

# “Un modello idrodinamico dei canali interni di Venezia”

**GEORG UMGIESSER**, CNR, Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia

**V**ogliamo qui presentare il modello idrodinamico dei canali di Venezia, sviluppato dall'Istituto per la Dinamica delle Grandi Masse del CNR. Su una foto da satellite si possono vedere bene le isole della laguna, il Canal Grande, il Canale di Cannaregio ma è difficile individuare gli altri canali perché sono troppo piccoli anche se non meno importanti per la città. Il nostro lavoro consta proprio nella modellizzazione dei flussi all'interno di tali canali.

Nel 1993 De Marchi aveva già sviluppato un primo modello dei canali per l'UNESCO, agganciandolo a un modello più ampio di tutta la laguna nord, elaborato attraverso dei segmenti di tipo unidimensionale di canale. Operare in questo modo era una necessità dati i limiti del modello idrodinamico da lui utilizzato. Era in grado, per esempio, di descrivere solo un ciclo di marea, non era modificabile alla sorgente e non consentiva neppure l'utilizzo del vento sulla laguna.

Il nostro diverso approccio ci ha portati a dividere in due parti il problema: la laguna di Venezia e la propagazione della marea all'interno della stessa, e la descrizione dell'idrodinamica all'interno dei canali. Per la prima parte abbiamo utilizzato un modello agli elementi finiti che avevo sviluppato precedentemente all'ISDGM. La laguna è stata divisa in più di ottomila elementi in cui vengono calcolati la velocità, il trasporto e il livello di acqua, grazie ai quali si possono anche determinare la concentrazione di una sostanza conservativa, la salinità, la temperatura e tanti altri parametri. Questo modello della laguna, in pratica, si è reso necessario esclusivamente per il nostro bisogno di punti di input per il modello dei canali di Venezia; esso è stato calibrato con una serie di mareografi e descrive tutta la laguna, comprese le tre bocche di porto. Sono anche possibili le simulazioni di casi con vento. La batimetria viene descritta fedelmente e in un grafico si possono individuare i canali che si diramano dalle bocche di porto verso l'interno della laguna (*Fig. 1*). Da Malamocco si può vedere il canale dei Petroli che porta verso Marghera.

Per quanto concerne la velocità (*Fig. 2*), in una sua tipica distribuzione all'interno di un ciclo di marea risulta che le velocità maggiori si registrano vicino alle bocche - in cui possono arrivare anche a 50-60 cm/s - e particolarmente al Lido e nei canali che vanno verso la laguna nord. Poiché la bocca di Lido deve servire tutto il bacino nord, c'è un flusso molto

forte nel canale di Treporti che porta verso il Cavallino.

Al modello della laguna si è aggiunto un modello dei canali: in tutto 250 e 174 intersezioni. La profondità viene evidenziata in verde quando è maggiore - come nel caso del Canal Grande - in colori chiari quali l'azzurro per i canali interni, mentre in giallo è stata raffigurata la darsena dell'arsenale, descritta sempre come un canale perché non era possibile altrimenti. In un momento successivo i due diversi modelli sono stati interfacciati. Il modello della laguna passa l'informazione, cioè il livello d'acqua, al modello dei canali che procede quindi al calcolo dei livelli e della velocità all'interno dei canali stessi. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, viene specificata la marea a Diga Sud Lido, cioè fuori dalla bocca. Punta Salute funge come punto di riferimento perché qui abbiamo un mareografo ben tarato con cui è possibile fare il confronto fra marea misurata e simulata. Altri dati nei canali, raccolti durante le campagne di misura, erano disponibili per la verifica. Il confronto dei dati a Punta Salute conferma che la marea viene riprodotta fedelmente in quel sito. Quando entra la marea, l'acqua non raggiunge con-



*Fig. 1 - Laguna di Venezia: mappa delle batimetrie*



Fig. 2 - Laguna di Venezia: velocità delle correnti di marea

temporaneamente tutti i punti di Venezia ma investe prima il bacino di San Marco, quindi i punti più lontani dalle bocche. Lo sfasamento tra la marea di Sant'Elena e quella di Cannaregio è di circa mezz'ora. Sono state preparate 4 schede che fanno vedere sia il livello d'acqua sia le velocità di corrente misurate e simulate, relative a quattro punti della rete dei canali. Queste quattro stazioni sono poste: vicino alle Fondamenta Nuove, sul rio dei Mendicanti, sul rio del Piombo, un rio molto piccolo e a bassissima energia (la velocità di corrente è minore di 10 cm/s) e sul rio San Giustinian. Nel caso dell'ultimo rio, lo scarto fra le misure e le simulazioni è più grande e bisognerebbe indagare per quale motivo il modello non è in grado di riprodurle meglio. In tutti questi casi, il livello d'acqua è molto più facile da simulare che non la velocità.

Si può anche fare quello che ha fatto Fabio Carrera, cioè riprodurre una mappa della velocità dell'intera rete dei canali. Questo è stato fatto per marea entrante e per marea uscente. A marea entrante l'acqua arriva prima nel bacino di San Marco e da lì si dirama verso l'interno di Venezia, fino a

Cannaregio nella parte nord della città. A marea uscente succede esattamente il contrario. Dalla laguna nord, attraverso i canali, il flusso si dirige verso il bacino di San Marco che si è già svuotato prima e da lì la marea esce attraverso la bocca di Lido. Ma il nostro modello non riproduce sempre un flusso che procede verso sud.

Sono state eseguite anche simulazioni di salinità ma qui il problema è risultato un po' più complicato perché non avevamo a disposizione misure di salinità fuori dalle bocche. Attraverso un procedimento semi-empirico è stato utilizzato un valore della salinità medio che è poi stato modulato e sfasato con la marea. La espressione matematica è stata validata con una campagna di misure fatta dal CNR.

L'acqua in uscita è sempre meno salata di quella in entrata ed è interessante notare che attorno a Venezia troviamo sempre un gradiente di salinità che varia dal 2 al 3 per mille. Sant'Elena ha la salinità maggiore perché più vicina alle bocche, Cannaregio fa registrare invece quella minore. Questo gradiente dipende da una parte dal mare che fa entrare acqua salata, dall'altra dai fiumi con la loro acqua dolce.

Sono stati calcolati, infine, i tempi di residenza come frazione fra volume e portata che transita in un canale. Questo tempo di residenza così calcolato non è il tempo in cui una particella rimane dentro il canale, perché la marea semplicemente sposta questa particella che poi ritorna indietro. Pertanto questo tempo di residenza è significativo per l'attività dei canali ma assolutamente irrilevante per l'inquinamento all'interno di Venezia. Si è rilevato comunque un tempo di residenza oscillante fra i 10 e i 45 minuti in una situazione di sigizia, fra i 20 ed i 75 minuti in una di quadratura.

Per concludere, il modello idrodinamico da noi messo a disposizione, riproduce con buona approssimazione i livelli d'acqua sia in laguna sia all'interno dei canali di Venezia e descrive bene i campi di salinità rendendo possibile l'utilizzo dei risultati raggiunti anche per altri studi come è già stato fatto sulla qualità delle acque o sul trasporto dei sedimenti. Studi futuri riguarderanno il trasporto dei sedimenti nei rii e si tratterà di un modello sviluppato congiuntamente da UNESCO, Insula, Istituto Grandi Masse ed EPA americano. Consentirà, tra l'altro, una valutazione dell'entità del trasporto solido e degli interventi necessari di scavo dei rii.