

## ANALISI EX POST DEGLI EVENTI MAREALI A VENEZIA DEL 15-16 OTTOBRE 2020

### FENOMENOLOGIA

L'evento di marea del 15-16 ottobre 2020 risulta dall'evoluzione di una situazione meteorologica, relativamente complessa, prodottasi nei giorni precedenti sull'area euro-mediterranea (Figura 1). Tra l'11 e il 12 ottobre si verifica infatti, assieme a un tipico evento di ciclogenesi sul Mar Ligure e il conseguente passaggio di un ciclone sull'Italia, la formazione di una profonda saccatura dall'Islanda alla Francia, bloccata a est da un'ampia area anticiclonica estesa dalla Russia al Mediterraneo Orientale (Figura 1a). Ne consegue il trasporto (avvezione) di masse di aria artica dalla Groenlandia che investe prima le isole Britanniche (Figura 1b) e poi la Francia (Figura 1c) con la formazione di più centri di bassa pressione, per terminare nello sviluppo di una depressione ciclonica che dalla Francia si sposta sull'Italia (Figura 1d). Tale depressione ciclonica permane oltre 24 ore sul territorio italiano, dando luogo alla classica fenomenologia associata agli eventi di acqua alta, ossia un gradiente barico e venti di scirocco persistenti lungo tutto il Mar Adriatico.

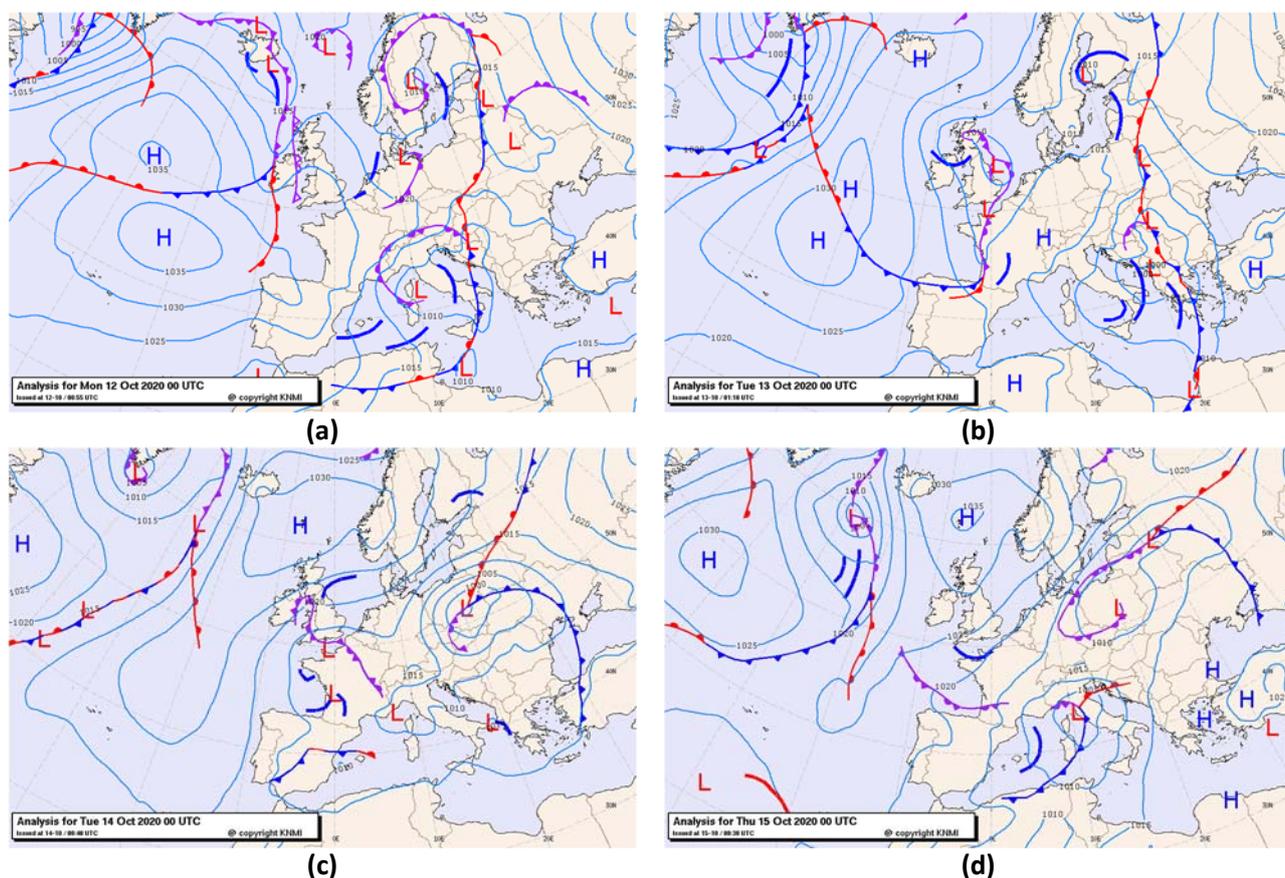


Figura 1 Carte meteorologiche (analisi) sinottiche in superficie per le ore 0000 UTC del 12 ottobre (a), del 13 ottobre (b), del 14 ottobre (c) e del 15 ottobre 2020 (d), prodotte e rese disponibili online dal KNMI-Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

La situazione a larga scala sopra descritta è stata prevista con largo anticipo (già nella previsione a 144 ore effettuata il 9 ottobre) dai sistemi previsionali adottati dagli Enti afferenti al Tavolo Tecnico (modello BOLAM del SIMM dell'ISPRA e modello IFS dell'ECMWF) ed è stata da essi costantemente monitorata. Tuttavia, fin dall'inizio è emersa una certa instabilità nella previsione a piccola scala da parte dei modelli meteorologici, come evidenziato in Figura 2, che mostra la pressione al suolo per l'istante temporale

corrispondente al picco di acqua alta previsto a Venezia – le ore 0800 UTC del 15 ottobre – in sei previsioni consecutive prodotte a distanza di 12 ore. Le previsioni mostrano sempre la stessa tipologia a scala sinottica, con un ciclone centrato sull'Italia centro-settentrionale. Tuttavia, la localizzazione del minimo barico al suolo varia tra l'Italia centrale, l'Alto Adriatico e il Veneto; inoltre, solo in alcune delle previsioni sono presenti minimi localizzati di pressione al suolo diversamente dislocati sull'alto Adriatico ([Figura 2b](#), [Figura 2c](#), [Figura 2d](#)). L'eventuale presenza di tali minimi locali è particolarmente rilevante al fine della corretta previsione dell'evento di acqua alta, perché a essi corrisponde una diversa circolazione locale del vento superficiale.

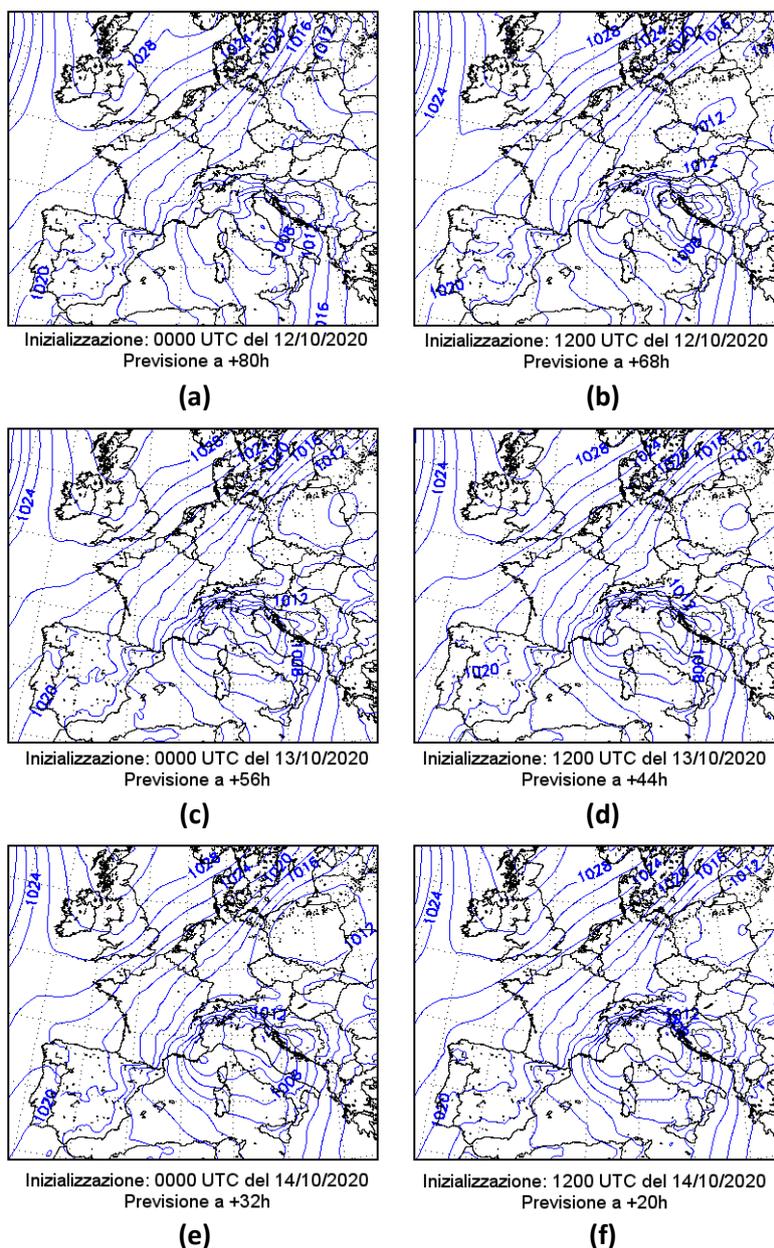


Figura 2 Previsioni del modello BOLAM del Sistema previsionale Idro-Meteo-Mare (SIMM) dell'ISPRA della pressione sul livello del mare per il giorno 15 ottobre 2020 alle ore 0800 UTC, calcolate a differenti anticipi (da sinistra a destra e dall'alto verso il basso: 80 ore, 68 ore, 56 ore, 44 ore, 32 ore e 20 ore).

È opportuno sottolineare che queste differenze tra previsioni consecutive non dipendono dai modelli numerici impiegati, ma dall'intrinseca instabilità del fenomeno fisico monitorato. La dinamica caotica di questo tipo di fenomenologia è ben testimoniata dall'analisi a terra per le 0000 UTC del 14 ottobre ([Figura 1c](#)). Ciò si verifica in quanto la depressione barica, che interessa l'intera Europa, presenta ben tre minimi a

terra, con corrispondenti centri di circolazione ciclonica in quota sul Mar Ligure, sulla Scozia e sulla Polonia (come risulta dai campi di pressione in quota, che non sono mostrati per semplicità). L'evoluzione di questa triplice struttura presenta una scarsa predicibilità intrinseca, per cui le previsioni meteorologiche continuano a mostrare dettagli mutevoli, fino a poche ore prima dell'evento stesso. Si rileva tra l'altro che la struttura che risulta più instabile nel confronto tra le previsioni consecutive è il minimo in quota sulla Scozia, che è associato all'intrusione di aria artica. Quest'ultima, nel suo moto verso sud, sviluppa specifiche proprietà dinamiche ed elevati gradienti termici e barici rispetto alle masse d'aria circostanti, che potrebbero essere all'origine della scarsa predicibilità.

Il confronto tra quattro previsioni consecutive del vento superficiale sull'Adriatico per le 0800 UTC del 15 ottobre, prodotte ogni 12 ore nei due giorni prima dell'evento dal modello deterministico ad area limitata BOLAM del SIMM dell'ISPRA e dal modello deterministico globale IFS dell'ECMWF (Figura 3), evidenzia quanto sia stato necessario il monitoraggio continuo delle previsioni nei giorni e nelle ore precedenti l'evento da parte del Tavolo Tecnico, come si evince dai comunicati emessi.

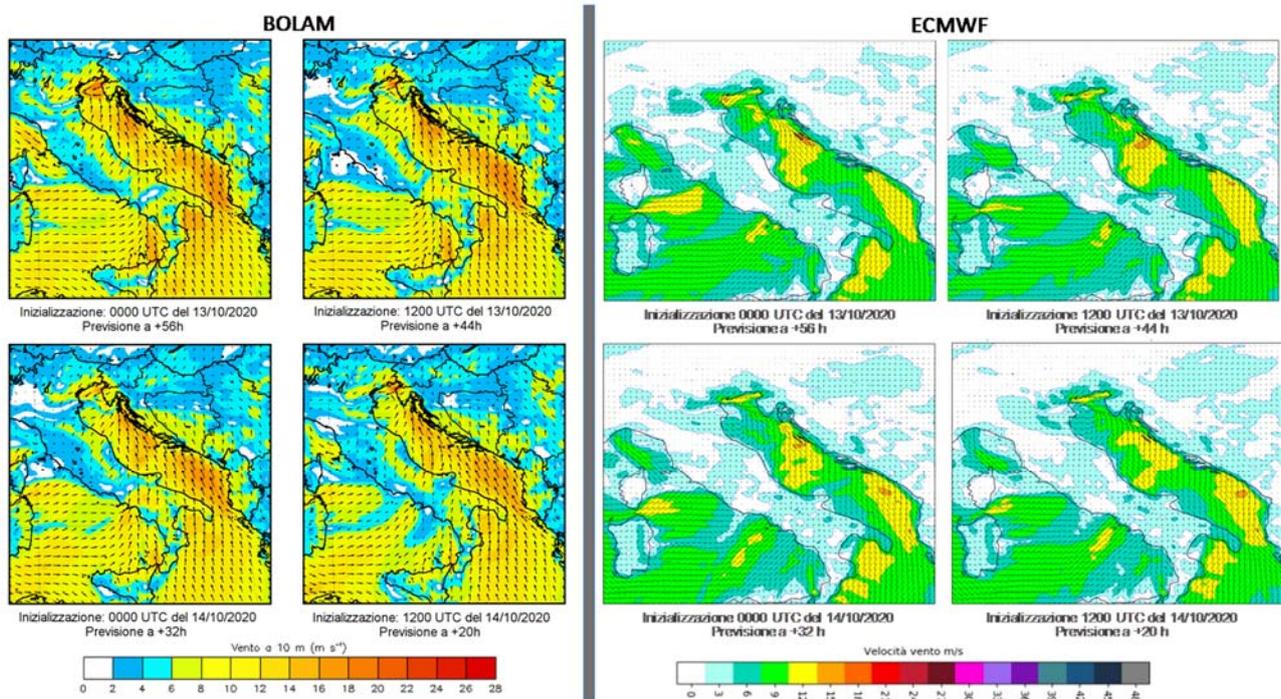


Figura 3 Velocità e direzione del vento superficiale a 10 metri previsti dal BOLAM del Sistema previsionale Idro-Meteo-Mare (SIMM) dell'ISPRA (mappe di sinistra) e dall'IFS dell'ECMWF (mappe di destra). Si riporta per entrambi i modelli il regime dei venti previsti per giovedì 15 ottobre 2020 alle ore 0800 UTC a differenti anticipi (56 ore, 44 ore, 32 ore e 20 ore).

Tutte le previsioni mostrano condizioni di forte vento di scirocco sul medio e basso Adriatico, ma per entrambi i modelli si notano tra le previsioni consecutive differenze sostanziali per quanto riguarda l'Alto Adriatico e la costa friulana. Nelle previsioni meteorologiche inizializzate alle 0000 UTC del 13 ottobre (Figura 3, +56 ore) lo scirocco si spinge fino all'altezza della Laguna di Venezia, per poi incontrare un forte vento di bora (configurazione localmente denominata "scontraura"). Nelle previsioni successive (Figura 3, +44 e +32 ore) tende a formarsi un'area di bonaccia al largo della costa romagnola, conseguente a una diversa posizione del ciclone, con interruzione del vento di scirocco e sua deviazione verso la Dalmazia settentrionale. Le stesse previsioni mostrano altresì un vento di scirocco più intenso in quota che a terra.

Si nota, inoltre, nella seconda previsione (Figura 3, +44 ore) e soprattutto nella terza (Figura 3, +32 ore), un indebolimento dell'intensità del vento di bora sulla Laguna; infine, nell'ultima previsione (Figura 3, +20 ore),

la bonaccia è più ridotta e il vento di bora è nuovamente più intenso. È da notare infine che, nonostante le evidenti differenze tra il modello globale dell'ECMWF e quello a più elevata risoluzione dell'ISPRA, l'evoluzione temporale delle previsioni consecutive sopra descritta si riscontra per entrambi i modelli.

#### LA PREVISIONE DELLA MAREA E ANALISI DEI LIVELLI OSSERVATI

Le condizioni meteo illustrate nel precedente paragrafo, hanno permesso di prevedere con diversi giorni di anticipo un possibile evento di marea molto sostenuta in Alto Adriatico per i giorni 15 e 16 ottobre. Il Tavolo Tecnico per le previsioni meteo-marine composto da CPSM, ISPRA e CNR-ISMAR si è riunito quotidianamente i giorni precedenti (ref. note del 13/10, 14/10, 15/10). I modelli operativi in uso presso i tre Enti hanno confermato punte di marea prevista molto sostenuta per le mattinate del 15 e del 16 ottobre, con valori massimi previsti in Laguna di Venezia rispettivamente di 130-135 cm e 115-125 cm (Figura 4).

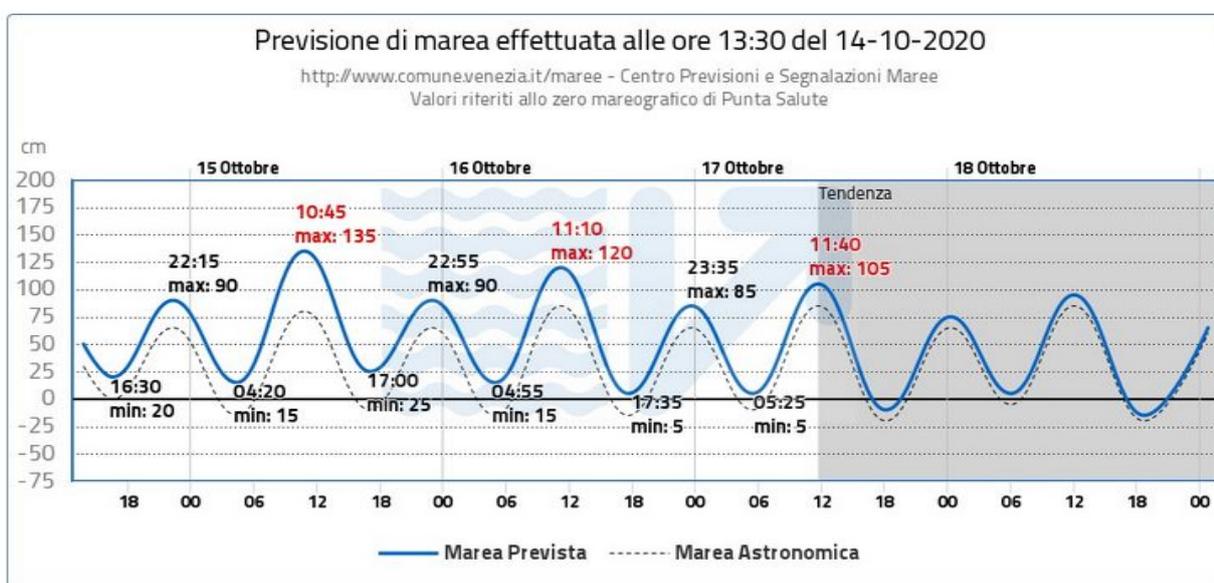


Figura 4 Grafico della previsione di marea del CPSM del Comune di Venezia, pubblicato nel bollettino emesso il 14 ottobre 2020.

Coerentemente con tali previsioni, il livello misurato in mare dalla rete meteo-mareografica integrata dell'ISPRA e del CPSM ha raggiunto alle ore 10:05 locali il valore di 132 cm sullo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS) alla Piattaforma "Acqua Alta" e di 135 cm sullo ZMPS a Lido Diga Sud alle ore 10:35, permanendo sopra la soglia dei 110cm per circa 4 ore (dalle ore 8 alle ore 12). Alle dighe di Malamocco e Chioggia sono stati misurati rispettivamente i valori di 141 e 142 cm, sebbene tali valori possano essere stati influenzati localmente dalle particolari condizioni del vento.

Presso la Diga Sud della bocca di Lido il massimo contributo residuo (61 cm) è stato registrato alle ore 8:50 in corrispondenza di una marea astronomica di 73 cm, nel momento in cui al largo della costa veneziana (Piattaforma "Acqua Alta") venivano registrati forti venti di bora (18-20 m/s) e onde di altezza massima prossima ai 4 m. Il contributo meteo ha poi iniziato a calare dalle ore 12:30, dopo più di due ore dal picco di marea astronomica di 80 cm (Figura 5).

L'entrata in funzione del MoSE alle ore 7:00 circa ha ridotto progressivamente il flusso mareale tra mare e laguna fino alla sua completa interruzione. La marea a Chioggia Vigo si è fermata a un livello di 74 cm alle ore 7:40, mentre a Punta della Salute a 65 cm alle ore 08:10 (Figura 6 e Figura 7).

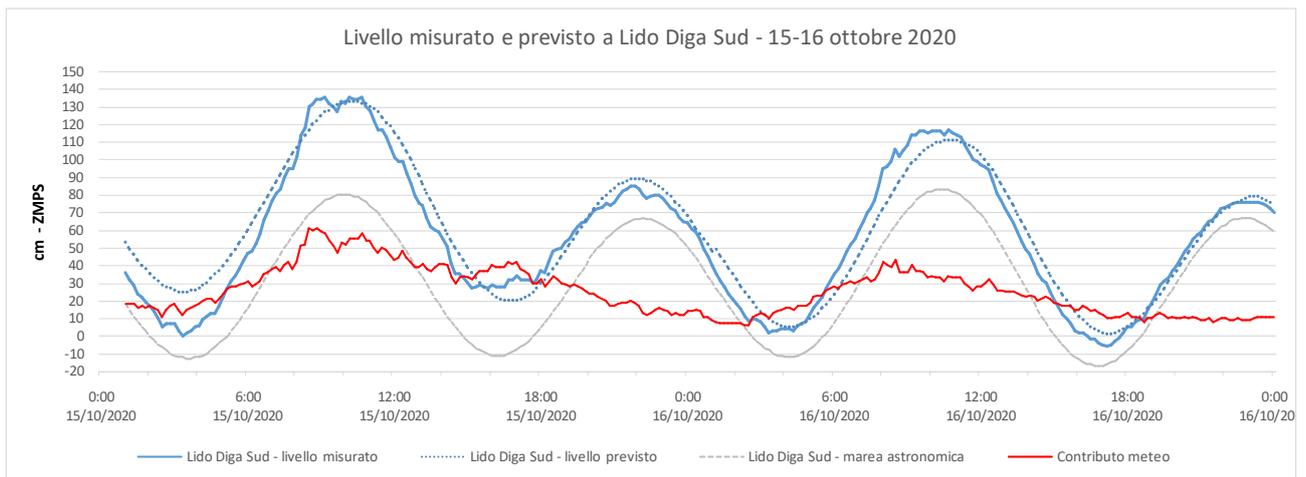


Figura 5 Livello del mare misurato (in azzurro, linea continua) e previsto (in azzurro, linea tratteggiata) e marea astronomica (in grigio). La linea rossa, derivante dalla differenza tra le due curve di livello misurato e marea astronomica, indica il contributo residuo.

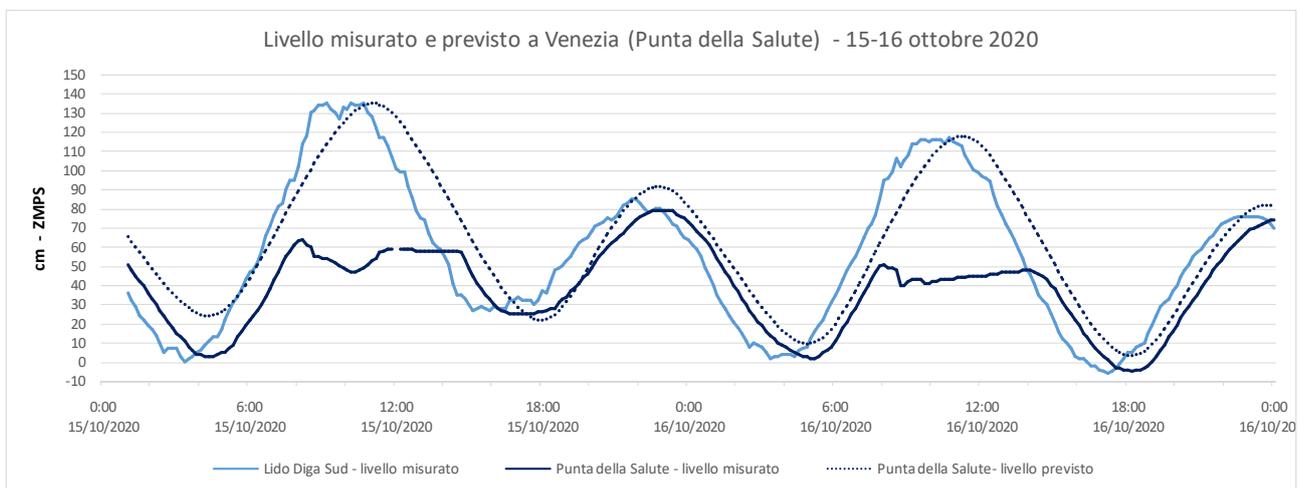


Figura 6 In azzurro, livello della marea misurata in mare a Lido Diga Sud; in blu, livello misurato (linea continua) e previsto (linea tratteggiata) a Venezia –Punta della Salute.

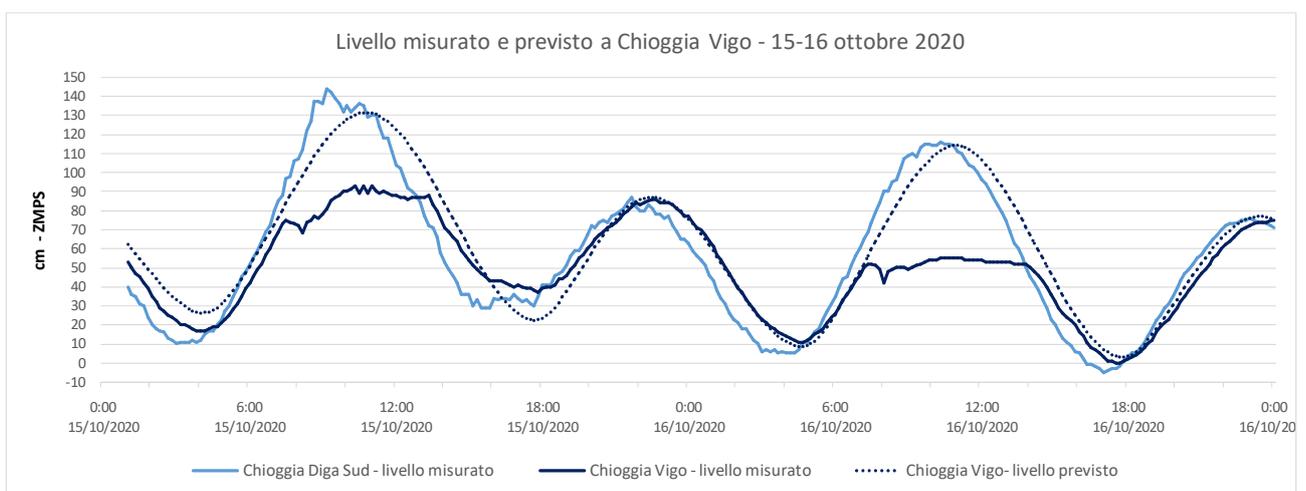


Figura 7 In azzurro, livello della marea misurata in mare a Chioggia Diga Sud; in blu, livello misurato (linea continua) e previsto (linea tratteggiata) a Chioggia Vigo.

In seguito, a causa del persistente vento di bora, lo spostamento della massa d'acqua verso la porzione meridionale della laguna ha portato alla discesa del livello di Punta della Salute a 47 cm alle 10:20, mentre quello di Chioggia Vigo è andato via via crescendo fino a raggiungere i 93 cm alle 11:00. Il dislivello tra mare e laguna si è quindi attestato su un valore di circa 90 cm nella porzione centro-settentrionale del bacino (differenza massima istantanea alle ore 10:10 di 88 cm tra le stazioni di Lido Diga Sud e Punta della Salute), mentre il dislivello tra il bacino meridionale e il mare si è attestato su un valore di circa 40 cm alle ore 10:50.

È risultato infatti molto evidente l'effetto locale del vento di bora che ha indotto un gradiente massimo di livello interno alla laguna lungo la direttrice nord-sud di circa 65 cm alle ore 11:00 (Grassabò 28 cm; Chioggia Vigo 93 cm, [Figura 8](#)); la differenza massima istantanea tra Punta della Salute e Chioggia Vigo è stata di 39 cm, mentre quella tra Burano e Chioggia Vigo di 50 cm. Questo gradiente di livello interno alla laguna è stato raggiunto anche a causa della chiusura del MoSE che blocca il deflusso attraverso la bocca di Chioggia.

In altri centri abitati della laguna sono stati raggiunti i seguenti valori massimi sullo ZMPS: 47 cm a Burano; 62 cm a Murano; 38 cm a Cavallino Treporti ([Figura 8](#)).

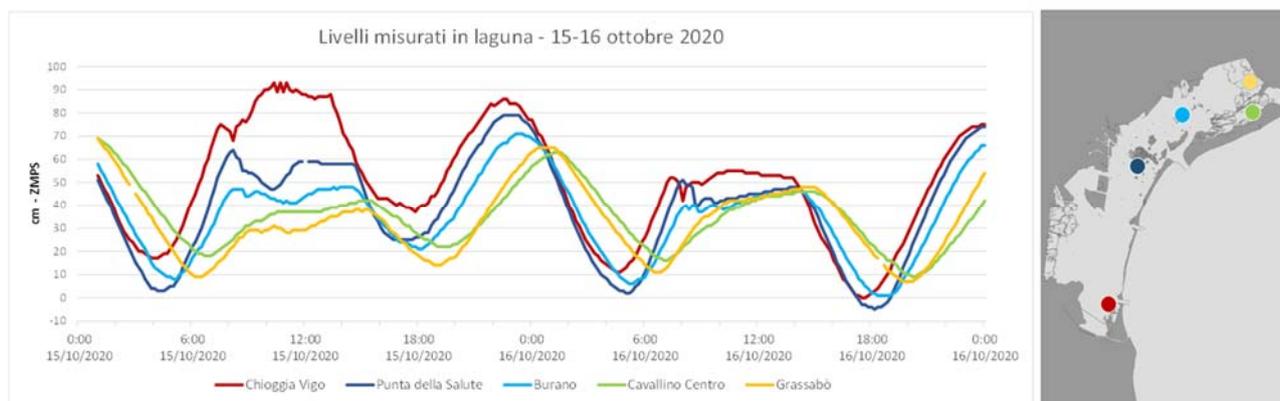


Figura 8 Livello della marea misurata presso i centri abitati di Venezia, Burano e Cavallino-Treporti, Chioggia e presso la stazione di Grassabò.

L'evento mareale è poi proseguito anche il giorno successivo (16 ottobre) non a causa dei fenomeni meteorologici in atto – vista la progressiva attenuazione dell'intensità del vento durante tutta la giornata – bensì per l'instaurarsi del fenomeno della "sessa" generata dagli elevati livelli di marea raggiunti in alto Adriatico nella giornata precedente. A tal ragione, i modelli operativi presso i tre istituti confermavano valori di marea compresi tra 115 e 125 cm alle ore 11:10 di venerdì 16, con valori di marea astronomica di 84 cm ([Figura 4](#)).

Coerentemente con tali previsioni il livello in mare ha raggiunto valori di poco inferiori a 120 cm, con massimi misurati dalla rete mareografica integrata di ISPRA e del CPSM di 117 cm sullo ZMPS alle 10:40 presso la bocca di porto di Lido ([Figura 5](#)), 116 cm presso le bocche di Malamocco e Chioggia. I livelli in mare (in testa ai moli foranei) sono rimasti su valori superiori a 110 cm per un'ora e mezza, dalle 9:30 alle 11 circa.

Con l'entrata in funzione del MoSE, dalle ore 7:00 circa, per il secondo giorno consecutivo, il flusso mareale entrante in laguna è stato ridotto progressivamente fino ad essere interrotto. La marea a Punta della Salute si è dunque fermata ad un livello di 52 cm alle 8:05, per poi attestarsi su un valore prossimo a 45 cm ([Figura 6](#)). Il massimo dislivello tra mare e centro storico di Venezia è stato di 75 cm alle 9:40.

La marea a Chioggia Vigo ha raggiunto il valore di 52 cm alle 7:10 per poi arrestarsi e calare, di 10 cm, nella mezz'ora successiva per effetto della propagazione mareale verso le aree più interne e riprendere subito dopo a crescere, attestandosi su valori di 54-55 cm ([Figura 7](#)); il dislivello massimo misurato tra la laguna meridionale e il mare (Chioggia Diga Sud) è stato di 62 cm alle 9:40, esattamente allo stesso momento di quanto accaduto nel bacino centro-settentrionale.

I livelli raggiunti nei maggiori centri abitati lagunari sono mostrati in [Figura 8](#): 46 cm a Burano, 48 cm a Murano, 46 cm a Cavallino Treporti, 52 cm a Punta della Salute e 55 cm a Chioggia Vigo come già precedentemente riportato.