

Quel delicato confine tra mare e terra

La laguna di Grado-Marano: le caratteristiche morfologiche, le maree, la sua genesi

di Paola Albrecht e Ferruccio Mosetti

1. Introduzione e cenni storici

Forse la caratteristica essenziale delle lagune in genere, e di quella di Grado in particolare, è la continua evoluzione sia della topografia dell'area lagunare in senso stretto e del territorio limitrofi che, ovviamente, delle varie caratteristiche ambientali (vegetazione, fauna, apporto antropico).

Nel II e III secolo d.C., quando Aquileia era al suo massimo splendore, Grado rappresentava una parte dell'area portuale di Aquileia ed era situata alla foce del fiume Natissa (probabilmente la parte valliva dell'attuale Natisone). Già a quell'epoca Grado era nota ai ricchi romani che qui vi eressero ville e palazzi; tutta l'attuale laguna era allora disseminata di ville e industrie (laterizi e anfore); pare addirittura che si conoscessero gli ottimi benefici terapeutici delle acque marine calde.

Ora alcune di queste ville si trovano al largo fuori della laguna sotto diversi metri di sabbia. Col passar dei secoli i corsi d'acqua divagarono, cambiarono percorso e direzione, non contribuirono più al trasporto e conseguente sedimentazione dei materiali sabbiosi nell'area lagunare ed il mare pian piano invase la terraferma anche in conseguenza di un generale innalzamento del livello medio marino derivato da variazioni climatiche. Si formarono zone paludose (in buona parte poi bonificate nei secoli successivi) finché si cominciò a delineare la topografia e la morfologia dell'attuale laguna.

Appena nel secolo XVIII fu riscoperto l'interesse, soprattutto da parte del mondo medico, della «Grado termale e terapeutica». Dopo la costruzione del primo Ospizio marino (1883) e la sempre maggior presenza, specialmente nei mesi estivi, di persone che ricorrevano a Grado per le varie cure mediche, cominciarono a delinearsi i primi problemi per l'approvvigionamento dell'acqua potabile, che ormai cominciava a non essere più sufficiente. Ed è così che già nel 1893 il sottosuolo dell'area della laguna fu interessato da ricerche idrogeologiche (promosse dall'Austria alla quale interessava anche dare un certo lustro alla zona ormai notissima turisticamente). Tali ricerche sono tra le prime

su scala mondiale sia per i mezzi impiegati che per le profondità raggiunte. In quell'anno fu trivellato il primo pozzo profondo della laguna.

A questo ne seguirono altri fino alla costruzione nel 1902 del primo acquedotto comunale. In queste occasioni furono effettuate analisi chimiche delle acque artesiane e stratigrafiche dei terreni interessati, che pure segnano dei «primati», ad opera del noto geologo Guido Stache.

L'evoluzione della laguna, con variazioni più o meno imponenti della linea di costa, con la mutazione e spostamento delle spiagge, legati alle già citate divagazioni dei corsi idrici, sono argomenti conosciuti da secoli, ma, in passato, non bene interpretati o valutati; in tempi diversi sono state prese iniziative per tutelare il litorale e mantenere (o evitare una accelerazione del degrado della laguna) costante quanto più è possibile la topografia delle spiagge, delle isole, delle dune. Alcune opere sono risultate positive, altre invece pare abbiano accelerato il processo di ritiro della spiaggia. Imponenti lavori di «restauro» sono stati iniziati in special modo agli inizi del secolo, con un massimo attorno agli anni '20-'30 (bonifiche, arginature, canalizzazioni, costruzioni di pennelli e dighe).

Altre opere sono state eseguite negli anni '50-'60, e con l'esplosione dell'«industria turistica» molta attenzione è stata prestata a un ampliamento (quindi una bonifica dei terreni contermini alla laguna, totalmente o quasi paludosi) delle aree atte a poter contenere vaste zone residenziali, e forse troppo poco s'è fatto invece per una buona «manutenzione» della laguna in senso stretto (mantenimento dell'area lagunare con i suoi cordoni litorali, banchi, dune, ecc., che sono invece di estrema importanza proprio per l'esistenza stessa della laguna).

È proprio per poter programmare congruamente la salvaguardia della laguna che è importantissimo avere una buona conoscenza delle caratteristiche morfologiche e genetiche di questa, conoscere l'idrologia e l'importanza assunta dalle maree, senza tralasciare però neppure le caratteristiche chimiche delle acque. La conoscenza di questi fattori può esser utile non solo dal punto di vista prettamente scientifico ma anche per capire le variazioni socio-economiche, storiche, culturali che si sono succedute nel tempo in quest'area, visto che esse sono variate appunto in dipendenza della variazione ed evoluzione della laguna stessa.

2. Caratteristiche morfologiche e genesi

La laguna di Grado è la parte orientale della ben più vasta laguna di Grado-Marano, intesa come un'unica unità idrologica anche se in essa si possono distinguere spartiacque e bacini secondari.

Da un punto di vista prettamente morfologico la laguna di Grado (fig. 1) è interessata da una maggiore differenziazione tra aree sempre sommerse dalle acque ed aree emerse, con diverse isole, anche di notevoli dimensioni, disseminate un po' dappertutto entro la laguna. Mentre la parte occidentale della laguna di Grado-Marano, ossia quella comunemente detta di Marano, è caratterizzata da un'area sommersa ben più estesa ed uniforme e con isole lagunari piccole e marginali; in questa area occidentale esiste un maggior numero di

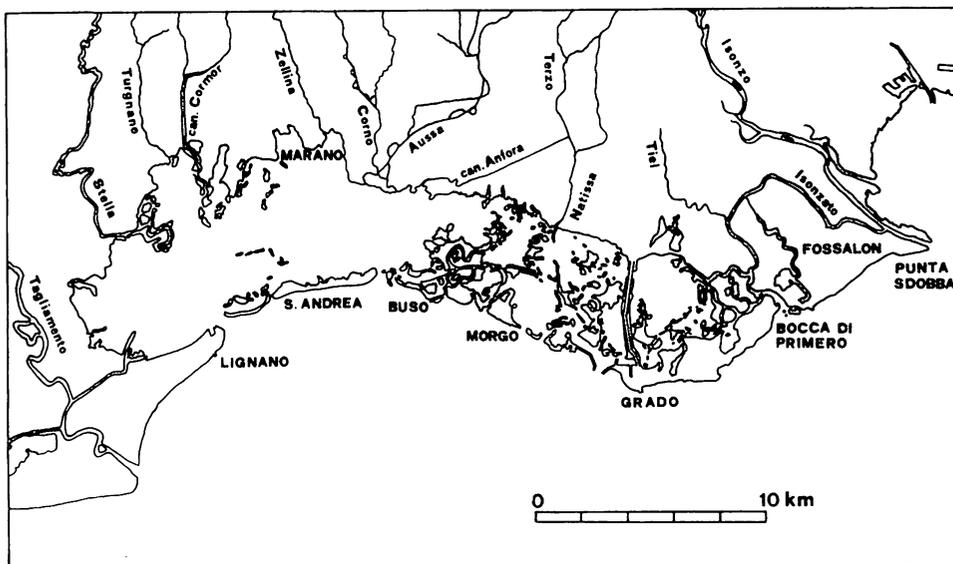


Figura 1: Planimetria della laguna di Grado-Marano. Vengono riportati, oltre ai corsi d'acqua sfocianti in laguna, anche il Tagliamento e l'Isonzo che la delimitano rispettivamente ad W ed a E. È ben visibile il paleo-delta oramai smembrato dell'Isonzo, costituente ora l'arco di isole (fra cui quella dove sorge Grado) della laguna di Grado s.str. Si osservi la scarsità di isole della laguna di Marano (ad W di Buso) in confronto a quella di Grado.

sbocchi fluviali (sbocchi chiaramente presenti al margine continentale della laguna) ed i solchi fluviali, ossia i canali lagunari naturali, continuano nitidamente sul fondo lagunare fino agli sbocchi della laguna verso il mare aperto, compresi tra le isole litorali. Tra le «due» lagune il bacino di Buso, molto vasto e con caratteristiche intermedie, si fa appartenere ad una o all'altra laguna (abitualmente però viene fatto comprendere nella laguna di Grado) ed in certe classificazioni addirittura viene suddiviso in due parti.

La genesi di tutta l'area lagunare è la stessa, anche se pare che esista una differenziazione in termini d'età fra le «due» lagune: più giovane, addirittura post-romana, quella orientale — la laguna di Grado s. str. —, relativamente più vecchia quella occidentale — la laguna di Marano —. Oltre che da analisi più specifiche la differente età potrebbe esser denunciata, se si trascura l'opera dell'uomo, dal differente sviluppo delle foci fluviali: gli sbocchi più orientali (Natissa, Aussa, Corno) sono privi di apparati deltizi, mentre invece nell'area occidentale si notano sviluppati delta fluviali, come quello dello Stella (ed altri minori, o residuali), nonostante che, trattandosi di fiumi di risorgiva, essi siano scarsamente apportatori di sedimenti. (La formazione dei delta necessita cioè di un tempo notevole se si tratta di fiumi di risorgiva, con scarse torbide).

Per quanto riguarda la formazione dell'area lagunare, questa è derivata dalla sommersione di un'area costiera, dovuta al prevalere dell'innalzamento progressivo del livello marino rispetto al trasporto (e deposito) dei sedimenti da parte dei fiumi che qui vi scorrono (nel nostro caso in particolare dell'Ison-



zo e del Tagliamento). È comunque da ritenere che nella più o meno continua ascesa — negli ultimi millenni — del livello del mare (accompagnata anche dalla subsidenza costiera) aree lagunari più esterne siano esistite più al largo, ed a livelli più bassi dell'attuale laguna e perciò questa rappresenti il limite attuale più arretrato di una formazione già esistente in precedenza, quando il livello del mare era più basso. È qui forse il caso di ricordare che durante il quaternario (grossomodo nell'ultimo milione d'anni) il livello del mare (dell'Adriatico in particolare) è salito di circa 200 metri. Tagliamento ed Isonzo hanno costruito i loro delta più antichi in preesistenti aree lagunari, interrandone parti più o meno cospicue e lasciando tracce inconfondibili nelle strutture profonde sotto le attuali aree lagunari e sotto il fondo del mare antistante.

Le stesse attuali formazioni deltizie risentono di questa origine: l'Isonzo, per esempio, la cui foce di Sdobba è stata formata addirittura in epoca storica, ha determinato lo stesso arco su cui sorge Grado e le isole litorali fino a Primero, la cui bocca altro non è che, probabilmente, proprio il residuo di una paleofoce isontina. Il paleodelta dell'Isonzo è stato smembrato sia per l'accrescersi del livello marino sia per le variazioni nel regime fluviale con divagazioni naturali del corso. Oggi la foce dell'Isonzo, come del resto anche quella, occidentale, del Tagliamento, è più propriamente un estuario, o meglio, esiste una certa indecisione tra delta ed estuario, dovuta proprio al gioco tra azione fluviale di deposito e sommersione marina (oltre che erosione con la conseguente azione delle maree). Infatti, attualmente, la foce è mantenuta ampia dall'azio-

ne delle maree che la risalgono per alcuni chilometri, erodendone o asportandone i sedimenti ivi deposti. Alla foce l'acqua è tipicamente stratificata, essendo salata e risalente in profondità e dolce ed uscente in superficie. È da tener presente che sia nell'Isonzo che nel Tagliamento le maree sono percepite praticamente con la stessa ampiezza e fase che nel mare aperto fino alle risorgive e cioè fino all'altezza di Pieris per l'Isonzo e fino oltre Latisana per il Tagliamento. Le maree si propagano altresì senza particolari smorzamenti anche in tutti i corsi d'acqua che hanno le foci in laguna, lo Stella in primo luogo.

A seconda del gioco tra fiumi e mare la laguna può evolversi in maniera alterna, con i cordoni litorali che si aprono e spariscono e la conseguente trasformazione in basso golfo o con la chiusura pressoché completa degli sbocchi a mare e la lacustrizzazione o paludazione dell'area. Con la trasformazione dell'ambiente, da marino (con acque salate o salmastre) a lacustre (con acqua dolce), variano chiaramente le specie floristiche e faunistiche (soprattutto di fondo): in particolare nella fase lacustre o palustre compaiono una gran quantità di vegetali acquatici non alofili, come gli sfagni, che possono anche «invadere» talmente l'area interessata da originare depositi torbosi.

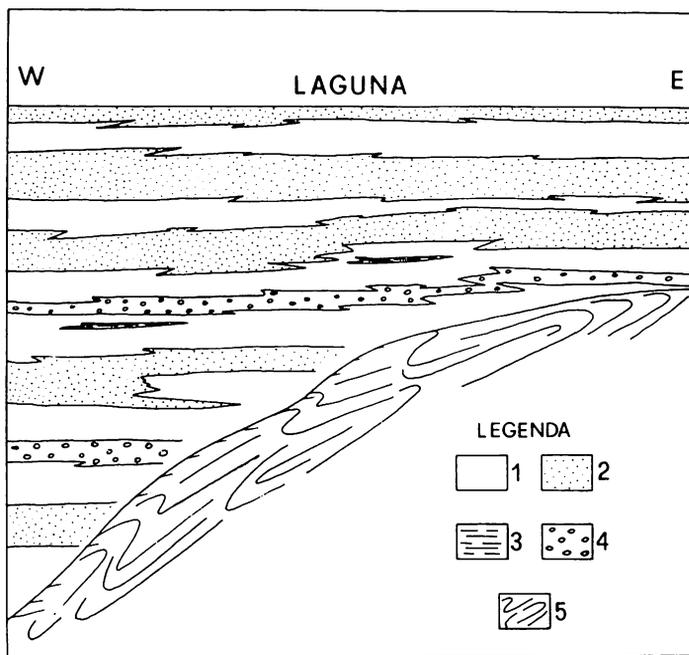
A seconda del prevalere dell'azione marina o continentale si alterna anche il tipo di sedimenti, da una prevalenza o totalità di quelli sabbiosi, o addirittura ghiaiosi trasportati dai fiumi, a quelli argillosi marini. Tutti questi differenti sedimenti si trovano, diversamente alternati, sia sotto il fondo lagunare che nell'area continentale (ossia esistono strati variamente alternati e variamente potenti in gran parte del sottosuolo della pianura alluvionale, testimoniando così le intense vicissitudini dell'intera pianura isontina).

Le vicissitudini formazionali ed il progressivo aumento del livello del mare hanno determinato la caratteristica struttura alternata del sottofondo della laguna, che è stato schizzato in linea di massima nella fig. 2. In tutto il deposito sedimentario ci sono prevalenti argille e sabbie alternate ed a volte variamente frammischiate, qua e là ci sono strato-lenti di sabbie dilavate o, soprattutto in profondità, di ghiaie, che testimoniano antichi alvei fluviali divaganti oppure rappresentano materiali trasportati al largo dai fiumi in piena.

Frequentemente sotto il fondo lagunare, anche a grande profondità, si trovano pure depositi torbosi che indicano certamente episodi palustri, i cui resti sono oggi giacenti anche a centinaia di metri di profondità e perciò sono notevolmente antichi. L'alternanza ambientale insomma si rispecchia nell'alternanza dei depositi: fase continentale con ghiaie, sabbie o torbe a seconda dei regimi fluviali più o meno intensi o di periodi di stasi palustri, e fase marina con argille e limi. Tutto il deposito sedimentario ha spessori crescenti da E ad W: 200 m a Primero, 250 m a Grado, 400 m a Buso, fino a circa 700 m nell'area più occidentale della laguna (zona di Lignano); esso poggia su un paleosuolo fogggiato e trasformato dall'erosione, che costituisce l'attuale basamento profondo della laguna. Invece il fondo lagunare più superficiale, ossia il deposito sedimentario recente, è di natura limo-sabbiosa ed argillosa; questi sedimenti rispecchiano le condizioni ambientali attuali — marine — della laguna, la cui acqua ha praticamente la stessa salinità del mare esterno.

Il deposito sedimentario ha una permeabilità differente, anche se in genere piccola, ed è perciò diversamente percolato dall'acqua. I livelli sabbiosi, ed i

Figura 2: Schizzo del sottofondo lagunare. 1: argille e limi, 2: sabbie, 3: torba, 4: ghiaie, 5: basamento non alluvionale. Il basamento si trova a profondità crescente da circa 300 m al bordo orientale a 700 m all'estremo occidentale. La scala effettiva non è determinata.



rari e profondi livelli ghiaiosi, ospitano un certo flusso d'acqua: sono le «acque artesiane» profonde della pianura che continuano il loro deflusso in profondità verso il mare. Queste acque profonde, e dolci, si scaricano verso il mare ma in piccola quantità escono anche in laguna, per diffusione. Il processo è lentissimo, verso l'alto, attraverso i sedimenti pur pochissimo permeabili. Le acque profonde hanno composizione chimica sensibilmente diversa dalle acque superficiali, ed in particolare sono caratterizzate da una quasi totale assenza di ossigeno. Per questo, versamenti cospicui e repentini (ovviamente artificiali) di tali acque in zone della laguna dove il ricambio idrico sia troppo lento (o nullo) rappresentano certo un pericolo non indifferente se investono impianti di allevamento ittico. Altra frequente caratteristica di queste acque profonde è la loro elevata temperatura; si tratta talora addirittura di acque termali, raggiungendo, in alcune zone della laguna, anche più di 30°C⁽²⁾. Altro fenomeno importante che si presenta spesso nei sedimenti lagunari è la demolizione della sostanza organica in ambiente non ossigenato: specialmente entro gli strati torbosi si ha conseguente formazione di metano; questo gas, disciolto nell'acqua che percola nei sedimenti, tende ad emergere e talvolta esce dal fondo della laguna anche in modo violento ed improvviso, determinando autentiche esplosioni e rotture degli strati di sedimenti.

La laguna di Grado-Marano, nel suo insieme ed in media, dato che l'area occupata dalle acque varia al variare della marea, interessa una superficie, arrotondando, di 162 kmq, che si suole articolare in vari bacini, ognuno avente una certa area e dipendente in genere da un corso d'acqua della zona retro-

stante alla laguna e dal relativo canale lagunare. Ogni bacino aveva all'origine uno sbocco a mare (o in qualche caso diversi sbocchi); all'origine poiché nel tempo sono stati fatti vari rimaneggiamenti, con la chiusura o apertura artificiale di bocche.

I bacini sono, procedendo da E verso W:

Il bacino di Primero, con 14.4 kmq di superficie; esso è il residuo, per opere di bonifica anche recenti, di un preesistente bacino ben più vasto. La bocca di Primero è però notevolmente attiva. Anche l'idrologia a monte del bacino di Primero è stata rimaneggiata dalle bonifiche che hanno alterato corsi preesistenti (il Tiel-Zemole e l'Isonzato, che sfociavano nell'ampio seno lagunare, contribuendo al trasporto e deposito dei materiali sabbiosi).

Il bacino di Grado (s.str.) è assai ampio, 34.4 kmq, ed è appena distinguibile dal piccolo (appena 3.3 kmq) bacino di Morgo. Qui sbocca il fiume Natisa, che riceve il fiume Terzo, che è stato rimaneggiato per il drenaggio operato dal Canale Anfora. Il solco naturale del Natissa attraversa la laguna ed ha creato, forse in fasi diverse, la bocca lagunare di Grado nonché altre bocche più occidentali che oggi sono più o meno attive per i sopravvenuti lavori di difesa dei litorali.

Il grande bacino di Buso si estende su 36.6 kmq e gravita sull'ampia bocca di Porto Buso, rimaneggiata ed ampliata artificialmente per l'accesso alla zona portuale dell'Aussa-Corno. Originariamente Porto Buso era il termine di un canale lagunare a sua volta connesso col fiume di risorgiva Corno di S. Giorgio; oggi il Corno è, insieme con l'Aussa che vi confluisce, arginato ed abbondantemente rettificato ed ospita diversi impianti portuali. Un preesistente fiume Anfora continuava anche con un canale lagunare e sfociava nel Porto d'Anfora, ora chiuso, immediatamente ad E di Porto Buso. La laguna di Grado, comprese molte aree insulari (alcune anche artificiali) ed attribuendole tutto il bacino di Buso, si estenderebbe su 88.4 kmq.

I due bacini occidentali di S. Andrea e Lignano costituiscono invece la laguna vera e propria di Marano che si estende su un'area di 73.3 kmq; questi due ultimi bacini ricevono rispettivamente i fiumi Zellina e Stella, fra i più importanti.

Dallo sbocco dei fiumi in laguna, fino alle bocche portuali verso mare, si svolgono i canali lagunari ⁽³⁾, che sono una formazione assai caratteristica. Essi hanno una forma dendritica, con estese ramificazioni, che li fa rassomigliare a reticoli fluviali emersi. Questi canali consistono di un grosso tronco verso mare, con andamento (che è stato però diverse volte modificato da scavi artificiali) meandriforme e lunato; da questo tronco principale si dipartono, verso monte, ramificazioni variamente dirette. Infatti il tronco principale continua, anche se con ampiezza ridotta, fin contro il bordo interno della laguna, verso la foce fluviale corrispondente. A volte tale continuazione però è poco nitida oppure non si nota una perfetta coincidenza tra il tronco principale del canale lagunare e una foce attuale; ciò può esser dovuto a spostamenti, anche recenti, delle foci oppure anche a deviazioni e rettificazioni artificiali dei canali a scopo di navigazione, risalenti alcuni addirittura a secoli fa. Basti ricordare la presenza di Venezia, soprattutto nella laguna di Marano, e l'«innata» attività idraulica dei Veneziani. In altri casi ancora, verso la foce di un fiume in laguna, il ca-

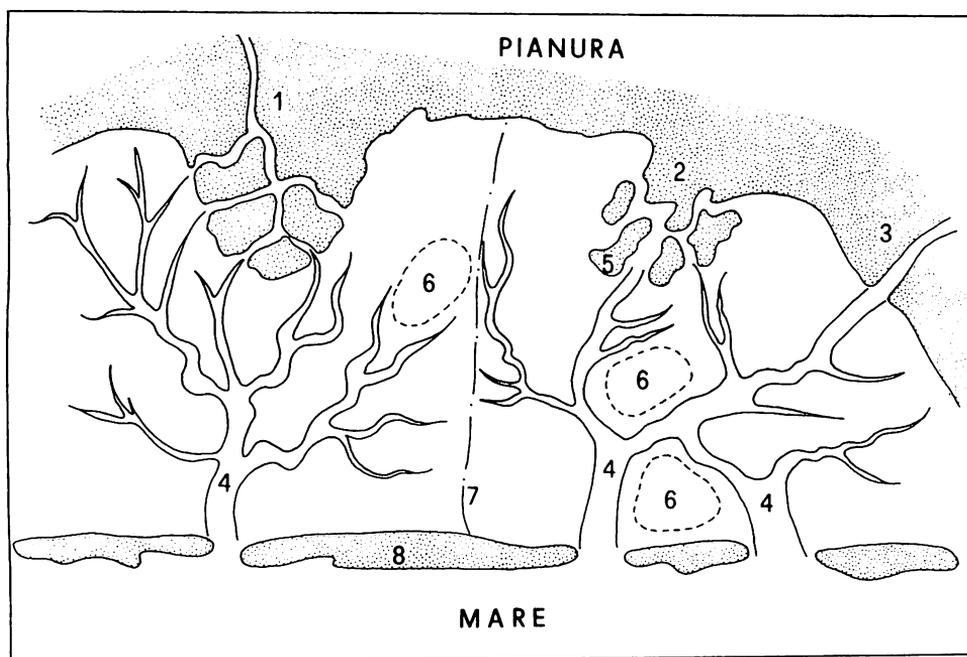


Figura 3: Schema evolutivo della laguna. 1: corso d'acqua e delta lagunare attuale ancora attivo, 2: delta «fossile» più o meno smembrato, 3: foce lagunare recente, 4: canali lagunari, 5: isole lagunari, residuo di delta, 6: dossi lagunari, 7: spartiacque come limite degli apparati dendriformi di due canali lagunari contigui, 8: isole litorali.

nale è sepolto più o meno totalmente da un delta fluviale, oppure contornato da isole che sono i residui o gli smembramenti di un antico delta o di lembi di terraferma extradeltizi. Delta e canali lagunari sono in un certo senso antitetici, prodotti cioè in diverse fasi dall'azione fluviale (fig. 3).

Le ramificazioni dendritiche dei canali sono un prodotto della circolazione mareale, sono cioè mantenute dal flusso e dal deflusso delle correnti di marea che provocano una certa erosione sul fondo, rimuovendo i sedimenti più superficiali ed appena depositi. Le più grosse ramificazioni dei canali (chiamate con denominazione locale «sime») comprendono delle aree dette sacche o *dossi* che in alcuni casi, a seconda delle fasi evolutive della laguna, affiorano come isole o costituiscono *barene*, ossia zone che emergono in occasione delle basse maree.

Quello che è estremamente interessante è che i canali lagunari, col loro andamento meandriforme e con le ramificazioni dendritiche, rispecchiano almeno in parte la preesistente idrografia superficiale. Quando l'area lagunare era emersa i canali erano i fiumi subaerei e, man mano che il livello del mare si alzava, il corso fluviale diventava sempre più meandriforme per la progressiva diminuzione di pendenza, mantenendo però sempre i solchi incisi, anche quando la terra circostante veniva sommersa. Ciò chiaramente indica una vera e propria lenta evoluzione dell'ambiente e non un fenomeno catastrofico di in-

vasione del mare sulla terraferma che invece tenderebbe piuttosto a cancellare, o seppellire (totalmente o quasi), le morfologie preesistenti. Nella laguna di Grado esistono infatti canali compresi tra isole quasi completamente sommerse, che rappresentano fasi intermedie dell'evoluzione lagunare.

Nelle zone lagunari i canali si sono mantenuti perché l'erosione marina, specie per quanto riguarda il moto ondoso, è attenuata; ciò non sarebbe successo se la sommersione si fosse verificata in mare aperto. I canali poi sono protetti dall'interramento grazie al flusso e riflusso delle maree che contribuisce a mantenerli «puliti» pur deformandoli e creando la dendritificazione: infatti nell'afflusso la corrente di marea si incanala dalle bocche nei canali erodendo specialmente questa parte terminale (verso mare), per la sua maggior energia iniziale. L'erosione nella fase d'afflusso si smorza gradualmente verso l'interno della laguna per la diminuita velocità della corrente e genera la formazione di canaletti di dimensione sempre minore. Nel deflusso c'è sempre l'erosione, ma questa inizia presso le barene (zone emerse o temporaneamente emergenti), man mano che queste emergono; i rivoli provocati dallo scolo dell'acqua incidono il fondo sempre più verso mare. I canali sono erosi dall'acqua che aumenta la sua velocità in discesa. I vari rivoli possono anche confluire, raccogliendosi come nel ruscellamento subaereo; infine il deflusso aumenta la capacità erosiva nei tronchi terminali dei canali. È per tutto questo complesso di fattori che i canali lagunari sono mantenuti; l'effetto delle maree è essenziale e permette il non interrimento dei canali, a meno che non intervengano mutamenti nella circolazione delle relative correnti. Il reticolo di quest'insieme di canali e dendriti serve a distribuire le acque portate dalle maree e definisce inoltre in linea generale i bacini sommersi, distinti così da spartiacque; in realtà il fenomeno è ben più complesso e la suddivisione in bacini non è sempre chiara, soprattutto per l'incontro — o meglio scontro —, nelle zone marginali dei bacini, tra correnti entranti ed uscenti, magari da bocche diverse.

Come è già stato accennato la morfologia dei canali sommersi è simile alla morfologia subaerea (i corsi d'acqua della pianura sono infatti meandriformi, in condizioni naturali), però mentre l'idrografia subaerea è rispecchiata anche dalla genesi di questi canali, che inizialmente hanno avuto la loro causa determinante proprio nelle correnti fluviali che hanno provocato lo scavo dell'alveo, nella struttura attuale dei canali invece è difficile discriminare tra l'evoluzione naturale e le deformazioni artificiali, che possono aver prodotto anche variazioni notevoli rispetto alla situazione originaria.

Comunque la sommersione continua tuttora, poiché il livello del mare si innalza progressivamente in tutto il pianeta (l'incremento attuale è di 1.6 mm all'anno, al netto di tutti gli altri effetti: maree, sesse, moto ondoso, ed a parte vari effetti costieri locali). La subsidenza costiera è in atto nei territori lagunari sia per cause naturali, determinate dallo stesso peso dei sedimenti e dal conseguente costipamento dei materiali, che per cause artificiali, che consistono nell'emungimento di acqua in aree troppo prossime alle coste. Tale emungimento fortunatamente nella laguna di Grado non ha determinato situazioni particolari di pericolo, sia perché l'adduzione di acqua dal sottosuolo viene effettuata in aree sufficientemente lontane dalla costa e attentamente studiate e controllate, sia perché la pianura isontina è talmente ricca d'acqua che non si riesce ad

emungere mai tanto da presumere danno, almeno per ora. Comunque l'arginatura e varie opere di bonifica sembra abbiano fermato l'ingressione marina fissando la morfologia entro i limiti attuali. Questa stasi è però solamente un episodio temporaneo, dovuto a certe correzioni dei livelli costieri, poiché il livello del mare sale comunque incessantemente; benché il debole incremento medio annuo possa sembrare insignificante, se il fenomeno continuerà la laguna col tempo si estenderà verso terra invadendo la pianura, mentre nelle attuali aree lagunari avanzerà il mare. In passato questo è già successo e per questo esistono tracce di antiche opere sommerse dal mare, fuori dal limite lagunare.

3. L'idrologia della laguna e le maree

L'oscillazione della marea è la principale causa dei movimenti dell'acqua della laguna. Come ben si sa le maree constano in oscillazioni di livello accompagnate da sincrone (ma sfasate) correnti alternate.

Nella laguna le maree appaiono con due massimi e due minimi valori di livello (rispetto al livello medio) al giorno, aventi in genere ampiezze diverse e variabili nel corso del mese. Le maree lagunari, come quelle dell'Adriatico settentrionale, sono maree semidiurne-miste. Riguardo alla distribuzione delle maree in laguna si è creduto di individuare delle regole per definire presunti valori differenti per le ampiezze e le fasi (ritardi), ma in effetti le conoscenze di dettaglio delle maree lagunari sono ancora troppo grossolane ed il fenomeno non è stato ancora tanto studiato da poter fare affermazioni del genere. Ciò anche perché la distribuzione della marea (e delle connesse correnti in laguna) è un fenomeno estremamente complesso, per la complicata morfologia dell'area lagunare, solcata da canali ed aperta verso il mare con diverse bocche. Ma a meno di dettagli, che oggi è impossibile precisare per mancanza di osservazioni, e a meno di qualche zona interna molto marginale, le maree pulsano in maniera eguale in tutta la laguna, denotando in pratica le stesse ampiezze e le stesse fasi. È accertato che l'alzarsi della marea in laguna è preceduto da una sviluppata corrente entrante per le bocche lagunari, la cui velocità massima è superiore ai 50 cm/s nelle bocche principali (Grado, Buso e Lignano). Tale corrente, che nelle bocche è diretta esattamente verso la laguna, all'interno di questa è sventagliata a seconda dello sviluppo dei canali e delle loro ramificazioni.

La corrente si smorza gradualmente verso le zone marginali, inoltre si evolve nel tempo, raggiungendo valori nulli quando il livello della marea è giunto al suo massimo o al suo minimo. Dopo il massimo livello (alta marea) la corrente si inverte ed inizia lo svaso della laguna, e così via alternativamente. Rispetto al livello medio i massimi livelli di svaso ed invaso si discostano entrambi di 50-55 cm nei momenti di maggiore ampiezza di marea⁽⁴⁾, cosicché il dislivello totale è quindi, al massimo, di 1-1.1 m. Per tale motivo l'area della laguna, che abbiamo stimato in 162 kmq, non è costante nel tempo e la parte «bagnata» è meno estesa durante la bassa marea che non durante la alta. Il periodo fondamentale del ritmo delle maree lagunari è quello semidiurno, per cui ogni svaso dura, come il successivo invaso, all'incirca sei ore.

Si calcola facilmente che il volume totale invasato o svasato in ogni ciclo



di marea è al massimo sugli 80 milioni di mc d'acqua. Poiché la profondità della laguna è in media sui 2 metri, il volume interessato risulta essere di circa 324 milioni di mc (162 kmq dell'area della laguna equivalgono a 162 milioni di mq che moltiplicati per i 2 m della profondità danno il volume, in mc, della laguna); quindi tutta l'acqua della laguna si ricambia in media in circa 4 giorni, anche se chiaramente esistono delle zone dove il ricambio è così lento da formare dei veri e propri ristagni d'acqua.

Il fatto però che l'acqua esca dalla laguna non vuol dire che una parte di questa non rientri poi nella fase di marea immediatamente successiva, per cui il fenomeno effettivo è assai più complicato di quello medio ed il ricambio reale più lento. Comunque il ricambio dell'acqua nella laguna è efficacissimo e l'azione vivificatrice delle maree è decisamente importante. Nelle condizioni di massime maree l'entità del flusso (che entra o che esce dalla laguna) nel complesso delle bocche lagunari si può stimare *in media* su quasi 4000 mc/s; evidentemente si tratta di un valore ingente d'acqua, specie se lo si paragona alla portata totale di acqua dolce che arriva alla laguna dai fiumi, che va da un minimo di 50 mc/s ad un massimo (senza considerare i valori estremi) di 100 mc/s, ma entro intervalli di tempo stagionali e non ritmicamente ogni giorno.

Le maree, oltre che interessare tutta l'area lagunare, penetrano anche per un certo tratto nei fiumi che sfociano in laguna, più facilmente in quelli canalizzati. Le maree a lungo periodo, come le mensili e le semimensili (che pure si notano in laguna), si propagano, oltre che nei fiumi, anche nelle falde idriche

del sottosuolo, benché la comunicazione diretta tra queste e la laguna sia evanescente.

Altre cause di movimento delle acque della laguna, sovrapposte più o meno occasionalmente alle permanenti correnti di marea, sono le correnti, pure oscillanti, dovute alle sesse (che sono oscillazioni di livello provocate da colpi di vento o da sbalzi della pressione atmosferica), nonché quelle, a carattere più continuo, legate allo spirar del vento. Le sesse sono oscillazioni del livello del mare come le maree ma con periodi diversi. In laguna si propagano sesse con periodo vicino a quello delle maree, così che quando insorgono provocano notevole disturbo all'andamento di queste ultime, e sesse con periodo molto diverso a quello delle maree, di qualche ora oppure addirittura solo di minuti e con apparizione locale, diversa anche da bacino a bacino (dipendente dalla forma del bacino) ⁽⁵⁾. È chiaro che le correnti collegate alle sesse provocano un'ulteriore complicazione della circolazione nella laguna. Le sesse, però, al contrario delle maree, non sono sempre presenti, ma si sviluppano solo quando le condizioni meteorologiche che le causano sono sufficientemente forti. Esistono correnti da vento che tendono a svuotare o a colmare la laguna, spesso in sovrapposizione con l'effetto delle maree. Le acque alte, che appaiono sempre più frequentemente nell'epoca attuale, dato il progressivo innalzamento del livello marino medio, sono provocate col concorso di venti sciroccali (che spirano con notevole intensità e per abbastanza tempo) e di alte maree. In conseguenza della diversa direzione delle correnti da vento in laguna il ricambio dell'acqua può esser accelerato o rallentato.

4. Caratteristiche principali delle acque della laguna

La salinità delle acque della laguna, grazie alla netta prevalenza dell'afflusso delle acque marine su quelle fluviali, resta pressapoco uguale a quella del mare nelle zone esterne circostanti. Mediamente la laguna è quindi una laguna con acque salate. Si può stimare che la salinità media delle acque lagunari (anche se mancano misure sistematiche ed arealmente sviluppate della salinità) sia attorno al 35, contro i circa 37 per mille della salinità media superficiale delle acque marine all'esterno della laguna. Però la salinità esterna è estremamente variabile con le condizioni di piena dell'Isonzo; all'esterno della laguna l'acqua fluisce normalmente da E ad W, cosicché l'acqua che entra in laguna, specialmente dalle bocche più orientali (Primerò e Grado) in condizioni estreme può essere addirittura dolce. Analogamente si hanno salinità estremamente basse, o anche nulle, presso le foci lagunari dei fiumi, soprattutto, anche in questo caso, in condizioni di piena fluviale. La salinità delle acque nella laguna si distribuisce in maniera complicata per l'azione delle varie correnti (di marea soprattutto) e per la diversa morfologia dei bordi e del fondo lagunare. Ciò determina così complesse situazioni locali, differenti anche tra zone vicine.

D'altro canto, all'opposto dei versamenti di acque dolci che abbassano la salinità, a causa dell'evaporazione si possono determinare localmente, specie in giornate calde e ventilate, acque estremamente salate (con salinità anche superiore al 40 per mille) nelle zone meno ricambiate.

Per quanto riguarda la temperatura questa nella media annua è sui 14°C.

Mentre d'inverno la temperatura dell'acqua della laguna giunge in media sui 5-7°C — ed anche a valori inferiori, tanto che si possono verificare congelamenti più o meno estesi, ma difficilmente coprenti l'intera laguna — d'estate la temperatura può superare i 28-30°C, specie nelle zone meno profonde e ricambiate. Però, mentre l'escursione diurna estiva della temperatura è poco significativa in mare aperto, in laguna invece è assai sensibile ed interessa anche il fondo. Importanti relazioni con la temperatura avvengono con riguardo ai deflussi d'acqua dolce: questi constano in genere di acque più *calde d'inverno* rispetto alle temperature delle acque lagunari, e più *fredde d'estate*. D'inverno le temperature delle acque fluviali, soprattutto di risorgiva, sono sui 10-12°C, d'estate giungono appena ai 16-18°C. Gli apporti idrici continentali agiscono cioè sensibilmente dal lato termico oltre che da quello salino.

La doppia alimentazione della laguna, da parte del mare, specialmente a causa delle maree (alimentazione rapidamente alternata, ma su elevate portate), e dei fiumi (pressapoco continua, ma su valori di portata molto più bassi), è molto importante nella composizione chimica delle acque anche con riguardo agli altri costituenti, oltre a quelli principali della salinità. Dal punto di vista ambientale i costituenti più notevoli sono l'ossigeno disciolto ed i nutrienti (nitrati e fosfati soprattutto): il primo viene rifornito massicciamente dalle acque marine, specie se queste sono fredde e turbolente, i secondi invece sono portati dalle acque fluviali e dalle emersioni di falda. È ciò che rende le acque lagunari così ricche di vita e di produzione biologica, favorendo la pesca e l'acquacultura. Però un ricambio troppo rapido delle acque (che può avvenire per effetto di certi venti, sovrapposto alla normale oscillazione della marea) può impoverire ed insterilire le acque, portando in mare una parte dei nutrienti, mentre al contrario il ristagno dell'acqua può diminuire la concentrazione dell'ossigeno, che viene rapidamente consumato nei fenomeni vitali, e provocare il conseguente innesco di fenomeni putrefattivi con produzione di sostanze tossiche. Per tale motivo le proprietà biologiche della laguna sono intimamente legate a quelle fisiche (soprattutto alle dinamiche) tanto che alterando la circolazione delle acque si possono indurre turbe ecologiche notevoli.

Le acque dolci che entrano in laguna presentano una naturale differente composizione, a seconda delle caratteristiche chimiche delle acque dei fiumi che le forniscono: le più occidentali sono ricche di solfati e povere di bicarbonati, quelle più orientali invece sono impoverite in solfati ed arricchite in bicarbonati. Questo comportamento deriva dal contributo del Tagliamento (e dello Stella che rappresenta in parte un'emersione di acqua del Tagliamento) che è notoriamente assai ricco in solfati, mentre i fiumi del bacino dell'Isonzo (Isonzo s.str., Torre e Natisone principalmente) ne sono molto impoveriti.

Nell'alimentazione delle risorgive, e quindi dei fiumi di risorgiva, ha ovviamente rilievo anche la piovosità diretta sulla pianura friulana, che è responsabile del dilavamento superficiale col conseguente apporto di fertilizzanti (oltre che di sostanze biostatiche usate in agricoltura). Comunque la variazione composizionale originaria delle acque dolci sparisce nel mescolamento, in laguna, con le preponderanti acque marine, che sono ricche in solfati, in bicarbonati, in calcio ed in magnesio. La variazione di composizione originaria delle acque dolci che affluiscono in laguna può però mantenersi in qualche valle



da pesca ove l'influsso marino è attenuato.

I corsi d'acqua portano però in laguna anche sostanze inquinanti, in quantità sempre maggiore per il continuo estendersi, nelle aree a monte della laguna stessa, dell'industrializzazione, dell'urbanizzazione e dell'impiego in agricoltura di sostanze nocive. Fortunatamente il generale rapido ricambio delle acque lagunari evita (e finora ha scongiurato) estesi danni ecologici, però, come già detto riguardo ad altre perturbazioni, in siti particolari, meno ricambiati, il danno può esser già ora irreversibile.

È appunto per tutto ciò che è stato detto in questa nota che è necessario, ed urgente, impostare uno studio generale e sistematico delle condizioni ambientali lagunari specie entro il bacino e nelle zone circostanti, ancora poco conosciute e studiate; oltre a ricerche prettamente sedimentologiche e per la difesa dei litorali, ed a studi stratigrafici dei terreni del sottosuolo sedimentario della laguna e delle zone adiacenti, che comunque vengono attualmente eseguite, anche parecchio estesamente, nell'ambito di vari programmi, sarebbero utili anche altri tipi di ricerche. Necessario, per esempio, sarebbe uno studio esauriente sulle maree e connesse correnti, che potrebbe permettere di conoscere più esattamente sia l'alimentazione della laguna che la stessa evoluzione, l'entità e la modalità dell'erosione dei litorali e dei canali lagunari da parte delle maree e del moto ondoso, prevenire eventualmente degni in certe aree, determinare il più esattamente possibile, dal lato quantitativo e qualitativo, il ricambio delle acque in laguna; questi problemi finora non sono stati studiati in

modo sufficientemente adeguato semplicemente per la scarsità di dati sperimentali che riguardino misure sistematiche e prolungate nel tempo (oltre che estese nello spazio) dei vari parametri esaminati.

Note

(¹) Che è in parte anche legata al minor trasporto e deposito di sedimenti, poiché questi ultimi tendono a compattarsi e se non c'è un ulteriore deposito lo strato di materiale sedimentario diminuisce di spessore.

(²) Addirittura 50°C in qualche zona tra Lignano e Latisana, ormai in terraferma. Le temperature delle acque profonde aumentano decisamente da E verso W; nelle zone di Primero-Fossalon la temperatura in profondità si aggira sui 15°C appena.

(³) Formazioni naturali di fondo che non vanno confuse coi normali canali dragati e costruiti dall'uomo.

(⁴) Legate alle fasi lunari; con luna piena e nuova si verificano alte maree coi valori citati; nel primo ed ultimo quarto di luna le alte maree sono sui 10-20 cm e si discostano appena dalle basse maree.

(⁵) Le sesse di periodo vicino a quello delle maree sono sesse del mare Adriatico, che investono in generale tutti i bacini di questo; le sesse a breve periodo sono proprie del golfo di Trieste o addirittura del bacino lagunare.

Bibliografia

AZIENDA AUTONOMA DI CURA E SOGGIORNO - GRADO, 1954. *Attività Scientifica della Stazione Climatico-Marina di Grado. Anni 1953-54*. Stabilimento Tipografico Nazionale, Trieste.

BRAMBATI A., 1969. *Sedimentazione recente nelle lagune di Marano e di Grado (Adriatico settentrionale)*. St. Trent. Sc. Nat., sez. A, XLVI.

BRAMBATI A., 1984. *Erosione e difesa delle spiagge adriatiche*. Boll. Ocean. Teor. ed Appl., vol. II, n. 2.

DE GRASSI P. E V., 1957. *Memoria sulle variazioni morfologiche dei litorali marini della Laguna di Grado*. Grafiche D. Stefanutti, Tarcento (Udine).

DORIGO L., 1965. *La Laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici*. Uff. Idrografico del Magistrato alle acque, Venezia, n. 155.

MAROCO R., PUGLIESE N., STOLFA D., 1984. *Some remarks on the origin and evolution of the Grado Lagoon (Northern Adriatic Sea)*. Boll. Ocean. Teor. ed Appl., vol. II, n. 1.

MOSETTI F., 1983. *Sintesi sull'idrologia del Friuli-Venezia Giulia*. Quaderni Ente Tutela Pesca, Udine, 6.

PAPEŽ A.N., 1904. *L'acqua ed il terreno di Grado e del vicino estuario*. Stab. Tip. Giovanni Paternolli, Gorizia.