

## **VENEZIA: l'acqua alta eccezionale del 12/11/2019. Analisi preliminare dei dati e descrizione della fenomenologia**

Christian Ferrarin, Jacopo Chiggiato, Marco Bajo, Katrin Schroeder, Luca Zaggia, Alvisè Benetazzo



(Fonte immagine: Facebook, autore non noto, 13/11/2019)

---

### **Introduzione**

Il 12 novembre 2019 si è verificato a Venezia un evento di acqua alta eccezionale, secondo solo all'evento del 4 Novembre 1966. Sebbene un'alta marea eccezionale (>140 cm) fosse stata prevista dai modelli numerici in uso, nel corso della sera, improvvise raffiche di vento a più di 100 km/ora hanno determinato un'ulteriore locale intensificazione di questo fenomeno.

Il CNR con il suo Istituto di Scienze Marine (ISMAR), nato a Venezia nel 1969 come risposta delle istituzioni all'acqua alta del 1966, collabora con Il Centro Previsioni e Segnalazioni Maree del Comune di Venezia e con istituzioni come ISPRA e ARPA dell'Emilia Romagna per lo sviluppo delle metodologie di previsione del livello del mare e delle onde. Questo lavoro di ricerca applicata costituisce un importante contributo per la salvaguardia delle aree costiere e in particolare della popolazione e del patrimonio artistico ed architettonico della città di Venezia e delle isole della sua laguna.

L'evento che ha colpito Venezia il 12 novembre, pur rientrando nella fenomenologia tipica degli eventi che originano le acque alte eccezionali, ha presentato singolari caratteristiche, mai osservate in precedenza, e che richiedono un'analisi approfondita per poter trarre delle conclusioni, anche al fine di migliorare i sistemi di previsione e allerta. E' tuttavia possibile fornire un'interpretazione preliminare sulla base dei dati disponibili dalle stazioni CNR e dalle reti osservative delle istituzioni incaricate al monitoraggio dei fenomeni meteo-marini.

## Inquadramento meteorologico

Il 12 novembre 2019 era presente sul Tirreno centro-meridionale una profonda depressione barica ("L1" in Figura 1) che ha generato forti venti di Scirocco lungo l'asse principale del Mare Adriatico, mentre, contestualmente, nel nord Adriatico avveniva un richiamo di venti di Bora (Figura 2). Questa configurazione sinottica è normalmente causa di eventi di acqua alta nella Laguna di Venezia, con lo Scirocco che spinge le acque dell'Adriatico verso nord e la Bora che localmente ne deflette l'accumulo verso le coste occidentali. In aggiunta a questa configurazione "a larga scala", il nord Adriatico è stato interessato dal passaggio di un vortice ciclonico secondario in rapida rotazione e traslazione ("L2" in Figura 1) che si è rapidamente approfondito (cioè intensificato) causando venti molto forti (**70 km/h di media e 110 km/h di raffica**). Questo secondo minimo di pressione molto pronunciato ha creato un ulteriore aumento del livello idrico per effetto del cosiddetto effetto barometrico inverso (il livello del mare tende ad alzarsi quando la pressione atmosferica a livello del mare si abbassa, e viceversa). Il passaggio di questo vortice ciclonico (Figura 3) si evince chiaramente dai dati misurati presso la piattaforma CNR "Acqua Alta", situata nel golfo di Venezia, a 8 miglia nautiche dalla costa<sup>1</sup>. Come si vede nei dati riportati in Tabella 1, dopo le ore 20 il vento ha cominciato la rotazione da Bora (azzurro in Tabella 1) a Scirocco (rosa in Tabella 1): l'arrivo del fronte caldo, il conseguente aumento della temperatura dell'aria (di 5-6 °C) e la rapida discesa del minimo barico (3 mb in mezz'ora) sono chiaramente visualizzati dai dati in

tabella, fino al transito del minimo (986.6 mb) alle ore 21:30. Successivamente la rotazione dei venti da sud-ovest (verde in Tabella 1) si è accompagnata ad una severa intensificazione della velocità dei venti (**100 km/h di media e 110 km/h di raffica**, rosso in colonna "Velocità Vento" e "Raffiche", in Tabella 1). Dopo il passaggio del minimo barico e della rotazione da sud-ovest, il livello del mare nel nord Adriatico ha cominciato rapidamente a scendere, mentre il ritardo della propagazione della marea in laguna ha fatto coincidere la presenza delle raffiche da sud-ovest più intense con un valore già critico di livello del mare. Questi fenomeni hanno comportato un rapido innalzamento dei livelli dell'acqua e il verificarsi di danni maggiori alla città, soprattutto nelle zone del centro storico più esposte al vento da sud-ovest, dove all'aumentato livello si sono aggiunti gli stress sulle strutture dovuti a vento e onde.

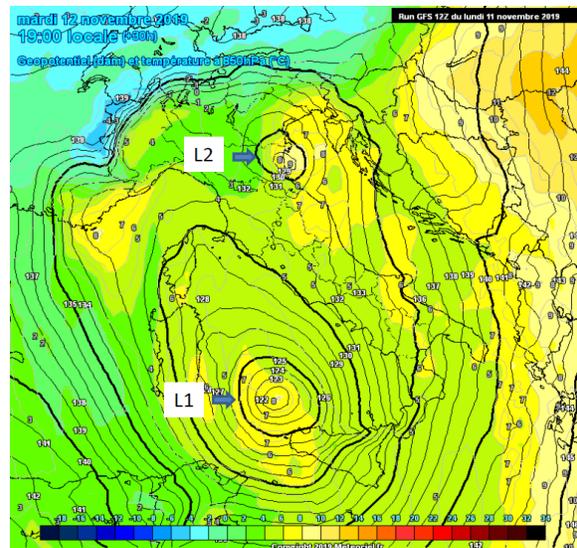
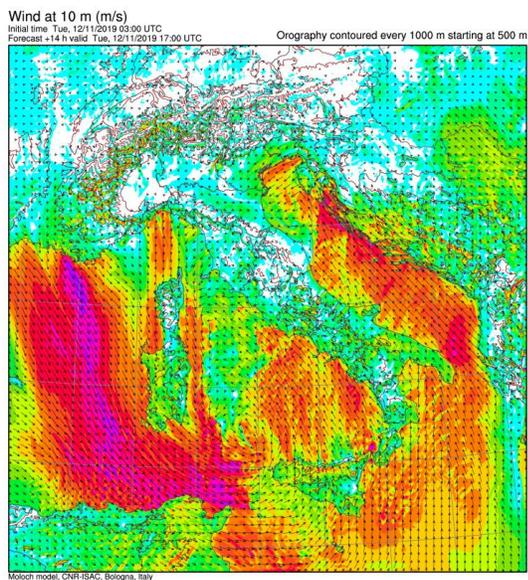


Figura 1: Altezza del geopotenziale (dam) e temperatura (°C) a 850 mb previste dal modello GFS (emissione 11 novembre 12:00 UTC) relative al 12 Novembre 2019 ore 19:00 locali (resa grafica: METEOCIEL)

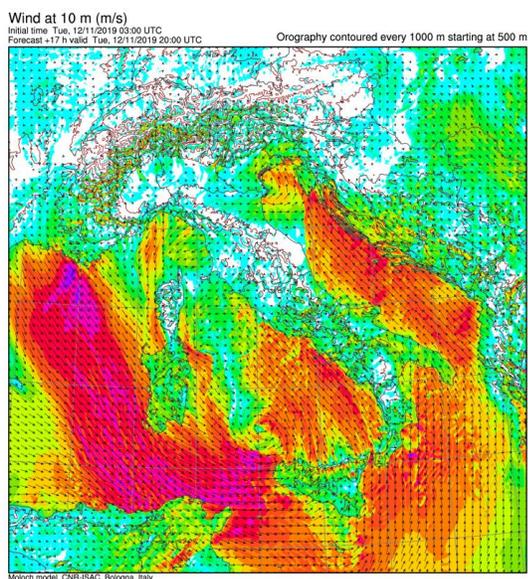
<sup>1</sup> <http://www.ismar.cnr.it/infrastrutture/piattaforma-acqua-alta>



**Figura 2: Vento a 10m previsto dal modello MOLOCH, dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR (CNR-ISAC) relativamente alle ore 17:00 UTC (18:00 locali) del 12 Novembre 2019. Si nota come l'Adriatico sia soggetto a sciroccata intensa e il nord Adriatico a venti di Bora.**

Ora solare	Livello (m) PTF	Direzione Vento	Velocità Vento (m/s)	Raffiche (m/s)	Pressione (hPa)	Temperatura aria (°C)	Livello (m) PS
19:00	1.16	31	15.4	18.4	992.7	11.6	0.86
19:10	1.21	27	15.3	17	992.5	11.4	0.9
19:20	1.24	24	15.5	18.3	992.3	11.6	0.92
19:30	1.27	21	16.3	19.4	991.6	11.2	0.95
19:40	1.33	25	16.9	19.4	991.5	11.3	0.98
19:50	1.39	24	16.7	20.5	991	11.9	1.02
20:00	1.44	23	18	21.5	990.4	12.3	1.05
20:10	1.54	22	18.7	21.8	990.2	12.5	1.08
20:20	1.6	29	18.5	22	990	13.2	1.12
20:30	1.63	43	17.4	21.8	990.6	15.8	1.17
20:40	1.61	109	15.1	17	989.5	17.7	1.22
20:50	1.64	107	14.6	19.5	989.2	16.8	1.25
21:00	1.72	97	15.8	20.5	987.9	16.4	1.28
21:10	1.74	94	17.6	21.3	987	16.8	1.33
21:20	1.75	104	17.4	18.9	986.8	16.7	1.38
21:30	1.81	131	14.1	17.1	986.6	17.2	1.43
21:40	1.82	157	14.4	17.6	987.2	16.7	1.47
21:50	1.77	168	14.4	16.3	987.7	16.7	1.52
22:00	1.75	180	18.2	23.5	988.4	14	1.56
22:10	1.72	192	22.1	29.8	989.2	12.8	1.64
22:20	1.57	214	28.1	31.5	991.1	12.4	1.7
22:30	1.39	216	26.8	30.3	991.1	12.4	1.74
22:40	1.3	218	24.2	28.3	992	12.3	1.83
22:50	1.22	222	21.5	24.6	992.7	12.3	1.87
23:00	1.14	222	18.3	20	993	12.6	1.81
23:10	1.08	221	15.5	19.7	993.2	12.8	1.69
23:20	1.09	228	14.7	18.7	993.6	12.6	1.6
23:30	1.11	222	13.1	14.5	994	12.3	1.54
23:40	1.1	228	11.8	12.9	993.9	12.3	1.48
23:50	1.09	229	10.6	11.3	994.3	12.2	1.43
00:00	1.05	226	9.2	10.2	994.8	11.8	1.36

**Tabella 1: Dati meteomarini misurati in Piattaforma Acqua Alta (PTF) e dati di livello del mare a punta della Salute (PS). Il blu nella colonna direzione vento evidenzia il periodo di Bora, poi in rotazione a Scirocco (rosa) ed infine sud-ovest (verde), successivamente al passaggio del minimo barico (valori gialli nella colonna Pressione Atmosferica). La massima intensità di vento (rosso) avviene in parte successivamente ai massimi valori di livello in Piattaforma Acqua Alta ma in corrispondenza dei massimi di livello a Punta Salute. Dati della rete mareografica del comune di Venezia (non ancora validati).**



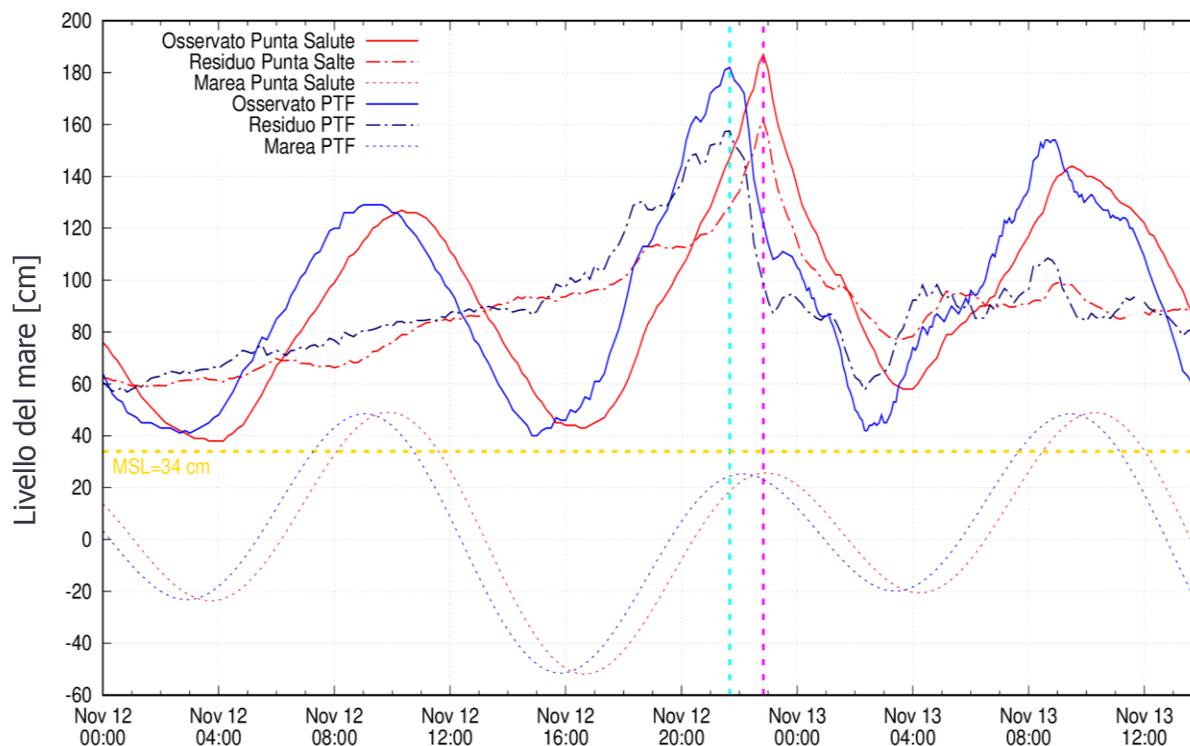
**Figura 3: Vento a 10m previsto dal modello MOLOCH, dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR (CNR-ISAC) relativamente alle ore 20:00 UTC (21:00 locali) del 12 Novembre 2019. Si noti il vortice ciclonico nel nord Adriatico (L2 in Figura 1).**

## Evoluzione del livello del mare

Il livello del mare è dato dalla somma della componente astronomica (marea), del contributo meteorologico (*storm surge* in inglese, determinato da vento e pressione) e dal livello medio del mare (MSL). Il valore massimo del livello pari a **187 cm** è stato registrato a Venezia - Punta della Salute e si è verificato alle ore 22:50 con un ritardo di circa un'ora rispetto al picco di **182 cm**, registrato in mare aperto dalla Piattaforma Acqua Alta. L'acqua alta eccezionale del 12 novembre è stata determinata dalla coincidenza temporale del massimo contributo meteorologico (127 cm) con il massimo di marea (26 cm) (Figura

4). Il livello medio del mare degli ultimi 2 anni in Nord Adriatico risulta essere di 34 cm (rispetto allo zero mareografico di Punta della Salute<sup>2</sup>).

Inoltre, è importante specificare che il contributo meteorologico indotto da vento e pressione dell'evento del 12 Novembre risulta essere inferiore rispetto ai massimi dei contributi meteorologici registrati durante gli eventi del 1966 e del 2018.



**Figura 4: Evoluzione del livello del mare a Venezia (Punta della Salute) ed in mare aperto (Piattaforma Acqua Alta). Il livello residuo corrisponde alla somma dello storm surge e del MSL.**

<sup>2</sup> <https://www.comune.venezia.it/it/content/riferimenti-altimetrici>

## I livelli massimi in Laguna

La peculiare situazione meteorologica locale associata al minimo locale verificatosi il 12 novembre hanno determinato in laguna valori eterogenei di livello massimo. Le registrazioni acquisite dalle stazioni mareografiche del Comune di Venezia (riportate in Fig. 5) mostrano valori massimi di livello superiori ai 170 cm solo in mare aperto ed a Venezia centro storico. Da notare la forte differenza tra i livelli misurati a sud della città di Venezia (**187 cm a Punta Salute**) e nord (**173 cm alla stazione della Misericordia**) in concomitanza del vento massimo da sud-ovest. Nella parte nord della Laguna sono stati registrati valori massimi inferiori ai 160 cm, mentre a Chioggia il livello si è fermato alla quota di 170 cm.

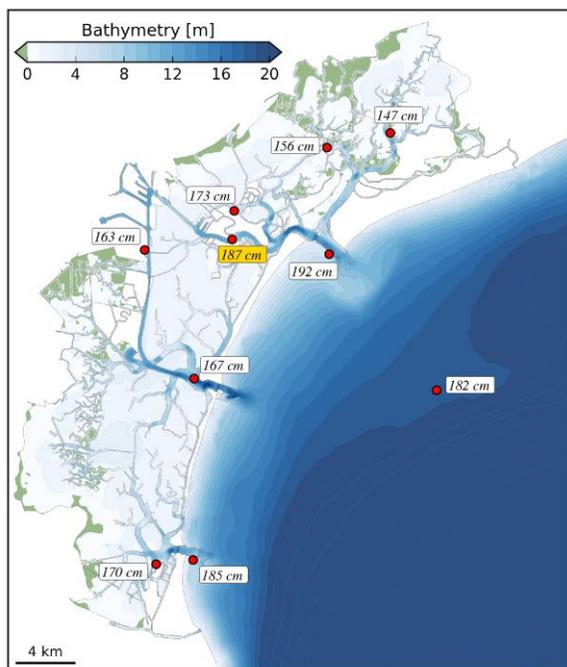


Figura 5: Valori massimi di livello del mare registrati in Laguna di Venezia (dati non validati del Comune di Venezia).

## Prevedibilità dell'evento

Il quadro sinottico a larga scala associato ad eventi importanti di acqua alta è oggi giorno prevedibile con diversi giorni di anticipo. Tuttavia, l'incertezza associata all'esatta intensità dell'evento meteorologico si ripercuote poi nella previsione della marea. In questa specifica occasione, il transito rapido di un fenomeno molto locale come il vortice ciclonico L2 rimane difficile da prevedere. I modelli atmosferici sono in grado di prevedere lo sviluppo e l'evoluzione di questi fenomeni meteorologici, tuttavia, piccoli errori nella traiettoria e/o intensificazione possono comportare localmente errori significativi di intensità e direzione del vento. La sottostima della velocità del vento si è ripercossa in una sottostima nella previsione dei livelli del mare da parte dei modelli statistici e deterministici.

Eventi atmosferici così intensi sono spesso sottostimati da modelli meteorologici a scala globale e, talvolta, anche da modelli a scala locale. Un possibile miglioramento della previsione di tali eventi estremi potrebbe derivare in futuro dall'utilizzo di complesse tecniche di assimilazione di dati osservati, sia in ambito atmosferico che marino.

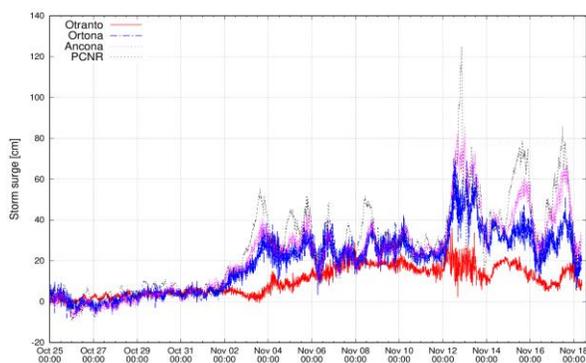
---

## Una serie di eventi di acqua alta

Successivamente all'acqua alta eccezionale del 12 Novembre si sono registrati altri 3 eventi con valori di livelli del mare superiori a 140 cm in soli 5 giorni. Le registrazioni meteo-marine evidenziano due dinamiche sovrapposte:

- eventi di Scirocco in successione in Mar Adriatico il 15 e il 17 Novembre con venti fino a 15 m/s, quindi significativi ma non eccezionali;
- un alto livello persistente del mare in Nord Adriatico nel mese di novembre.

Nella Figura 6 si evidenzia che i valori dello *storm surge* precedenti il 2 Novembre si mantengono attorno al valore 0, mentre il periodo successivo al 4 Novembre è caratterizzato da una serie di eventi che oscillano attorno ad un valore medio di circa 30 cm in Nord Adriatico, indotto dalla situazione meteorologica in Mar Mediterraneo. Tale dinamica è evidente anche nelle registrazioni della stazione di Otranto.



**Figura 6: Serie temporale del contributo meteorologico dal 25 Ottobre al 18 Novembre in Adriatico registrato nelle stazioni ISPRA di Otranto, Ortona ed Ancona, e in Piattaforma Acqua Alta del CNR.**

---

## Fortuna nella sfortuna

Dal 1966 la comunità scientifica continua a ripetere che nella **sfortuna** di un evento seppur catastrofico siamo stati **fortunati**. Il **4 Novembre del 1966** il massimo della mareggiata, e quindi del contributo meteorologico, si è verificato durante il minimo di marea astronomica. Il **28 Ottobre 2018** (la tempesta "Vaia"), il secondo evento per il contributo meteorologico dopo il 1966, è successa la stessa cosa. Cosa sarebbe quindi potuto accadere se le componenti fossero risultate in fase, com'è accaduto il 12 novembre di quest'anno? Uno sfasamento di qualche ora nel picco della mareggiata avrebbe portato a livelli del mare a Venezia di **230** e **215** cm, rispettivamente nel 1966 e nel 2018. Se proiettiamo l'evento del 1966 ai giorni nostri, con un livello medio relativo del mare cresciuto in 50 anni di circa 12 cm, otterremmo un livello massimo di circa **240** cm.

Contrariamente a quanto accaduto nei due eventi estremi sopra descritti, il **12 Novembre 2019** il picco della mareggiata si è sovrapposto al picco di marea astronomica e ad un alto livello medio del mare in Nord Adriatico, portando quindi una mareggiata meno intensa rispetto al 1966 e al 2018 a raggiungere valori eccezionali di livello a Venezia. In questo caso un anticipo o ritardo di 12 ore del picco dell'evento avrebbe portato alla sovrapposizione del contributo meteorologico al picco principale di marea, con un risultante valore massimo di livello del mare di **210** cm a Venezia.