

# SULL'ECCEZIONALE EVENTO DI MAREA DEL 12 NOVEMBRE 2019 IN LAGUNA DI VENEZIA

Riccardo Mel <sup>1\*</sup>, Daniele Viero <sup>2</sup>, Luca Carniello <sup>2</sup> & Luigi D'Alpaos <sup>2</sup>

(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, Università della Calabria

(2) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Padova

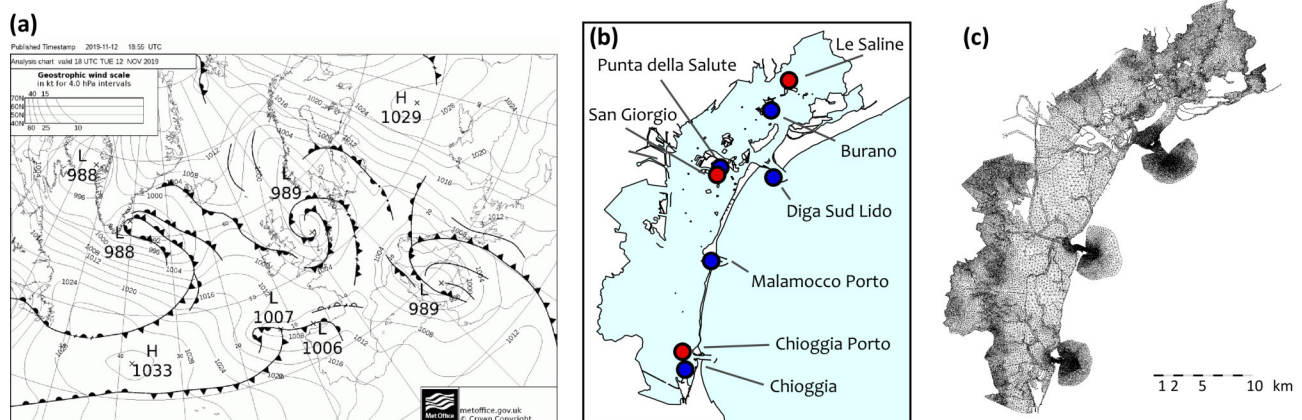
\*email: riccardo\_alvise.mel@unical.it

## ASPETTI CHIAVE

- L'evento di marea del 12 novembre 2019 è stato secondo solo alla tragica alluvione del 1966
- Principale causa dei danni l'intensità del vento in corrispondenza del colmo di marea
- Il vento ha dislocato i volumi d'acqua all'interno della laguna come mai era accaduto in passato

## 1 PREMESSA

Martedì 12 novembre 2019 il territorio italiano è stato interessato da un intenso vortice depressionario con un minimo barico inferiore a 990 hPa (Fig. 1a), risalito dalla Sicilia verso l'Italia centrale. La perturbazione a esso associata ha provocato tempeste di vento, piogge alluvionali e mareggiate lungo le coste, con particolare riferimento a quelle ionico-salentine. L'eccezionale acqua alta che ha colpito la città di Venezia, 1.87 m sullo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS), seconda solamente alla tragica alluvione del 1966, è stato sicuramente il fenomeno che ha prodotto le conseguenze maggiori, a causa della concomitanza fra il massimo di marea osservato e il passaggio dell'asse della perturbazione sulla laguna di Venezia. Tale passaggio ha prodotto un fortissimo vento di libeccio che, seppur di breve durata, è stato sufficiente a generare la sovrapposizione sul colmo di marea di un intenso moto ondoso con rilevantissimi danni alla città. La particolare evoluzione dei venti ha inoltre comportato delle differenze molto pronunciate, in termini di livello di marea, all'interno della laguna, in particolare nel tratto di bacino compreso fra Venezia (Punta della Salute) e Chioggia (Fig. 1b). Fino alle ore 22.00 la laguna è stata infatti interessata da venti di bora di intensità pari a circa 10-15 m/s, mentre fra le ore 22.20 e le 22.50 eccezionali venti di libeccio hanno spazzato la laguna centro-meridionale con intensità fino a 25 m/s. Con riferimento agli effetti sui livelli di marea, alle ore 21.30 il mareografo di Chioggia, situato sopravvento rispetto al vento di bora, registrava 1.67 m ZMPS contro i 1.43 m ZMPS a Punta della Salute, mentre alle ore 22.50 la situazione era opposta con valori di 1.34 m ZMPS a Chioggia e di 1.87 m ZMPS a Punta della Salute, posta sopravvento rispetto al vento di libeccio. L'obiettivo del presente lavoro è di investigare nel dettaglio, con l'ausilio della modellazione matematica, cosa sia accaduto nell'intorno del massimo di marea del 12 novembre, con particolare riferimento alla dislocazione registrata di importanti volumi d'acqua all'interno della laguna.

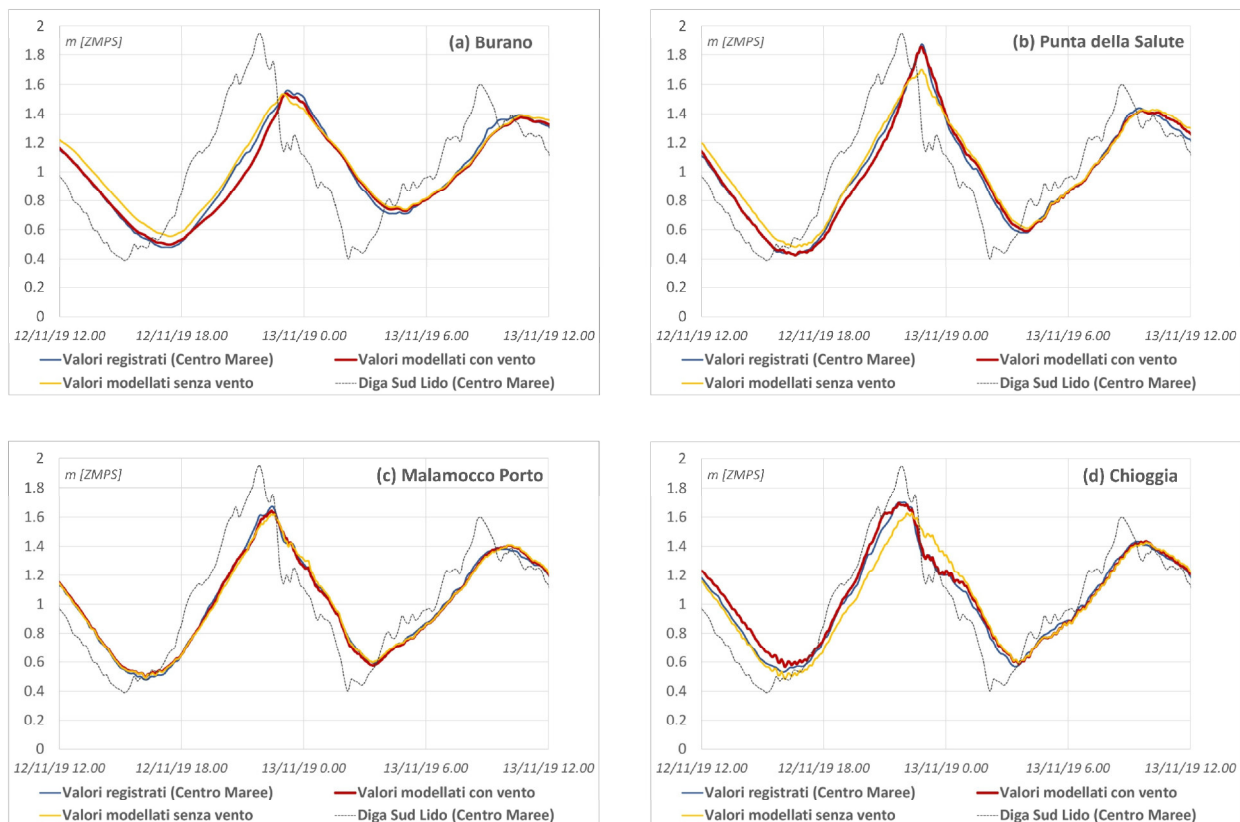


**Figura 1.** (a) Analisi barica e dei fronti al suolo alle ore 19 del 12 novembre 2019 (fonte: MetOffice). Si nota il vortice ciclonico posto sul Tirreno meridionale responsabile dei furiosi venti di scirocco nell'Adriatico, delle violente mareggiate e della straordinaria onda di marea meteorologica sollevata sull'Adriatico settentrionale. (b) Stazioni del CPSM utilizzate nello studio: in blu le stazioni di misura dei livelli di marea; in rosso le stazioni di misura del vento. (c) Griglia di calcolo del modello matematico bidimensionale.

## 2 MATERIALI E METODI

Le analisi sono state condotte mediante un modello matematico basato su una soluzione numerica agli elementi finiti delle equazioni che governano la propagazione delle onde lunghe in acque basse in ipotesi bidimensionali (Carniello et al., 2005, 2011; Defina, 2000; D’Alpaos et al., 2007). Il modello è stato forzato con i dati osservati nelle stazioni del Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (CPSM) con passo di dieci minuti. In particolare, sono stati utilizzati i livelli di marea registrati alle tre bocche di porto e il campo di vento bidimensionale ricostruito dal modello sulla base dei dati misurati a Chioggia Porto, San Giorgio e Le Saline (Fig. 1). In una prima fase, è stata verificata la capacità del modello di riprodurre la dinamica della propagazione della marea all’interno della laguna. A tal fine i livelli calcolati con il modello sono stati confrontati con i livelli di marea registrati nelle diverse stazioni gestite dal CPSM. Particolare attenzione è stata rivolta all’analisi del contributo del vento sui livelli indotti dalla propagazione dell’onda di marea all’interno della laguna (Fig. 2).

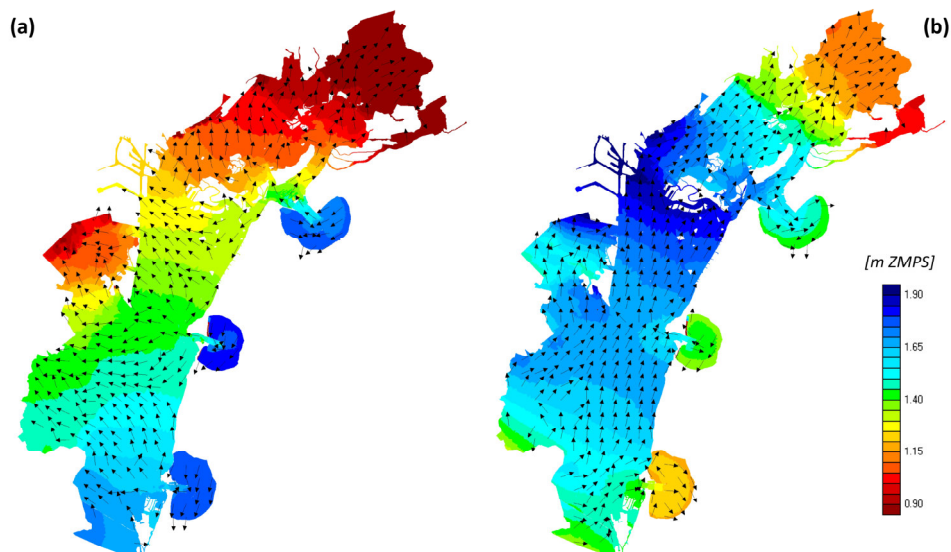
La Figura 2 confronta i valori ottenuti dal calcolo con quelli registrati nelle 4 stazioni del CPSM considerate maggiormente rappresentative del fenomeno, in quanto distribuite lungo l’asse longitudinale della laguna (Fig. 1) e quindi particolarmente indicate per individuare le differenze di livello indotte dall’azione del vento. I risultati del confronto possono essere ritenuti più che soddisfacenti, alla luce soprattutto dell’importanza dell’effetto di setup prodotto dall’azione del vento (si faccia riferimento al confronto con le linee gialle che indicano i livelli calcolati con il modello trascurando l’azione del vento) e della significativa modificazione che un’onda di marea così ampia subisce propagandosi all’interno della laguna (si faccia riferimento, in questo caso, al confronto con la linea punteggiata che indica il livello registrato in mare a Diga Sud Lido).



**Figura 2.** Evento di marea del 12 novembre 2019: stazioni di Burano (a) Punta della Salute (b), Malamocco Porto (c) e Chioggia (d). Confronto fra i valori di marea osservati (linea blu) e quelli modellati (linea rossa). La linea gialla raffigura i valori di marea calcolati dal modello trascurando l’effetto del vento, mentre la linea punteggiata nera riporta il livello di marea registrato dal CPSM a Diga Sud Lido.

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Un’analisi di tipo bidimensionale permette di ricostruire la dinamica della distribuzione spaziale dei livelli di marea e dei flussi all’interno della laguna, al fine di fornire un quadro d’insieme sulla complessa evoluzione idrodinamica che ha interessato il bacino lagunare durante l’eccezionale evento di alta marea registrato la sera del 12 novembre 2019. La Figura 3 riporta la mappa dei livelli e delle direzioni del flusso in due istanti particolarmente significativi per descrivere l’evoluzione dell’evento: alle ore 21.20, quando su tutta la laguna spirava un vento di bora (Figura 3a) e alle 22.50, in corrispondenza del picco di marea a Punta della Salute, quando il vento si era orientato a libeccio da circa mezz’ora (Figura 3b). Con riferimento alle direzioni del flusso, quando in laguna insiste il vento di bora i partiacque sono sostanzialmente rispettati, anche a causa della spinta non eccessiva del vento (velocità comprese tra 10 e 15 m/s a seconda della zona della laguna) e dell’escursione di marea particolarmente elevata, e sono chiaramente individuabili i tre sottobacini afferenti a ciascuna delle bocche di porto. Quando invece il vento ruota a libeccio il flusso è uniformemente diretto verso nord in tutta la laguna, concordemente alla direzione del vento. Con riferimento ai livelli, la Figura 3a rappresenta la classica situazione che si realizza in presenza di venti di bora, con livelli via via crescenti, procedendo da nord verso sud. La Figura 3b illustra, invece, cos’è accaduto in corrispondenza del picco di marea, ovvero il dislocamento di ingenti volumi d’acqua dalla laguna meridionale verso la laguna centrale, volumi che, essendo in parte bloccati dalla città di Venezia e dal ponte della Libertà, hanno contribuito alla formazione dei livelli eccezionali che hanno interessato la città stessa. Rilevante è infine il dislivello, documentato anche da osservazioni sul campo, che si è determinato fra le zone settentrionali e meridionali della città, dove in meno di un chilometro le differenze riscontrate sono state di quasi 20 cm.



**Figura 3.** 12 novembre 2019. Livelli di marea calcolati dal modello alle ore 21.20 (pannello (a), con vento di bora) e alle ore 22.50, in corrispondenza del colmo registrato a Punta della Salute (pannello (b), con vento di libeccio). Le frecce nere indicano la direzione della corrente mediata sulla verticale.

Trova conferma una volta di più in questa analisi l’importanza di una corretta stima degli effetti del vento che soffia sulla laguna di Venezia, con riferimento soprattutto alla prossima condizione di laguna regolata dalle barriere del cosiddetto Mo.S.E. In fase di progetto delle opere alle bocche, infatti, i sovralti di marea generati dal vento sembrano essere stati alquanto sottostimati, ritenendo che non sussistessero importanti differenze nel fenomeno fra la condizione a bocche aperte e quella a bocche chiuse. Si è inoltre considerata addirittura trascurabile l’eventuale presenza di sovralti a Venezia rispetto a Chioggia. In realtà è stato recentemente dimostrato (Mel e al, 2019) che a bocche chiuse il vento, a causa delle differenti condizioni al contorno in corrispondenza delle bocche, comporterà sovralti di marea nelle zone sopra vento decisamente superiori a quelli che si verificano nella condizione di bocche aperte, producendo allagamenti inattesi, qualora non si dovesse tener conto opportunamente del problema nella gestione delle barriere mobili alle bocche di porto, anticipandone opportunamente la chiusura in caso di venti di bora, di scirocco o di libeccio particolarmente intensi.



**Figura 4.** Immagini della città di Venezia interessata dagli eventi di marea che si sono susseguiti fra il 12 e il 17 novembre 2019. Autore: Riccardo Mel.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Carniello, L., Defina, A., Fagherazzi, S. & D'Alpaos L. A combined wind wave-tidal model for the Venice lagoon, Italy. *Journal of Geophysical Research – Earth Surface*, 110, F04007, 2005.
- Carniello, L., D'Alpaos, A. & Defina A. Modeling wind waves and tidal flows in shallow micro-tidal basins, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011.
- D'Alpaos, L. & Defina, A. Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon, *Computers & Geosciences*, 33, 476-496, 2007.
- Defina, A. (2000). Two dimensional shallow flow equations for partially dry areas, *Water Resource Research*, 36(11):3251-3264.
- Mel, R., Carniello, L. & D'Alpaos, L. Addressing the effect of the Mo.S.E. barriers closure on wind setup within the Venice lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 225, issn: 0272-7714, 2019.