine è stato quello di verificare la possibilità di definire i legami che intercorrono tra i diversi canali del reticolo attraverso un ordinamento gerarchico, prendendo come spunto l'analisi dei diversi schemi di classificazione proposti per i reticoli nei bacini fluviali (in particolare HORTON, 1945; STRAHLER, 1957). Data la peculiarità della circolazione idraulica lagunare (soprattutto la bidirezionalità dei flussi) si è constatata l'impossibilità di applicazione dei modelli proposti.

D'altra parte, le dimensioni, le profondità dei canali e la distribuzione areale degli stessi manifestano una organizzazione del sistema idraulico in gruppi o categorie di canali, e precisamente:

- canali che hanno la principale funzione di trasporto delle masse d'acqua dal retroterra al mare o dalle aree più interne della laguna al mare;
- canali di distribuzione del corpo d'acqua sulla estensione dei bacini.

I primi, come detto, svolgono la precisa funzione di conduzione o trasporto delle masse d'acqua fluviali o lagunari verso il mare; i secondi, affluiscono ai due tipi di canali sopradefiniti e ottemperano alla funzione di drenare o disperdere le acque all'interno del bacino lagunare sulle piane di marea. Si possono pertanto distinguere, nell'intricato sistema idrico lagunare, almeno tre categorie di canali:

- canali che convogliano le acque fluviali al mare;
- canali che convogliano le acque delle paludi lagunari al mare;
- canali di distribuzione che si estinguono nelle piane di marea.

Le prime due categorie corrispondono ai canali T-F (*through-flowing* di ASHLEY & ZEFF, 1988) e verranno in seguito definiti canali principali. La terza categoria di canali presenta forti analogie con alcuni canali definiti D-E (*dead-end*) dagli stessi autori e qui di seguito saranno definiti canali secondari (¹).

A confronto con l'ordinamento gerarchico riportato dai succitati autori, mancano nella Laguna di Grado i canali *channel to channel* con caratteri morfometrici intermedi tra i canali principali e secondari, e con funzione di *by passing* tra due o più canali *through-flowing*. Questo fatto conferisce al reticolo lagunare gradese un'organizzazione più elementare (meno evoluta?) che si traduce in una più rigida delimitazione dei bacini idraulici che vengono alimentati da un unico collettore principale.

Le condizioni di sviluppo del reticolo idrografico lagunare vengono poste in evidenza in termini quantitativi da una serie di rapporti tra l'estensione delle canalizzazioni distinte per importanza e quella del bacino o parte di esso (come nel caso del Bacino di Porto Buso che gravita solamente con il suo settore orientale nella Laguna di Grado, tab. 1). Si sono inoltre calcolati gli indici significativi del grado di dissezione dei bacini D (densità di drenaggio; HORTON, 1945) e C (costante di permanenza del canale; SCHUMM, 1956), prendendo come esempio i bacini fluviali.

Il reticolo lagunare di Grado risulta nel complesso poco ramificato. In particolare, lo sviluppo dei collettori principali e quello dei loro affluenti nei diversi bacini viene definito da un rapporto prossimo a 1. Così l'estensione di 1 km di collettore principale sottende un bacino di circa 1 km² e dà origine ad una ramificazione secondaria di lunghezza complessiva pari a 1 km.

Questo scarso sviluppo delle ramificazioni fa sì che la forma del bacino segua lo sviluppo dei collettori e risulti pertanto allungata in tal senso. Nel conteggio delle canalizzazioni (tab. 1) non sono stati inseriti né i canali artifi-

(¹) Non sono state prese in considerazione in questo studio le canalizzazioni più piccole «tidal creek» che si sviluppano sulle barene.

ciali né quelli naturali o parzialmente tali attualmente ubicati all'interno delle valli di pesca, in quanto ormai non soggetti alla libera circolazione delle acque. Da un calcolo

TABELLA 1 - Parametri di sviluppo del reticolo idrografico nei bacini della Laguna di Grado.

TABLE 1 - Parameters of development of the hydrographic network in the basins of the Grado Lagoon.

Bacino	Primero	Grado	Morgo	Porto Buso (pro parte)	Laguna di Grado
Estensione del bacino (km ²)	13,40	34,40	3,40	24,30	75,50
Sviluppo dei collettori principali (C.li principali + C.li secondari) (km)	14,07	32,28	3,75	19,85	71,95
Sviluppo degli affluenti (km)	19,70	34,15	2,65	19,25	75,75
Rapporto affluenti/collettori	1,40	1,05	0,71	0,97	1,05
Densità di drenaggio (D)	2,52	1,93	1,88	1,61	1,96
Costante di permanenza del canale (C)	0,40	0,51	0,53	0,62	0,51

di questi ultimi si evince che il rapporto affluente/collettore principale si sposta sensibilmente verso il numeratore con valori prossimi a 1,5-2,0 per i bacini più estesi e a valori di 3,0 per i bacini minori quale quello di Morgo.

Nella situazione attuale i parametri D e C definiscono la Laguna di Grado, al confronto dei bacini fluviali, un'area poco dissecata. Questi valori comunque devono essere letti in chiave diversa da quella di bacini fluviali e ciò in quanto nei bacini lagunari la circolazione delle acque per marea non è sopportata integralmente dai canali (come nei bacini fluviali), ma quotidianamente anche dalle rimanenti aree intertidali. Va da sé pertanto che relativamente bassi valori di dissezione (determinati anche da interventi antropici) dei bacini lagunari corrispondono da elevati livelli di idrodinamismo ambientale.

E questo comporta una ulteriore sostanziale differenziazione dell'ambiente lagunare rispetto a quello fluviale.

Per quanto riguarda gli aspetti specifici delle canalizzazioni lagunari, la direzione dei canali in generale e quella dei soli canali principali (fig. 2a) mostra per i primi una provenienza da tutti i 360°, e per i secondi uno sviluppo nei soli quadranti settentrionali con una leggera prevalenza da ENE su NE, N, NNW e WNW. Tutte queste direzioni, anche tenendo conto della forma arcuata della linea di riva, rendono evidente che l'orientamento dei canali principali è più complesso della semplice perpendicolarità ai cordoni litorali più volte suggerita da BRAMBATI (1969, 1988). Per quanto attiene poi ai rapporti tra le direzioni dei principali canali lagunari e quelle degli attuali fiumi e canali del retroterra, risultano solamente in minima parte concordanze nelle direzioni di deflusso. Il fatto però non

deve meravigliare se si tiene conto delle naturali diversioni dei corsi d'acqua della regione verso Est (DESIO, 1922), probabilmente dettate da movimenti neotettonici avvenuti in questi ultimi secoli (MAROCCO, 1989) e l'opera di incanalamento e deviazione delle acque eseguite nel territorio di Aquileia nell'ultimo millennio (MAROCCO, 1991a).

L'analisi della modalità di confluenza dei canali secondari nei collettori principali ha messo in evidenza una direzione di provenienza abbastanza bilanciata, con una leggera prevalenza della destra (54%) sulla sinistra (fig. 2b), mentre gli angoli di confluenza assumono valori prossimi a 90° (48,5% dei casi) e in secondo ordine prossimi a 45° (15,6%). Questa tendenza alla perpendicolarità nelle confluenze, particolarmente evidente nelle canalizzazioni minori, ovviamente risente delle basse pendenze delle superfici su cui scorrono i canali, ma sembra essere maggiormente seguita nel sistema lagunare in quanto, in ragione dell'inversione dei flussi, i nodi del reticolo devono assumere sia i caratteri di confluenza, sia quelli di vere e proprie biforcazioni. L'analisi della distribuzione di frequenza dei principali parametri morfometrici degli alvei e dei meandri (fig. 2d, e, f, g, h ed i) indica in generale un andamento asimmetrico dei valori e in generale una buona concordanza dei valori di W, d e Rc per canali principali e secondari e un andamento diverso per Am e Lm (con i canali principali che assumono ovviamente i valori maggiori). Mediamente, i canali della Laguna di Grado possono essere definiti dalle seguenti misure morfometriche (tabella 2):

TABELLA 2 - Valori massimi, minimi e medi dei principali parametri morfometrici dei canali della Laguna di Grado.

TABLE 2 - Maximum, mean and minimum values of the main morphometric parameters of channels of the Grado Lagoon.

	Canali principali			Canali secondari		
	max	min	med	max	min	med
Lunghezza (Lc,m)	9100	6550	8075	6520	2550	4152
Larghezza dell'alveo (W,m)	142	60	86	77	37	50
Profondità (d,m)	7,2	5,3	5,9	6,5	3,1	5,4
Sinuosità (S)	1,96	1,47	1,71	2,82	1,24	1,60
Ampiezza del meandro (Am,m)	411	233	315	338	97	169
Raggio di curvatura (Rc,m)	247	118	179	196	66	117
Lunghezza del meandro (Lm,m)	866	508	700	623	276	459
Pendenza (p,‰)	1,2	0,3	0,8	2,5	0,4	1,1

Risulta in particolare che i canali principali sono contraddistinti da una lieve minor pendenza rispetto ai canali secondari. Questo fatto viene determinato soprattutto dalla notevole differenza nella lunghezza di percorso dei canali, più che da una variazione in termini di profondità.

Si sono inoltre osservate modificazioni dei diversi parametri lungo il percorso del canale. Così la larghezza del canale, il raggio di curvatura, la lunghezza del meandro e

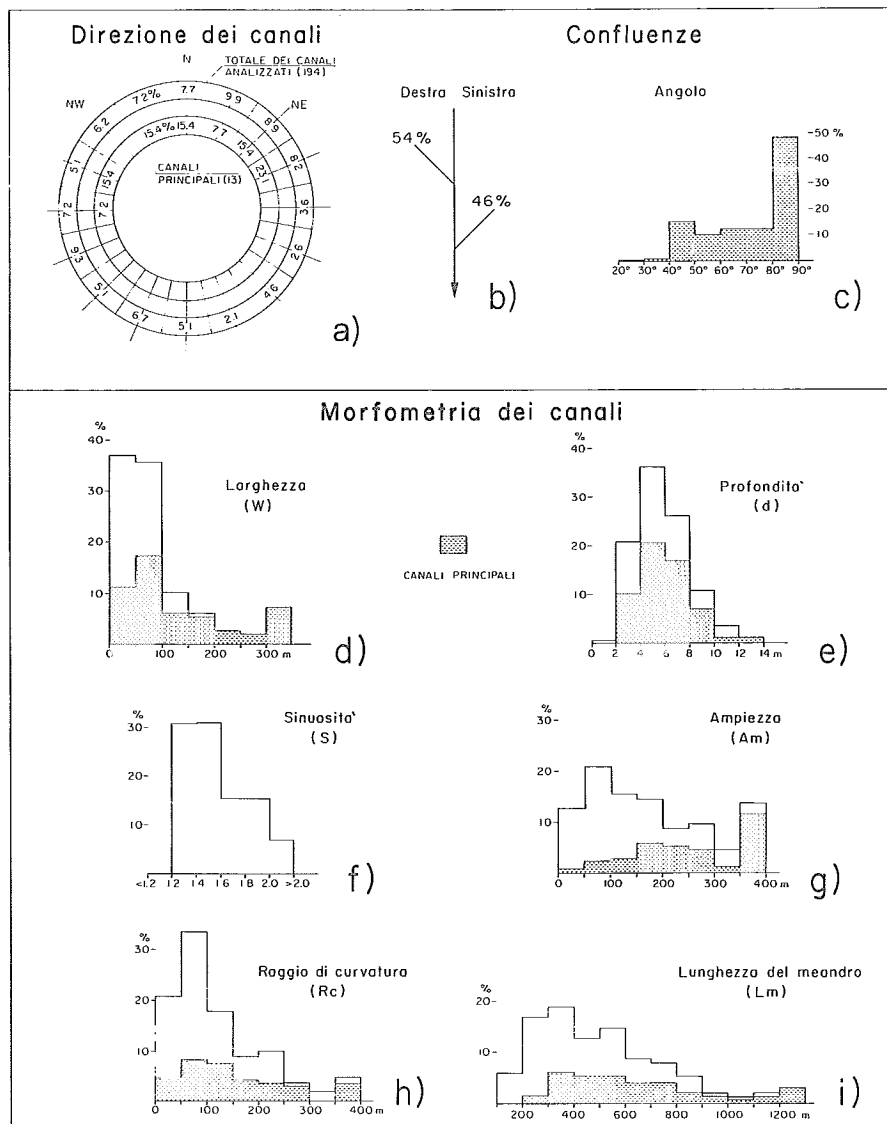


FIG. 2 - Laguna di Grado. Distribuzione di frequenza dei principali parametri del reticolo idrografico. a) Direzione dei canali. b) Direzione di confluenza. c) Angolo di confluenza. d) Larghezza dell'alveo. e) Profondità dell'alveo (dal l.m.m.). f) Sinuosità del canale. g) Ampiezza del meandro. h) Raggio di curvatura del meandro. i) Lunghezza del meandro.

FIG. 2 - The Grado Lagoon. Frequency distribution of the main parameters of the hydrographic network. a) Channel direction. b) Confluence direction. c) Confluence angle. d) Channel width. e) Channel depth (below mean sea level). f) Channel sinuosity. g) Meander amplitude. h) Meander radius of curvature. i) Meander wavelength.

la sua ampiezza aumentano, anche se non in modo uniforme, con il procedere del canale verso il collettore principale o verso la bocca lagunare. Questo fatto fa ritenere che l'intero percorso dei canali può essere distinto in più tratti o segmenti aventi caratteristiche morfometriche specifiche. Così si può riconoscere un tratto iniziale del corso d'acqua, ubicato nell'area più interna della laguna, un tratto centrale e uno terminale, ubicato in prossimità della confluenza o dello sbocco a mare. Anche in questo caso, un discorso a parte deve essere fatto per la profondità del letto del canale (dal l.m.m.), che segue l'andamento generale degli altri parametri, ma senza una regolarità nella variazione, con decrementi e incrementi che danno al letto un profilo ondulato.

Il fatto sembra esser dovuto, oltre che alle modificazioni del fondo causate dai meandri, definite *ripple* e *pool*, botta e soglia (PAREA, 1988), e *molenti* e *polesime* dai pescatori locali, anche ai vortici di corrente che si generano in prossimità delle confluenze e che possono determinare

depressione di 10 m ed oltre ⁽²⁾. Al letto dei tratti terminali dei canali principali, prima dello sbocco a mare sono presenti tutta una serie di strutture da corrente che vanno dalle antidune alle ripples, determinate da velocità che possono raggiungere anche i 2 m/s.

Per quanto riguarda le pendenze medie dei canali, ricordando che esse sono quasi sempre minori di quelle della pianura retrostante ($\approx 2\%$), si è osservato inoltre che:

- la variazione di profondità all'inizio del canale è molto brusca e si realizza con dislivelli di 2-3 m nell'arco di un centinaio di metri;
- alle principali confluenze (non interessate da movimenti vorticosi) i letti dei canali secondari non si raccordano con i collettori principali, ma rimangono sospesi con dislivelli di 2-3 m.

⁽²⁾ Analoghi fenomeni vengono riportati da STEFANON (1980) per le bocche di Malamocco, dove si raggiungono profondità di 30 m circa.

Nella figura che segue (fig. 3) sono state indagate le correlazioni non lineari che regolano la morfometria dei canali e sono state calcolate le relative equazioni (rette di regressione) approssimanti. Nei diagrammi bilogaritmici, oltre ai valori riscontrati per i canali della Laguna di Grado, sono stati riportati i dati relativi al tratto finale (da Latisana al mare) del F. Tagliamento, che sfocia a pochi chilometri a Ovest della Laguna di Marano, e le equazioni

dei canali in genere compendiate da WILLIAMS (1986). Nella tabella 3 si sono messe a confronto le relazioni tra i parametri morfometrici individuate per i canali della Laguna di Grado e quelle dei canali meandriformi di WILLIAMS (1986).

Come si può osservare, le rette approssimanti relative ai canali in genere e ai canali della Laguna di Grado differiscono di poco, se si tiene conto del campo di applicazio-

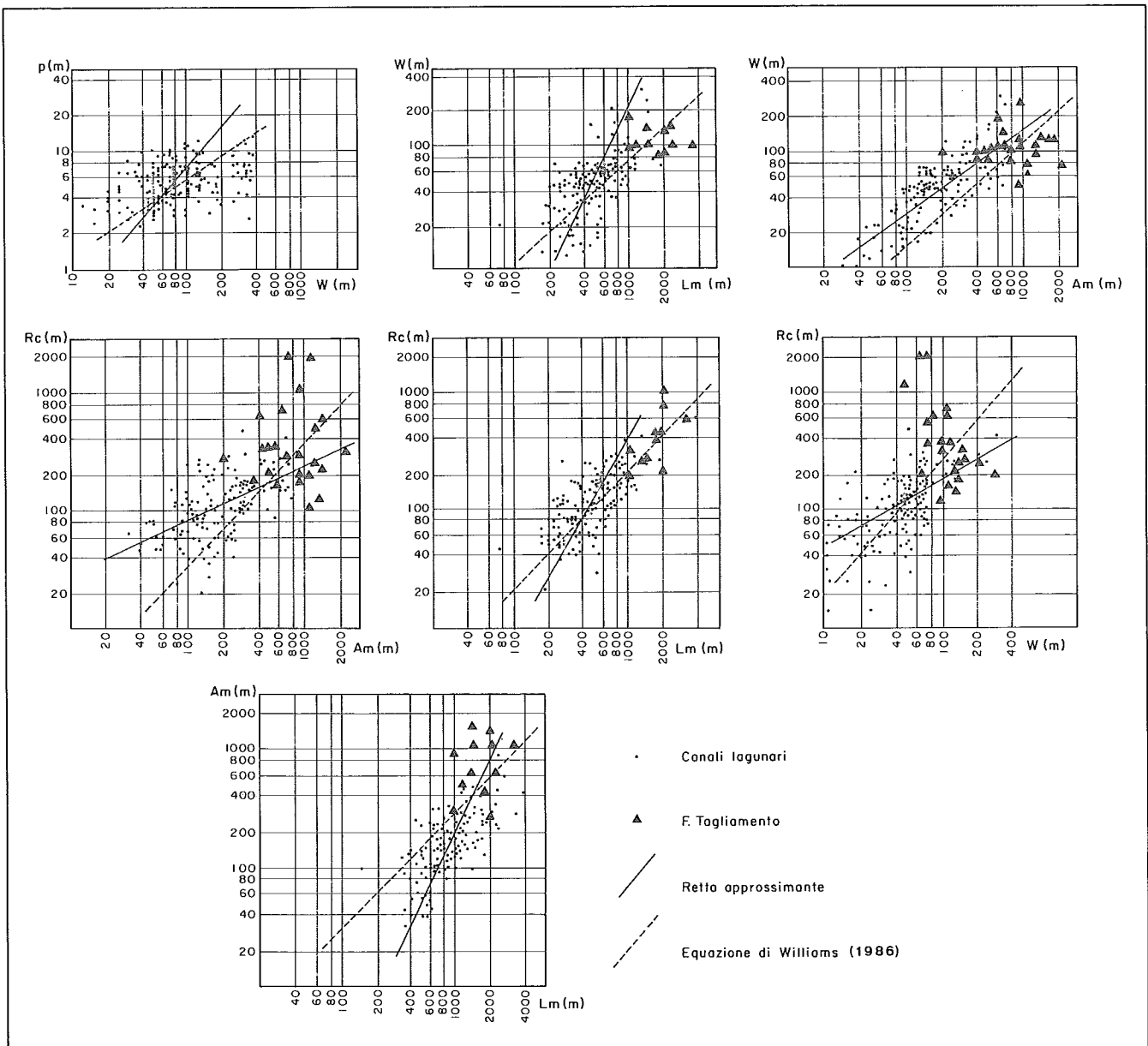


FIG. 3 - Relazioni tra i parametri morfometrici dei canali della Laguna di Grado e quelli del tratto finale del F. Tagliamento. La linea a tratto rappresenta la retta approssimante relativa ai canali meandriformi analizzati da WILLIAMS (1986); quella continua le rette approssimanti risultanti dal presente lavoro.

FIG. 3 - Relationships between the morphometric parameters of channels of the Grado Lagoon and those of the terminal part of the Tagliamento River. The dotted line represents the regression line concerning meandering channels according to WILLIAMS (1986); the continuous line represents the regression line (this paper).

ne rappresentato dai valori inerenti a questa laguna rispetto all'ampia casistica di WILLIAMS (vedi tabella). È interessante notare che mentre i valori del F. Tagliamento vengono ben definiti dalle equazioni di WILLIAMS (1986), per i canali lagunari gli scarti si fanno più sensibili quando entra in gioco l'ampiezza del meandro (fig. 3). È questo al di là della differenza dei coefficienti di correlazione che comunque, dato il gran numero di casi, risultano sempre molto significativi.

TABELLA 3 - Confronto tra le equazioni dei parametri morfometrici dei canali meandrici secondo WILLIAMS (1986) e quelle dei canali della Laguna di Grado.

TABLE 3 - Comparison between the equations of the morphometric parameters of meandering channels after WILLIAMS (1986) and those of channels of the Grado Lagoon.

Equazione	N di dati	WILLIAMS (1986)	
		Campo di applicazione	r
$Wb = 6,8 D_{max}^{1,54}$?	$1 \leq D_{max} \leq 37m$?
$Rc = 1,5 Wb^{1,12}$	79	$1,5 \leq Wb \leq 2000m$	0,97
$Lm = 7,5 Wb^{1,12}$	191	$1,5 \leq Wb \leq 4000m$	0,96
$Lm = 4,53 Rc$	78	$2,6 \leq Rc \leq 3600m$	0,99
$Lm = 1,63 Am$	155	$3,7 \leq Am \leq 13700m$	0,98
$Rc = 0,35 Am$	78	$5 \leq Am \leq 10000m$	0,98
$W = 0,27 Am^{0,89}$	153	$3 \leq Am \leq 13700m$	0,96

Equazione	N di dati	PRESENTI LAVORO	
		Campo di applicazione	r
$Wb = 17 d^{0,89}$	197	$1,3 \leq d \leq 13,10$	0,45
$Rc = 14,8 W^{0,53}$	148	$6 \leq W \leq 313$	0,58
$Lm = 68 W^{0,50}$	148	$6 \leq W \leq 313$	0,61
$Lm = 26 Rc^{0,61}$	148	$21 \leq Rc \leq 492$	0,67
$Lm = 32 Am^{0,52}$	148	$32 \leq Am \leq 733$	0,69
$Rc = 11,5 Am^{0,44}$	148	$32 \leq Am \leq 733$	0,53
$W = 1,13 Am^{0,71}$	148	$32 \leq Am \leq 733$	0,77

Questa differenziazione sottolinea una tendenza tipica dei canali lagunari che, a parità di altri parametri morfometrici, presentano un'ampiezza del meandro meno sviluppata rispetto ai canali fluviali. Anche altri autori e soprattutto BARWIS (1978) e ZEFF (1988) ritengono che seppur le caratteristiche dei flussi possono considerarsi le stesse, a dispetto del flusso bidirezionale e delle portate più regolari dei primi, i canali lagunari e quelli fluviali sono «*the same, yet different*» (ASHLEY & ZEFF, 1988). Ciò soprattutto in relazione alle sistematiche variazioni del raggio

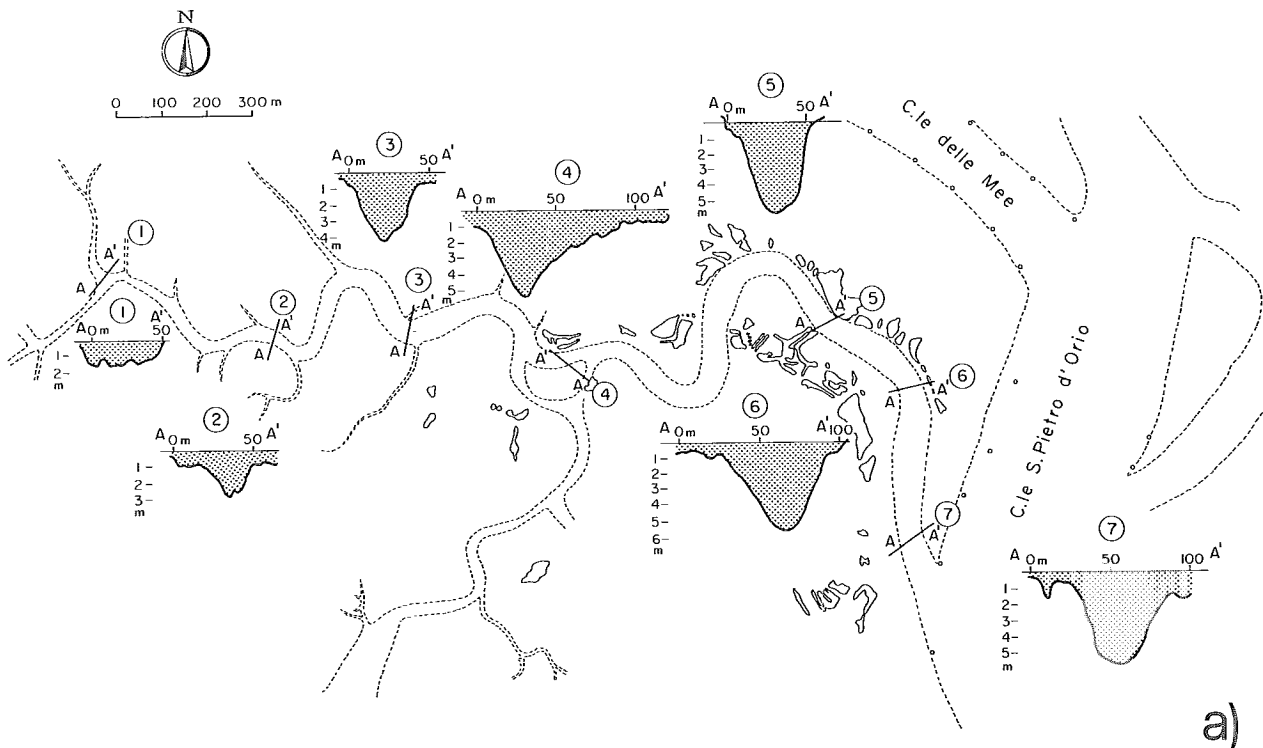
idraulico in funzione dell'ampiezza del canale. In particolare BARWIS (1978) riporta un valore medio del rapporto Ri/W di 1,88 per le lagune della South Carolina, mentre ASHLEY & ZEFF (1988) trovano un valore di 1,83 per le lagune di Great Sound. Secondo questi ultimi autori, la coesione e l'alta resistenza degli argini dei canali lagunari, dovute essenzialmente alla presenza di vegetazione alofita, limitano la migrazione laterale del meandro. Analoga osservazione era stata eseguita da ALLEN (1965) per le lagune a mangrovie. Nei fiumi e nei canali il rapporto diventa ottimale per valori di 2-3 BAGNOLD (1960). Forti di questi risultati, si sono misurati i valori del rapporto Ri/W di tutti i canali lagunari e del tratto finale del F. Tagliamento. Tale rapporto varia da un minimo di 1,07 per i canali lagunari e 1,60 per il F. Tagliamento, ad un massimo rispettivamente di 3,08 e 8,61, con un valore medio di 1,69 contro 3,75 per il F. Tagliamento. Questo dato sembra una ulteriore conferma della diversità dello sviluppo del meandro fluviale rispetto a quello dei canali lagunari. Per quanto riguarda la causa di questa differenza, accertato che essa non è imputabile alle caratteristiche del flusso, anche se la bidirezionalità dei flussi che governa l'idrodinamismo lagunare dovrebbe limitare la libertà di sviluppo del meandro, si è sposata l'ipotesi di una diversa resistenza degli argini dei canali lagunari all'erosione laterale, rispetto a quelli fluviali. Questa resistenza però non è generalizzabile lungo tutto il percorso del canale, ma si dovrebbe verificare in modo diverso a seconda dei tratti o segmenti di canale. Data la caratteristica di gran parte dei canali lagunari di rimanere arginati soprattutto nei loro tratti centrali e terminali, dove le sponde emergono assumendo caratteri di barena colonizzata da vegetazione alofita, ne risulta che la tendenza alla conservazione del meandro è più sviluppata all'estremità verso mare del canale, dove le barene sono più elevate e dove maggiori sono le variazioni di velocità di corrente. Nei tratti iniziali comunque un contenimento alla libertà di sviluppo del meandro può essere esercitata dalle fanerogame marine che bordano le incisioni della piana di marea.

Questa spiegazione rende inoltre plausibile la minima variazione planimetrica dei meandri, soprattutto nel tratto finale dei canali, riscontrata dal confronto della situazione attuale con quella del 1830. E ciò seppur quasi il 20% del territorio lagunare sia stato ridotto dalle bonifiche e dalla conterminazione intervenute in questo lasso di tempo.

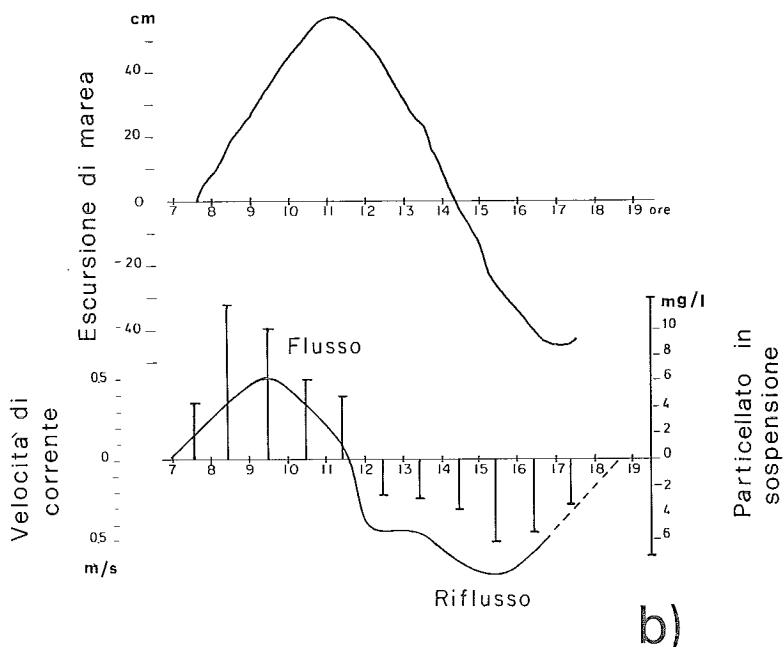
I CARATTERI MORFOMETRICI DEL CANALE BACAN

Al fine di poter disporre di ulteriori dati per chiarire le relazioni tra le diverse dimensioni degli alvei e dei meandri e valutare quelle che legano la morfometria dei canali e le portate liquide ⁽³⁾ si è spostata l'attenzione su un ca-

⁽³⁾ Per quelle solide si fanno proprie le perplessità espresse da ORI (1988) per i canali fluviali, e quindi la non chiara dipendenza della forma e dimensione dell'alveo o del meandro dalla dimensione dei sedimenti. A riprova di quanto detto si ricorda che i canali lagunari sono costitui-



a)



b)

FIG. 4 - Laguna di Grado: a) Planimetria e sezioni del Canale Bacan. b) Ciclo di marea, velocità di corrente e particellato veicolato lungo la sezione 5 del Canale Bacan il 24/9/1991.

FIG. 4 - Grado Lagoon: a) Planimetry and topographic sections of the Bacan Channel. b) Tidal cycle, streamflow velocity and suspended sediment load through section 5 of the Bacan Channel on 24/09/1991.

ti da sedimenti fini (silt e argilla) con tenori anche superiori al 90% all'interno della laguna e da sedimenti relativamente più grossi (sabbie fini e medie), più o meno nella stessa percentuale, in prossimità delle bocche lagunari. Ebbene, la verifica eseguita sulle equazioni empiriche di SCHUMM (1963) relative alle correlazioni tra sinuosità, fattore di forma dato dal rapporto larghezza/profondità del canale e percen-

tuali in silt-argilla dei sedimenti che costituiscono le sponde del canale, non ha dato esito positivo. Una qualche dipendenza, anche se non significativa, si riconosce invece nelle equazioni di WILLIAMS (1988) che prendono in considerazione le correlazioni tra portata liquida e larghezza di un canale in funzione del suo diverso contenuto in silt e argilla o in sabbia e ghiaia.

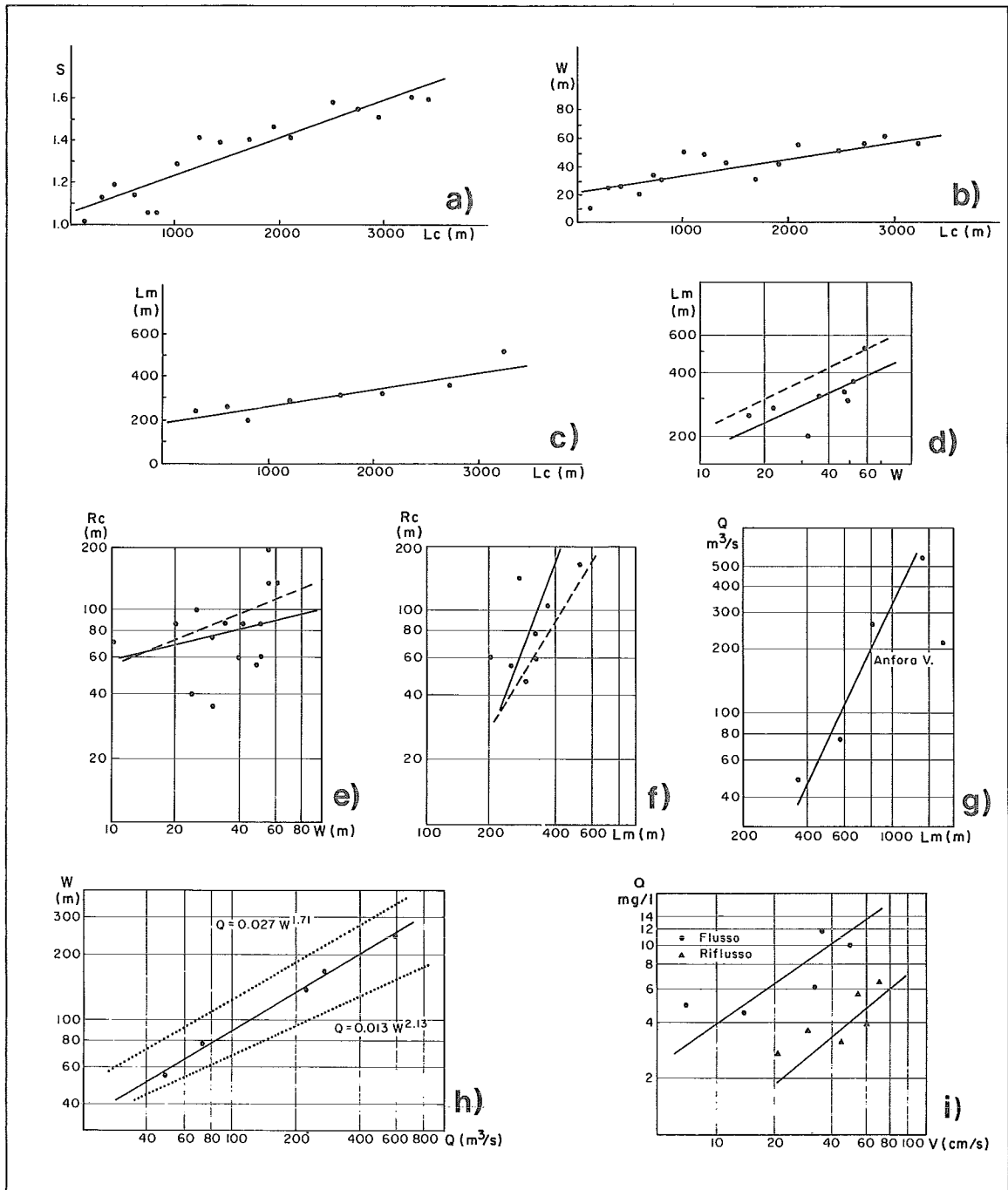


FIG. 5 - Relazioni tra i principali parametri morfometrici e le portate liquide e solide del Canale Bacan. a) Sinuosità vs lunghezza del canale. b) Larghezza dell'alveo vs lunghezza del canale. c) Lunghezza del meandro vs lunghezza del canale. d) Lunghezza del meandro vs larghezza dell'alveo. (La retta a tratto riportata anche nelle figure e) e f) rappresenta la retta approssimante calcolata per tutti i canali della Laguna di Grado). e) Raggio di curvatura vs larghezza dell'alveo. f) Raggio di curvatura vs lunghezza del meandro. g) Portate medie annuali vs lunghezza dei meandri dei canali della Laguna di Grado. h) Ampiezze dei meandri vs portate medie annuali dei canali della Laguna di Grado (Le rette a punti definiscono le equazioni individuate da WILLIAMS, 1986). i) Particellato in sospensione vs velocità di corrente nel Canale Bacan durante il ciclo di marea del 24/9/1991.

FIG. 5 - Relationship between main morphometric parameters and the stream discharge and bed load discharge of the Bacan Channel. a) Sinuosity vs length of the channel. b) Bed width vs length of the channel. c) Meander wavelength vs length of the channel. d) Meander wavelength vs bed width (the dotted straightline shown also in figures e) and f) represents the regression line calculated for all the channels of the Grado Lagoon). e) Radius of curvature vs width of the bed. f) Radius of curvature vs wavelength of the meander. g) Mean annual discharge vs wavelength of the meanders of the channels of the Grado Lagoon. h) Meanders amplitude vs mean annual discharge of the channels of the Grado Lagoon (Dotted straight lines defines the equations after WILLIAMS, 1986). i) Suspended sediment load vs streamflow velocity on Bacan Channel during tidal cycle of 24/09/1991.

nale di quelli prima considerati e precisamente sul Canale Bacan, affluente di destra del Canale di S. Pietro d'Orio (fig. 4a), che si estende nel settore SW della Laguna di Grado. Esso alimenta ed è alimentato da un bacino di circa 1,84 km² ed è contraddistinto da un percorso molto tortuoso che è rimasto pressoché invariato in questi ultimi anni, anche dopo le opere di sbarramento del cordone litorale ultimate nel 1950.

Verificato che le principali dimensioni del canale e dei meandri, rilevate con metodi topografici non vengono mutate di molto rispetto a quelle ricavate dalle immagini aerofotogrammetriche (riportate su base cartografica 1:25 000) e che queste ultime manifestano la tendenza di sottostimare i valori minimi dei parametri, si è proceduto alla misura della marea, della velocità di corrente e della quantità di particellato in sospensione veicolato nella sezione 5 del canale (fig. 4a), in situazione di sizigie (24.9.91) (fig. 4b).

Con una escursione di marea di 102 cm e valori di alta marea maggiori rispetto a quelli della bassa, le velocità di corrente presentano una distribuzione simmetrica con una predominanza delle correnti di riflusso (marea discendente) rispetto al flusso. I picchi di velocità della marea ascendente e discendente si verificano 1 h 30 min prima dei picchi di marea e con velocità massima rispettivamente di 50 cm/s e 71 cm/s e in media di 23 cm/s e 36 cm/s. La quantità di particellato trasportato in sospensione segue l'andamento delle velocità di corrente, con valori elevati in concomitanza di correnti ascendenti e dello spirare della Borsa (vento teso da ENE) e valori più bassi al pomeriggio, in fase di marea calante e calma di vento. I valori medi del particellato veicolato in corrente ascendente sono risultati di 7,49 mg/l contro i 4,27 mg/l in corrente discendente, con un bilancio in attivo del bacino lagunare. Le portate calcolate alla sezione 5 (fig. 4a) sono risultate essere pari a 118 m³/s per le massime e 60 m³/s per le medie.

Considerando che i valori medi di portata riscontrati nel giorno di misura corrispondono alle medie maree sizigiali, sulla base delle oscillazioni di marea medie annuali si può stimare in circa 49 m³/s la portata media annuale del canale. Tutti i parametri morfometrici ricavati dal Canale Bacan sono stati correlati tra loro (fig. 5). Le relazioni più significative riscontrate sono riportate nella tabella seguente.

TABELLA 4 - Correlazioni tra i principali parametri morfometrici del Canale Bacan.

TABLE 4 - Correlation between main morphometric parameters of the Bacan Channel.

S vs Lc	$S = 1,82 \times 10^{-4} Lc + 1,048$	$r = 0,858$	$n^{\circ} = 17$
W vs Lc	$W = 0,0127 Lc + 20,18$	$r = 0,788$	$n^{\circ} = 16$
Lm vs Lc	$Lm = 0,08 Lc + 188,01$	$r = 0,828$	$n^{\circ} = 18$
Rc vs W	$Rc = 33,89 W^{0,24}$	$r = 0,713$	$n^{\circ} = 16$
Lm vs W	$Lm = 65 W^{0,432}$	$r = 0,697$	$n^{\circ} = 8$
Lm vs Rc	$Lm = 60 Rc^{0,37}$	$r = 0,692$	$n^{\circ} = 8$

A commento della tabella si specifica che le prime quattro relazioni individuate, grazie al relativamente alto numero di osservazioni, presentano correlazioni altamente significative (probabilità < 0,1%). Per le altre due (Lm vs W; Lm vs Rc), invece, il basso numero di osservazioni rende più ampio il margine di incertezza (probabilità < 5%).

Oltre alle relazioni tra le dimensioni del Canale Bacan si sono riportate in fig. 5d, e ed f anche quelle individuate dall'analisi di tutti i canali della Laguna di Grado. Seppur con lievi differenze i caratteri morfometrici del C.le Bacan sono abbastanza prossimi a quelli della generalità dei canali della Laguna di Grado.

Per quanto riguarda le relazioni empiriche tra «geometria dei canali» e portate medie, oltre alle portate del C.le Bacan si sono prese in considerazione anche quelle relative al C.le di S. Pietro d'Orio, C.le di Grado, C.le di Morgo e C.le Anfora Vecchia, calcolate da DORIGO (1965). Sulla base di questi dati si sono verificate le diverse relazioni per i canali in genere compendiate da WILLIAMS (1986) e le equazioni riscontrate da ASHLEY & ZEFF (1988) per le lagune del New Jersey. Le relazioni che meglio approssimano l'idrodinamismo della Laguna di Grado sono:

$$Lm = 75,25 Q^{0,44} \text{ (da ASHLEY \& WEFF, 1988) (fig. 5g)}$$

$$Q = 0,085 W^{1,59} \text{ (relazione intermedia tra } Q = 0,027 W^{1,71} \text{ e } Q = 0,013 W^{2,13} \text{ di WILLIAMS, 1988, fig. 5h)}$$

Nella figura 5g lo scarto del C.le Anfora Vecchia sembra essere dovuto alla rettifica di parte di questo canale a fini di navigazione endolagunare (Litoranea, Veneta).

A completamento della ricerca si sono calcolati i coefficienti «b», «f» ed «m» di LEOPOLD & MADDOCK (1953) ($W = aQ^b$; $d = cQ^f$; $v = kQ^m$).

Anche in questa casistica, ripresa da ASHLEY & ZEFF, op. cit., è evidente la spiccata analogia dei canali della Laguna di Grado con i canali T-F del Great Sound e la loro sensibile differenza dai D-E *channel* e dai canali mareali della California e della Virginia, ma soprattutto da quelli fluviali.

L'analogia tra i canali lagunari gradesi e i T-F del Great Sound viene sostenuta da alti valori di m e bassi valori di b ed f. La differenza tra i canali gradesi e i D-E o i classici canali delle *tidal marshes* viene determinata dai relativamente più elevati valori di f e b e dai diminuiti valori di m, fino a giungere ai canali fluviali dove i valori di b, f ed m quasi si equilibrano.

In sintesi, da tutti questi dati si evince che alcuni canali lagunari e specificamente quelli principali, presentano caratteri peculiari che sono propri dell'ambiente lagunare, mentre altri canali e segnatamente quelli secondari, manifestano un comportamento analogo a quello che si riscontra nei fiumi in genere e pertanto non possono esser da questi distinti.

In altri termini, quanto sopra detto viene motivato dal fatto che, mentre nei canali principali l'aumento progressivo della portata in fase di flusso (o la diminuzione in caso opposto) viene bilanciato soprattutto da un incremento di velocità della corrente incanalata, nei secondi l'incremento di portata viene compensato soprattutto da una va-

TABELLA 5 - La «geometria idraulica» dei canali lagunari e dei fiumi in genere.
TABLE 5 - Hydraulic geometry of the lagoon channels and fluvial canalizations.

	b (larghezza)	f (profondità)	m (velocità)	
C.le Bacan	+ 0,01	- 0,03	1,02	
Canale DE (New Jersey)	0,09/0,22	- 0,07/0,62	0,17/0,97	ASHLEY & ZEFF (1988)
Canale TF (New Jersey)	+ 0,01	- 0,51/- 0,03	1,02/1,50	ASHLEY & ZEFF (1988)
Tidal marsh (California)	0,15	0,27	0,68	PESTRONG (1965)
Tidal marsh (Virginia)	0,04	0,18	0,78	MYRICK & LEOPOLD (1963)
Fiumi in genere	0,26	0,40	0,34	LEOPOLD & MADDOCK (1953)

riazione di pendenza dell'alveo e, subordinatamente, dall'allargamento del canale.

Se poi si applica questo comportamento idraulico ai diversi tratti o segmenti dei canali lagunari, ricordati nelle pagine precedenti, si ha ragione di ritenere che probabilmente anche i tratti o segmenti iniziali delle vie d'acqua principali dove si segnalano brusche variazioni di pendenza accompagnate da lievi incrementi di larghezza del canale, si debbono considerare più prossimi al comportamento fluviale che a quello lagunare.

In conclusione da questa prima disamina tra canali lagunari e fluviali (che ci si riserva di approfondire ulteriormente nel prosieguo della ricerca) verrebbe rilevato anche su basi idrodinamiche quanto si è avuto già occasione di osservare su basi morfometriche e cioè che le analogie tra canali lagunari e fluviali vanno ricercate nei settori più interni della laguna e nei canali secondari liberi da barene consolidate. Questi canali però hanno esigue dimensioni ($W = 10$ m circa; $d \leq 1$ m) rispetto ai canali fluviali (Isonzo $W = 120$ m, $d = 11,2$ m; Tagliamento $W = 75$ m, $d = 7,2$ m), anche se in termini di rapporto W/d sono molto simili e prossimi a valori di 10.

Le differenze tra canali lagunari e fluviali si fanno invece sensibili e quantificabili nei tratti centrali e terminali dei canali lagunari, dove l'alveo è contenuto lateralmente dalle barene consolidate dalla vegetazione alofita.

Per quanto riguarda la quantità di particellato trasportato in sospensione (TSM) alla superficie del canale, i pochi dati raccolti evidenziano una tendenza all'aumento del TSM con l'incremento della velocità di corrente (fig. 5i). Questa tendenza però si manifesta con valori diversi nella fase di flusso (mediamente 7,48 mg/l) rispetto a quella di riflusso (mediamente 4,27 mg/l). I pochi dati raccolti non permettono ovviamente una generalizzazione delle relazioni così individuate, che pertanto devono essere considerate significative a livello locale e per la particolare situazione mareografica.

CONCLUSIONI

1) Il reticolo idrografico della Laguna di Grado risulta essere articolato in almeno tre categorie di canali: cana-

li che mettono in comunicazione uno sbocco fluviale con il mare, canali che mettono in comunicazione una palude interna alla laguna con il mare (entrambi definiti canali principali) e infine canali che si estinguono sulle piane di marea (canali secondari) secondo uno schema molto simile a quello proposto da ASHLEY & ZEFF (1988).

2) Lo sviluppo delle canalizzazioni può essere generalizzato in una estensione di 1 km di canale principale e altrettanto di canalizzazioni secondarie per 1 km² di area lagunare.

3) Come era prevedibile, le dimensioni dei canali principali sono maggiori rispetto a quelle dei canali secondari (soprattutto W , Am ed Lm), mentre l'opposto si verifica per la pendenza media (espressa in ‰) che è leggermente inferiore nei primi rispetto ai secondi. Le relazioni però che legano i diversi parametri morfometrici dei canali e dei meandri seguono le stesse leggi empiriche.

4) Le direzioni dei canali principali (IV e I Quadrante) non sono sempre perpendicolari ai cordoni litorali, e seguono solo in parte quelle dell'idrografia superficiale della bassa pianura retrostante.

5) L'angolo di confluenza (o biforcazione) più frequente nelle canalizzazioni secondarie è di circa 90°.

6) Le relazioni tra i principali parametri morfometrici dei canali lagunari calcolate per la Laguna di Grado e quelle dei canali fluviali meandriiformi riportate da WILLIAMS (1988) differiscono di poco.

7) Le dimensioni del basso percorso del F. Tagliamento vengono ben definite dalle equazioni empiriche di WILLIAMS (1988).

8) Le differenze tra la morfometria dei canali lagunari e fluviali vengono accentuate quando entra in gioco l'ampiezza del meandro. In altri termini lo sviluppo in ampiezza del meandro risulta essere minore nei canali lagunari rispetto a quelli fluviali.

9) Le differenze nello sviluppo del meandro sembrano essere imputabili in minima parte alla diversità dei flussi lagunari e fluviali e in gran parte alla diversa resistenza esercitata dagli argini sulla libertà di migrazione del meandro, determinata, nei bacini lagunari, dalla fissazione del ciglio del canale da parte di piante alofite.

10) Le portate liquide dei canali sono correlabili significativamente con la lunghezza del meandro e l'ampiezza del canale.

11) L'analisi della «geometria idraulica» dei canali ha permesso di evidenziare che nell'ambito lagunare coesistono canali che hanno un comportamento simile a quello dei percorsi fluviali e altri, i più sviluppati, che presentano analogie con altri canali mareali di diverse lagune, e quindi possono considerarsi specifici di questo ambiente. Inoltre, l'applicazione di queste osservazioni all'intero reticolo idrografico della Laguna di Grado fa ritenere che le analogie tra canali fluviali e lagunari sono più forti nei tratti iniziali dei canali principali e secondari, mentre le differenze si fanno sensibili per i tratti centrali e terminali delle vie d'acqua lagunari, quindi man mano che si procede verso la bocca lagunare o il collettore principale. E ciò a causa della presenza delle barene di canale consolidate dalla vegetazione alofita.

12) La quantità di particolato trasportato in sospensione alla superficie del tratto finale di un canale, misurata nell'arco di una giornata e in condizioni di sizigie, mostra in generale una relazione di proporzionalità diretta con la velocità di corrente che si realizza però con valori diversi in flusso e riflusso.

BIBLIOGRAFIA

- ALBANI A., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1984) - *Apparati intertidali ai margini dei canali lagunari. Studio morfologico micropaleontologico e sedimentologico*. Ist. Ven. Sc. Lett. Art., 10, 137-162.
- ALLEN J.R.L. (1965) - *Coastal geomorphology of Eastern Nigeria: beach-ridge barrier island and vegetated tidal flats*. Geol. Mijnbouw, 44, 1-21.
- ASHLEY G.M. (Editor) (1988) - *The Hydrodynamics and Sedimentation of a Back-Barrier Lagoon-Salt Marsh System, Great Sound, New Jersey*. Mar. Geol., 82, 132 pp.
- ASHLEY G.M. & ZEFF M.L. (1988) - *Tidal channel classification for a low-mesotidal salt marsh*. In: G.M. Ashley (Editor), *The Hydrodynamics and Sedimentology of a Back-Barrier Lagoon - Salt Marsh System, Great Sound, New Jersey*. Mar. Geol., 82, 17-32.
- BAGNOLD R.A. (1960) - *Some aspects of the shape of river meanders*. U.S. Geol. Surv. Prop. Paper, 282E, 135-144.
- BANSE K., FALLS C.P. & HOBSON L.A. (1963) - *A gravimetric method of determining suspended matter in sea water using Millipore filters*. Deep-sea Res., 10, 639-642.
- BARWIS J.H. (1978) - *Sedimentology of some South Carolina tidal-creek point bars, and a comparison with their fluvial counter-parts*. In: A.D. Miall (Editor), *Fluvial Sedimentology*. Can. Soc. Pet. Geol. Mem., 5, 129-160.
- BORTOLAMI G.S., FONTES J.CH., MARKGRAF V. & SALIÉGE J.F. (1977) - *Land, sea and climate in the Northern Adriatic Region during late Pleistocene and Holocene*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 21, 139-156, Amsterdam.
- BRAMBATI A. (1969) - *Sedimentazione recente nelle lagune di Marano e Grado (Adriatico Settentrionale)*. St. Trent. Sc. Nat., 46, 142-239.
- BRAMBATI A. (1988) - *Lagune e Stagni costieri: due ambienti a confronto*. In G.C. CARRADÁ, F. CIOGNA & E. FRESI (Editors), *Le Lagune costiere: ricerca e gestione*, 9-33, Napoli.
- BRAMBATI A., FANZUTTI G.P. & MAROCCO R. (1983). *Suspended matter transport in lagoons: The Grado Lagoon*. Boll. Ocean. Teor. Appl., 1, 5-18.
- CARTA COROGRAFICA DEL LITORALE (1830). Archivio di Stato di Trieste (Scala 1:86 000 circa).
- CARTA IDROGRAFICA DELLA LAGUNA DI GRADO (1952). Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque, Venezia (Scala 1:25 000).
- DESIO A. (1922) - *Le variazioni della foce del Fiume Isonzo*. Riv. Geogr. It., 29, 249-268.
- DORIGO L. (1965) - *La laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici*. Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque, 155, 231 pp., Venezia.
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., 56, 275-370.
- LEOPOLD L.B. & MADDOCK T.M. (1953) - *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication*. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 252, 57 pp.
- MAROCCO R. (1989) - *Evoluzione quaternaria della Laguna di Marano (Friuli Venezia Giulia)*. Il Quaternario, 2, 125-137.
- MAROCCO R. (1989a) - *Lineamenti geomorfologici della costa e dei fondali del Golfo di Trieste e considerazioni sulla loro evoluzione tardo-quaternaria*. Int. Journ. Speleol., 18, 87-110.
- MAROCCO R. (1991) - *Evoluzione tardo-pleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento e delle Lagune di Marano e Grado (Golfo di Trieste)*. Il Quaternario, 4, 223-232.
- MAROCCO R. (1991a) - *Le dune di Belvedere - San Marco. Una antica linea di riva? 1) Considerazioni geomorfologiche*. Gortania, 13, 57-76.
- MYRICK R.M. & LEOPOLD L.B. (1963) - *Hydraulic geometry of a small tidal estuary*. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 422B, 18 pp.
- ORI G.G. (1988) - *Facies e geometrie deposizionali dei sedimenti fluviali*. Giorn. Geol., ser. 3, 50, 39-67.
- PAREA G.C. (1988) - *Le condizioni che permettono ai fiumi di formare i meandri*. Giorn. Geol., ser. 3, 50, 185-204.
- PESTRONG R. (1965) - *The development of drainage patterns on tidal marshes*. Stanford Univ. Publ. Geol. Sc., 10 (2), 87 pp.
- SCHUMM S.A. (1956) - *Evolution of Drainage System and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey*. Geol. Soc. Am. Bull., 67, 597-646.
- STEFANON A. (1980) - *Le «fosse» del porto canale di Malamocco a Venezia*. Rassegna Tecnica del F.V.G., 2, 43-47.
- STEFANON A. (1984) - *Sedimentologia del mare Adriatico: rapporti tra erosione e sedimentazione olocenica*. Boll. Ocean. Teor. Appl., 4, 281-324.
- STEFANON A. (1985) - *Marine sedimentology through modern acoustical methods: I. side scan sonar*. Boll. Ocean. Teor. Appl., 3-38.
- STRAHLER A.N. (1957) - *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans. Am. Geophys. Union, 38, 913-920.
- WILLIAMS G.P. (1986) - *River meanders and channel size*. Journ. Hydrol., 88, 147-164.
- WILLIAMS G.P. (1988) - *Paleofluvial estimates from dimensions of former channel and meanders*. In: V.R. BAKER, R. CRAIG KOCHER & P.C. PATTON (Editors) - *Flood Geomorphology*, 321-334, New York.
- ZEFF M.L. (1988) - *Sedimentation in a salt marsh-tidal channel system, southern New Jersey*. In: G.M. ASHLEY (Editor), *The hydrodynamics and Sedimentology of a Back-Barrier Lagoon-Salt Marsh System, Great Sound, New Jersey*. Mar. Geol., 82, 33-48.