

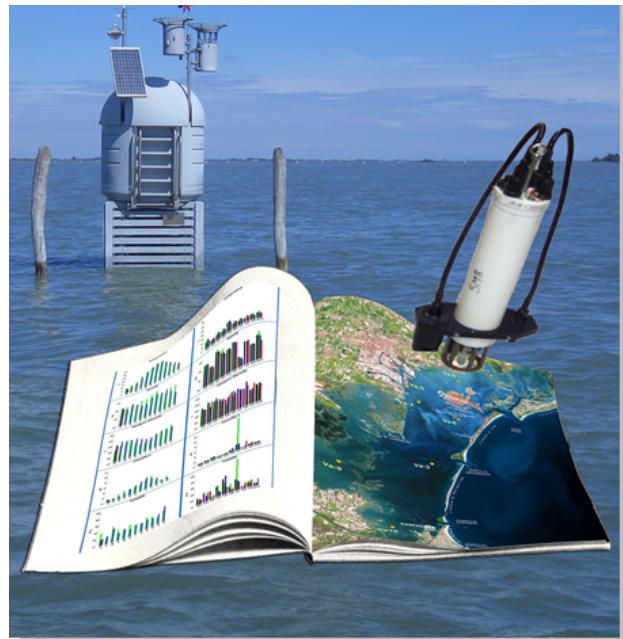
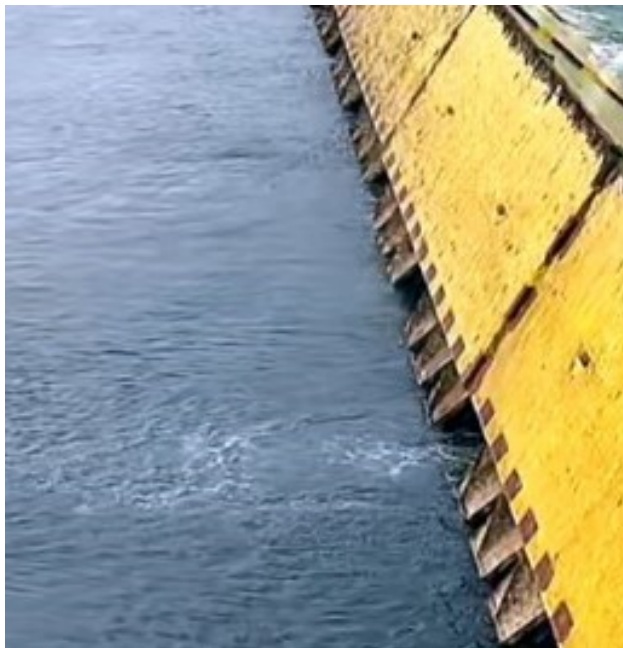


*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

**La qualità delle acque della laguna di Venezia
durante le chiusure del MoSE**

DICEMBRE 2020



Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

S. Polo 737 - 30125 – VENEZIA

Tel. 041/794370 - Fax 041/794387

<http://www.provveditoratoveneta.mit.gov.it>





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Dirigente dell'Ufficio Tecnico per l'Antinquinamento	Francesco Sorrentino
Responsabile del progetto	Claudio Carrer
Responsabili scientifici	Christian Badetti, Andrea Berton
Servizio Qualità	Mauro Grassi, Michela Carlon
Consulente scientifico	Giorgio Ferrari



Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

S. Polo 737 - 30125 – VENEZIA
Tel. 041/794370 - Fax 041/794387

<http://www.provveditoratoveneza.mit.gov.it>





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Introduzione

Il sistema di dighe mobili realizzato dallo Stato italiano per la protezione dei centri abitati di Venezia, Chioggia e delle isole della laguna dalle acque alte eccezionali – il sistema MoSE - è entrato ripetutamente in funzione nel mese di **Dicembre 2020** per contrastare gli effetti di una serie di alte maree molto sostenute che avrebbero causato l'allagamento di vaste aree urbane entro il conterminare lagunare.

Tale serie di eventi ha rappresentato la prima esperienza di funzionamento delle paratoie in condizioni meteomarine avverse e ha dimostrato la piena funzionalità del sistema MoSE, ancorché i lavori non siano ultimati. Infatti, l'azionamento delle paratoie ha limitato l'innalzamento del livello dell'acqua all'interno della laguna, evitando così l'allagamento delle aree urbane.

Nei periodi di chiusura delle paratoie si è verificata, anche se per periodi limitati, l'interruzione dello scambio dell'acqua della laguna con il mare Adriatico, la cui sussistenza e regolarità sono ritenute essenziali per assicurare il ricambio delle acque della laguna e il mantenimento del suo equilibrio ecologico.

Nel presente rapporto vengono presentati i risultati delle misure di qualità delle acque della laguna acquisiti dalla rete di monitoraggio automatico SAMANET dell'Ufficio Tecnico per l'Antinquinamento della laguna di Venezia relativi al mese di **Dicembre 2020**, comprensivi dei dati acquisiti durante i periodi di chiusura delle paratoie.

Tale rapporto rappresenta un primo contributo per la valutazione dell'impatto della chiusura delle opere alle bocche di porto sulle caratteristiche di qualità delle acque della laguna.

Prima di procedere alla presentazione dei dati e alla loro analisi, si ritiene opportuno descrivere brevemente le caratteristiche del Sistema MoSE e della rete di monitoraggio SAMANET.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Il MoSE

Il sistema MoSE – Modulo Sperimentale Elettromeccanico è stato realizzato per la protezione delle città di Venezia e Chioggia e delle isole della laguna dalle “acque alte” eccezionali ed è costituito da 78 paratoie mobili indipendenti in grado di intercettare il flusso di marea in laguna dalle tre bocche di comunicazione con il mare Adriatico: la bocca di Lido, la bocca di Malamocco e la bocca di Chioggia (Fig. 1).



Figura 1 – Le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia dove è stato realizzato il Sistema MoSE.

Le 78 paratoie sono distribuite lungo le tre bocche di porto a formare altrettante sezioni di chiusura, come schematicamente illustrato nelle figure seguenti. La maggiore ampiezza della bocca di Lido ha reso necessaria la realizzazione di due schiere di paratoie, divise da un’isola artificiale.





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia



Fig. 2 – Sezione di chiusura della bocca di porto di Lido.



Fig. 3 – Sezione di chiusura della bocca di porto di Malamocco.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia



Fig. 4 – Sezione di chiusura della bocca di porto di Chioggia.

Le caratteristiche delle diverse sezioni di chiusura sono di seguito riportate.

Bocca di Lido – lato Canale di Treporti	21 paratoie	lunghezza totale	420 metri
Bocca di Lido – lato Canale di San Nicolò	20 paratoie	lunghezza totale	400 metri
Bocca di Malamocco	19 paratoie	lunghezza totale	380 metri
Bocca di Chioggia	18 paratoie	lunghezza totale	360 metri





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Ogni paratoia è incernierata ad un sistema di cassoni in calcestruzzo immorsati sul fondo. L'azionamento delle paratoie, che in condizioni di riposo giacciono nella sede dei cassoni, avviene per galleggiamento dopo l'espulsione dell'acqua contenuta al proprio interno mediante aria compressa, come mostrato nello schema della figura seguente. Al termine dell'evento mareale, le paratoie vengono nuovamente allagate e rientrano nella propria sede.

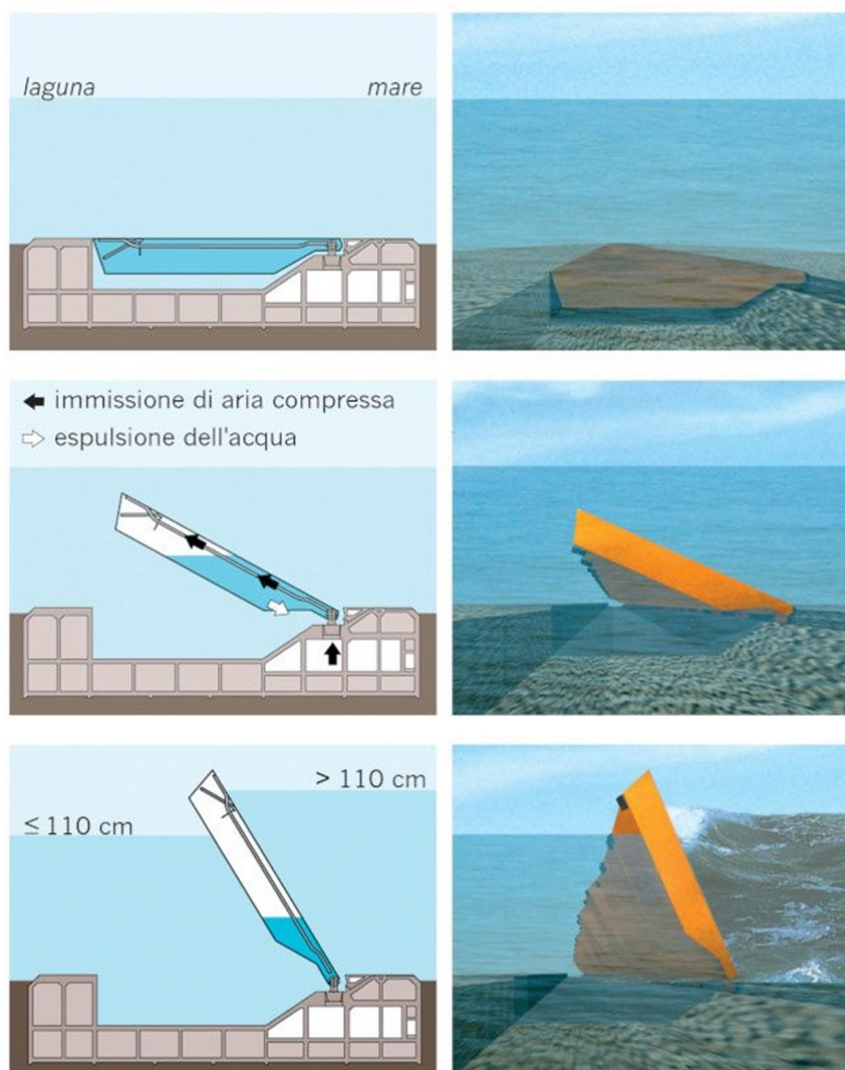


Fig. 5 – Schema di funzionamento delle paratoie del Mose.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

La rete SAMANET per il monitoraggio della qualità delle acque della laguna di Venezia

La rete SAMANET è composta da 10 stazioni di rilevamento automatico della qualità delle acque della laguna. Ciascuna stazione ospita al proprio interno una sonda multiparametrica costantemente immersa in acqua in grado di misurare con frequenza prestabilita i seguenti parametri delle acque.

1. temperatura;
2. salinità (calcolata da misure di conducibilità);
3. ossigeno disciolto;
4. clorofilla *a*;
5. torbidità;
6. battente idrico.

Le sonde si attivano automaticamente ogni 30 minuti per eseguire una serie di 10 misure istantanee di ciascun parametro e inviano il valore medio di ciascuna serie alla stazione di terra presso la sede dell'Ufficio Antinquinamento dove i dati vengono raccolti, elaborati e archiviati.

La scelta della localizzazione delle stazioni ha tenuto conto delle caratteristiche delle diverse aree lagunari, alcune più esposte all'ambiente marino, altre più influenzate dalle immissioni d'acqua dolce dei corsi d'acqua sfocianti in laguna e altre ancora soggiacenti agli impatti antropici. Le caratteristiche principali delle diverse stazioni, la cui posizione è indicata in Fig. 6, sono brevemente descritte in Tabella 1.

Tabella 1. Caratteristiche delle diverse stazioni della rete SAMANET.

Nome stazione	Sigla corpo idrico	Denominazione	Note
Ve-1	PNC1	Marghera	Operativa
Ve-2	PNC2	Tessera	In manutenzione
Ve-3	ENC1	Laguna Centro Sud	Operativa, sensore dell'ossigeno non funzionante
Ve-4	CS	Centro storico	Operativa
Ve-5	PNC1	Marghera	In manutenzione
Ve-6	ENC4	Sacca Sessola	Operativa
Ve-7	PC1	Dese	Operativa
Ve-8	EC	Palude Maggiore	Operativa
Ve-9	PC2	Millecampi	Operativa
Ve-10	PC3	Val di Brenta	In manutenzione





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia



Fig. 6 – Localizzazione delle stazioni della rete SAMANET di monitoraggio della qualità delle acque lagunari.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

La molteplicità dei parametri misurati e la distribuzione spaziale delle stazioni consentono di delineare un quadro completo e costantemente aggiornato della qualità delle acque della laguna, poiché permettono di rilevare variazioni delle caratteristiche delle acque della laguna prodotte sia da fenomeni transienti che da processi di più ampia durata.

La rete SAMANET, di cui viene mostrata in Fig. 7 la stazione Ve-2 in località Campalto, rappresenta pertanto la vera e propria “sentinella della laguna”, uno strumento fondamentale ed insostituibile per il controllo e il presidio della qualità delle acque lagunari.



Fig. 7 - La stazione Ve-2, ubicata nel bassofondo in località Campalto.

Per maggiori dettagli sulle caratteristiche della rete SAMANET e sulle campagne e attività pregresse, si rimanda alla “Sezione Pubblicazioni Antinquinamento” del sito del Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche per il Veneto Trentino Alto Adige Friuli Venezia Giulia (<http://provveditoratovenezia.mit.gov.it/pubblicazioni-antinquinamento.html>).





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Il funzionamento del MoSE nel mese di Dicembre 2020

La figura seguente riporta l'andamento della marea misurato nel mese di Dicembre 2020 alla stazione Ve-3, situata in laguna in prossimità della bocca di Malamocco, con l'indicazione dei periodi in cui il MoSE è stato attivato. Tracciati analoghi sono stati registrati presso ciascuna delle altre stazioni della rete.

I valori dell'altezza di marea indicati in questi grafici non sono riferiti alla quota mareografica in quanto dipendono dalle particolari caratteristiche costruttive di ciascuna stazione. Tuttavia, pur essendo basati su valori relativi, i grafici rappresentano in modo fedele sia l'andamento del ciclo mareale che l'entità dell'escursione della marea in ogni stazione.

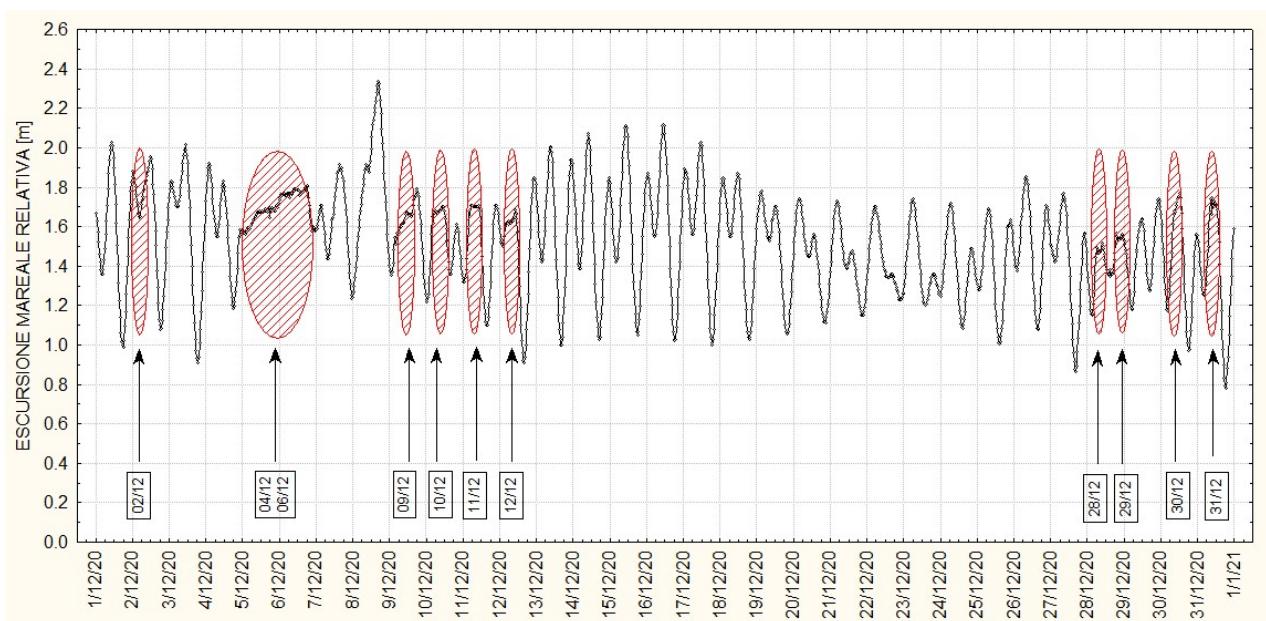


Fig. 8 – Andamento dell'escursione di marea in laguna misurato dalla stazione Ve-3 nel mese di Dicembre 2020 e indicazione dei periodi in cui il MoSE è rimasto in funzione.

Il MoSE è entrato in funzione 10 volte nel corso del mese di dicembre 2020, nella maggior parte dei casi per fronteggiare eventi di alta marea limitati a cicli semi-diurni, con l'eccezione del periodo dal 4 al 6 dicembre in cui, a causa del protrarsi di condizioni meteomarine avverse, le barriere sono rimaste alzate per 45 ore.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

I dettagli relativi alle diverse operazioni di chiusura sono stati forniti dall'Ufficio per la salvaguardia di Venezia del Provveditorato Interregionale alle OO.PP. [1] e sono riportati nelle tabelle seguenti, unitamente ai livelli massimi di marea raggiunti in mare e in laguna nel corso dei diversi eventi.

Tabella 2. Periodi di azionamento del MoSE nel mese di dicembre 2020.

GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
2 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 04 alle 13 (9 ore)	+ 126	+ 74
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 04 alle 12 (8 ore)		
	Bocca di Malamocco	PARZIALMENTE CHIUSA	Dalle 06 alle 13 (7 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 04 alle 12 (8 ore)		
GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
4 -6 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 21 del 04/12 alle 18 del 06/12 (45 ore)	+ 129 alle 01:15 del 05/12 + 121 alle 10:05 del 05/12 + 128 alle 00:50 del 06/12 + 133 alle 14:30 del 06/12	+ 95
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 21 del 04/12 alle 18 del 06/12 (45 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA CON RIAPERTURA TEMPORANEA	Dalle 21 del 04/12 alle 16 del 05/12 e dalle 19 del 05/12 alle 18 del 06/12 (42 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 21 del 04/12 alle 18 del 06/12 (45 ore)		
GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
9 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 03 alle 18 (15 ore)	+ 123	+ 84
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 03 alle 18 (15 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA	Dalle 03 alle 15 (12 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 03 alle 17 (14 ore)		





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Tabella 2. Periodi di azionamento del MoSE nel mese di dicembre 2020 (seguito).

GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
10 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 04 alle 12 (8 ore)	+ 128	+ 73
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 04 alle 12 (8 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA	Dalle 04 alle 11 (7 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 04 alle 11 (7 ore)		
GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
11 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 04 alle 11 (7 ore)	+ 127	+ 73
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 04 alle 11 (7 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA	Dalle 04 alle 10 (6 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 04 alle 10 (6 ore)		
GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
12 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 03 alle 11 (6 ore)	+ 117	+ 76
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 03 alle 11 (6 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA	Dalle 03 alle 10 (5 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 03 alle 10 (5 ore)		





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Tabella 2. Periodi di azionamento del MoSE nel mese di dicembre 2020 (seguito).

GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
28 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 05 alle 24 (19 ore)	+ 102	+ 81
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 05 alle 24 (19 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA CON RIAPERTURA TEMPORANEA	Dalle 05 alle 14 e dalle 19 alle 24 (14 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 05 alle 24 (19 ore)		
GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
29 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 07 alle 12 (5 ore)	+ 96	+ 71
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 07 alle 12 (5 ore)		
	Bocca di Malamocco	APERTA	Le paratoie non vengono sollevate		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 07 alle 12 (5 ore)		
GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
30 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 04 alle 13 (9 ore)	+ 113	+ 79
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 04 alle 13 (9 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA	Dalle 08 alle 12 (4 ore)		
	Bocca di Chioggia	APERTA	Le paratoie non vengono sollevate		





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Tabella 2. Periodi di azionamento del MoSE nel mese di dicembre 2020 (seguito).

GIORNO	SEZIONE DI CHIUSURA	STATO	PERIODI DI CHIUSURA (approssimati all'ora)	Livello massimo (cm s.l.m.m.)	
				Mare (Bocca di Lido)	Laguna (Punta Salute)
31 dicembre	Bocca di Lido – lato canale di Treporti	CHIUSA	Dalle 07 alle 13 (6 ore)	+ 107	+ 71
	Bocca di Lido – lato canale di S. Nicolò	CHIUSA	Dalle 07 alle 13 (6 ore)		
	Bocca di Malamocco	CHIUSA	Dalle 08 alle 12 (4 ore)		
	Bocca di Chioggia	CHIUSA	Dalle 07 alle 13 (6 ore)		

Non tutte le sezioni sono rimaste chiuse per l'intera durata degli eventi, in quanto le paratoie di alcune sezioni sono state temporaneamente abbassate per permettere il traffico marittimo, come la sezione di Malamocco durante gli eventi del 2, 4/6 e 28 dicembre. In altri casi le paratoie non sono state sollevate, come per la sezione di Malamocco il giorno 29 dicembre e quella di Chioggia il 30 dicembre.

Il livello massimo di marea registrato in laguna al mareografo di Punta della Salute durante le chiusure del MoSE è stato raggiunto durante la chiusura del 4 - 6 dicembre, con la quota di 94 centimetri. Il corrispondente livello massimo registrato in mare è stato di 133 centimetri, con un dislivello tra mare e laguna di 39 centimetri. In tale circostanza, l'intervento del MoSE ha consentito di limitare l'allagamento del centro storico a meno del 5 per cento della superficie urbana che, altrimenti, sarebbe stata sommersa per oltre il 50 per cento, secondo i riferimenti altimetrici del centro storico pubblicati dal Comune di Venezia [2]. In tutti gli altri casi, l'attivazione del MoSE ha permesso di limitare l'allagamento del centro storico a meno dell'1.8 per cento della superficie urbana.

Gli effetti della chiusura del MoSE sulle caratteristiche delle acque della laguna sono illustrati di seguito, con particolare riferimento all'evento principale del 4/6 dicembre, in cui il collegamento tra mare e laguna è stato interrotto per 45 ore.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Attivazione del MoSE dal 4 dicembre al 6 dicembre 2020

Nelle giornate del 5 e 6 dicembre 2020 si sono susseguiti quattro eventi di alta marea che sono stati gestiti con un'unica manovra durata quasi 2 giorni che ha interessato tutte le sezioni di chiusura, con un periodo intermedio di abbassamento delle paratoie della sezione di Malamocco di circa 3 ore nel pomeriggio del 5 dicembre 2020 per consentire il traffico marittimo.

L'andamento del **livello idrometrico** misurato nelle diverse stazioni della rete SAMANET nel periodo di attivazione del MoSE è riportato nella seguente Figura 8.

L'inizio del periodo di attivazione del MoSE è contrassegnato nel grafico da una linea nera continua indicante il sollevamento delle paratoie e la fine da una linea nera tratteggiata indicante l'affondamento delle stesse. Il periodo di apertura temporanea di tre ore della bocca di Malamocco, dalle 16 alle 19 del 5/12, è evidenziato con una banda di colore azzurro. Per completezza di informazione, sono stati inseriti nel grafico anche i periodi relativi ai giorni precedenti e seguenti l'evento al fine di meglio evidenziare gli effetti della chiusura sull'andamento della marea.

La Figura 8 mostra come l'attivazione del MoSE abbia provocato il completo smorzamento delle oscillazioni mareali in tutta la laguna dal momento della chiusura fino alla riapertura delle bocche di porto, avvenuta verso le ore 18 del 6 dicembre, allorché il ciclo mareale si è nuovamente ristabilito. Un esame più approfondito del grafico di Figura 8 rivela che durante le 45 ore del periodo di chiusura si è registrato il progressivo innalzamento del livello dell'acqua della laguna. Tale incremento è risultato essere di circa 20 centimetri, con una crescita media di circa 0.4 cm/ora e ha interessato in misura omogenea l'intero bacino lagunare. Tale fenomeno non è ascrivibile né agli apporti d'acqua dolce dai corsi d'acqua sfocianti in laguna né alle precipitazioni meteoriche intervenute durante il periodo di chiusura delle bocche di porto, dal momento che non è stato accompagnato da una corrispondente diminuzione della **salinità** delle acque dello specchio lagunare, come mostrato nella seguente Figura 9 e indicato nella successiva Tabella 3.





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

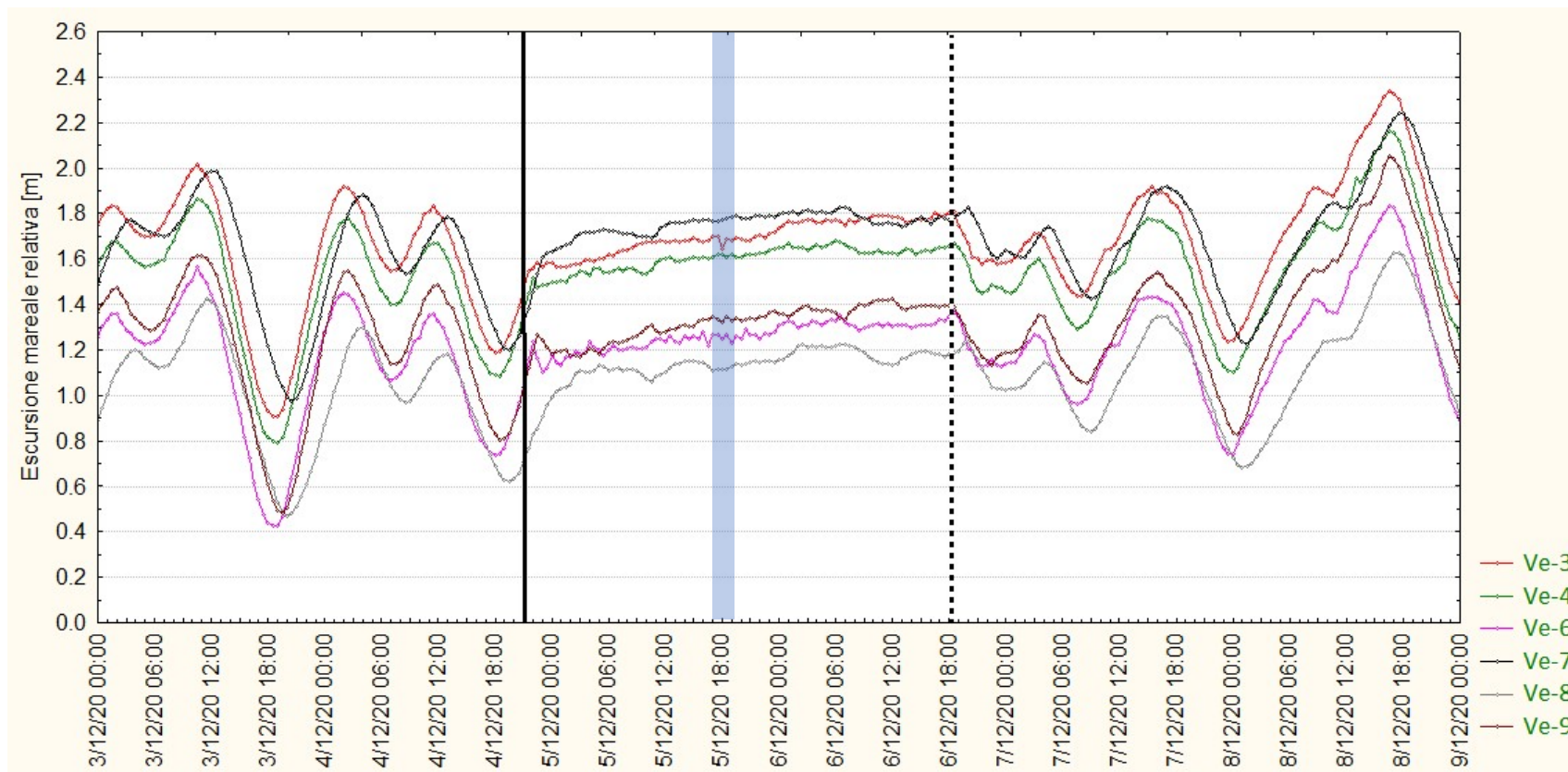


Figura 8 - Andamento del livello idrometrico delle diverse stazioni della rete SAMANET nel periodo di attivazione del MoSE dal 4 al 6 dicembre 2020.





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA

UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

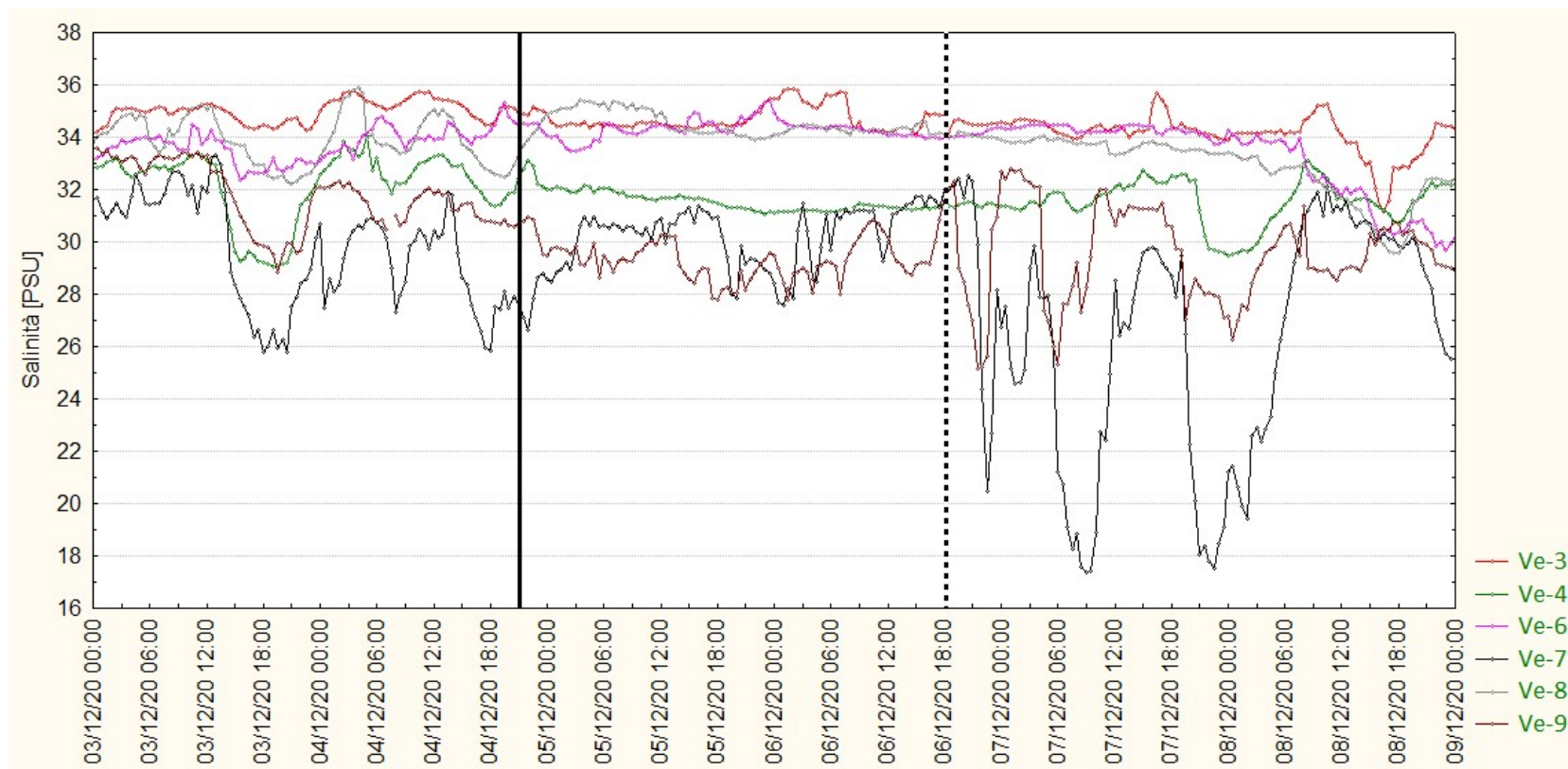


Figura 9 - Andamento della salinità misurato dalle diverse stazioni della rete SAMANET nel periodo di attivazione del MoSE dal 4 al 6 dicembre 2020.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Tabella 3. Variazione della salinità nelle diverse stazioni all’inizio e alla fine della chiusura delle bocche di porto.

Stazione	Salinità (psu)		
	Inizio chiusura	Fine chiusura	Variazione
Ve-3	35.0	35.0	0
Ve-4	32.0	31.5	- 0.5
Ve-6	34.5	34.9	- 0.5
Ve-7	27.5	32.0	+ 4.5
Ve-8	33.5	34.0	+ 0.5
Ve-9	31.0	32.0	+ 1.0

Tali osservazioni portano ad escludere che l’aumento del livello idrometrico del bacino lagunare sia stato determinato dai contributi dei corsi d’acqua del bacino scolante in laguna e dalle precipitazioni atmosferiche che, per quanto intense nel periodo di chiusura rispetto ai giorni precedenti, non avrebbero mai potuto giustificare tale incremento. Si deve quindi ritenere che l’aumento di 110.000.000 m³ dell’invaso del bacino lagunare durante il periodo di chiusura sia imputabile principalmente dal trafilamento dell’acqua del mare attraverso i varchi della struttura delle paratoie, con una portata stimata di circa 7-8 metri cubi al secondo per singola paratoia. Questo aspetto deve essere tenuto in debita considerazione nella previsione di eventi di attivazione del MoSE che comportino lunghi periodi di chiusura, come quello verificatosi dal 4 al 6 dicembre, in modo da programmare il sollevamento ad una quota di sicurezza che eviti l’allagamento di vaste aree cittadine anche a MoSE attivo. Va comunque ribadito che, nonostante questo aumento, l’attivazione del MoSE ha contenuto il livello dell’acqua in laguna alla quota massima di 94 cm s.l.m.m., limitando l’allagamento del centro storico al 4.5 per cento della superficie urbana.

Inoltre, i dati di Tabella 3 indicano che, contrariamente a quanto atteso, la salinità dell’acqua della laguna nelle zone di gronda è aumentata durante il periodo di chiusura delle bocche di porto. Questa evidenza indica che l’interruzione dello scambio con il mare si è ripercossa immediatamente sul deflusso delle acque dolci in laguna, limitandolo fortemente. Tale condizione è permessa fintantoché le barriere sono rimaste sollevate ed è cessata con il loro abbassamento e la ripresa degli scambi alle bocche, come mostrato chiaramente in Figura 9 dai repentini cali della salinità nelle stazioni di gronda Ve-7 (Dese) e Ve-9 (Millecampi), che si sono manifestati subito dopo la riapertura delle bocche e testimoniano la ripresa del deflusso.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Questo comportamento, di cui finora non si era avuta evidenza e che richiede ulteriori approfondimenti, sembra indicare che gli effetti delle piene dei corsi d'acqua del bacino scolante potrebbero essere acuiti dalla concomitanza di chiusure delle bocche di porto per lunghi periodi, aumentando il rischio di esondazioni nei territori delle zone di foce.

Un altro particolare interessante emerge dal confronto degli andamenti della temperatura e della salinità nel periodo di chiusura, come mostrato in Figura 10.

L'andamento della temperatura è riportato nella parte superiore di Figura 10 e conferma un generale aumento della temperatura dell'acqua della laguna nel periodo di chiusura, variabile da 1 a 2 °C a seconda della zona della laguna. Tale incremento è ascrivibile al sensibile aumento della temperatura dell'aria verificatosi in corrispondenza dei giorni di chiusura, come risulta dalla seguente tabella, che riporta i valori medi dei principali parametri meteorologici registrati presso la stazione Cavanis di Venezia dell'ARPAV [3]. La temperatura dell'acqua della laguna, una volta interrotto lo scambio con il mare è regolata dagli scambi con l'atmosfera.

Tabella 3. Valori medi dei principali parametri idro-meteorologici rilevati presso la stazione Cavanis dell'ARPAV nel periodo dal 3 all'8 dicembre 2020.

GIORNO	PRESSIONE ATMOSFERICA MEDIA (mbar)	TEMPERATURA MEDIA ARIA (° C)	PIOVOSITA' (mm)	VELOCITA' MEDIA DEL VENTO (m/s)	DIREZIONE PREVALENTE DEL VENTO
3/12	1006	4.3	0.8	1.2	N
4/12	998	7.3	6.2	3.2	NNE
5/12	998	13.4	3.2	5.8	ESE
6/12	995	10.6	10.4	3.0	ENE
7/12	999	7.5	0.2	1.7	NNE
8/12	1000	6.5	29.8	4.2	NNE





*Ministero delle infrastrutture e
della mobilità sostenibili*

PROVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA

UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

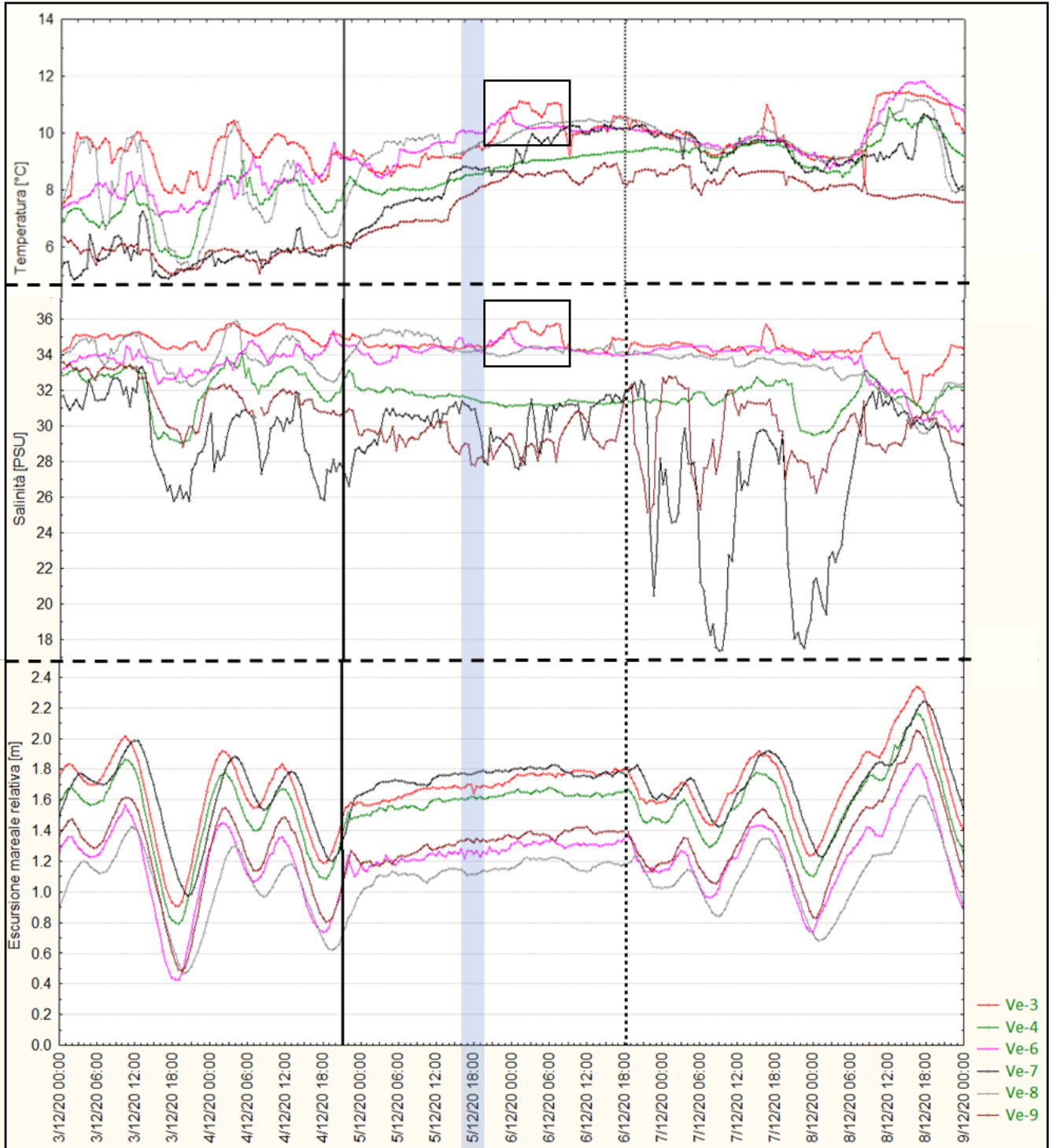


Figura 10 – Andamento della salinità e della temperatura nelle diverse stazioni della rete SAMANET nel periodo di attivazione del MoSE dal 4 al 6 dicembre 2020.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Un'osservazione interessante risulta dal confronto dei profili di temperatura e salinità della stazione Ve-3 evidenziati nei riquadri di Figura 10. In particolare, si è registrato un aumento contemporaneo e sincrono dei valori di entrambi i parametri successivamente all'apertura temporanea della bocca di Malamocco. Tale impronta è rappresentativa della massa di acqua marina, più calda e più salina rispetto all'acqua della laguna, entrata in laguna a seguito dell'apertura della sezione di Malamocco e che ha interessato l'area della vicina stazione Ve-3 per un periodo di tempo di circa 14 ore (dalle 19 del 5/12 alle 6 del 6/12) prima di essere dispersa. Tale osservazione conferma la capacità della rete SAMANET di cogliere variazioni transienti e localizzate della qualità delle acque lagunari e di ricondurle a cause specifiche.

L'effetto della chiusura delle bocche di porto sulla concentrazione di **ossigeno disciolto (OD)** è mostrato in Figura 11, dove la concentrazione è espressa in percentuale di saturazione, riferita cioè al valore teorico che compete alle condizioni di temperatura, salinità e pressione locali in quel momento. Oltreché da questi parametri, la concentrazione di OD nelle acque è influenzata dalla presenza degli organismi viventi e dalla materia organica disciolta nell'acqua. Gli organismi vegetali acquatici producono ossigeno mediante l'attività di fotosintesi clorofilliana mentre gli altri organismi lo consumano attraverso i processi di respirazione. Anche i batteri aerobici riducono la concentrazione di ossigeno per degradare la materia organica presente nelle acque.

Il forte impatto antropico cui è soggetta la laguna contribuisce ad uno squilibrio tra i processi produttivi e quelli di respirazione che, in certe situazioni, può causare un deficit nella concentrazione di ossigeno disciolto. L'assenza di un regolare scambio tra mare e laguna può acuire tale deficit.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibile

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

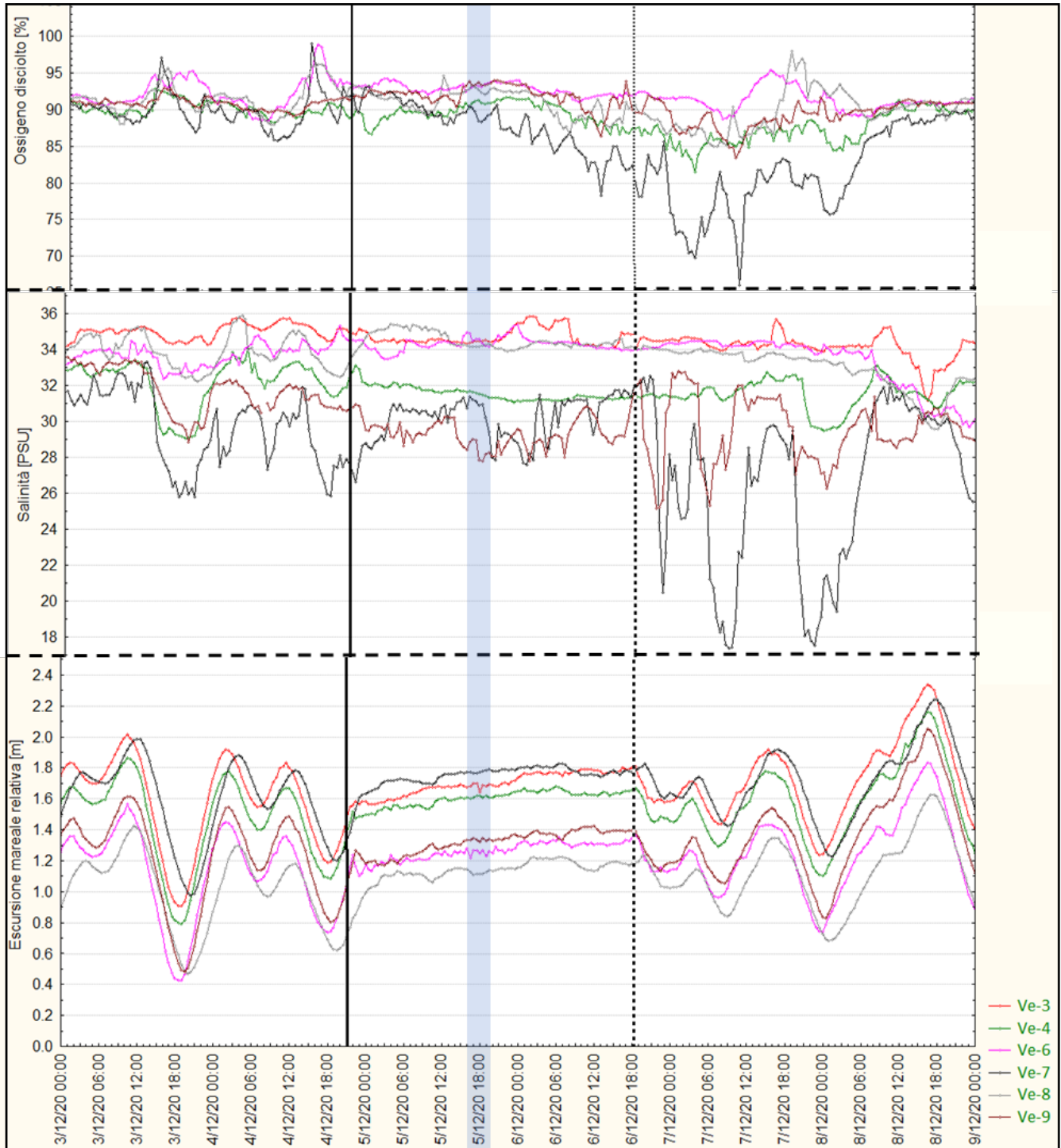


Figura 11 – Confronto tra la concentrazione dell'ossigeno disciolto e la salinità nelle diverse stazioni della rete SAMANET nel periodo di attivazione del MoSE dal 4 al 6 dicembre 2020.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Come si può notare dalla Figura 11, nei giorni precedenti la chiusura delle bocche di porto il livello di ossigenazione delle acque era buono, con una concentrazione media dell'OD in tutte le stazioni sostanzialmente stabile intorno al 90 per cento del valore di saturazione. A partire dal momento della chiusura il valore di concentrazione ha iniziato a diminuire, con maggiore evidenza nella zona di gronda prossima alla foce del Dese, dove è posizionata la stazione Ve-7 (tracciato nero in Figura 11). L'abbassamento delle paratoie, avvenuto alle 18 del 6 dicembre, e la conseguente ripresa degli scambi alle bocche non ha immediatamente invertito questa tendenza, sia a causa dei ridotti scambi alle bocche dovuti al periodo di marea di quadratura che per il consistente deflusso d'acqua dolce proveniente dai corsi d'acqua del bacino scolante, e il normale livello di ossigenazione si è ristabilito a partire dall'8 dicembre.

Nonostante la diminuzione dell'OD nelle acque della laguna sia stata evidente durante il periodo di chiusura e nei giorni successivi alla riapertura, non sono mai stati raggiunti i livelli critici che caratterizzano le condizioni di ipossia (1-2 mg/L O₂) o anossia (<1 mg/L O₂), pericolose per la sussistenza della vita acquatica [4]. Infatti, la concentrazione assoluta di ossigeno disciolto, espressa in ppm (mg di O₂ per litro), non è mai scesa al di sotto dei 6 mg/L (ppm) nella stazione Ve-7, in cui maggiormente si è osservato il calo dell'OD, mentre nelle altre stazioni si è mantenuta sempre al di sopra degli 8 mg/L, come mostrato nella seguente Figura 12, che riporta l'andamento dell'OD sia in percentuale di saturazione che in concentrazione assoluta (ppm).





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibile

PROVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

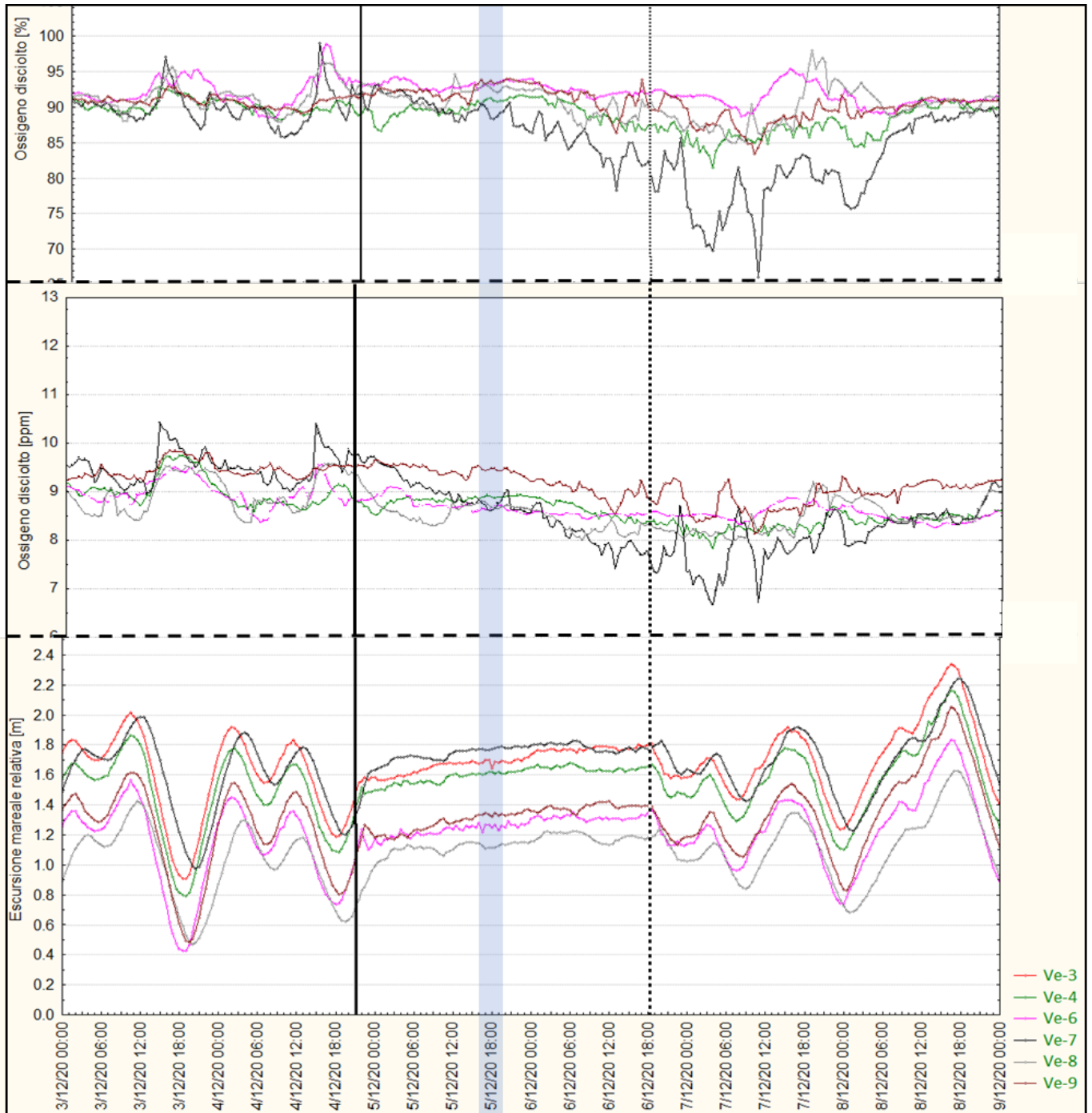


Figura 12 – Andamenti della concentrazione dell'ossigeno disciolto in percentuale di saturazione e in mg/L (ppm) nelle diverse stazioni della rete SAMANET nel periodo di attivazione del MoSE dal 4 al 6 dicembre 2020.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Gli altri periodi di attivazione del MoSE nel mese di dicembre 2020

Oltre alla chiusura dal 4 al 6 dicembre, il MoSE è stato attivato, per periodi ridotti, altre nove volte durante lo stesso mese. Nella Figura 13 vengono riportati gli andamenti del livello di saturazione dell'OD registrati nelle diverse stazioni nel mese di dicembre 2020. Le bande verticali di colore azzurro indicano i periodi in cui il MoSE è stato attivo.

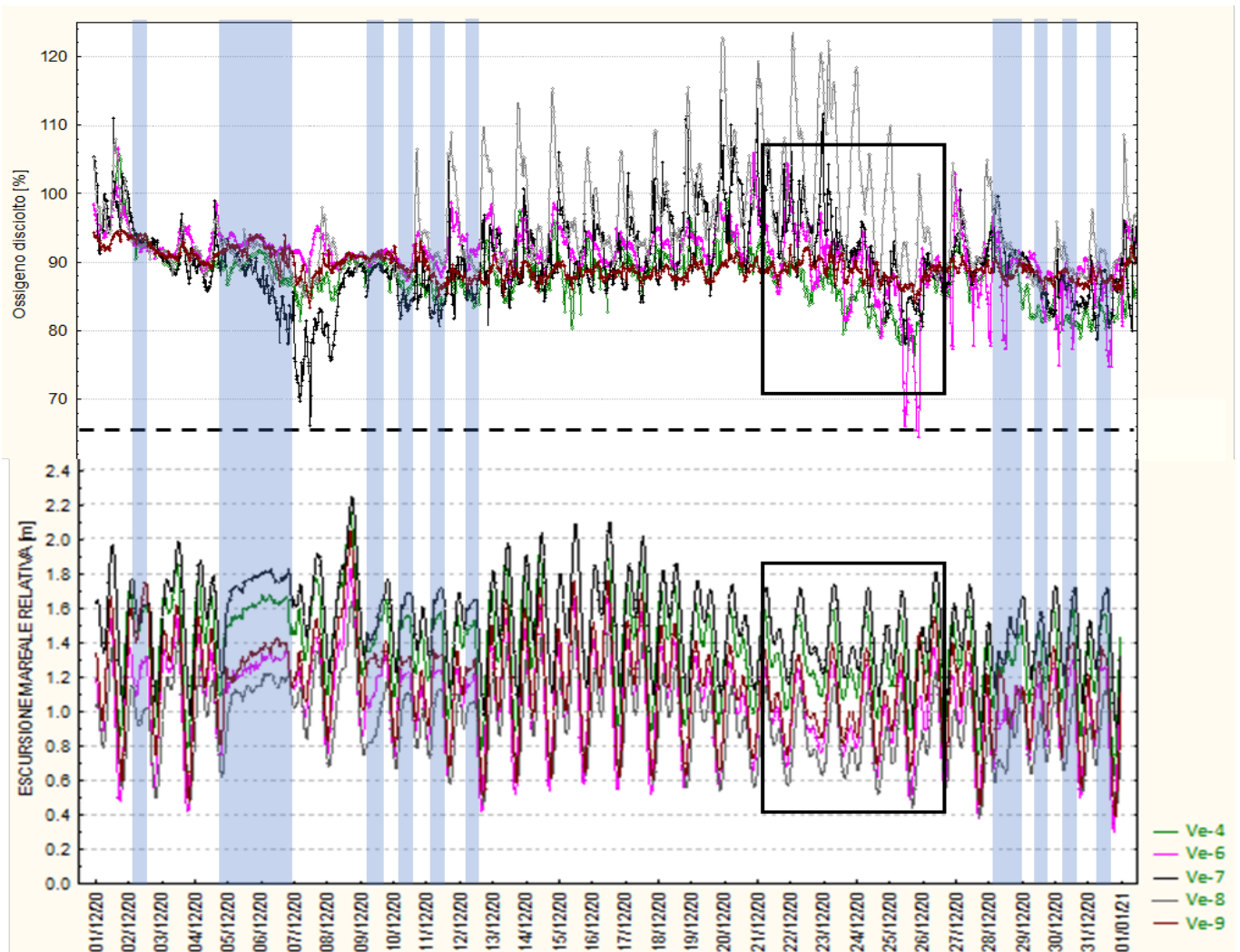


Figura 13 – Andamento della concentrazione dell'ossigeno disciolto in percentuale di saturazione nelle diverse stazioni della rete SAMANET nel mese di dicembre 2020. I riquadri indicano il periodo di marea di quadratura.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Come si può osservare dalla Figura 13, l'evento che più ha influenzato la concentrazione dell'OD è stato senz'altro quello derivante dalla chiusura prolungata di 45 ore dal 4 al 6 dicembre. Gli altri interventi di minor durata e limitati per lo più a periodi semi-diurni, hanno prodotto effetti meno accentuati, anche se eseguiti con frequenza ravvicinata. In questi casi, le deviazioni riscontrate sono confrontabili con quelle osservate in corrispondenza all'alternanza dei normali cicli astronomici di sизigia e quadratura, come risulta dagli andamenti racchiusi nei riquadri di Figura 13 che evidenziano come, anche durante il periodo non associato ad alcuna chiusura del MoSE, ma caratterizzato da scambi ridotti tra mare e laguna a causa della marea di quadratura, si sia registrata una diminuzione dell'OD di circa il 10 per cento rispetto ai valori registrati in marea di sизigia.

Considerazioni conclusive

Il mese di dicembre 2020 è stato un banco di prova importante per verificare la funzionalità e l'efficacia del MoSE. Durante questo mese il MoSE è stato attivato con successo per 10 volte e ha permesso di limitare l'allagamento dei centri urbani di Venezia e Chioggia e delle isole della laguna anche in condizioni di alta marea di intensità elevata e durata prolungata.

Gli effetti della chiusura delle paratoie sulle caratteristiche di qualità delle acque lagunari sono stati registrati dalla rete SAMANET, che si è rivelata uno strumento efficace per sia per evidenziare le tendenze evolutive a medio-lungo termine dell'ecosistema lagunare sia per registrare variazioni repentine e localizzate delle caratteristiche delle acque lagunari.

L'analisi dei dati acquisiti ha permesso di stabilire che nei periodi di chiusura delle bocche di porto di durata semidiurna gli effetti sulle caratteristiche delle acque della laguna, in particolare sulla concentrazione dell'ossigeno disciolto (OD), sono stati modesti e prontamente reversibili.

Per periodi di chiusura prolungati, come quello verificatosi dal 4 al 6 dicembre e durato quasi due giorni, le variazioni delle caratteristiche delle acque della laguna sono state di maggiore intensità e durata. Tuttavia, nel caso osservato, non hanno prodotto variazioni della concentrazione di ossigeno disciolto tali da rappresentare situazioni di pericolo per la vita acquatica.

Complessivamente, le variazioni nella concentrazione dell'ossigeno disciolto prodotte dall'attivazione del MoSE nel mese di dicembre 2020 sono state dello stesso ordine di grandezza, sia come intensità che come durata, di quelle che si sono verificate nell'alternanza dei cicli astronomici di sизigia e quadratura.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENTINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Si è avuta evidenza dell'aumento del livello idrometrico dell'acqua della laguna anche a barriere chiuse, dovuto al trafileamento dell'acqua di mare attraverso i varchi della struttura delle paratoie. Questo aspetto deve essere tenuto in debita considerazione nella previsione di eventi di attivazione del MoSE che comportino lunghi periodi di chiusura, come quello verificatosi dal 4 al 6 dicembre, in modo da programmare il sollevamento ad una quota di sicurezza che eviti l'allagamento di vaste aree cittadine anche a MoSE attivo.

Inoltre, la chiusura delle barriere si riflette immediatamente sul deflusso dei corsi d'acqua dolce del bacino scolante, che viene impedito o comunque fortemente limitato fintantoché non viene ripristinato il libero scambio alle bocche. Questo aspetto, che richiede ulteriori approfondimenti, potrebbe acuire gli effetti delle piene in concomitanza di lunghi periodi di attivazione del MoSE.

La rete SAMANET, unitamente agli altri sistemi di rilevazione e monitoraggio dei dati ambientali territoriali, rappresenta uno strumento di controllo e gestione ambientali indispensabile ai fini della salvaguardia di Venezia ed è quindi di fondamentale importanza che sia mantenuto costantemente in piena efficienza.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Valerio Volpe dell'Ufficio Salvaguardia di Venezia per le informazioni relative ai periodi di attivazione del MoSE.





Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE
VENETO - TRENINO ALTO ADIGE - FRIULI VENEZIA GIULIA
UFFICIO 2 – Ufficio Antinquinamento per la Laguna di Venezia

Riferimenti bibliografici

1. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Provveditorato Interregionale alle OO.PP. – Veneto – Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia, Consorzio Venezia Nuova, “*Relazione gestione eventi di acqua alta del 02, 05, 06, 09, 10, 11, 12, 13, 28, 29, 30, 31 dicembre 2020 e 01 e 02 gennaio 2021*”, 11 gennaio 2021, Rev. 1.
2. Comune di Venezia, “Le percentuali di allagamento – Riferimenti altimetrici del centro storico”, <https://www.comune.venezia.it/it/content/le-percentuali-allagamento> (visitato il 14/02/2021).
3. Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, ARPAV, https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/Mappa_2020_PREC.htm?t=VE (visitato il 14/03/2021).
4. Diaz, R. J., “Overview of hypoxia around the world”, *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30, pp. 275-281.

