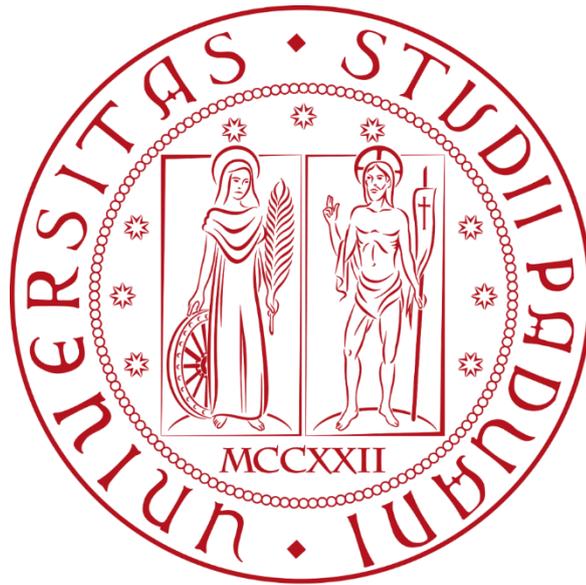


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE – ICEA**

**Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE**



**TESI DI LAUREA**

**Sedimentazione sulle barene in laguna di  
Venezia ed effetti legati all'utilizzo del sistema  
Mo.S.E.**

Relatore: Chiar.mo Prof. Luca Carniello

Correlatore: Dott. Davide Tognin

Laureanda: Annalisa Rossi

Matricola: 2020162

Anno Accademico 2022/2023



1	Introduzione e obiettivi dello studio .....	5
1.1	Laguna di Venezia .....	5
1.1.1	Problematiche del sistema lagunare .....	7
1.2	Barene .....	10
1.2.1	Problematiche delle barene .....	16
1.3	Sistema Mo.S.E.....	17
2	Metodi.....	21
2.1	Barene studiate.....	21
2.2	Raccolta campioni.....	22
2.3	Analisi in laboratorio .....	30
2.3.1	Pesatura dei campioni e sedimentazione.....	30
2.3.2	Preparazione LOI .....	33
2.3.2.1	Tasso organico .....	33
2.3.3	Analisi granulometrica.....	33
3	Risultati.....	37
3.1	Analisi dati raccolti .....	42
3.1.1	San Felice.....	42
3.1.1.1	SF1 .....	42
3.1.1.2	SF2 .....	43
3.1.1.3	SF3 .....	45
3.1.1.4	SF4.....	46
3.1.1.5	Partiacque.....	47
3.1.2	Sant’Erasmus .....	49
3.1.2.1	SE1 .....	49
3.1.2.2	SE2.....	50
3.1.3	Foce Dese.....	51
3.1.3.1	FD1 .....	51
3.1.3.2	FD2 .....	53
3.1.3.3	FD3 .....	54
3.1.4	Conche .....	56
3.1.4.1	CO1 .....	56
3.1.4.2	CO2.....	57
3.1.4.3	CO3.....	58

3.1.4.4	Partiacque.....	60
3.1.5	7 Morti .....	61
3.2	Tasso di sedimentazione media per area studio .....	63
3.2.1	San Felice.....	63
3.2.2	Sant’Erasmus .....	65
3.2.3	Foce Dese.....	66
3.2.4	Conche .....	68
3.3	Relazione tra sedimentazione e idroperiodo .....	69
3.3.1	San Felice.....	70
3.3.1.1	SF1 .....	70
3.3.1.2	SF2 .....	73
3.3.1.3	SF3 .....	75
3.3.1.4	SF4 .....	77
3.3.1.5	Medio per area studio.....	79
3.3.2	Sant’Erasmus .....	80
3.3.2.1	SE1 .....	80
3.3.2.2	SE2.....	82
3.3.2.3	Media su area studio .....	84
3.3.3	Foce Dese.....	85
3.3.3.1	FD1 .....	85
3.3.3.2	FD2 .....	88
3.3.3.3	FD3 .....	90
3.3.3.4	Media su area studio .....	92
3.3.4	Conche .....	93
3.3.4.1	CO1 .....	93
3.3.4.2	CO2 .....	95
3.3.4.3	CO3 .....	97
3.3.4.4	Media su area studio .....	99
4	Effetti del sistema Mo.S.E. ....	101
5	Conclusioni .....	105
6	Bibliografia/sitografia .....	107

## Abstract

La laguna di Venezia è un ecosistema sensibile. Il suo delicato equilibrio si regge sul rispetto dell'ambiente e sul corretto utilizzo delle risorse. Cambiamenti climatici e antropizzazione, in particolare la recente entrata in funzione del sistema Mo.S.E. per la salvaguardia dei centri abitati lagunari dai fenomeni di "acqua alta", rischiano di alterare tale equilibrio. La comprensione degli effetti di questa alterazione soprattutto sull'evoluzione morfologica delle barene, preziose entità della laguna in grado di fornire numerosi servizi ecosistemici, rappresenta l'obiettivo principale del presente lavoro di tesi.

Partendo da un lavoro di monitoraggio più ampio, gli effetti di tali cambiamenti sulle barene vengono valutati mediante l'analisi del materiale depositato sulle barene stesse, raccolto in situ mediante trappole per sedimenti, con l'obiettivo di valutare se i tassi di accrescimento verticale di queste entità morfologiche siano in grado di garantirne la sopravvivenza, compensando gli effetti dovuti all'incremento del livello medio del mare e della regolazione dei livelli prodotta dal sistema Mo.S.E. in corrispondenza degli eventi di "acqua alta".

Dalle analisi effettuate sulle aree studio nel periodo di interesse si è osservata una relazione tra l'idroperiodo, ovvero il tempo di sommersione della barena, e il tasso di sedimentazione medio giornaliero. Tale relazione risulta essere influenzata dalla distanza delle stazioni dal margine della barena e dalla presenza del sistema Mo.S.E. attivo, il quale diminuisce il tempo di sommersione e, di conseguenza, la sedimentazione sulla barena. La sedimentazione, infatti, avviene in gran parte nel periodo autunnale/invernale, in concomitanza con eventi di acqua alta.

Si è potuto analizzare anche il contenuto organico raccolto, che risulta essere maggiore nei mesi primaverili nonostante il fenomeno dell'alta marea non sia molto frequente; ciò è probabilmente dovuto all'apporto organico della vegetazione presente sulla barena.



# 1 Introduzione e obiettivi dello studio

## 1.1 Laguna di Venezia

La laguna di Venezia si estende tra le foci dei fiumi Piave a NE e Brenta a SW ed è una distesa di acqua con zone emerse (naturali ed artificiali). Le dimensioni massime sono 50 km in lunghezza e 11 km in larghezza, con una superficie di circa 550 km<sup>2</sup> (Figura 1).



Figura 1: Laguna di Venezia

La laguna viene suddivisa in tre sottobacini, aventi caratteristiche differenti e separati dalla zona di partiacque (Figura 2); ogni sottobacino viene servito da una

bocca di porto, in cui l'acqua che entra durante il flusso di marea è la stessa che esce dalla stessa bocca nella fase di riflusso. Solo raramente, tipicamente in condizioni di vento sufficientemente intenso, le acque passano da un bacino all'altro, questo perché l'alta e la bassa marea si presentano nello stesso momento nelle tre bocche, che giacciono sulla stessa linea cotidale.

La laguna Nord (in comunicazione col mare attraverso la bocca di Lido, che contribuisce al 40% degli scambi idrici totali) è quella maggiormente conservata da punto di vista morfologico e quella che presenta il maggiore apporto di acqua dolce da parte del bacino scolante. La parte centrale è servita dal canale di Malamocco (che contribuisce al 40% degli scambi idrici totali) ed è la più inquinata per la maggior presenza antropica (Marghera, Venezia). Infine, la laguna Sud, servita dalla bocca di porto di Chioggia (che contribuisce al 20% degli scambi idrici totali) è caratterizzata da un'idrodinamica piuttosto vivace, dovuta alla presenza di numerosi canali navigabili.



*Figura 2: Posizione bocche di porto*

Come è stato recentemente dimostrato (Tognin et al. 2020, 2021), disaccoppiare la difesa dall' "acqua alta" e la salvaguardia lagunare è di sicura comodità, ma è profondamente sbagliato dal punto di vista metodologico e dal punto di vista strategico, se si ha a cuore la sorte della laguna.

### 1.1.1 Problematiche del sistema lagunare

La laguna è un ecosistema sensibile, che può essere soggetto a fenomeni di alta marea particolarmente intensi denominati "acqua alta", che risultano essere un problema molto gravoso per la città di Venezia e gli altri centri abitati della laguna.

La marea in laguna è costituita da una componente astronomica alla quale si sovrappone la componente meteorologica.

La componente astronomica della marea è la più facile da prevedere anche con precisione al di sotto del centimetro. Il contributo meteorologico invece presenta delle problematiche legate alla variabilità della pressione atmosferica e del vento. La pressione fa variare di 1 cm il livello del mare per ogni millibar. Questo significa che se a Venezia si ha una bassa pressione, il livello medio del mare si alza. La pressione può variare abbastanza velocemente con il passaggio di un ciclone, ma una situazione generale di bassa pressione può contribuire ad un livello d'acqua più alto per un tempo prolungato. In aggiunta un vento di Scirocco, soffiando da sud-est lungo l'asse principale del mar Adriatico, spinge l'acqua verso la parte settentrionale del bacino dove si accumula proprio davanti alla laguna e da dove entra e contribuisce alla creazione del fenomeno di "acqua alta". Un importante effetto di setup all'interno della laguna è invece associato al vento di Bora che, soffiando da Nord-Est, lungo l'asse principale del bacino lagunare, può innalzare in modo non trascurabile i livelli nelle porzioni meridionali della laguna. Il contributo meteorologico è spesso quello più importante, ma è anche il più difficile da quantificare. Maree eccezionali degli ultimi anni, che è doveroso ricordare, sono l'"acqua grande" del 1966, dove è stato registrato un livello di 194 cm su Punta della Salute e l'"acqua alta" del 2019, 187 cm su Punta della Salute.

Da annoverare inoltre tra le cause di aggravamento dei fenomeni di marea ci sono l'innalzamento del livello medio del mare associato al cambiamento climatico globale e la subsidenza.

Il cambiamento climatico porta ad un aumento del livello del medio mare di circa 3 mm all'anno, ma è previsto che la tendenza acceleri nel futuro. Nello scenario peggiore (IPCC, 2013), per la fine del secolo si avranno più di 8 mm all'anno.

La subsidenza in laguna è prevalentemente associata a due contributi: la subsidenza lenta, dovuta al fatto che la Pianura Padana è costituita da un substrato sedimentario che nel tempo si compatta (tale fenomeno risulta essere stabile nel tempo, con valori di 1.4 mm/anno) e un contributo antropico.

Gli interventi umani in laguna hanno contribuito a modificare l'equilibrio del sistema, aggravando i fenomeni di "acqua alta". La maggior parte della zona industriale di Porto Marghera è stata ricavata bonificando vaste aree della laguna precedentemente occupate da barene che, tra gli altri contributi, possono ridurre l'escursione di marea all'interno della laguna. In loro assenza quindi si ha un aggravamento dei fenomeni di "acqua alta" all'interno della laguna.

Allo stesso modo lo scavo del canale dei Petroli realizzato tra il 1964 e il 1968 per consentire alle petroliere di raggiungere direttamente le raffinerie del petrolchimico di Marghera senza intersecare le rotte delle navi turistiche che transitano per il centro storico di Venezia e il bacino di San Marco, ha ingrandito considerevolmente la profondità della bocca di Malamocco, aumentando così il volume di acqua entrante nella laguna centrale (Figura 3). Negli anni '70 tale canale è stato oggetto di pesanti critiche, essendo ritenuto il responsabile dell'aggravamento dei fenomeni di alta marea. Tuttavia, alcuni studiosi dell'allora Istituto di Idraulica dell'Università di Padova avevano fin da subito richiamato l'attenzione su altri effetti negativi legati alla realizzazione del canale, riguardanti principalmente il regime delle correnti di marea e le possibili conseguenze morfodinamiche. Nonostante all'epoca sia stato dato poco credito a tale teoria, il tempo ha dato ragione allo studio e oggi è ormai assodato il ruolo cruciale che lo scavo del canale dei Petroli, unitamente ad altri interventi antropici quali la realizzazione dei moli

alle bocche di porto, ha avuto sull'idrodinamica e la morfodinamica lagunare (D'Alpaos, 2010).

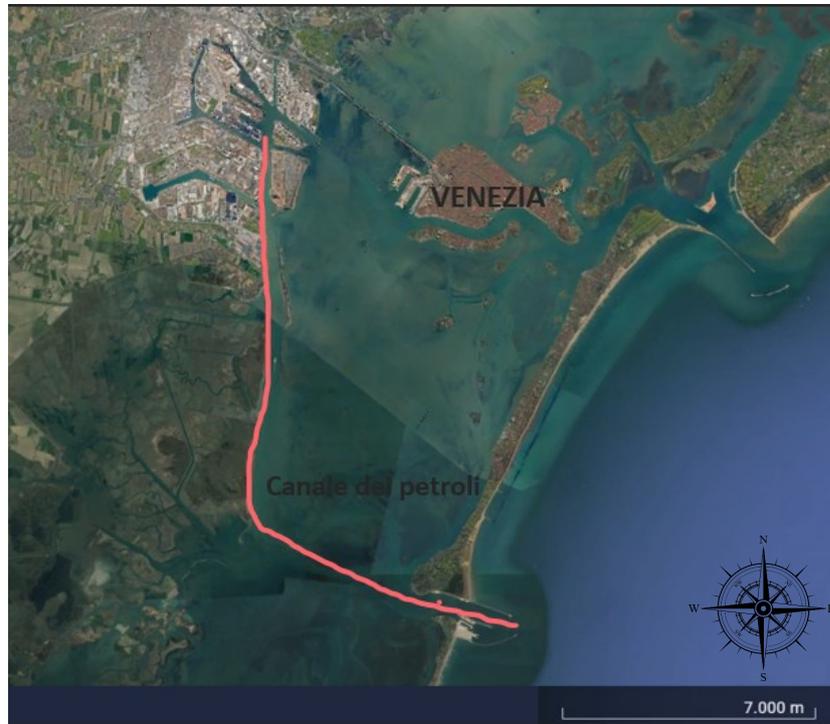


Figura 3: Canale dei petroli

La laguna di Venezia è inoltre soggetta al fenomeno dell'eutrofizzazione. Il fondale lagunare è costituito da limi e argille miste a sabbia, il tutto appoggiato su una base di caranto, un'argilla mineralizzata molto compatta. Tempo addietro i fondali della laguna erano ricoperti da una tipica vegetazione costituita da fanerogame marine, vere e proprie piante acquatiche con foglie, fusto e radici (Figura 4).

Queste specie si distribuiscono in aree diverse dei fondali a seconda della qualità e della dinamica delle acque e dei sedimenti e in base alle loro esigenze ecologiche. Una pianta appartenente a tale categoria, denominata *Zostera marina*, vive quasi sempre sommersa in acque dinamiche, mentre una seconda specie chiamata *Cymodocea nodosa*, che ha un apparato radicale sviluppato, può resistere facilmente alla forte corrente che si trova in prossimità delle bocche di porto, il suo habitat. Tale vegetazione protegge i fondali dall'erosione, cattura e trattiene i sedimenti e offre un habitat alla fauna ittica in fase giovanile e alle larve degli invertebrati.

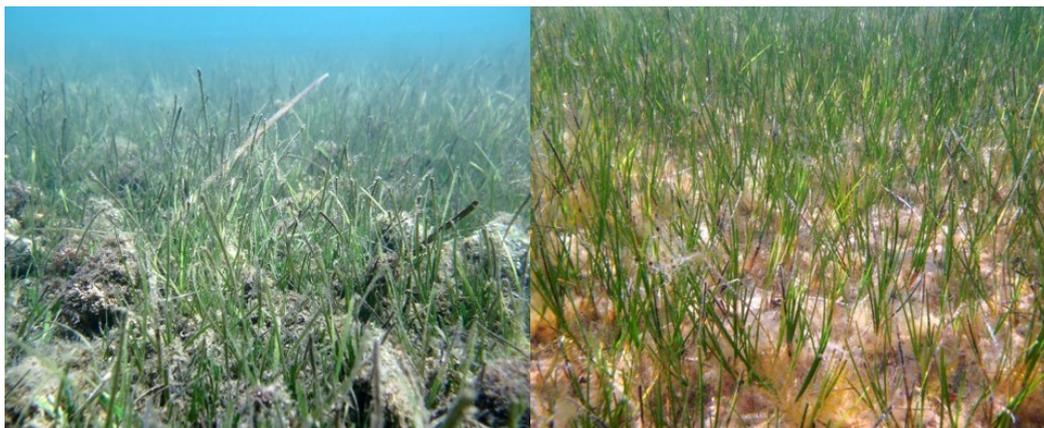


Figura 4: a sinistra *Zostera marina*, a destra *Cymodocea nodosa*

La presenza delle fanerogame marine è quindi di fondamentale importanza per l'ecologia ma anche per la conservazione della morfologia della laguna, ma in tempi recenti si è assistito alla sua regressione: l'eutrofizzazione eccessiva delle acque lagunari, dovute al carico di nutrienti proveniente dal bacino scolante e l'erosione dei fondali causata dalla pratica della pesca a strascico e alla pesca delle vongole veraci (dal 1983), hanno provocato la scomparsa di queste piante in numerose aree della laguna.

L'eliminazione delle fanerogame dai fondali della laguna ha lasciato spazio alla diffusione delle alghe che, essendo prive di radici, si staccano facilmente dai fondali e si accumulano nelle zone calme, dove si decompongono sottraendo ossigeno all'acqua e provocando così fenomeni di eutrofizzazione.

Con il termine eutrofizzazione si indica un processo innescato dall'arricchimento in nutrienti (principalmente composti dell'azoto e/o del fosforo) che determina una sovrapproduzione di alghe e, in generale, una diminuzione della qualità delle acque derivante dalla mancanza di ossigeno, che causa la morte della fauna presente per anossia.

## 1.2 Barene

Le barene (da "baro", nome volgare per indicare un fitto manto di cespugli oppure un terreno paludoso incolto) sono una struttura geomorfologica molto diffusa nella laguna dove occupano una superficie pari a circa l'8% dell'intero bacino. Sono simili a delle isole piatte e basse, con un substrato formato da sedimenti

prevalentemente limoso-argillosi. Poste poco al di sopra del livello medio del medio mare, in corrispondenza delle fasi di alta marea vengono sommerse e, grazie a tale condizione, presentano una fauna e flora fortemente influenzata dalla salinità e dall'illuminazione. In un contesto caratterizzato dal surriscaldamento globale l'unico modo che le barene hanno per sopravvivere è quello di accrescersi ad un tasso almeno pari a quello dell'innalzamento del livello medio del mare. A tale scopo contribuisce sia l'apporto di sedimenti durante le fasi di sommersione, favorito anche dalla presenza di vegetazione in grado di catturare i sedimenti in sospensione, ma anche la produzione di suolo organico.

La barena presenta al suo interno delle strutture caratteristiche: i chiari, i ghebi e le velme. I chiari sono delle depressioni del terreno di dimensioni e profondità variabili, dove l'acqua salmastra, accumulatasi durante le fasi di alta marea, si mescola con l'acqua meteorica formando dei piccoli "laghi" (Figura 5). Questi ambienti sono in continua evoluzione e sono il risultato dell'equilibrio dinamico tra sedimenti, correnti e vegetazione.



*Figura 5: Chiaro sulla barena di San Felice (10/11/2021)*

I ghebi sono dei piccoli canali interni alla barena, che mettono in collegamento i canali esterni con i chiari e le depressioni interne (Figura 6). Le velme sono fondali poco profondi che emergono solamente durante la bassa marea, e sono caratterizzate dalla presenza di fanerogame precedentemente citate nel §1.1.1.



*Figura 6: Ghebo sulla barena di San Felice (01/09/2021)*

Le barene sono distinte per tipologia (barene di bordo lagunare, di aree interne, paleobarene, ai bordi dei canali ecc.) e in base al livello di elevazione (basse, medie, alte).

Le singole specie vegetali presenti sulle barene sono diversamente distribuite secondo la compattezza del terreno, il ristagno di acqua salmastra, l'altezza del luogo rispetto il livello medio di marea, ecc. Schematicamente, si possono indicare alcune particolari situazioni ambientali nelle quali le diverse specie tendono ad essere più frequenti (Figura 7):

- zone più elevate rispetto al livello medio dell'acqua lagunare (vi si trovano più frequentemente *Inula crithmoides*, *Artemisia caerulescens*, *Juncus maritimus*, *Juncus acutus*, ecc.);

- zone marginali più basse e maggiormente soggette alla sommersione (*Spartina stricta*, *Salicornia*, ecc.);
- zone centrali (*Limonium serotinum*, *Arthrocnemum fruticosum*, *Puccinellia palustris*, ecc.).

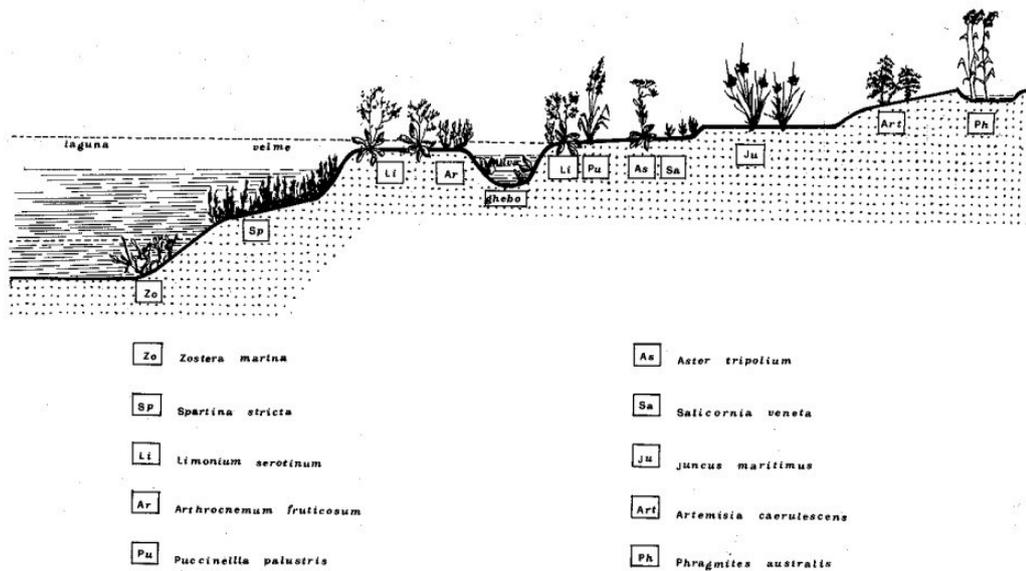


Figura 7: Schematizzazione posizione flora della barena

Le piante maggiormente frequenti sono elencate in seguito.

L'astro marino (o aster marino) è una pianta biennale, alta dai 30 cm al metro (Figura 8, Figura 9). Le foglie sono abbastanza carnose; quelle vicino al terreno (basali) sono lanceolate, lunghe 12-25 cm e larghe 5 cm, quelle superiori invece sono più piccole. I fiori sono riuniti in capolini di 2.5 cm con una dozzina di fiori marginali ligulati, azzurro violacei, mentre quelli centrali, che formano il bottone, sono gialli.

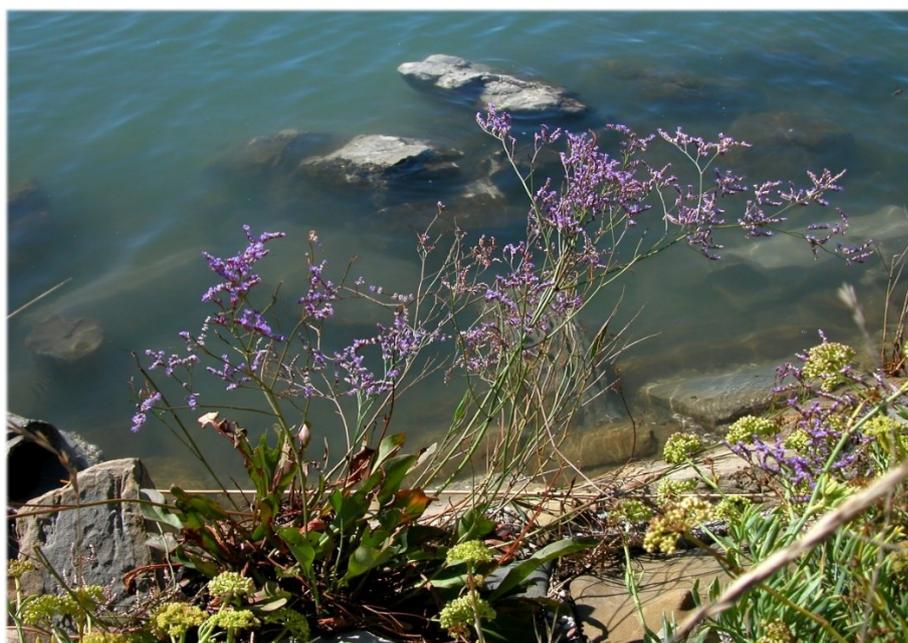


Figura 8: Astro marino (barena vicino alla foce del Dese, 20/10/2021)



*Figura 9: Cambiamento panorama lagunare in pochi mesi. L'aster diventa bianco (foce Dese, a sinistra inizio settembre 2021, a destra fine ottobre 2021)*

Il limonio è una pianta perenne, alta dai 30 ai 70 cm, con foglie basali allungate disposte a rosetta (Figura 10). I piccoli fiori violacei sono riuniti in una densa pannocchia, assai vistosa durante il periodo di fioritura, che va da giugno a settembre. I fiori del limonio mantengono la loro colorazione per lungo tempo, anche se secchi e, per questo, vengono raccolti e venduti a scopo ornamentale.



*Figura 10: Limonio*

Le salicornie (generi *Salicornia* e *Arthrocnemum*) sono piante assai singolari, sia per aspetto che per la capacità di adattamento ad un ambiente inospitale per la maggior parte delle altre piante, come quello delle zone litoranee o lagunari in cui il terreno è intriso di acqua salata e periodicamente viene da questa sommerso (Figura 11, Figura 12). Morfologicamente assai simili tra loro, distinguiamo il genere *Salicornia*, costituito da piante tutte annuali, dal genere *Arthrocnemum* che comprende piante a ciclo biologico perenne e lignificate alla base. Le salicornie contengono molti sali, tra i quali quelli di iodio e di bromo: per questo i loro succhi avrebbero le proprietà di fornire iodio agli ipotiroidei e di avere un effetto calmante. Sono anche note sotto il nome di “asparago di mare” e impiegate in cucina per salare gli alimenti.



Figura 11: *Salicornia* o asparago di mare (barena di sant'Erasmus, 20/10/2021)



Figura 12: La *salicornia*, quando appassisce, cambia colore (barena di Conche, a sinistra settembre 2021, a destra dicembre 2021)

Nelle zone più interne, dove ci sono afflussi di acqua dolce, si trovano molti canneti palustri che riescono a crescere sia in acqua dolce che salata e pertanto si adattano perfettamente ad un ambiente di transizione come le barene posti ai margini, lato terra, della laguna.

Fra le radici delle tante specie vegetali presenti proliferano diversi molluschi e crostacei, come i granchi e i paguri nella rete dei ghebi.

A causa dei frequenti cicli di sommersione ed emersione che caratterizzano le aree di barena si trovano i soli insetti che si adattano al sale e all'acqua. Durante le alte maree, gli insetti o volano via o semplicemente si poggiano sulle specie vegetali che restano emerse. Ad esempio, il bruco del lepidottero si nutre delle foglie di limonio. Si sono adattate allo stesso modo in questo ambiente molto particolare anche la mantide e la cavalletta.

Alcuni insetti invece hanno sviluppato delle particolari strategie di sopravvivenza: scavarsi dei piccoli tunnel nel terreno in cui restano delle bolle d'aria. In questo modo si difendono sia dall'acqua che dai predatori.

Le api, insetto non autoctono, vengono portate nelle barene e tenute in arnie per un periodo limitato, per poi essere portate nuovamente in terraferma. A Sant'Erasmo, attraverso questa procedura, si produce il tipico miele di barena, dal sapore leggermente salato.

Varie tipologie di uccelli migrano durante l'anno e si stabiliscono temporaneamente sulle barene. Tale fauna volante diventa preda di cacciatori che praticano la caccia nella botte (si appostano all'interno di botti dove attendono le prede).

Le barene sono entità uniche nel loro genere, la cui biodiversità va preservata e protetta.

### 1.2.1 Problematiche delle barene

La presenza delle barene nella laguna svolge una funzione di fascia tampone: permette di dissipare l'energia delle correnti e delle onde durante le mareggiate, attenuando l'effetto erosivo sulle altre superfici emerse e sulle sponde dei canali, e favorisce l'abbattimento di inquinanti provenienti dall'entroterra mediante principi di fitodepurazione.

Non esiste una singola causa per l'erosione delle barene, ma una molteplicità di cause sia naturali che antropiche che spesso si alimentano a vicenda.

Le cause di origine antropica sono numerose, tra cui la diversione dei maggiori fiumi che in passato sfociavano in laguna, ad opera della Serenissima a partire dal XV secolo. Tale soluzione fu attuata per fronteggiare i fenomeni di interrimento che a quel tempo caratterizzavano il bacino lagunare: doveva essere garantita l'agibilità ai fini della navigazione delle bocche di porto e, quindi, le attività economiche e militari. Nel lungo termine queste modifiche dell'idrodinamica hanno influito sul processo erosivo, principalmente per due motivi:

- un minore apporto di sedimenti trasportati in sospensione dai corsi d'acqua, con conseguente cambiamento del bilancio di sedimenti con il mare;
- un minore ingresso di acque dolci, che influenzano la vegetazione delle barene, diminuendo la loro capacità di consolidare i fondali e di produzione organica.

Altri interventi che influenzano l'erosione e favoriscono lo scambio dei sedimenti col mare sono la realizzazione dei moli alle bocche di porto e lo scavo di profondi canali navigabili per il transito delle grandi navi commerciali e turistiche.

Inoltre, come verrà in seguito approfondito in questo lavoro di tesi, l'entrata in funzione del sistema Mo.S.E., una serie di barriere alle bocche di porto che hanno lo scopo di limitare i livelli all'interno della laguna per prevenire l'allagamento dei centri abitati durante i fenomeni di "acqua alta", influisce negativamente sui tassi di crescita delle barene, compromettendo il loro equilibrio e la loro sopravvivenza nella laguna.

### 1.3 Sistema Mo.S.E.

Il sistema Mo.S.E. (Modulo Sperimentale Elettromeccanico) è stato realizzato alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia ed è finalizzato alla difesa di Venezia e degli altri centri urbani lagunari dalle alte maree (Figura 13). Esso è formato da una serie di barriere costituite da paratoie mobili collocate alle bocche di porto. La bocca di porto del Lido, più vicina a Venezia e larga il doppio rispetto alle altre due è stata divisa in due varchi mediante la realizzazione di un'isola artificiale; il varco del canale di Treporti è presidiato da 21 paratoie e quello del canale di San Nicolo da 20 paratoie. Una schiera formata da 19 paratoie è presente alla bocca di porto di Malamocco mentre 18 paratoie presidiano la bocca di porto di Chioggia.



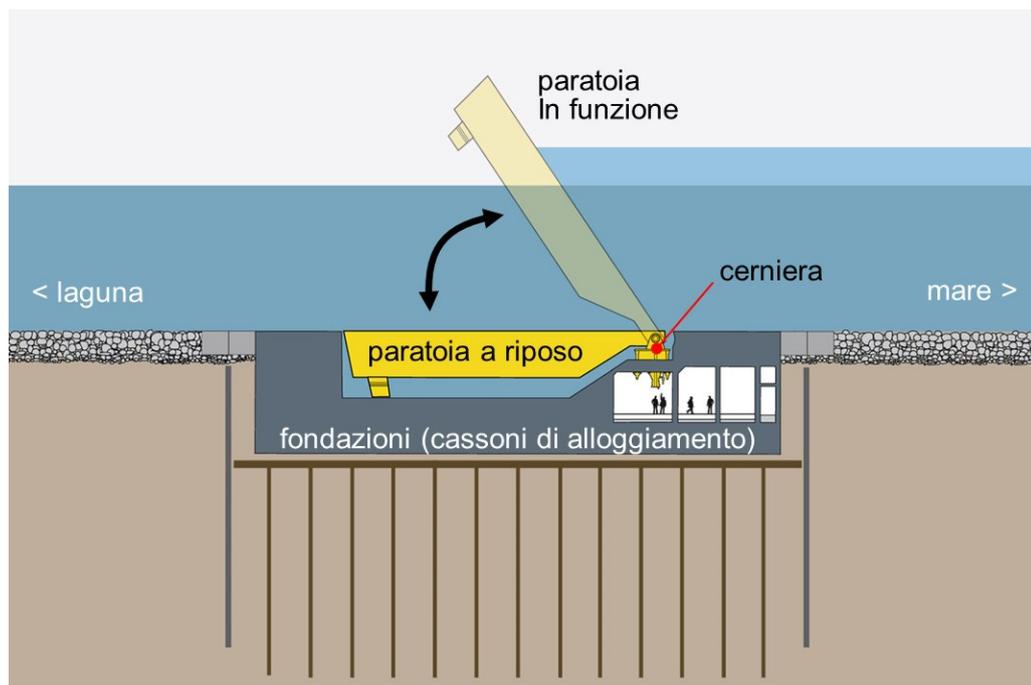
*Figura 13: Sistema Mo.S.E. attivo (foto presa da [www.mosevenezia.eu/sistema-mose-sollevata-tutta-la-schiera-di-21-paratoie-a-lido-nord](http://www.mosevenezia.eu/sistema-mose-sollevata-tutta-la-schiera-di-21-paratoie-a-lido-nord))*

Alle bocche di porto di Lido e Chioggia sono stati costruiti dei porti rifugio e delle piccole conche di navigazione per consentire il ricovero e il transito delle imbarcazioni da diporto, dei mezzi di soccorso e dei pescherecci anche con le paratoie in funzione. Allo stesso modo alla bocca di Malamocco è stata realizzata una conca di navigazione per il transito delle navi, in modo da garantire l'operatività del porto anche con le paratoie in funzione. La conca è protetta dalla scogliera esterna che crea un bacino di acqua calma riparato dal moto ondoso.

Quando sono inattive, le paratoie sono piene d'acqua e giacciono completamente invisibili in alloggiamenti collocati nel fondale. In caso di pericolo di maree particolarmente sostenute che possano provocare un allagamento dei centri abitati lagunari, nelle paratoie viene immessa aria compressa che le svuota dall'acqua (Figura 14). Via via che l'acqua esce le paratoie, ruotando attorno all'asse delle cerniere, esse si sollevano fino a emergere e a bloccare il flusso della marea in ingresso in laguna. Le paratoie restano in funzione per la sola durata dell'evento di "acqua alta": quando la marea cala e il livello di laguna e mare si eguaglia, vengono di nuovo riempite d'acqua e rientrano nella propria sede. Ciascuna paratoia è costituita da una struttura scatolare metallica vincolata attraverso due cerniere al

cassone di alloggiamento. Ogni paratoia è larga 20 m e ha lunghezze diverse proporzionali alla profondità del canale di bocca dove viene installata (la lunghezza varia dalla più piccola per il varco di Lido- Treporti - 18.6 m - alla più grande che caratterizza la bocca di Malamocco - 29.6 m) e spessore variabile (Lido-Treporti: 3.6 m; Chioggia: 5 m). Il tempo medio di chiusura delle bocche di porto nelle condizioni attuali è di circa tra 4/5 ore (compresi i tempi di manovra per l'apertura e la chiusura delle paratoie) ma sarà inevitabilmente destinata ad aumentare per effetto dell'innalzamento del livello medio del mare (Mel et al. 2021).

Gli alloggiamenti precedentemente citati per le paratoie sono dei cassoni che ospitano sia le paratoie mobili sia gli impianti per il loro funzionamento. Sono tra loro collegati da tunnel che consentono anche le ispezioni tecniche. L'elemento di raccordo tra le barriere e il territorio è rappresentato dai cassoni di spalla. In essi sono contenuti tutti gli impianti e gli edifici necessari al funzionamento delle paratoie.



*Figura 14: Schema elementi che compongono il sistema Mo.S.E. (foto presa da [www.mosevenezia.eu/paratoie](http://www.mosevenezia.eu/paratoie))*

Per ridurre i cedimenti assoluti e differenziali alla quale sono soggetti i cassoni, il terreno di fondazione è stato preventivamente consolidato mediante l'infissione di pali nei primi 19 metri al di sotto del piano di fondazione. Si prevede che i cedimenti

dei cassoni siano compresi tra 30 e 50 mm a fine costruzione della barriera e che presumibilmente crescano nel tempo, fino a valori compresi tra 60 e 85 mm a 100 anni da fine costruzione.

Presso la barriera di Lido-Treporti è stato prima eseguito il dragaggio a quota -13m sotto il livello del mare nell'area all'interno del palancoato di barriera. Da tale quota è stato eseguito il trattamento di consolidamento con jet grouting. Nella barriera di Lido-San Nicolò sono stati infissi nel terreno di fondazione pali di consolidamento in cemento armato, dopo l'esecuzione del dragaggio all'interno dei palancoati. Alla bocca di Malamocco l'intervento di consolidamento della fondazione di barriera è stato eseguito tramite l'infissione di pali in cemento armato, mentre alla bocca di Chioggia con pali in acciaio. I monitoraggi, eseguiti costantemente sulle stratigrafie di tutte e quattro le barriere, permettono di controllare i cedimenti previsti.

Il sistema Mo.S.E. si attiva quando si raggiungono i 110 cm su Punta della Salute, ovvero circa 80 cm sul livello del medio mare.

Il Mo.S.E. protegge quindi la città di Venezia e la sua laguna dalle maree eccezionali; tuttavia, come verrà approfondito in seguito, esso produrrà effetti non trascurabili e potenzialmente gravosi sull'evoluzione morfologica della laguna (Tognin et al. 2022) oltre che sulla vita di fauna e flora e sulla biodiversità delle barene principalmente.

## 2 Metodi

### 2.1 Barene studiate

Le barene considerate per tale studio si trovano in prossimità di San Felice, Sant'Erasmus, vicino alla foce del fiume Dese e in località 7 Morti; una barena è invece accessibile dalla terraferma in località Conche di Codevigo (PD), a 12 km da Chioggia.

Come precedentemente detto nel capitolo §1.2, le barene si distinguono in base alla tipologia.

La barena di Conche, posizionata nelle aree interne della laguna e classificata quindi come barena di aree interne, ha una storia complessa: inizialmente era occupata da acque salate, poi, a causa dell'apporto di sedimenti da parte dei fiumi che sfociavano in laguna, soprattutto durante la temporanea re-introduzione proprio a Conche delle acque del Brenta nel periodo 1858-1896, ha cominciato ad ospitare paludi di acqua dolce e torbiere e infine, dopo la definitiva diversione dei corsi d'acqua verso il mare, è ritornata a fare parte della laguna con delle caratteristiche prevalentemente lagunari. Il mancato apporto dei sedimenti dovuto alla diversione dei fiumi ha causato un suo graduale abbassamento, aggravato dall'erosione dovuta al moto ondoso e al fenomeno della subsidenza.

Diversa è invece l'origine delle barene di San Felice e di Sant'Erasmus, localizzate ai bordi dei canali lagunari e più prossime alla bocca di Lido: sono state infatti formate da sedimenti trasportati dalla corrente marina che hanno perso velocità all'ingresso di tali canali, lasciando quindi depositare il materiale in sospensione. Una parte meno rilevante di tali sedimenti è frutto dell'azione erosiva della corrente marina sui fondali dei canali stessi. Dato il loro basso grado di antropizzazione, la composizione floristica e faunistica, nonché la struttura sedimentologica e i dinamismi, sono rimasti pressoché inalterati e simili a quelli originari. Il margine di queste barene risulta rialzato dalla parte del canale che le alimenta, mentre degrada verso il lato lontano da quest'ultimo, fino a diventare velma. Questa tipologia di barena non si riscontra nei pressi delle bocche di porto di Malamocco e Chioggia poiché le acque che qui entrano non trasportano una quantità sufficiente

di sedimenti tale da poter formare delle “barene di canale lagunare”. Il problema principale che interessa tali barene è l’erosione da moto ondoso che si ha nei canali con intenso traffico acqueo.

Un altro tipo di barena si trova ai lati dell’antica immissione dei corsi d’acqua nella laguna, come la barena in prossimità della foce del Dese. Questa tipologia è formata da antichi depositi alluvionali. Nelle cartine della laguna sono indicate spesso con il toponimo “punte dei lovi”, dove “lovo” deriva probabilmente da “alluvium”, nome che rivela la loro origine. Essendo facilmente accessibili dalla terraferma sono state spesso trasformate per uso agricolo.

Per raggiungere le barene della laguna Nord e centro ci si è spostati mediante una barca, fornita dal Dipartimento di Biologia Marina dell’Università di Padova, con partenza da Chioggia (Figura 15). La barena di Conche invece è facilmente raggiungibile via terra.



*Figura 15: Barca usata per gli spostamenti, appartenente al Dipartimento di biologia marina (barena di San Felice, 19/01/2022)*

## 2.2 Raccolta campioni

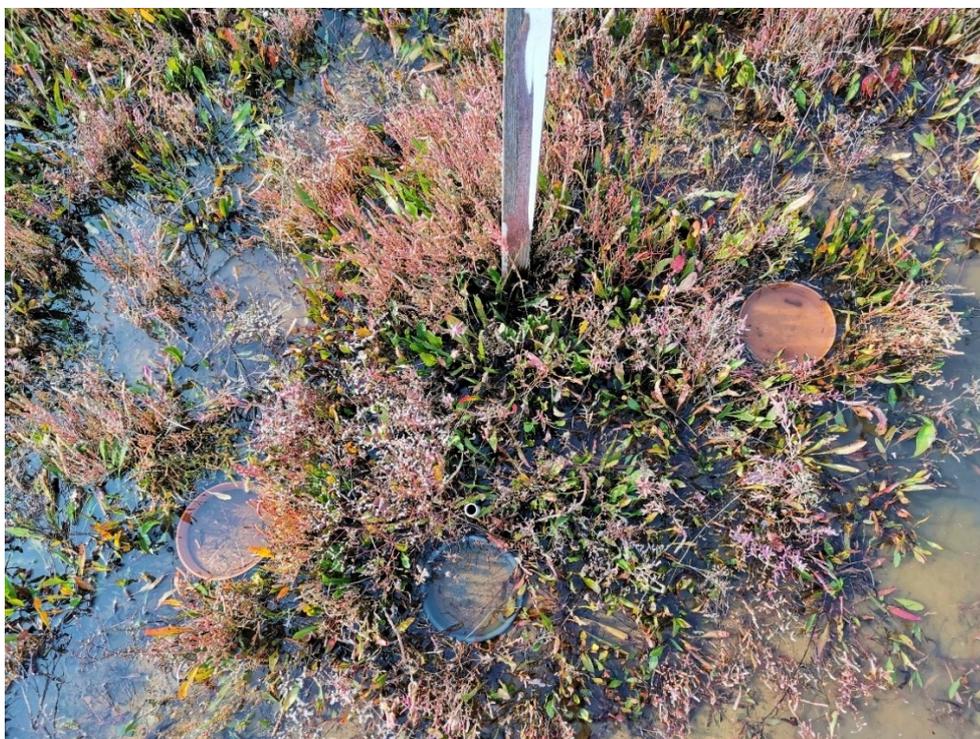
Per studiare le variazioni del materiale sedimentato presente sulle barene sopracitate, è stato effettuato un campionamento con cadenza mensile ogni 25/28

giorni circa o, se necessario, con raccolte aggiuntive post eventi meteomarini particolarmente intensi, di seguito indicati anche come “eventi di storm”. Tutte le campagne di raccolta dei sedimenti sono state condotte scegliendo opportunamente le date per le uscite in modo da potersi recare presso le singole stazioni in condizioni di marea sufficientemente bassa da poter procedere alla raccolta dei campioni all’asciutto, ovvero con la superficie della barena emersa. La campagna è stata svolta dal 20 ottobre 2021 al 20 aprile 2022, con cadenza, come già detto, mensile.

Sono state così posizionate sulle barene delle trappole per la raccolta dei sedimenti, depositate sulla superficie della barena stessa. Tali trappole per sedimenti consistono in sottovasi in plastica rigida con diametro di 18 cm e bordo alto 3 cm, posti a livello del terreno e ancorati a terra mediante ferri metallici piegati. Tali strumenti sono in grado di raccogliere i sedimenti trasportati sulle barene durante i periodi di sommersione delle stesse. Essendo oramai assodato che in laguna di Venezia l’apporto di sedimenti dall’esterno (bacino scolante e mare) è praticamente nullo a seguito dell’estromissione dei grandi fiumi e della costruzione dei moli alle bocche di porto, i sedimenti che possono essere trasportati e, successivamente, depositati sulle barene non possono che provenire dalla laguna stessa. Limitandoci ai processi naturali, tali sedimenti possono essere o di natura inorganica, risospesi e trasportati dall’azione combinata del moto ondoso da vento, o di natura organica, derivanti dalla deposizione di materiale biologico tipicamente prodotto dalla vegetazione alofila o bentonica. La tipologia delle trappole per i sedimenti installate è stata individuata a seguito di analisi accurate che hanno permesso di verificare come esse siano in grado di fornire l’effettivo tasso netto di sedimentazione senza pregiudicare eventuali meccanismi di risospensione che potenzialmente possono rimobilizzare il sedimento dopo la sua deposizione. Per facilitare il ritrovamento delle trappole per i sedimenti, esse sono state segnalate mediante un paletto di plastica bianca o di legno.

In ogni punto di misura sono state posizionate due trappole (indicate come A e B), opportunamente distanziate, al fine di replicare la misura e, in casi di scarsa deposizione, aumentare la quantità di materiale disponibile per le analisi che verranno descritte in seguito. Per ogni punto di misura è presente, inoltre, una terza trappola, impiegata per il campionamento annuale e raccolta, pertanto, una volta

all'anno nel mese di ottobre. Lo scopo della terza trappola è quello di controllo per verificare la bontà della tecnica di campionamento: raccolte pregressa hanno infatti permesso di verificare che la quantità di sedimenti raccolti con questa terza trappola in un anno corrispondono effettivamente alla somma dei campioni raccolti con le trappole raccolte mensilmente. Per quanto riguarda la distribuzione spaziale sulle diverse barene, sono state individuate alcune stazioni e, per ciascuna di esse, le trappole dei sedimenti sono state disposte secondo transetti a partire del margine della barena a una distanza di 2.5 m, 7.5 m e 15 m dal margine stesso; tali posizioni prendono il nome di transetti di monitoraggio e comprendono un totale di sei trappole per il campionamento mensile e tre per quello annuale (Figura 16).



*Figura 16: Posizione dei sottovasi. Si osservino, ai lati in marrone, i sottovasi mensili e, al centro in nero, il sottovaso annuale (02/10/2021)*

Sono stati raccolti anche i campioni lungo alcuni transetti detti di partiacque, ovvero delle trappole singole disposte tra due ghebi a distanza variabile dai ghebi stessi. Queste zone sono di interesse poiché tendono ad avere un livello del terreno più alto in prossimità del ghebo: a una distanza intermedia tra i due, infatti, si registra una lieve depressione del suolo. Questa tipologia di transetto di monitoraggio è stata

installata nei pressi delle barene di San Felice e di Conche e comprende, in ciascuno dei casi, cinque sottovasi singoli.

In

Figura 17 sono riportate le posizioni delle singole stazioni di misura (simboli azzurri), denominate con la sigla della barena (FD, SE, SF, 7M e CO). Per ciascuna barena sono presenti più stazioni di misura individuate con un numero progressivo e, per ogni stazione, i singoli punti di misura sono stati poi indicati con un ulteriore numero progressivo da 1 a 3 crescente dal margine verso l'interno della barena. Fanno eccezione i transetti partiacque per i quali il numero progressivo va da 1 a 5 a partire da uno dei due estremi del transetto stesso.



Figura 17: Attraverso Google Earth è possibile osservare le posizioni dei vari transetti. Selezionandone uno, è possibile vederne anche il numero di posizione e distanza

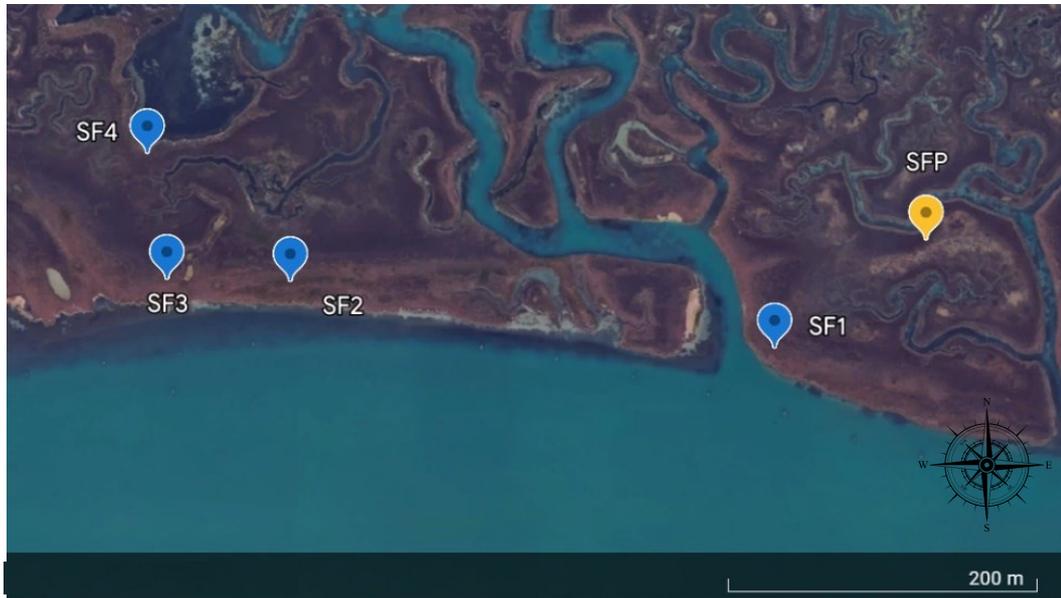


Figura 18: Posizione dei transetti sulla barena di San Felice. Si osservi, in giallo, il transetto partiacque

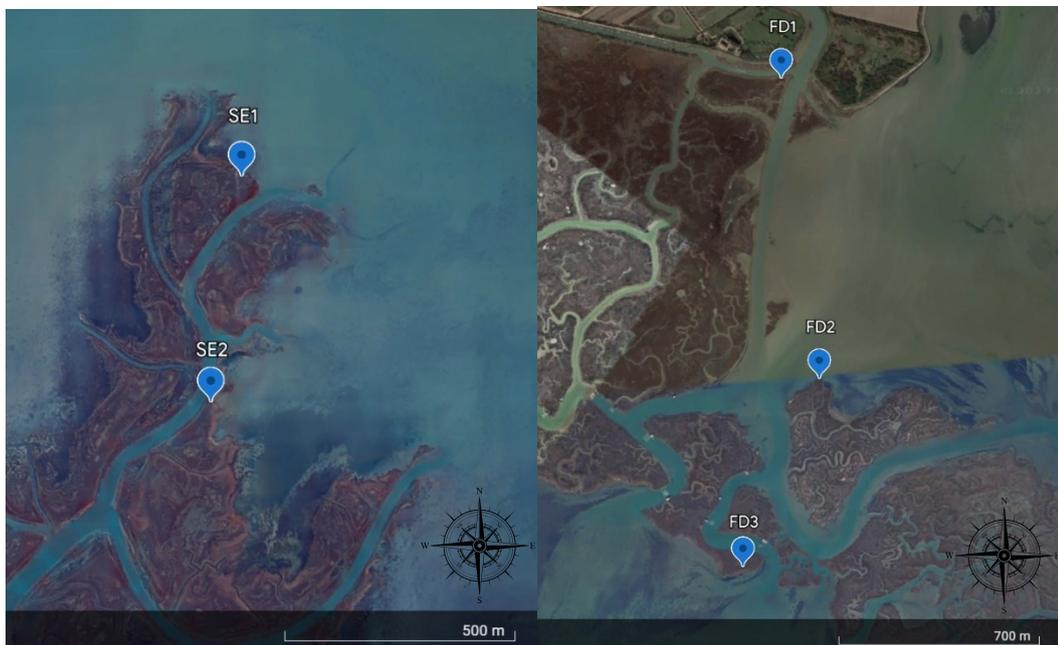
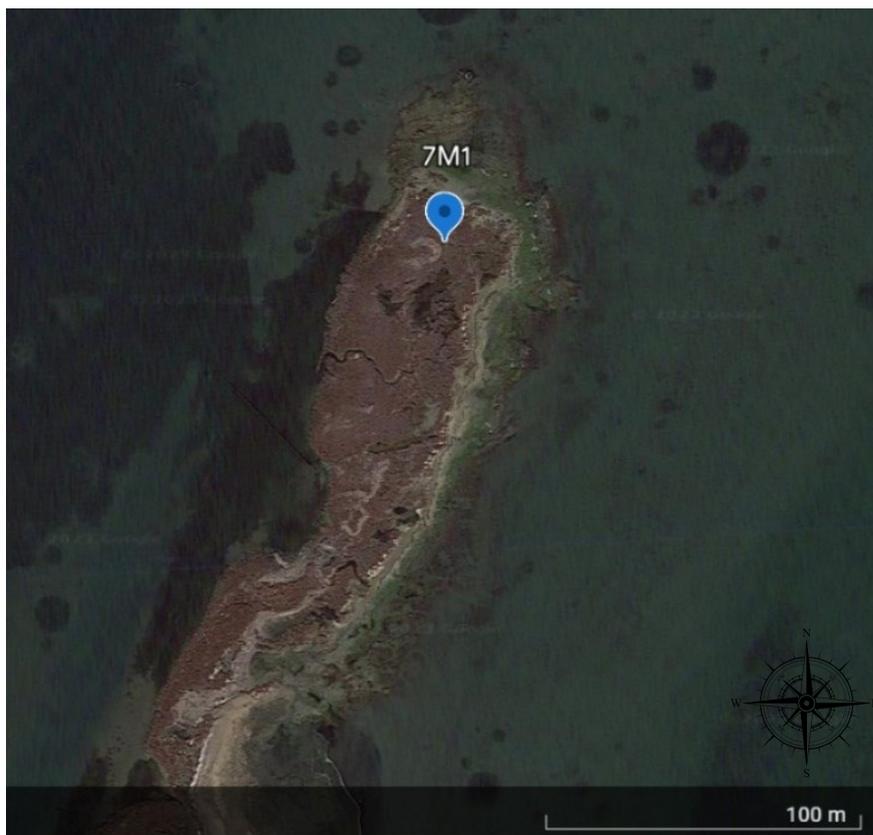


Figura 19: A sx, la posizione dei transetti sulla barena di Sant'Erasmus. A dx, la posizione dei transetti sulla barena in prossimità della foce del Dese



*Figura 20: Posizione del transetto sulla barena di 7 Morti*



*Figura 21: Posizione dei transetti sulla barena di Conche, si osservi in giallo il transetto partiacque*

Nel dettaglio i transetti sono così disposti:

- San Felice (SF) in Figura 18: 4 transetti con storico e 1 transetto partiacque. SF 1, SF 2, e SF 3 sono posti sul margine Sud-Ovest della barena, maggiormente esposto al vento di Scirocco. SF 4 è posto sul margine della barena rivolto verso Nord-Est, esposto al vento di Bora. Il transetto partiacque SFP presenta 5 sottovasi posti a una distanza di 2.5 m, 10 m, 15 m, 20 m e 27.5 m dal margine del canale più interno;
- Sant’Erasmus (SE) in Figura 19: 2 transetti con storico. SE 1 e SE 2 sono posti sul margine della barena rivolto verso Nord-Est, esposto maggiormente al vento di Bora;
- Foce Dese (FD) in Figura 19: 3 transetti con storico. FD1 è disposto sul margine superiore vicino alla foce; FD 2 è disposto sul margine Nord-Est, maggiormente esposto a vento di Bora; FD 3 è disposto invece sul margine opposto (Sud-Ovest), maggiormente esposto a Scirocco.
- 7 Morti (7M) in Figura 20: 1 transetto con storico esposto a vento di Bora;
- Conche (CO) in Figura 21: 3 transetti con storico e 1 transetto partiacque. CO 1, CO 2 e CO 3 sono disposti sul margine Nord-Est della barena, esposto maggiormente al vento di Bora. I sottovasi del transetto partiacque COP sono posti a una distanza di 2.5 m, 6.5 m, 10.5 m, 14.5 m e 27.5 m dal canale più piccolo

La raccolta è stata svolta con cadenza mensile, non essendosi verificati eventi meteomarinò particolarmente intensi nel periodo di campionamento e tali da suggerire la necessità di una raccolta aggiuntiva.

I sottovasi sono stati raccolti e puliti con un erogatore riempito di acqua, in modo da non introdurre strutture calcaree che potrebbero compromettere la veridicità del campione (Figura 22).

Il materiale così raccolto è stato travasato, mediante un imbuto, in bottigliette di plastica recanti il nome della stazione di monitoraggio per facilitarne il trasporto e il riconoscimento in laboratorio.



*Figura 22: Pulizia dei sottovasi per la raccolta del materiale (19/01/2022)*

Durante il campionamento non viene raccolto materiale organico con dimensione maggiore a 2 mm perché non rappresentativo della sedimentazione. È quindi sufficiente solo lavare questi elementi mediante i nebulizzatori per non perdere il materiale depositato su di essi. È necessario prestare attenzione, inoltre, a non raccogliere materiale esterno al sottovaso, come quello depositato sul retro o sui ferri piegati per il posizionamento.

Nel caso del transetto della barena di 7 Morti, a causa della ingente presenza di conchiglie, qualora il materiale raccolto sia eccessivo, è possibile raccogliere quest'ultime in dei sacchetti di plastica con zip. In Figura 23 si può osservare la variabilità del materiale di raccolta.



*Figura 23: A seconda del transetto di raccolta, il materiale varia (da sinistra, alghe barena di san Felice 28/09/2021, conchiglie barena di 7 Morti 02/11/2021, ghiaccio barena di Conche 19/01/2022)*

Una volta effettuato questo procedimento, la trappola viene riposta nella sua posizione originale con particolare attenzione a metterla nuovamente a livello terreno.

## 2.3 Analisi in laboratorio

### 2.3.1 Pesatura dei campioni e sedimentazione

I campioni raccolti vengono poi portati in laboratorio nel Dipartimento di Geoscienze a Padova per essere analizzati. È opportuno procedere all'asciugatura di quest'ultimi il prima possibile, per evitare la decomposizione del materiale organico presente nei campioni stessi e che rappresenta una delle quantità che si vogliono stimare.

La pesatura e asciugatura, quindi, avvengono il giorno dopo la raccolta. Tale procedimento è stato svolto mediante l'utilizzo di becher da 250 ml o 150 ml, in pyrex (vetro borosilicato) o plastica, opportunamente tarati con una bilancia di precisione 0.0001 g ed etichettati. Questo procedimento è stato svolto per garantire maggior controllo nella classificazione dei campioni, evitando eventuali scambi.

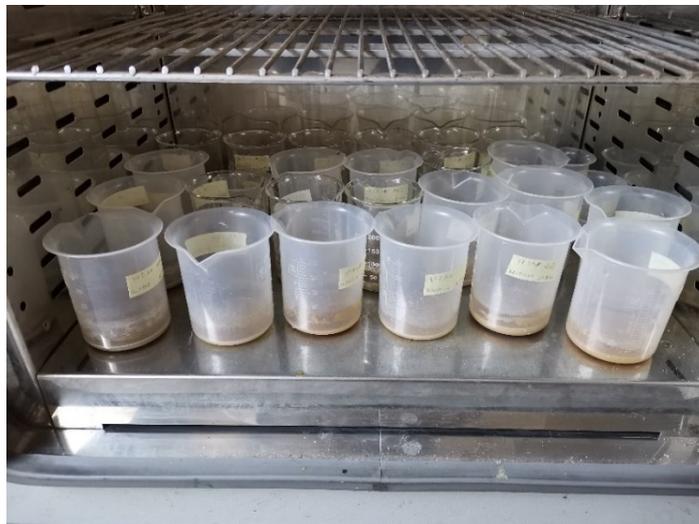
Si procede poi al travaso del materiale contenuto nelle bottigliette all'interno di essi, passandolo attraverso un setaccio di 2 mm. È opportuno poi pulire il setaccio e le bottigliette con l'acqua deionizzata, per raccogliere ogni elemento rimanente. I campioni A e B (ovvero le repliche raccolte in ogni punto di misura) vengono inseriti in becher diversi (Figura 24).



*Figura 24: Procedimento pre-asciugatura (laboratorio 02/02/2022)*

Per diminuire i tempi di asciugatura dei campioni, prima di inserirli nel forno, si è atteso il deposito sul fondo del becher del materiale per rimuovere l'acqua in eccesso. In tale processo si è prestata una particolare attenzione a non versare, assieme all'acqua da rimuovere, anche del materiale.

I campioni così sistemati e classificati, sono stati inseriti in forno a 55° e lasciati per almeno 24 ore (Figura 25). Il tempo di asciugatura, infatti, varia a seconda della quantità di materiale contenuto in essi.



*Figura 25: Campioni sistemati nei becher e inseriti nel forno*

Il campione, quando asciutto, appare simile a una “cialda”, la cui durezza dipende dalla composizione del materiale sedimentato (argilla, sabbia ecc.). Una volta estratto dal forno, il materiale è stato poi pesato sulla bilancia di precisione 0.0001 g e il suo peso annotato su un blocco diviso per transetti e distanze per determinare, sottraendo la tara del becher, il peso netto. Una volta determinato il peso, il campione è stato preparato per l’analisi della sostanza organica e della granulometria.

Il campione, unificando i becher A e B del medesimo transetto, è stato poi riposto in un mortaio di ceramica e omogeneizzato grossolanamente in pezzi di pochi millimetri (Figura 26). Se sono presenti circa 2/3 grammi di materiale, se ne prendono circa 0.5/1 grammi per l’analisi granulometrica mediante il cucchiaino Kartell e si macina il rimanente in modo fine per impiegarlo per la LOI (1.5/2 grammi – circa 2 cucchiaini Kartell). Se sono presenti più di 2-3 grammi di materiale, ciò che avanza, dopo aver fatto le procedure appena descritte, viene spostato in dei fogli di alluminio 10x15 cm ed etichettato con la sigla ARC per essere riposto nell’archivio. Qualora il materiale invece non sia sufficiente per svolgere le analisi, è opportuno unirlo ad un altro campione appartenente al medesimo transetto.



*Figura 26: Da sinistra campione, simile a una "cialda", inserito nel mortaio (foto 1) e sminuzzato (foto 2)*

Una particolare attenzione è stata posta per i campioni appartenenti al transetto della barena di 7 Morti. Data la ingente presenza di frammenti di conchiglie, è stato opportuno setacciare il materiale mediante due setacci, uno da 2 mm e uno da 1 mm (Figura 27). Il materiale più fine (sabbia) è stato poi usato per le due analisi precedentemente dette, il resto invece è stato archiviato, etichettandolo in base alla dimensione del materiale.



*Figura 27: Frammenti di conchiglie nel campione prelevato presso la barena di 7 Morti (laboratorio 16/11/2021)*

Finite queste operazioni, sono stati lavati gli strumenti utilizzati.

### 2.3.2 Preparazione LOI

Una volta sistemati i campioni si è passati allo studio mediante l'approccio LOI (Loss on Ignition) o perdita alla combustione, che consente di quantificare il contenuto organico del campione mediante bruciatura ad elevata temperatura. Come detto nel precedente capitolo (§2.3.1), tale analisi è stata svolta usando circa 1.5/2 grammi di materiale finemente tritato, opportunamente etichettato. Il campione è stato poi inserito in crogioli in ceramica e passato in forno per 30 minuti a 60° per eliminare eventuale umidità, poi pesato in modo da avere sia il peso pre-bruciatura che post-bruciatura.

I crogioli sono stati in seguito inseriti nella muffola, un forno elettrico in grado di raggiungere temperature fino a 1800° C a seconda della potenza e dell'efficienza del materiale refrattario con cui è costruito. Per il procedimento scelto, è stato impostato a 375° per 16 ore.

I campioni così trattati sono stati nuovamente pesati ottenendo il peso post-bruciatura per mezzo del quale, come verrà trattato in seguito, sarà possibile definire il contenuto organico di quest'ultimi.

#### 2.3.2.1 Tasso organico

Per determinare il tasso organico e inorganico dei campioni post LOI, si svolge il seguente calcolo, dove con  $m_{pre}$  si indica il peso del campione pre-bruciatura, con  $m_{post}$  il peso post-bruciatura:

$$tasso\ organico\ (\%) = \frac{m_{pre} - m_{post}}{m_{pre}} * 100$$

$$tasso\ inorganico\ (\%) = \frac{m_{post}}{m_{pre}} * 100$$

### 2.3.3 Analisi granulometrica

Tale analisi non sarà oggetto di commento in questa tesi, ma per completezza se ne descrive il procedimento.

L'analisi granulometrica prevede, inizialmente, una reazione chimica con l'acqua ossigenata a 35 volumi. Quest'ultima è stata versata all'interno dei becher contenenti i grammi di campione necessari e precedentemente preparati, fino a

sommergerli completamente. Una volta effettuato tale procedimento, si è atteso un tempo pari a circa 48 ore in modo tale da dare il tempo alla reazione di svilupparsi per eliminare la componente organica e, per tale motivo, tale procedimento è stato svolto sotto della cappa aspirante (Figura 28).



*Figura 28: Formazione di schiuma causata dalla reazione con l'acqua ossigenata  
(laboratorio 06/05/2022)*

Dopo 48 ore, la reazione è stata bloccata versando nel becher, fino a sommergere nuovamente il campione, almeno 50 ml di acqua deionizzata. Dopo aver atteso il tempo necessario affinché il materiale decanti, il contenuto dei becher è stato versato in provette coniche di dimensione 30x115 mm, numerate (da 1 a 8). Le provette hanno una capacità di 50 ml e, per evitare di sbilanciare la centrifuga nella quale verranno inserite in quaterna, è stato opportuno pesarle in bilancia e versare la medesima quantità di materiale in modo da avere, sulla diagonale, provette di peso simile.

La centrifuga usata è costituita da una crociera che consente l'alloggiamento di quattro provette, disposte a 45°, impostata per effettuare 3000 giri al minuto per 5 minuti (Figura 29). In questo modo è stato possibile separare il materiale di studio dall'acqua presente.



*Figura 29: Centrifuga caricata con le provette*

Una volta completata questa operazione, ripetuta tante volte quante ne sono necessarie per centrifugare tutti i campioni, il contenuto delle provette è stato versato nei becher corretti e il tutto è stato riposto nel forno a 55° fino a completa asciugatura (in genere 24 ore).

I campioni, una volta asciutti, sono stati riposti in bustine con zip per essere analizzati, in un secondo momento, utilizzando un Mastersizer, ovvero un dispositivo laser per la definizione della composizione granulometrica del campione, disponibile presso il laboratorio di Scienze del Farmaco dell'Università di Padova.

Tutto il materiale usato è stato infine ripulito accuratamente.



### 3 Risultati

I dati sono stati raccolti nel periodo autunnale/invernale/primaverile, dal 20 ottobre 2021 al 20 aprile 2022. Durante tale periodo il sistema Mo.S.E. è stato attivato più volte, principalmente nei mesi di novembre e dicembre.

Le alzate del Mo.S.E. sono così distribuite (i livelli riportati sono misurati rispetto allo zero mareografico su Punta della Salute):

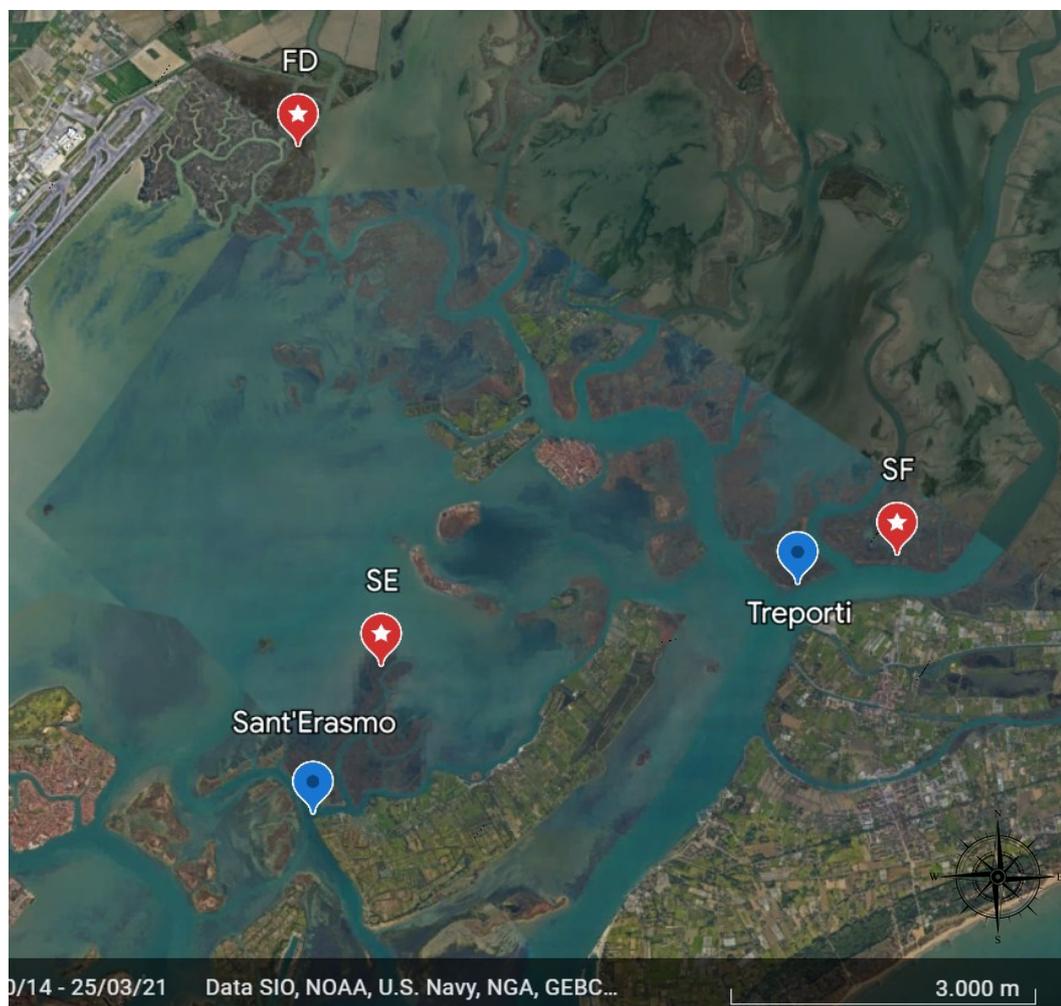
Data	Venezia	Lido mare	Mal. mare	Chioggia mare	Mose
1.11.2021	83cm 18:15	139cm 20:35	134cm 20:30	134cm 19:45	Si 4
2.11.2021	66cm 21:00	119cm 20:30	122cm 21:10	120cm 21:15	Si 4
3.11.2021	54cm 18.15	139cm 20:00	137cm 20:05	138cm 19:45	Si 4
4.11.2021	71cm 08:05	108cm 08:45	108cm 09:10	106cm 08:50	Si 4
6.11.2021	71cm 10:40	118cm 10:00	120cm 10:05	121cm 10:05	Si 4
28.11.2021	83cm 03:15	102cm 04:20	99cm 04:40	100cm 04:30	Si 4
1.12.2021	76cm 05:30	119cm 07:20	117cm 07:00	118cm 07:00	Si 4
2.12.2021	67cm 10:35	122cm 07:13	121cm 06:36	122cm 07:21	Si 4
3.12.2021	66cm 05:30	106cm 08:15	105cm 08:20	108cm 07:50	Si 4
5.12.2021	75cm 07:20	116cm 09:05	114cm 08:50	114cm 08:50	Si 4
8.12.2021	75cm 09:30	99cm 12:10	99cm 11:45	101cm 11:50	Si 4
9.12.2021	80cm 08:25	125cm 00:45	121cm 00:25	122cm 00:54	Si 4
11.12.2021	71cm 01:40	99cm 03:20	98cm 03:10	101cm 03:05	Si 3

Per semplicità non sono stati riportati i falsi allarmi. Si osservi che, nel periodo di raccolta, sono stati effettuati 12 sollevamenti delle paratoie alle 3 bocche e un singolo sollevamento alle sole 2 bocche di Lido (sia Treporti sia San Nicolò) e Malamocco. Il sistema Mo.S.E. è stato in funzione mediamente tra le 3 e le 6 ore per evento.

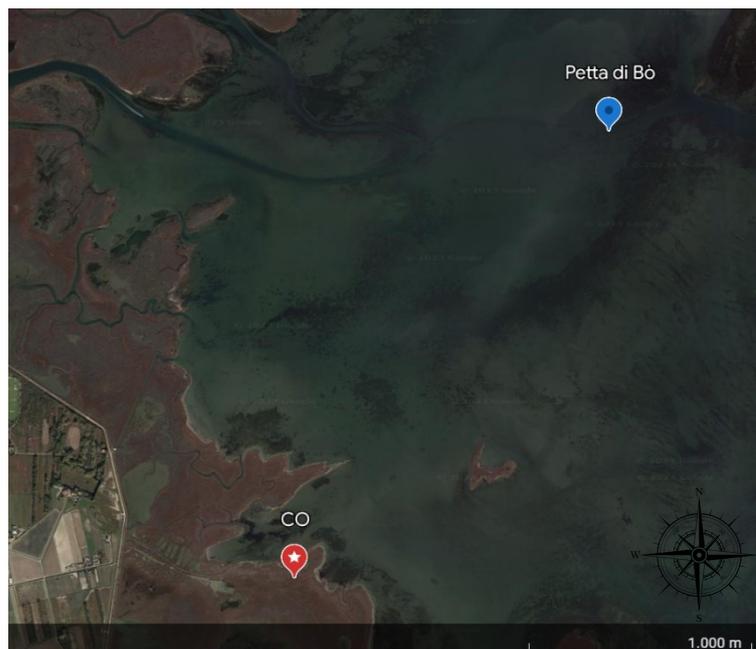
I livelli in laguna, con il sistema in funzione, si sono mantenuti al di sotto degli 83 cm: con tali valori anche Piazza San Marco, una delle aree più basse di Venezia (si bagna sopra agli 82cm), è rimasta quasi del tutto all'asciutto. Infatti, se la quota di marea sale fino a 105 centimetri, inizia ad allagarsi anche l'area del Ponte di Rialto,

mentre sono necessari 135 centimetri di marea perché l'acqua lambisca il livello di calpestio nel piazzale di fronte alla stazione ferroviaria. Altre aree della città sono anche più alte.

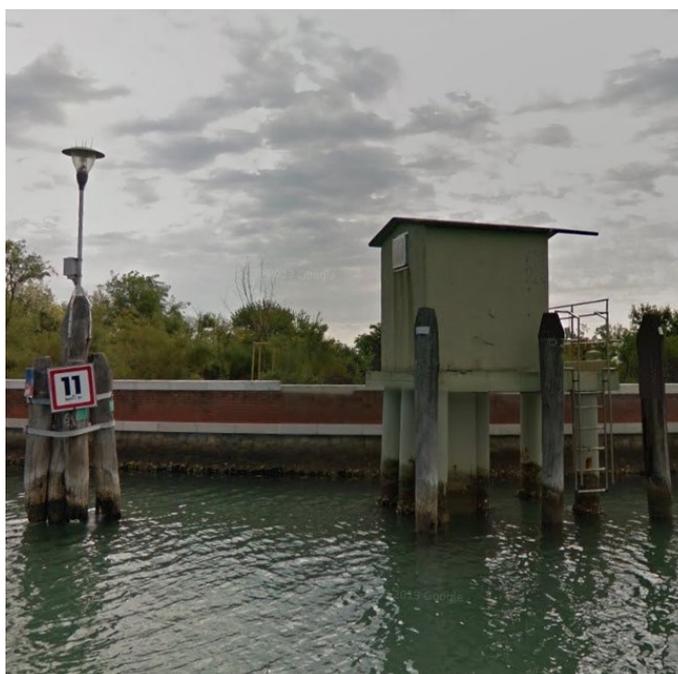
Nel periodo considerato inoltre sono stati registrati i valori di marea riferiti allo Zero Mareografico di Punta della Salute 1897 (ZMPS), registrati in corrispondenza delle stazioni meteo mareografiche di Treporti (45.474172, 12.445842) per l'area studio di San Felice (SF), Sant'Erasmus (45.454033, 12.385572) per l'area studio di Sant'Erasmus (SE) e Foce Dese (FD), Petta del Bò (45.266422, 12.241781) per l'area studio di Conche (CO) (Figura 30, Figura 31).



*Figura 30: Posizioni delle stazioni di misura (segnaposto blu) e delle aree studio (segnaposto rosso)*



*Figura 31: Posizioni delle stazioni di misura (segnaposto blu) e delle aree studio (segnaposto rosso)*

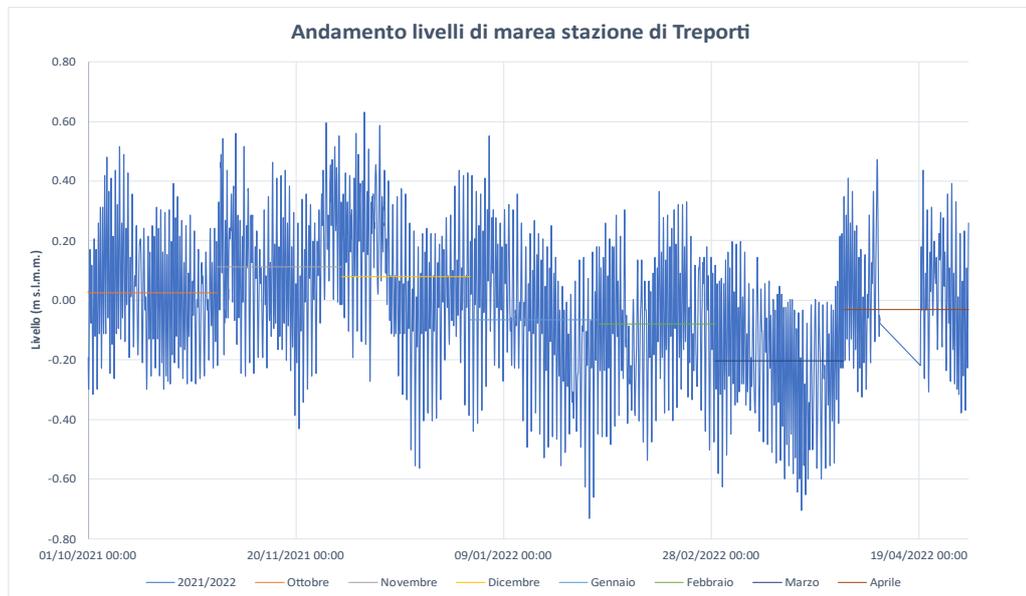


*Figura 32: Stazione di misura a Sant'Erasmo*

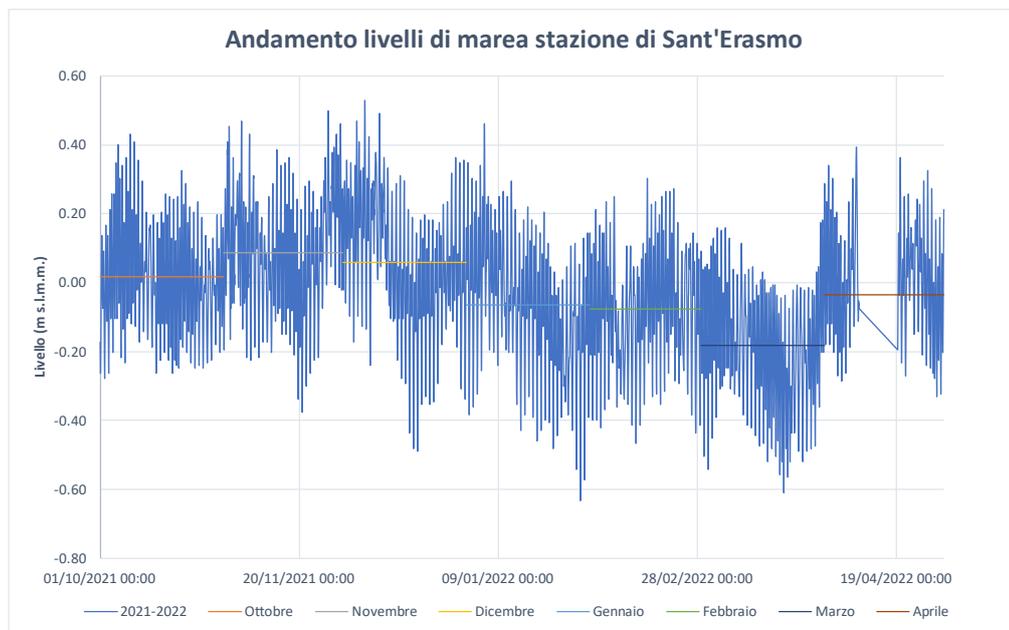
Le stazioni fanno parte di una rete di stazioni all'interno del bacino lagunare e lungo il litorale alto Adriatico, 26 in totale, appartenente al gruppo Area Maree e Lagune dell'Istituto superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che ha

ereditato le competenze dell'ufficio Idrografico e Mareografico di Venezia (Figura 32).

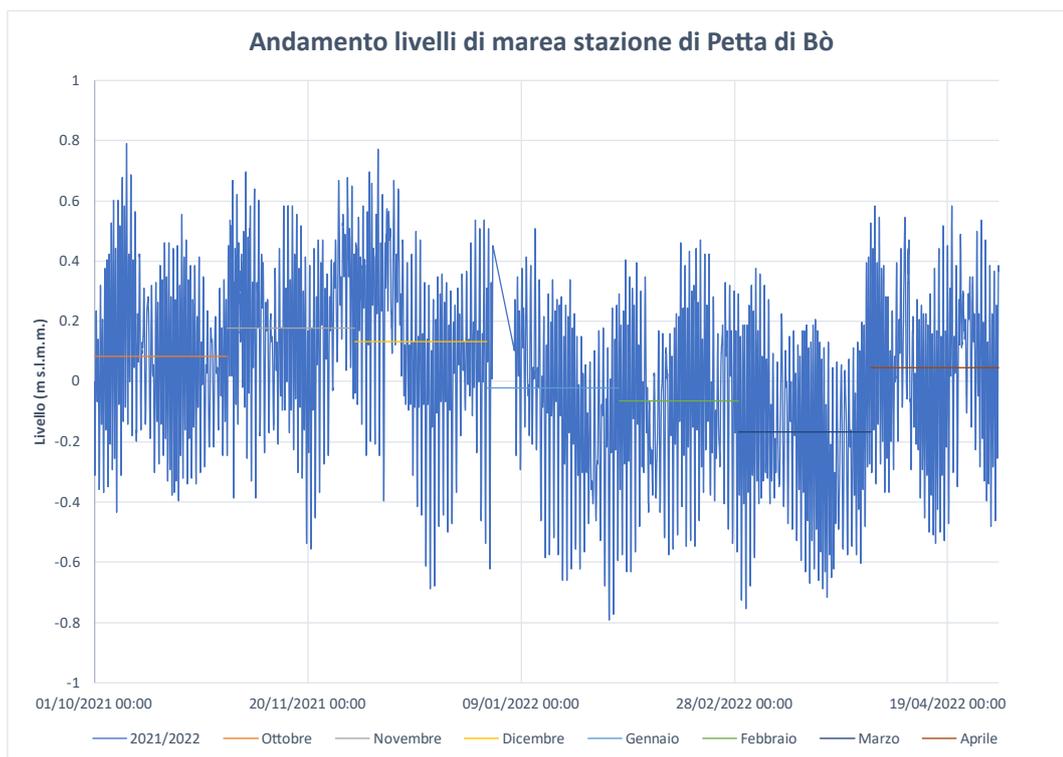
Si riportano in seguito, nelle Figura 33 Figura 34 e Figura 35, i valori registrati insieme ai valori medi di livello per ogni periodo di raccolta.



*Figura 33: Andamento livelli di marea registrati dalla stazione di Treporti e livelli medi di ogni periodo di osservazione*



*Figura 34: Andamento dei livelli di marea registrati dalla stazione di Sant'Erasmus e livelli medi di ogni periodo di osservazione*



*Figura 35: Andamento livelli di marea registrati dalla stazione di Petta di Bò e livelli medi di ogni periodo di osservazione*

I livelli sono stati registrati ogni mezz'ora, per un totale di 48 misurazioni al giorno. Nonostante si siano registrati in mare nei mesi di novembre e dicembre livelli superiori a 80 cm s.l.m.m (110 cm sul ZMPS), si osserva che l'entrata in funzione del sistema Mo.S.E. ha mantenuto in laguna un livello sempre inferiore a 50 cm s.l.m.m. (80 cm su ZMPS), proteggendo quindi Venezia anche nei suoi punti più "bassi", come piazza San Marco. In particolare, nei giorni 1 novembre 2021 e 3 novembre 2021 sono stati previsti picchi di marea di +109 cm s.l.m.m (+139 cm su ZMPS) e +108 cm s.l.m.m. (+138 cm su ZMPS), misurati in corrispondenza delle bocche di Lido, Malamocco e Chioggia.

Si osserva inoltre che il mese di marzo è stato caratterizzato dalla presenza di una bassa marea eccezionale con livello medio pari a circa, rispettivamente, -20.2 cm e -18 cm per la zona di laguna Nord e -3 cm per la zona di Conche.

### 3.1 Analisi dati raccolti

Si è poi proseguito all'analisi dei dati raccolti, analizzando la sedimentazione totale e il contenuto organico delle aree studio. Si è effettuato inoltre, limitatamente al periodo di interesse, il calcolo del tasso di sedimentazione medio giornaliero al metro quadrato.

#### 3.1.1 San Felice

Si procede quindi al commento dei risultati ottenuti sui transetti dell'area studio di San Felice.

##### 3.1.1.1 SFI

Il tasso di sedimentazione giornaliero ha una tendenza decrescente verso l'interno della barena, come osservabile nei mesi di ottobre, novembre e dicembre, con valori sempre inferiori a  $45 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$  (Figura 36). Si osservi che il tasso di sedimentazione tende a diminuire durante tutto il periodo di osservazione, con i valori maggiori registrati in ottobre.

La quantità di organico, ottenuta mediante il procedimento LOI, invece tende ad aumentare verso l'interno della barena: nei mesi di ottobre, novembre e dicembre infatti varia tra il 3% e 5% nelle stazioni 1.1 e 1.2, mentre nella stazione 1.3 il quantitativo si aggira tra il 9% e 12%.

Il tasso organico tende ad aumentare con la distanza dal margine della barena per i mesi di ottobre e dicembre; nel mese di novembre invece il tasso nella stazione 1.2 è minore rispetto alla stazione 1.3 (Figura 37).

Nei mesi di febbraio, marzo e aprile il materiale raccolto è poco (circa 1 o 2 grammi), in alcuni casi non presente. Ciò è stato causato dalla bassa marea registrata, che non ha contribuito alla sommersione della barena. Al contrario, la quantità di organico è elevata, attestandosi tra il 7.14% (febbraio) e il 4.35% (aprile).

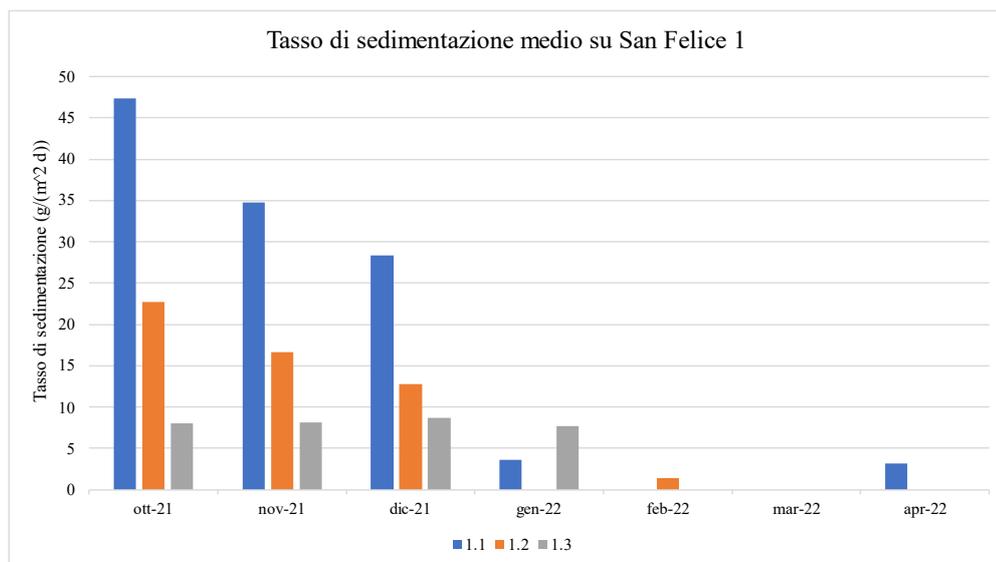


Figura 36: Tasso di sedimentazione giornaliero medio sull'area studio di San Felice 1

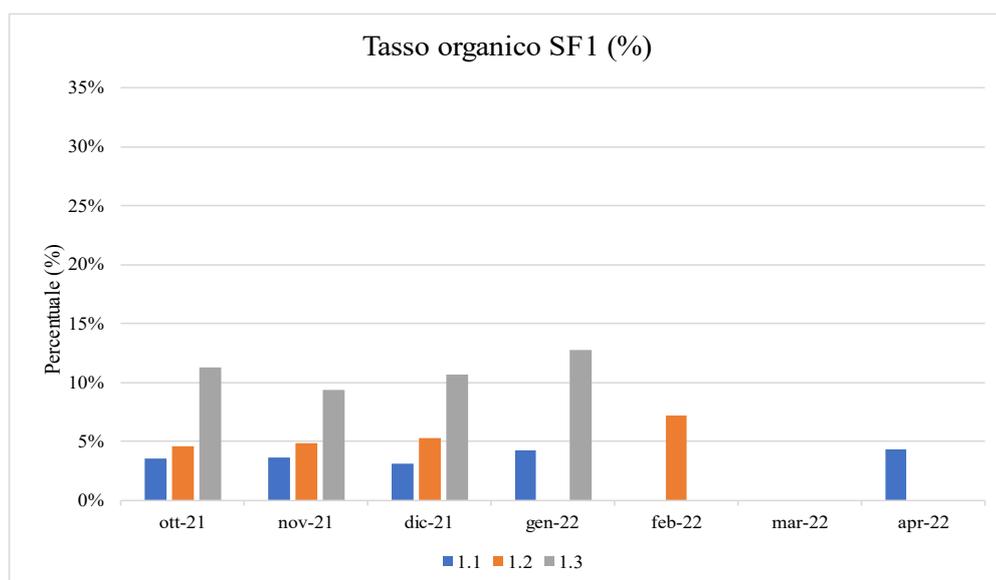


Figura 37: Tasso organico sull'area studio di San Felice 1

### 3.1.1.2 SF2

Il tasso di sedimentazione giornaliero, come per il transetto 1, ha una tendenza decrescente verso l'interno della barena, come osservabile nei mesi di ottobre, novembre e dicembre, ma con valori più modesti inferiori a  $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ , ad eccezione della posizione 2.1 in ottobre dove si registra un picco pari a  $20 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$  (Figura 38). Il tasso di organico analogamente a quanto osservato al transetto 1, tende ad aumentare al crescere della distanza dal margine della barena. In termini

percentuali, nel mese di novembre, dicembre e gennaio, in corrispondenza della stazione 2.3, si osserva un picco pari a circa 30%. Nel mese di ottobre i valori di tasso organico sulle stazioni 2.1 e 2.2 si eguagliano.

Nei mesi di gennaio, febbraio, marzo e aprile il materiale raccolto, anche qui, è poco (circa 1 o 2 grammi), in alcuni casi non presente. La quantità di organico invece è elevata, attestandosi sul 30% a gennaio, intorno al 15% e 25% tra febbraio e aprile.

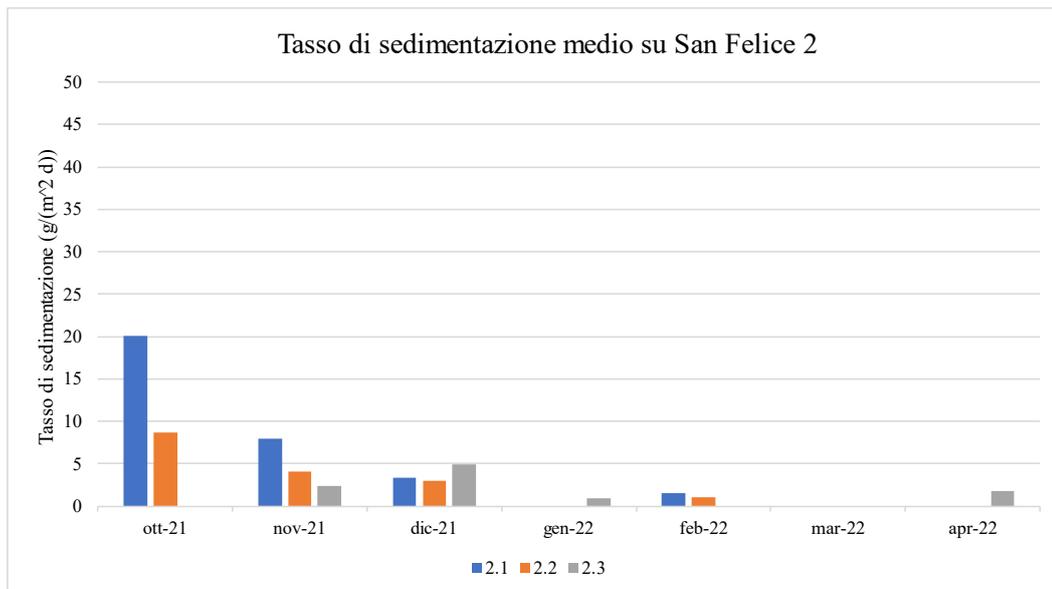


Figura 38: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di San Felice 2

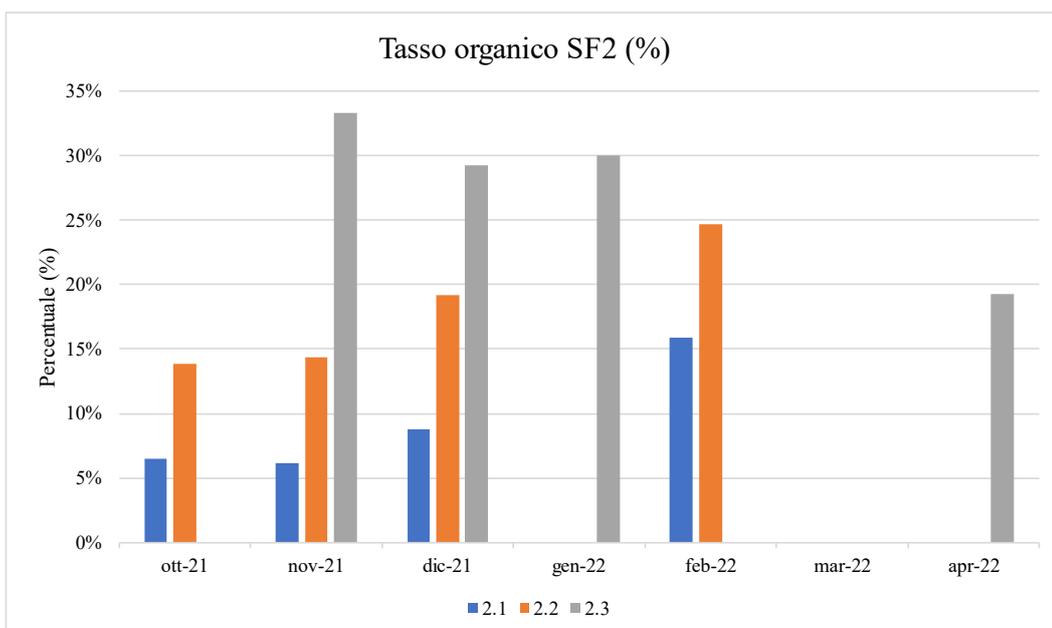


Figura 39: Tasso organico sull'area studio di San Felice 2

### 3.1.1.3 SF3

Il tasso di sedimentazione giornaliero, come per il transetto 1 e 2, ha una tendenza decrescente verso l'interno della barena, come osservabile nei mesi di ottobre e novembre, con valori simili a quanto visto per il transetto 2 (inferiori a  $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ ) (Figura 40).

Il quantitativo organico, analogamente a quanto osservato precedentemente, tende ad aumentare con la distanza dal margine della barena, passando dal circa 4% sul margine a circa 23% nei punti più lontani nei mesi di ottobre, novembre e dicembre. Il tasso organico giornaliero tende anch'esso ad aumentare con la distanza dal margine della barena (Figura 41Figura 37).

Nei mesi di gennaio, febbraio, marzo e aprile il materiale raccolto, anche qui, è poco (circa 1 o 2 grammi), in alcuni casi non presente; di conseguenza, è stato possibile misurare la quantità di organico solo per il singolo campione raccolto a febbraio, che presenta una percentuale di organico pari al 10.08%.

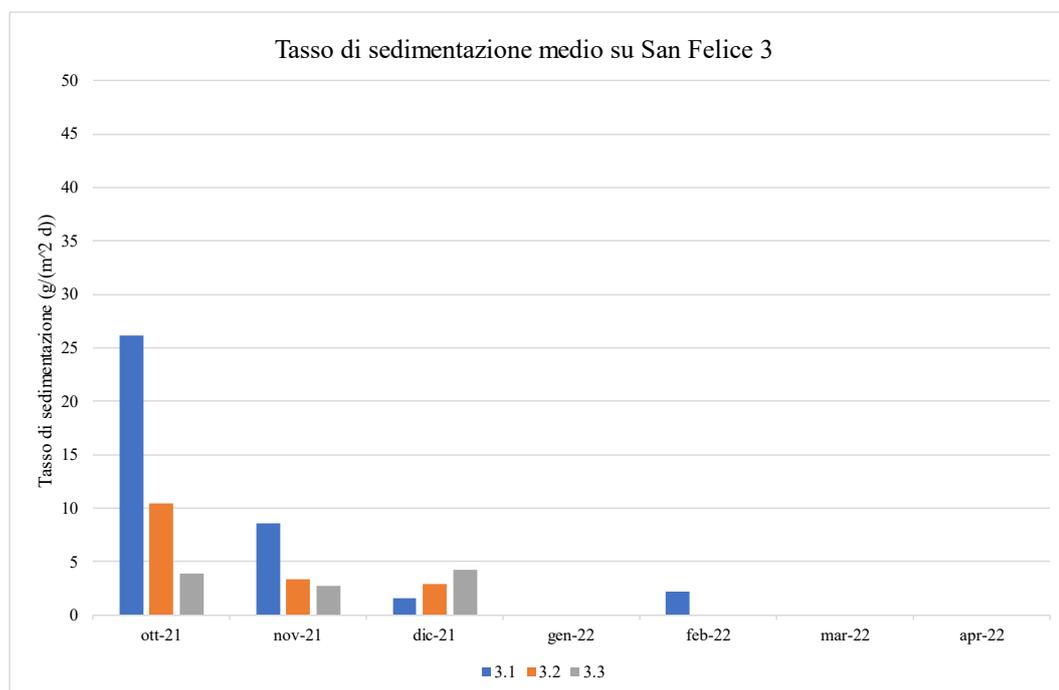


Figura 40: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sulla barena di San Felice 3

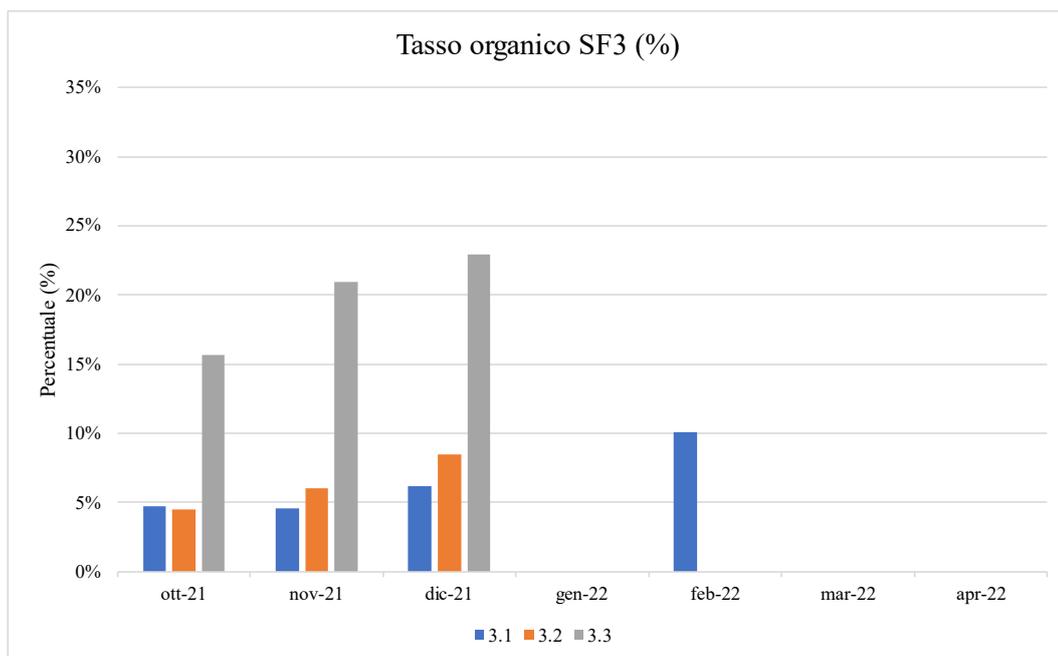


Figura 41: Tasso organico sull'area studio di San Felice 3

#### 3.1.1.4 SF4

Il transetto 4, a differenza di quanto osservato sul resto della barena di San Felice, è in una posizione più protetta rispetto alle mareggiate ed è esposto a vento di Bora. Si osservi infatti un tasso di sedimentazione medio nel mese di ottobre sensibilmente più basso rispetto agli altri transetti, ma crescente verso l'interno della barena (Figura 42).

Nel mese di dicembre si osservi la medesima tendenza: il tasso di sedimentazione giornaliero cresce all'aumentare della distanza dal margine della barena.

Nei mesi di gennaio, febbraio, marzo e aprile si osservi che il materiale raccolto è per lo più nel punto più interno della barena, nelle stazioni poste a 27.5m dal margine della barena.

La quantità di organico è elevata, mediamente pari al 20% anche nei mesi dove il materiale raccolto è stato poco, come marzo e aprile (rispettivamente 16.31% e 17.38%) (Figura 43).

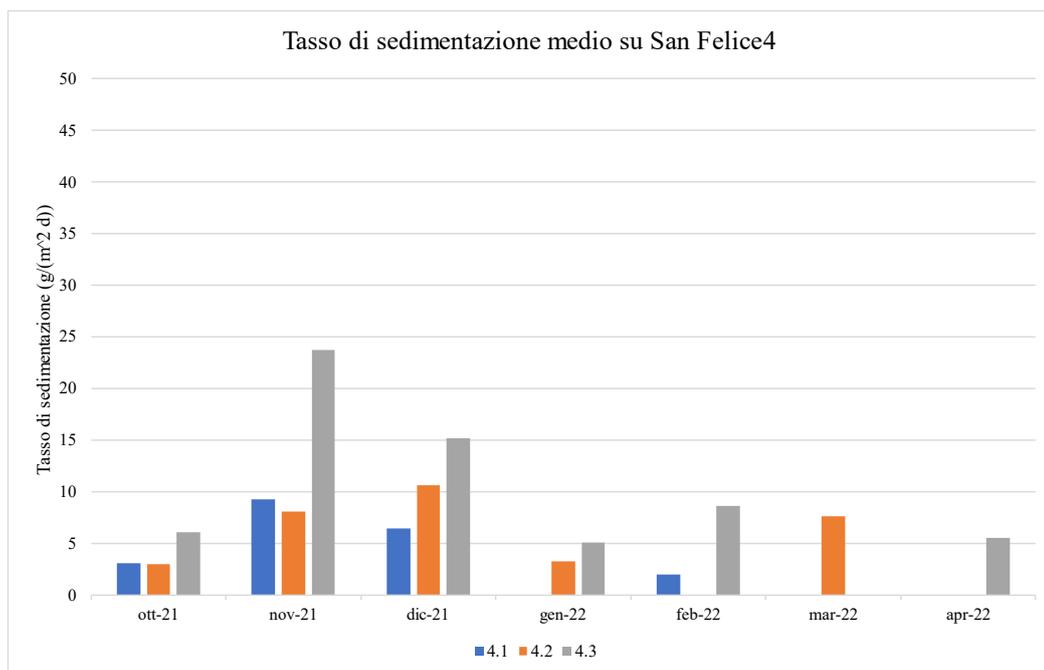


Figura 42: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sulla barena di San Felice 4

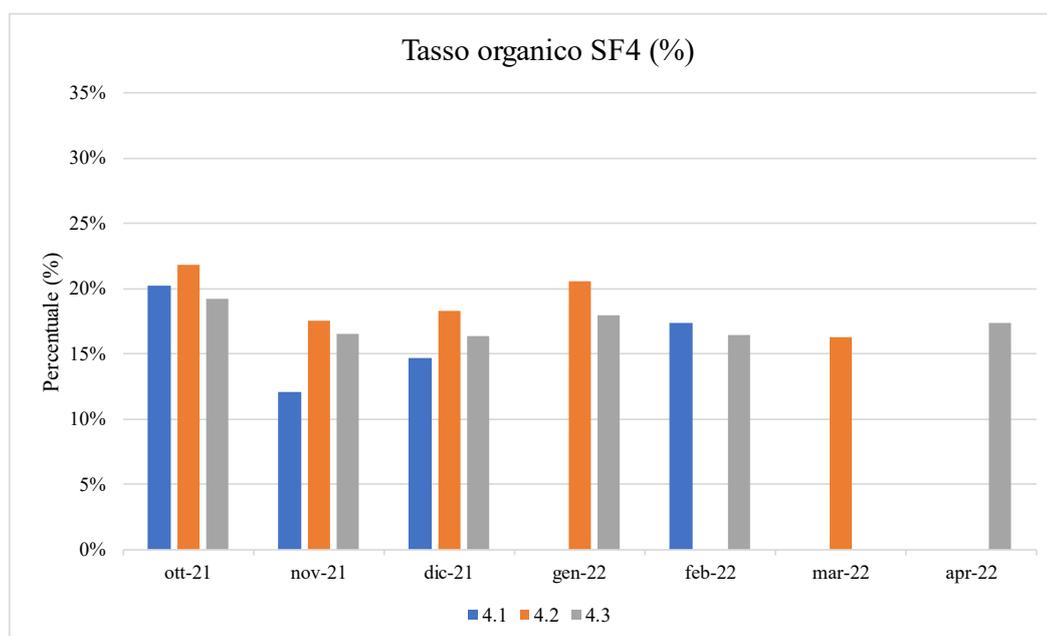


Figura 43: Tasso organico sull'area studio di San Felice 4

### 3.1.1.5 Partiacque

Il transetto partiacque, costituito da 5 sottovasi posti a distanza crescente dal margine del canale più interno, presenta un tasso di sedimentazione medio inferiore o uguale a  $25 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ , ad eccezione di un picco a gennaio a una distanza di 20 m

dal canale pari a  $35.70 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 44). Si osservi che il tasso di sedimentazione maggiore è registrato a una distanza di 15 m e 20 m dal canale per tutti i mesi di osservazione, tranne che per il mese di marzo dove non si è osservata sedimentazione sull'intero transetto. Il tasso organico è generalmente pari o inferiore al 16%, tranne un valore leggermente più elevato a 15 m dal margine del canale nel mese di gennaio, pari al 17% (Figura 45).

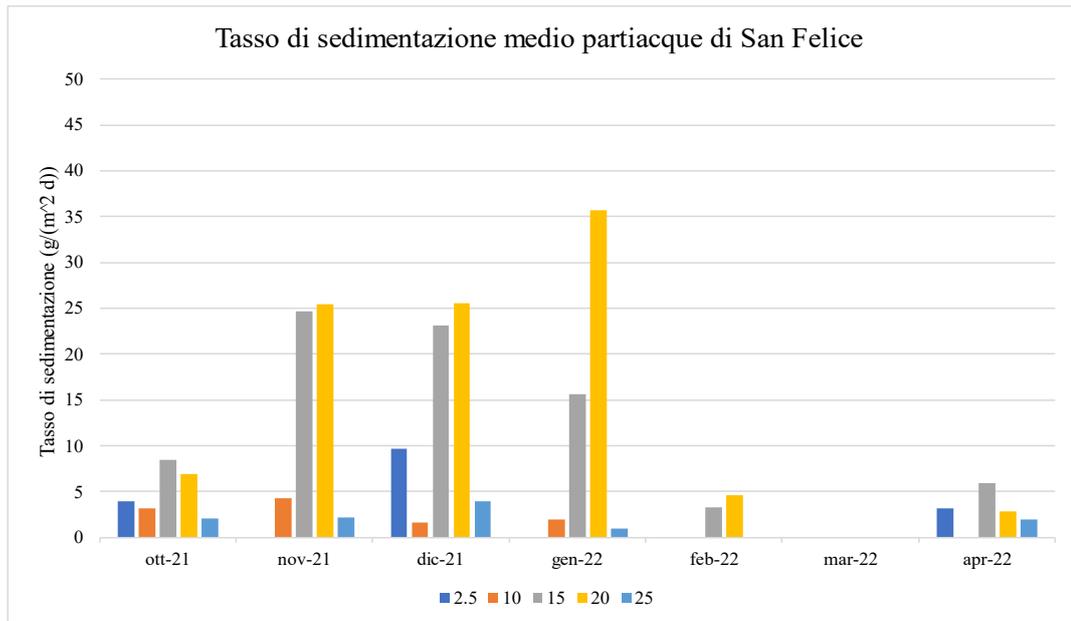


Figura 44: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sul partiacque nell'area studio di San Felice

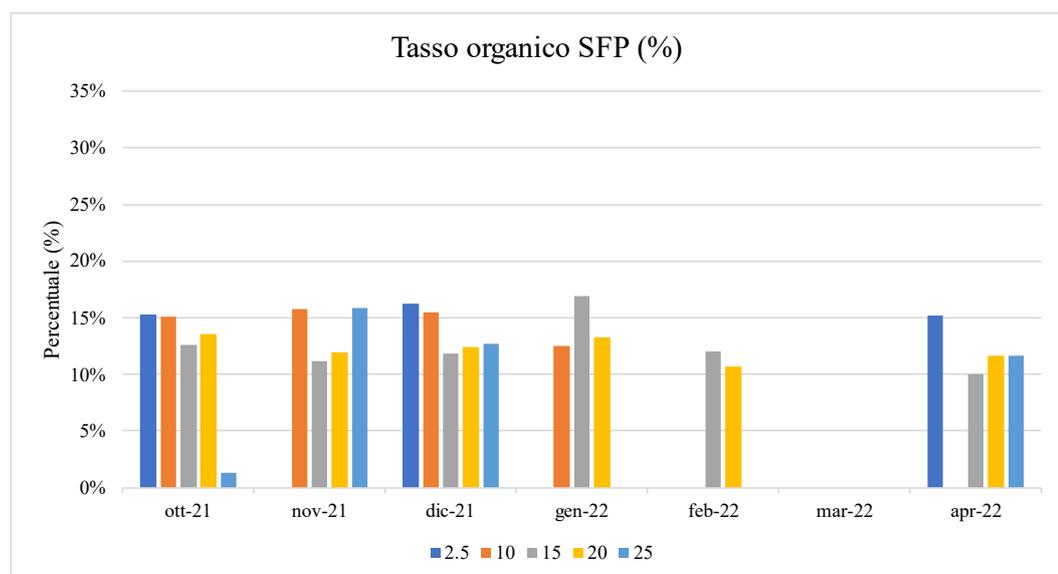


Figura 45: Tasso organico sul partiacque in San Felice

### 3.1.2 Sant'Erasmus

Si procede all'analisi dei risultati ottenuti sui transetti dell'area studio di Sant'Erasmus.

#### 3.1.2.1 SE1

Il transetto 1 di Sant'Erasmus, esposto a Bora, presenta un tasso di sedimentazione medio inferiore a  $4 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  per l'intero periodo di osservazione (Figura 46). In particolare, il tasso di sedimentazione giornaliera risulta superiore sulla stazione 1.2 nel mese di ottobre, pari a  $13.25 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ , e sulla stazione 1.1 a novembre, pari a  $10.49 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A novembre e febbraio si riprende la tendenza già osservata sulla barena di San Felice: il tasso di sedimentazione medio tende a decrescere all'aumentare della distanza dal margine della barena.

A dicembre e gennaio il materiale è stato poco e concentrato sulla stazione 1.3, a  $27.5 \text{ m}$  dal margine, con valori pari, rispettivamente per i due mesi, a  $0.75 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $1.7 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A marzo ed aprile invece non c'è stata sedimentazione.

Il contenuto di organico si attesta mediamente intorno al 20%, con picchi pari al 26% per la stazione 1.2 a ottobre e per la stazione 1.3 a novembre (Figura 47).

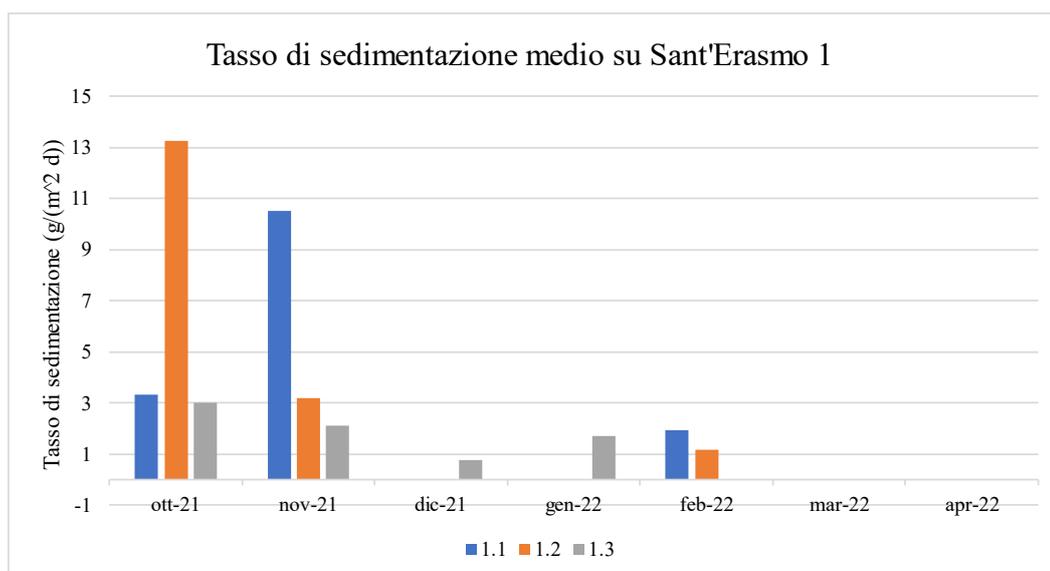


Figura 46: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Sant'Erasmus 1

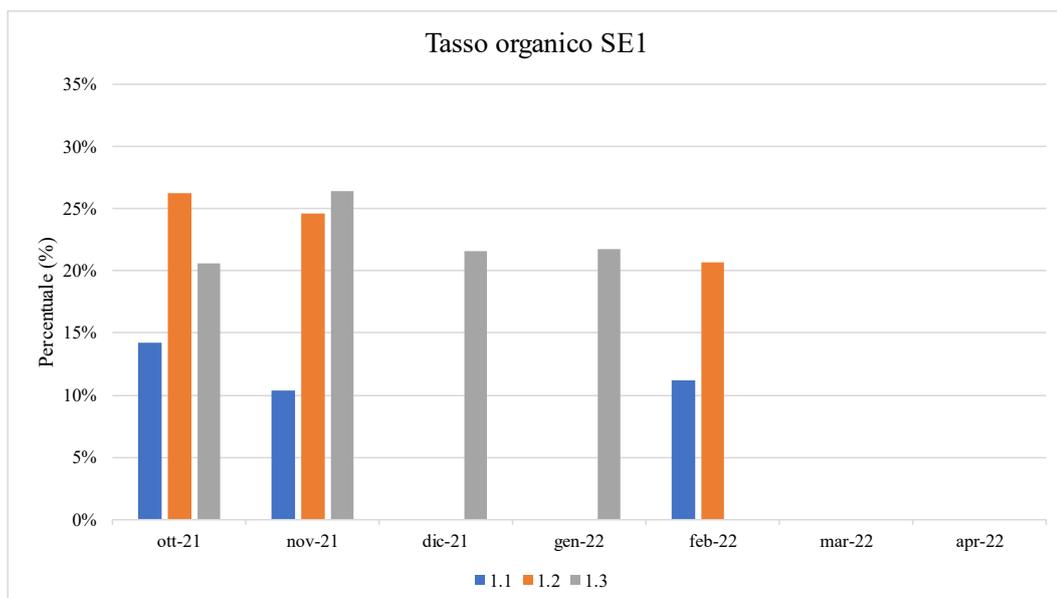


Figura 47: Tasso organico sull'area studio di Sant'Erasmus I

### 3.1.2.2 SE2

Il transetto 2 presenta un tasso di sedimentazione medio sempre inferiore a  $5.5 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ , inferiore a quanto osservato in SE1 (Figura 48). Come nel transetto 1, la stazione 2.2 a ottobre presenta un picco del tasso di sedimentazione, pari a  $9.49 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A novembre si ha una tendenza decrescente all'aumentare della distanza dal margine della barena, anche se il tasso nella stazione 2.3 ( $3.73 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ ) è maggiore rispetto a quello registrato in posizione 2.2 ( $2.28 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ ).

Come già osservato al transetto 1, a dicembre e gennaio il materiale è stato poco e concentrato nella stazione 1.3, a 27.5 m dal margine della barena, con valori pari, rispettivamente per i due mesi, a  $1.99 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $2.28 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A marzo ed aprile non c'è stata sedimentazione

Il tasso organico è mediamente intorno al 20%, con un picco in corrispondenza della stazione 1.3 a gennaio (29.61%) e della stazione 1.2 a febbraio (30.41%) (Figura 49).

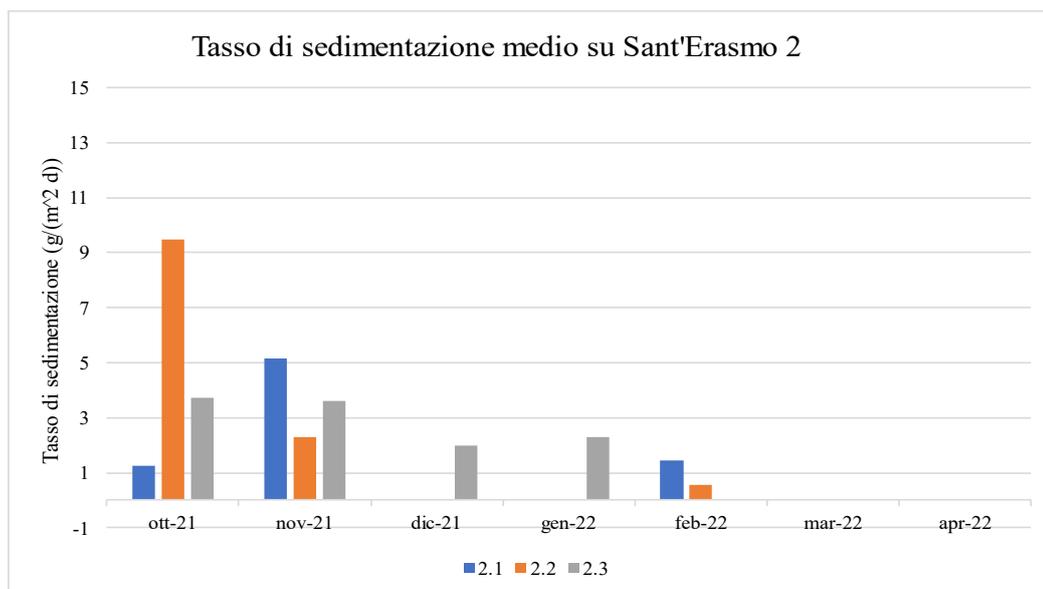


Figura 48: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Sant'Erasmus

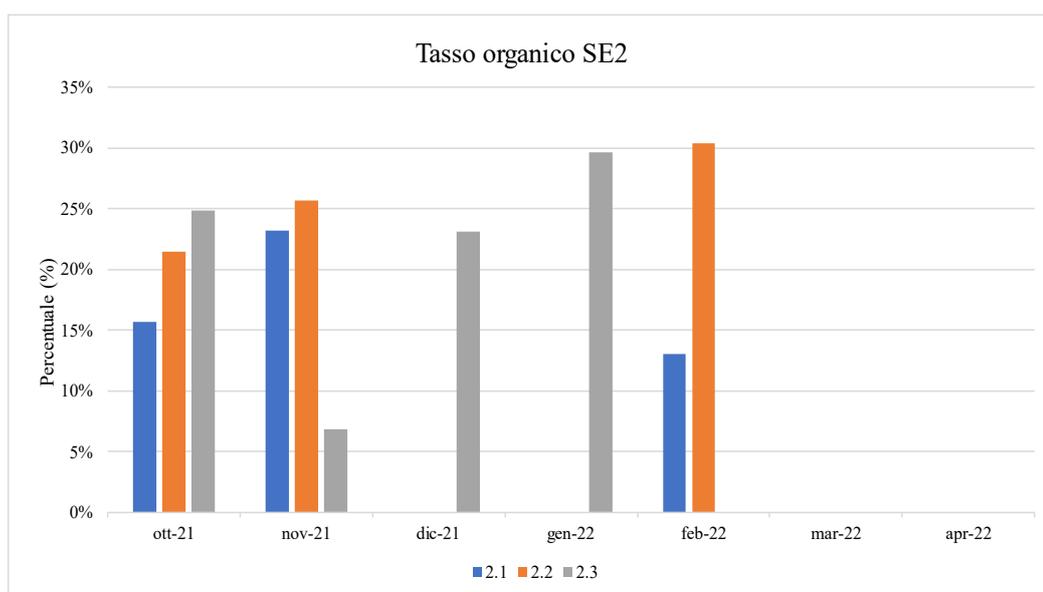


Figura 49: Tasso organico sull'area studio di Sant'Erasmus 2

### 3.1.3 Foce Dese

Si procede all'analisi dei risultati ottenuti sui transetti dell'area studio in prossimità di Foce Dese.

#### 3.1.3.1 FDI

Il transetto 1 presenta un tasso di sedimentazione medio giornaliero in generale inferiore a  $10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ , con tendenza decrescente al crescere della distanza dal

marginale della barena (Figura 50). Si osservi però un picco a ottobre, sulla stazione 1.1, pari a  $55.39 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ .

A febbraio e aprile il tasso è inferiore agli altri mesi, sulle stazioni 1.1, rispettivamente, a pari  $3.55 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  e  $2.54 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  e sulle stazioni 1.2, rispettivamente, pari a  $1.26 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  e  $2.13 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ . Anche qui, il tasso di sedimentazione decresce con la distanza dal margine della barena tranne che nel mese di dicembre, dove tale tendenza risulta invertita sulle stazioni 1.1 e 1.2.

A marzo non c'è stata sedimentazione.

Il contenuto organico percentuale invece è elevato, compreso tra il 15% e 20%, con valori anche qui simili nei mesi di ottobre e novembre: le stazioni presentano su entrambi i mesi in 1.1 circa un 12%, in 1.2 un 14% e in 1.3 un 23% (Figura 51).

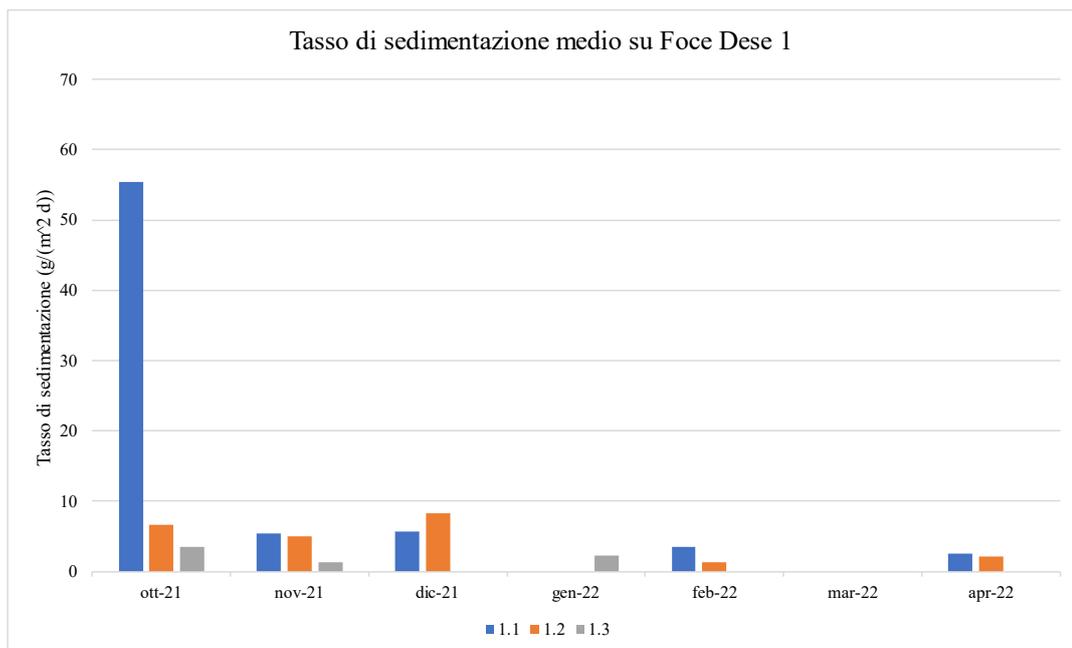


Figura 50: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Foce Dese 1

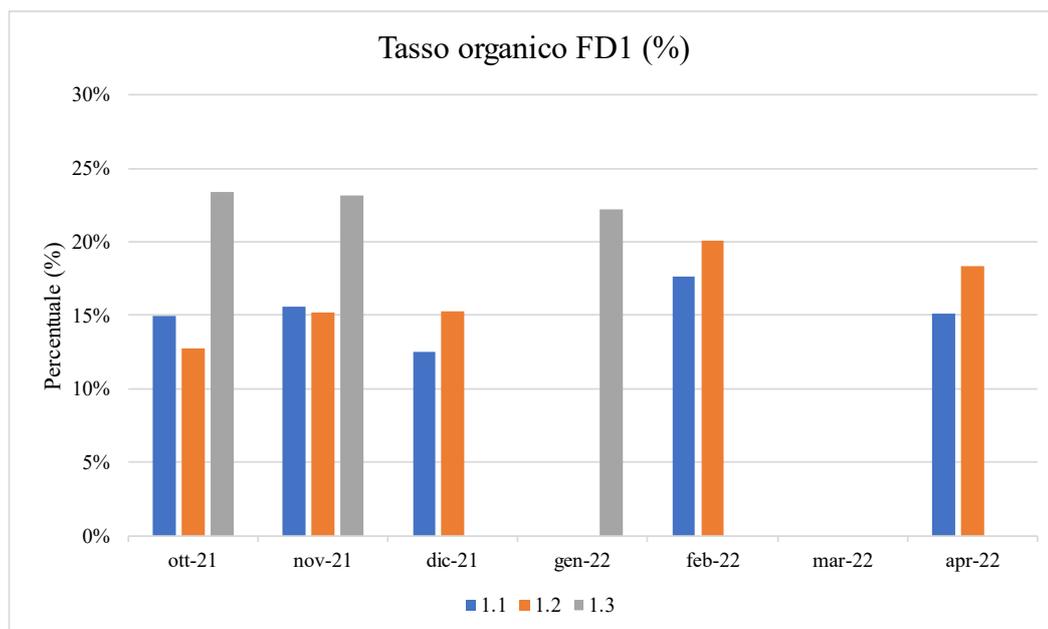


Figura 51: Tasso organico sull'area studio di Foce Dese 1

### 3.1.3.2 FD2

Il transetto 2, esposto a vento di Bora, presenta un tasso di sedimentazione medio inferiore a  $8 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ , tranne nei mesi di ottobre, novembre e gennaio: a ottobre e novembre sulla stazione 2.2, rispettivamente, si registrano valori pari a  $14.46 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $16.88 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ ; a novembre e gennaio invece sulle stazioni 2.1, rispettivamente, si registrano valori pari a  $11.71 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $14.15 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 52).

A marzo non c'è stata sedimentazione.

Ad aprile il tasso di sedimentazione medio sulla stazione 2.2 risulta essere maggiore rispetto ai valori registrati in corrispondenza delle stazioni più vicina e più lontana rispetto al margine della barena.

Il tasso organico tende a crescere con la distanza dal margine della barena e sulla stazione 2.3 è generalmente più basso, come nei mesi di novembre, dicembre e aprile (Figura 53). Inoltre, il tasso organico si attesta mediamente inferiore al 20%. Si registra un picco in corrispondenza della stazione 2.3 ad aprile, pari a 22.21%.

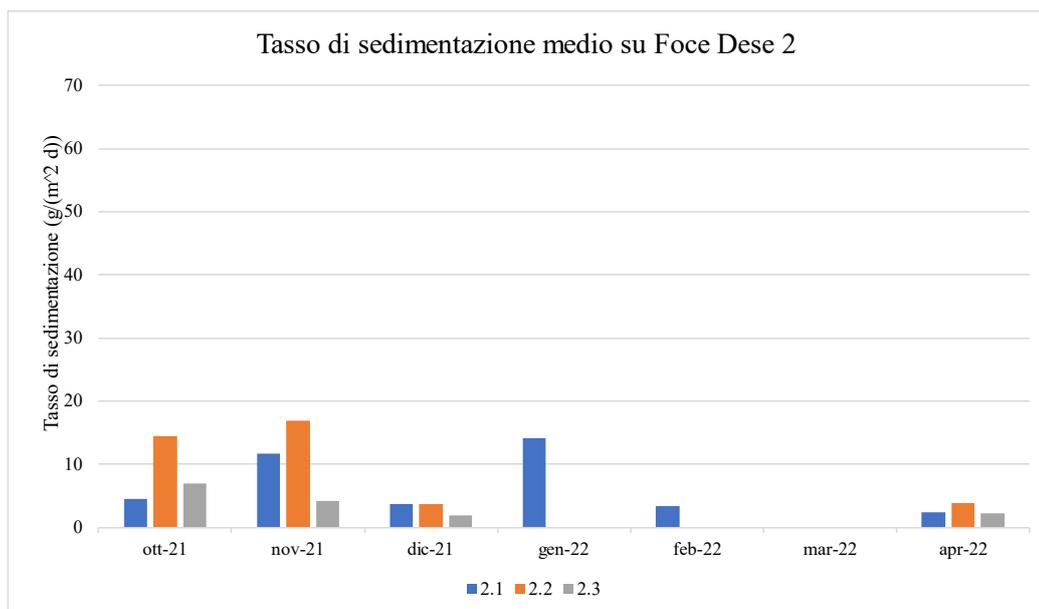


Figura 52: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Foce Dese 2

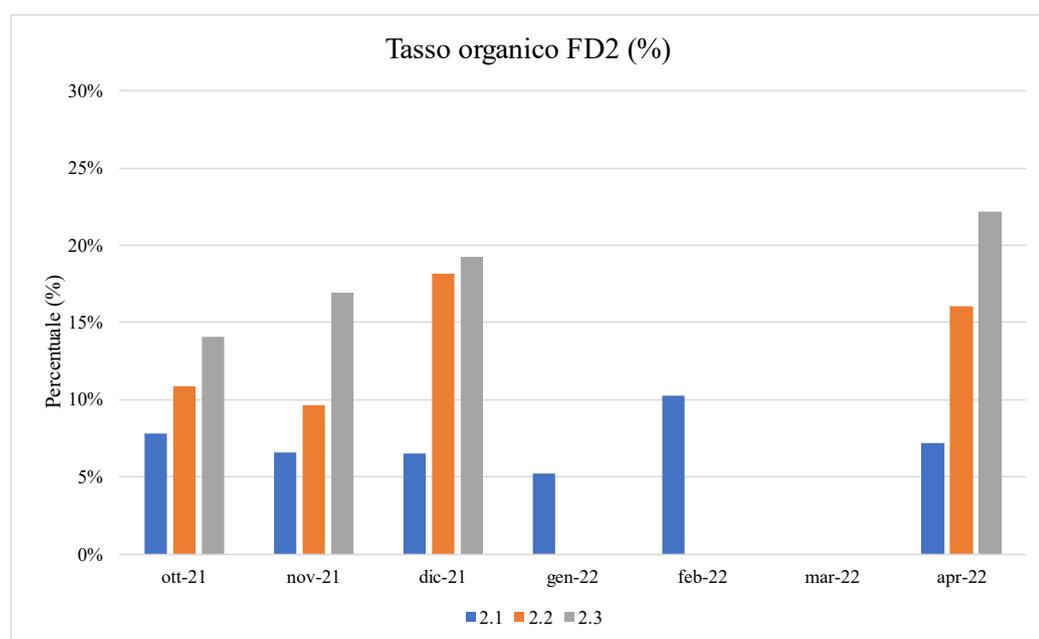


Figura 53: Tasso organico sull'area studio di Foce Dese 2

### 3.1.3.3 FD3

Il transetto 3, esposto invece a vento di Scirocco, presenta tassi di sedimentazione minori rispetto al transetto 2, mediamente inferiori a  $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  (Figura 54). A novembre si registrano invece dei valori più elevati rispetto a tutti gli altri periodi di osservazione: sulla stazione 3.1 pari a  $29.44 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ , sulla stazione 3.2 pari a  $57.87 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ , sulla stazione 3.3 pari a  $21.55 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ . Il tasso di sedimentazione

inoltre tende a decrescere con la distanza dal margine della barena per tutti i mesi, tranne che in novembre, dove il tasso sulla stazione 3.2 è maggiore di quello sulla stazione 3.3. Il tasso organico è compreso tra il 16% e 27%, ad eccezione del mese di novembre, che presenta una quantità di materiale compresa tra il 4% e 9% (Figura 55).

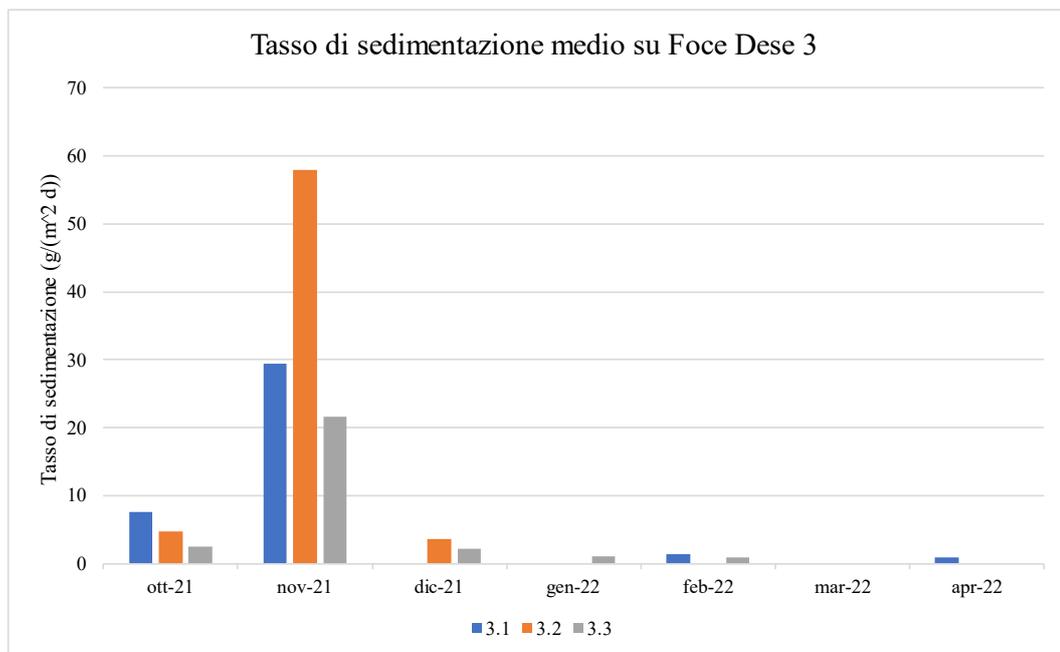


Figura 54: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Foce Dese 3

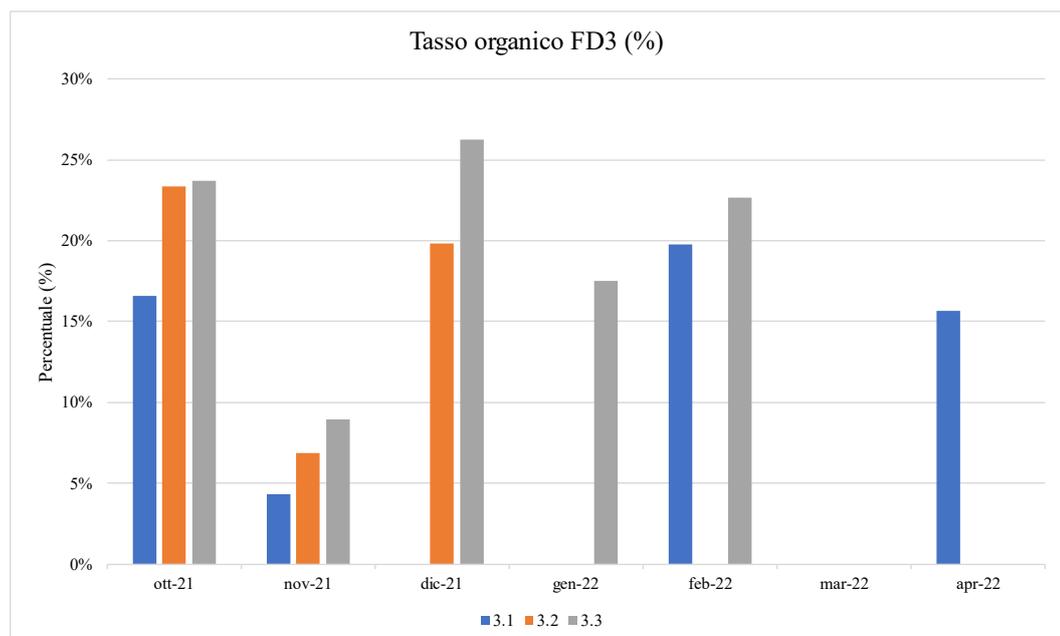


Figura 55: Tasso organico sull'area studio di Foce Dese 3

### 3.1.4 Conche

Si procede all'analisi dei risultati ottenuti sui transetti dell'area studio di Conche.

#### 3.1.4.1 COI

Il transetto 1 presenta un tasso di sedimentazione medio generalmente inferiore a  $15 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 56). Si registrano dei picchi nelle stazioni 1.2 dei mesi di ottobre, gennaio e aprile, rispettivamente pari a  $25.79 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ ,  $46.28 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $40.54 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A febbraio e marzo non c'è stata sedimentazione

Ad aprile la sedimentazione è avvenuta solo sulla stazione 1.2.

Il tasso organico è sempre compreso tra il 2% e 12%, tranne che per due picchi registrati alle stazioni 1.3 di novembre e 1.3 di dicembre, pari a, rispettivamente, il 24.22% e il 23.66% (Figura 57). Si osservi che inoltre il tasso organico cresce all'aumentare della distanza dal margine della barena: tale tendenza è osservabile nei mesi di ottobre, novembre e dicembre.

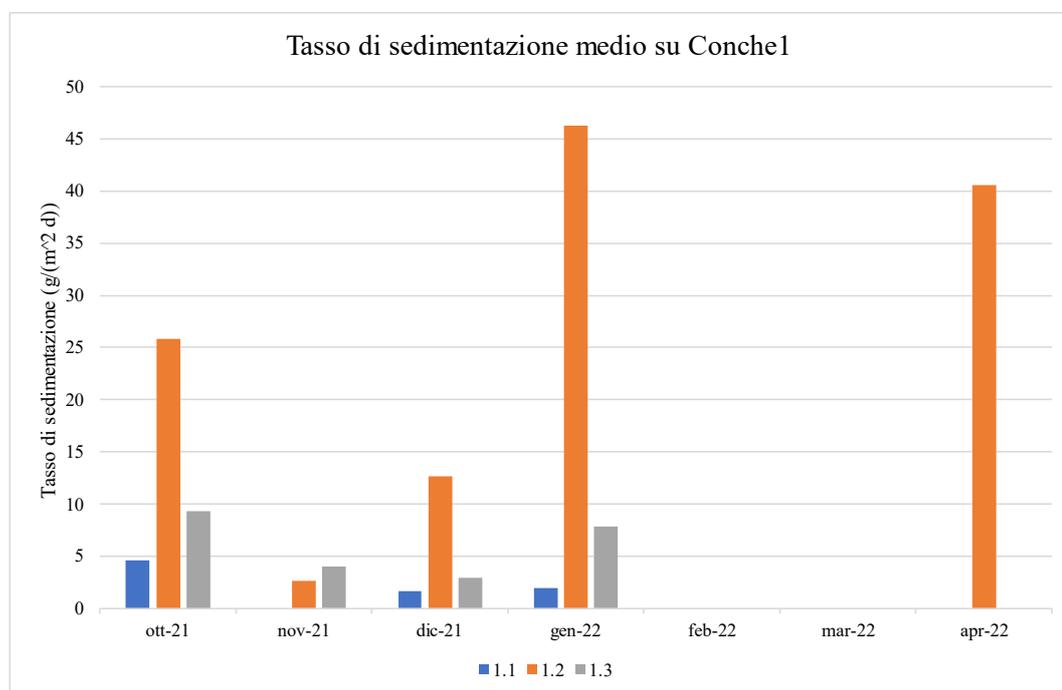


Figura 56: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Conche 1

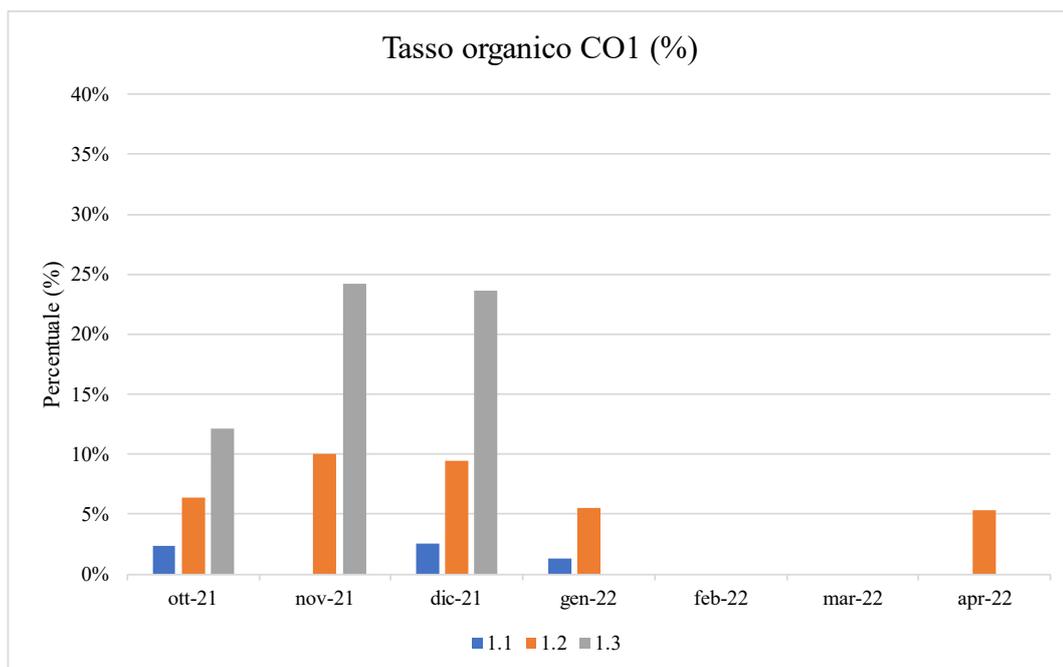


Figura 57: Tasso organico sull'area studio di Conche 1

#### 3.1.4.2 CO2

Il transetto 2, rispetto al transetto 1, presenta un tasso di sedimentazione medio minore, generalmente inferiore a  $15 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 58). Si registrano dei picchi in corrispondenza della stazione 2.2 dei mesi di ottobre, dicembre e gennaio, pari rispettivamente a  $27.43 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $23.17 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $24.28 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e della stazione 2.3 a ottobre, pari a  $25.19 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A febbraio e marzo non è stato possibile effettuare le analisi per mancanza di materiale nell'area studio.

Il tasso, inoltre, rispetto a quanto osservato sulle altre barene oggetto di studio, tende a crescere all'aumentare della distanza dal margine della barena.

In termini percentuali, la quantità di organico è compresa tra 1.5% e 15% e tende a crescere all'aumentare della distanza dal margine della barena, con picchi in corrispondenza delle stazioni 1.3 dei mesi di novembre e dicembre, pari al 22% (Figura 59).

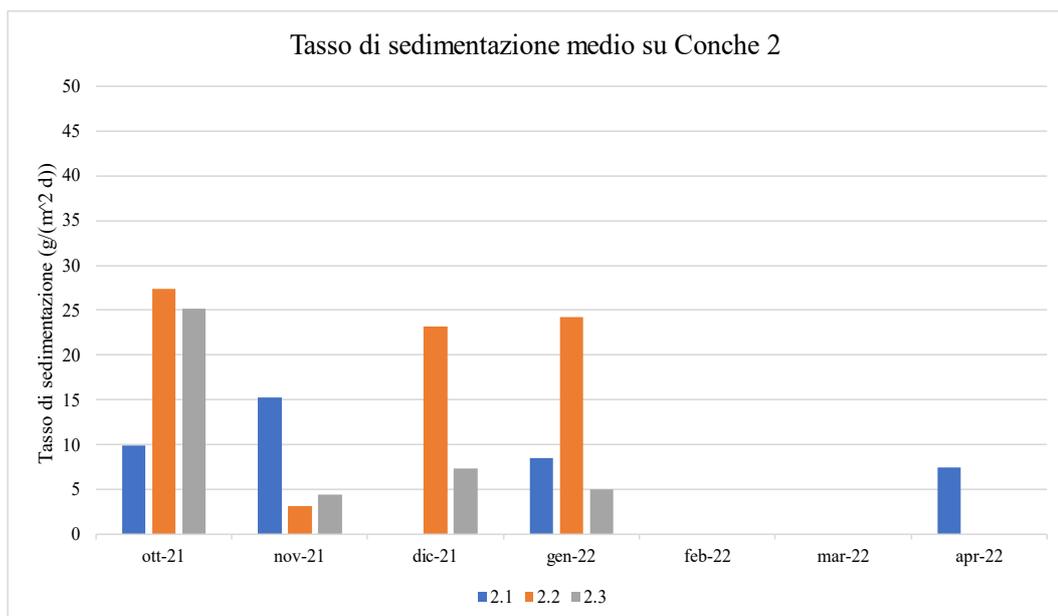


Figura 58: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Conche 2

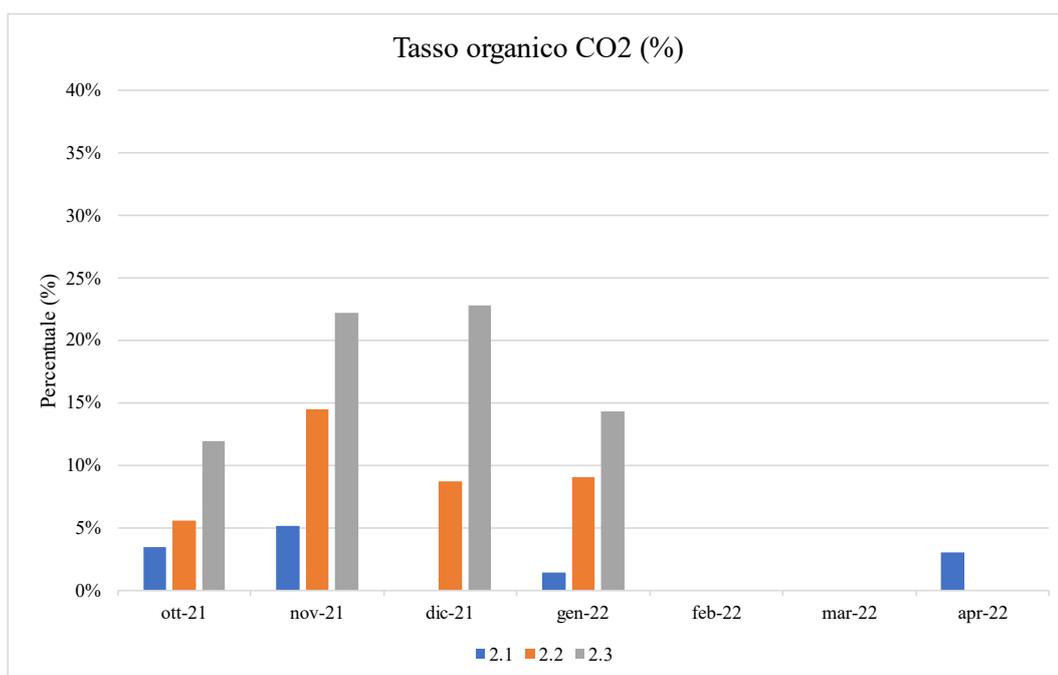


Figura 59: Tasso organico sull'area studio di Conche 2

### 3.1.4.3 CO3

Il transetto 3, rispetto a quanto visto precedentemente negli altri transetti e nelle altre aree studio, non presenta materiale di raccolta in corrispondenza del mese di novembre. Il tasso di sedimentazione medio è inferiore a  $20 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  e risulta

essere maggiore nelle stazioni 3.2 rispetto che alle stazioni 3.1 e 3.3 nei mesi di ottobre, dicembre e gennaio (Figura 60).

Il tasso organico è inferiore al 10% in quasi tutte le posizioni, ad eccezione di 3.3 in ottobre e dicembre, pari a 29.35% e 35.61% (Figura 61).

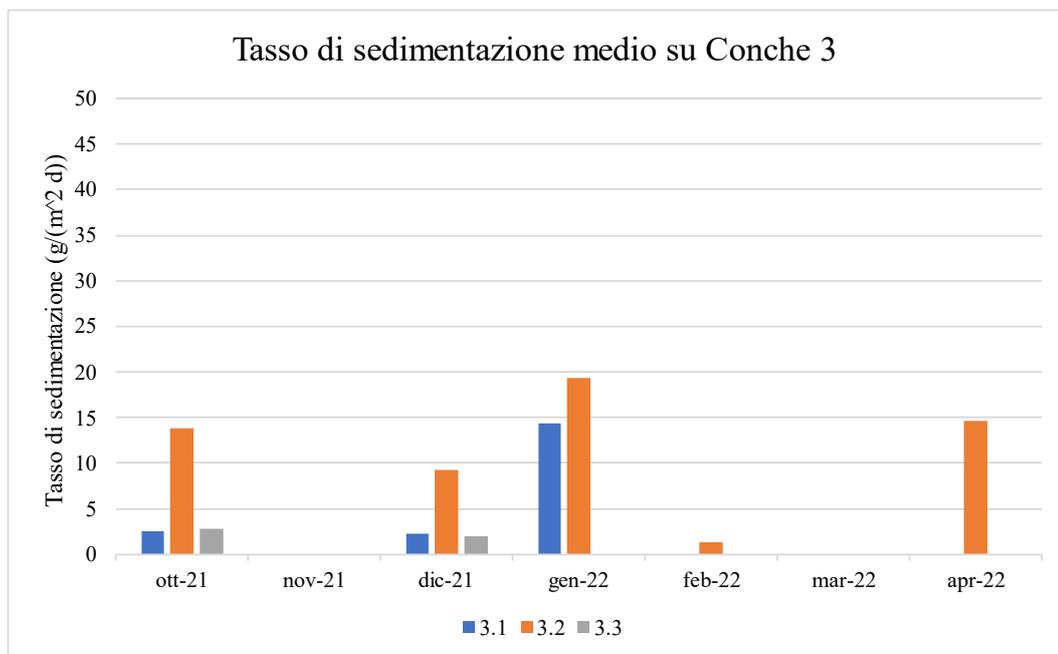


Figura 60: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di Conche 3

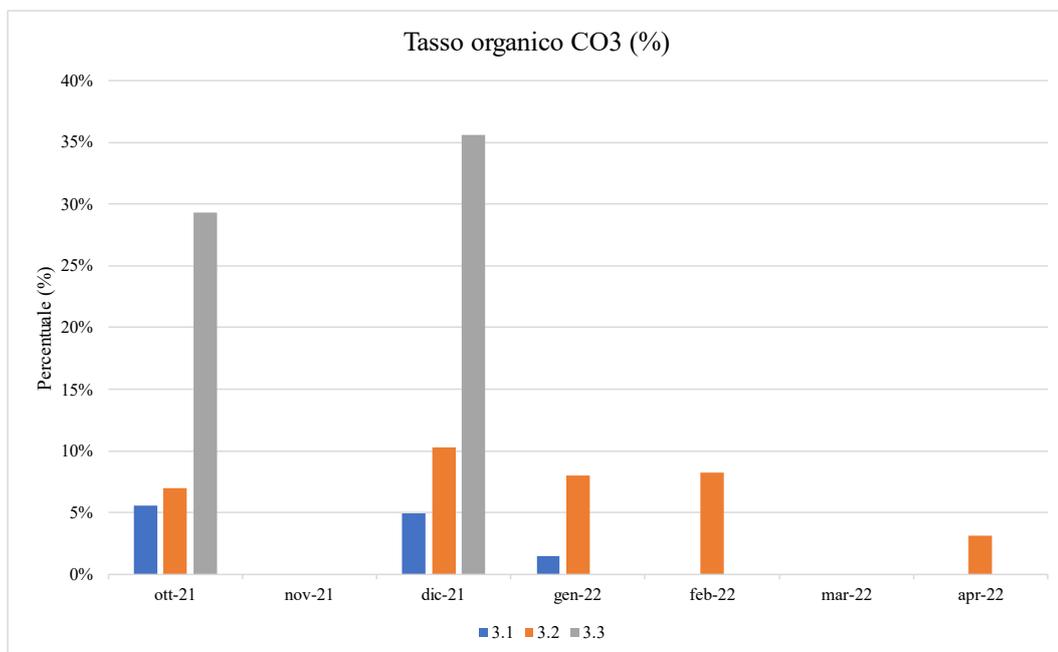


Figura 61: Tasso organico sull'area studio di Conche 3

#### 3.1.4.4 Partiacque

Il transetto partiacque di Conche presenta un tasso di sedimentazione medio inferiore o uguale a  $10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 62). Il valore più alto è registrato a gennaio a una distanza di 25 m dal margine del canale, pari a  $10.66 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

A dicembre si può osservare una tendenza decrescente all'aumentare della distanza dal margine del primo canale.

A marzo non c'è stata sedimentazione.

Il tasso organico è generalmente inferiore al 20%, ad eccezione di un picco a 20 m dal margine del canale nel mese di novembre e febbraio, pari a, rispettivamente, 21.19% e 21.92% (Figura 63).

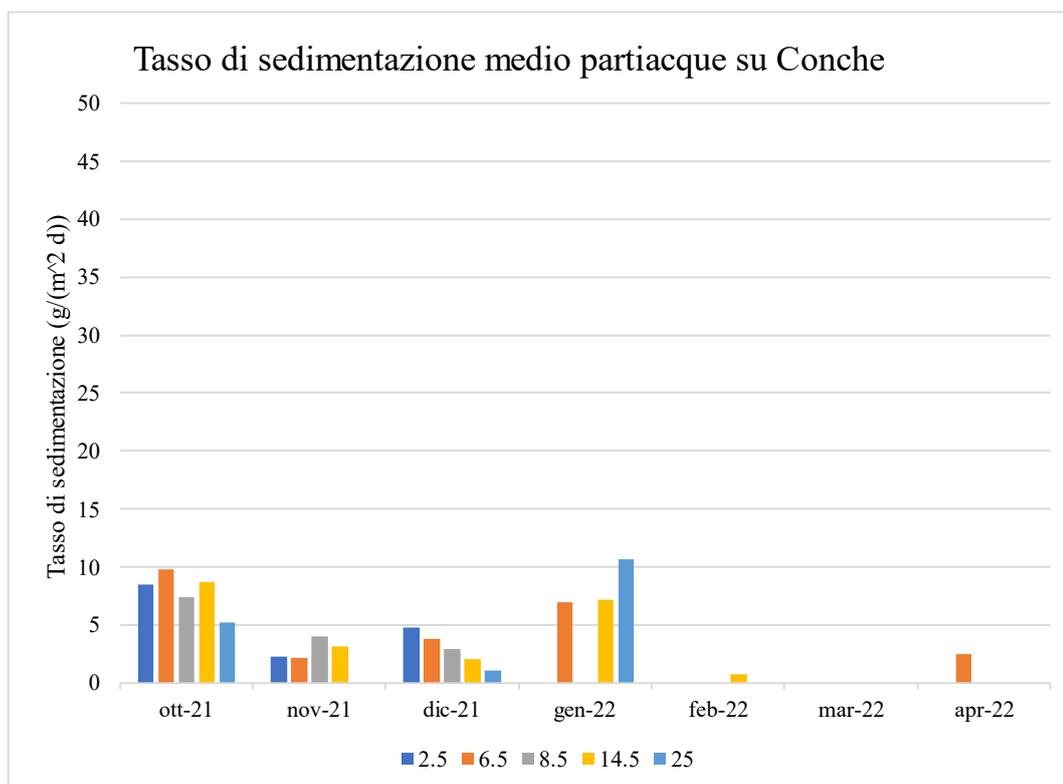


Figura 62: Tasso di sedimentazione medio giornaliero del partiacque sull'area studio di Conche

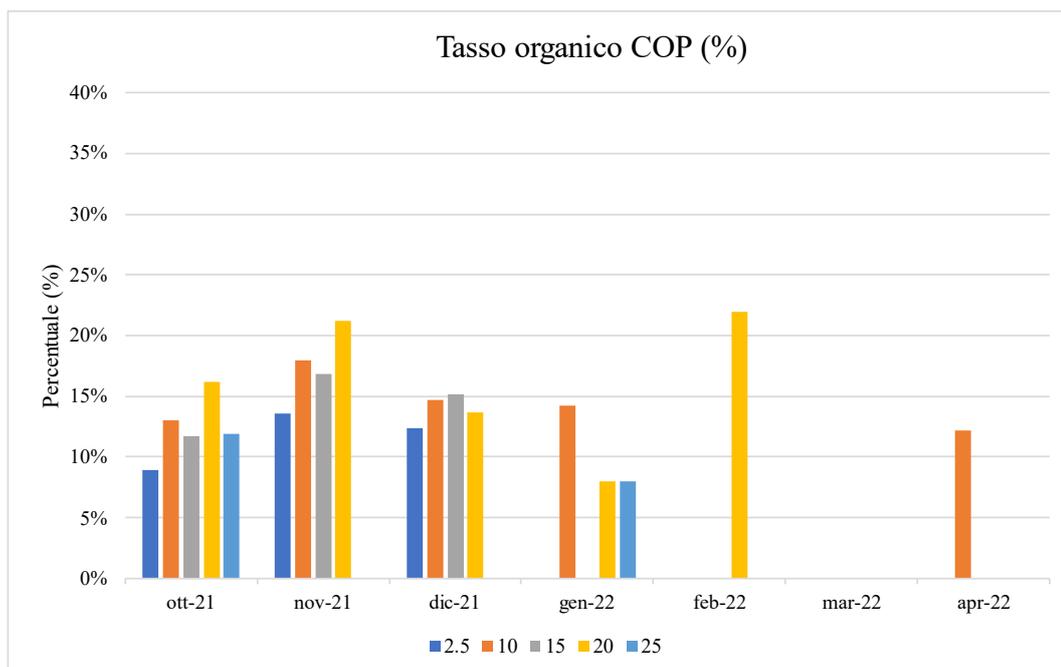


Figura 63: Tasso organico giornaliero sul partiacque dell'area studio di Conche

### 3.1.5 7 Morti

Il tasso di sedimentazione medio giornaliero è molto maggiore rispetto a quanto registrato sulle altre aree studio, raggiungendo i  $150 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  (Figura 64).

Nel mese di febbraio il tasso raggiunge un minimo, pari per le stazioni 1.1. e 1.3 a, rispettivamente,  $2.32 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  e  $3 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ .

Nei mesi di marzo e aprile invece non è stato raccolto materiale poiché non era presente.

Il tasso organico è invece modesto, generalmente inferiore al 2% (Figura 65). Nei mesi di ottobre, novembre, dicembre, gennaio e febbraio si può osservare una tendenza crescente all'aumentare della distanza dal margine della barena.

Si osservino due picchi in corrispondenza della stazione 1.3 nei mesi di ottobre (16.51%), dicembre (15.40%), gennaio (12.14%) e febbraio (6.76%).

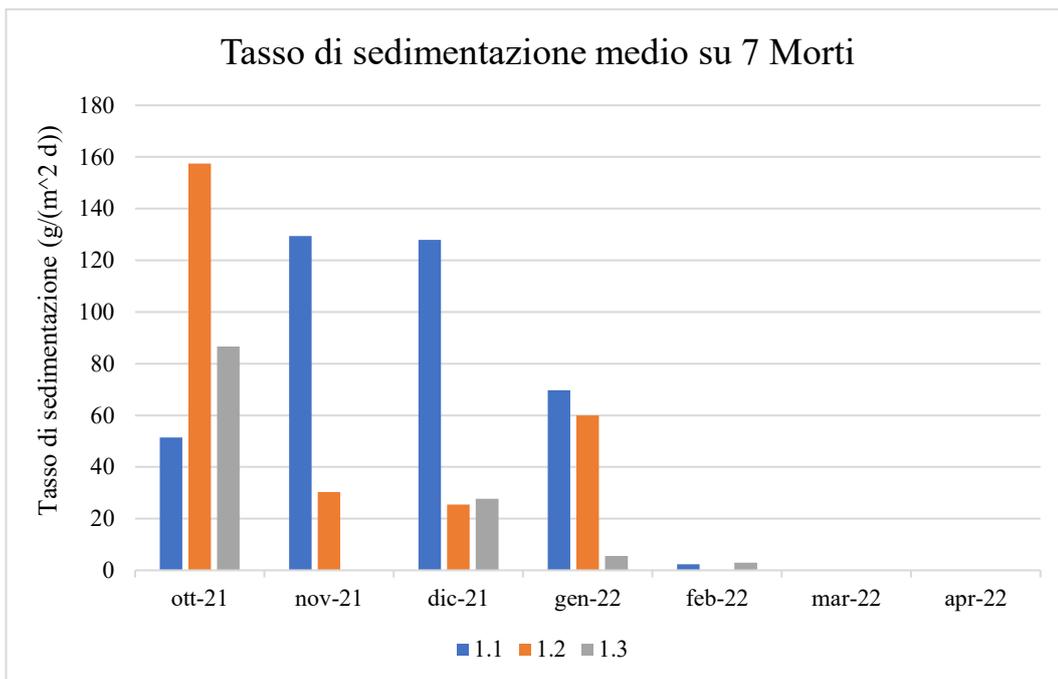


Figura 64: Tasso di sedimentazione medio giornaliero sull'area studio di 7 Morti

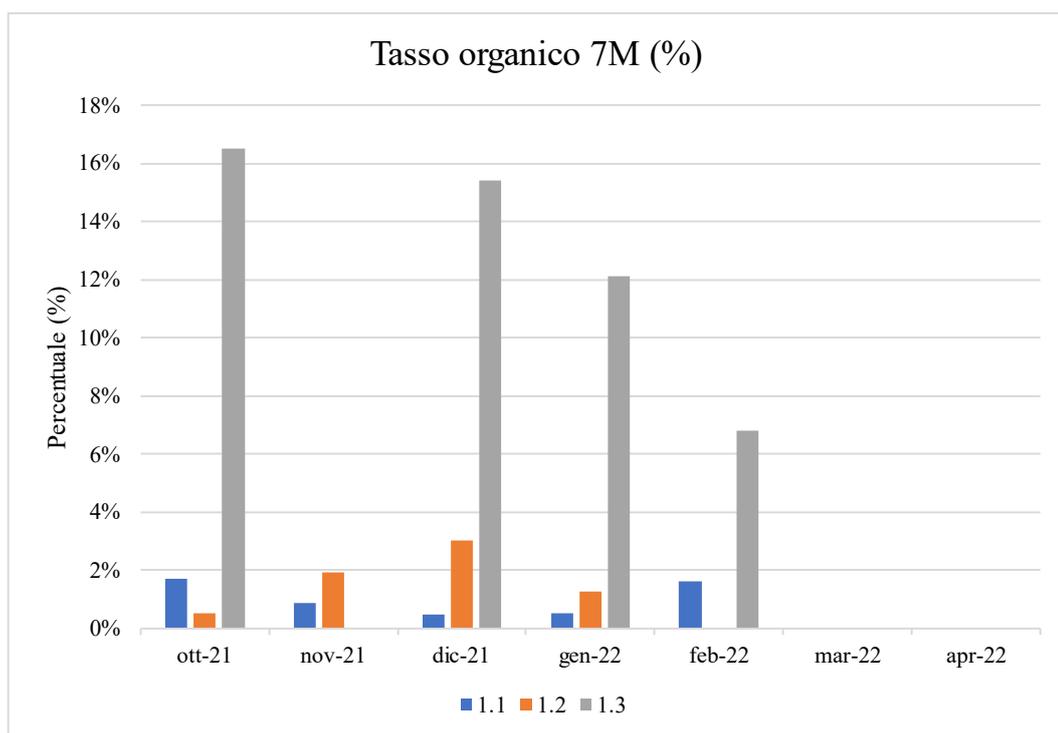


Figura 65: Tasso organico sull'area studio di 7 Morti

## 3.2 Tasso di sedimentazione media per area studio

Si procede a identificare il tasso medio di sedimentazione sulle aree studio analizzate.

### 3.2.1 San Felice

Per l'area studio di San Felice si procede ad effettuare la media delle stazioni poste a 2.5 m, 7.5 m e 27.5 m per i transetti SF 1, SF 2, SF 3, e SF 4, ottenendo così la media per ciascun periodo del tasso di sedimentazione giornaliero al metro quadro al variare della distanza dal margine della barena.

Si può osservare che il tasso medio di sedimentazione è maggiore in corrispondenza del mese di ottobre, mentre diminuisce nei mesi di novembre e dicembre (Figura 66). Prima dell'attivazione del sistema Mo.S.E., come verrà mostrato in seguito, il tasso di sedimentazione risultava essere maggiore nei mesi di novembre e dicembre, in corrispondenza dei picchi di alta marea.

Il tasso di sedimentazione inoltre tende a decrescere all'aumentare della distanza dal margine della barena nel mese di ottobre.

Nei mesi di novembre e dicembre, invece, il tasso a 7.5 m risulta essere minore rispetto a quello registrato a 27.5 m. A gennaio e febbraio si attestano valori di sedimentazione minori, come già osservato analizzando i singoli transetti.

Confrontando i livelli registrati dalla stazione di Treporti con il tasso medio di sedimentazione, ottenuto mediando i valori precedentemente ottenuti, si osserva che il tasso medio di sedimentazione è massimo in corrispondenza del mese di ottobre (sistema Mo.S.E. non attivo), per poi diminuire nei mesi seguenti (Figura 67).

In particolare, nei mesi di gennaio e febbraio, in concomitanza con la registrazione di una bassa marea (il livello medio è infatti, rispettivamente, pari a -0.07 m s.l.m.m e -0.11 m s.l.m.m.), si è registrato un tasso medio di sedimentazione inferiore a  $2 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

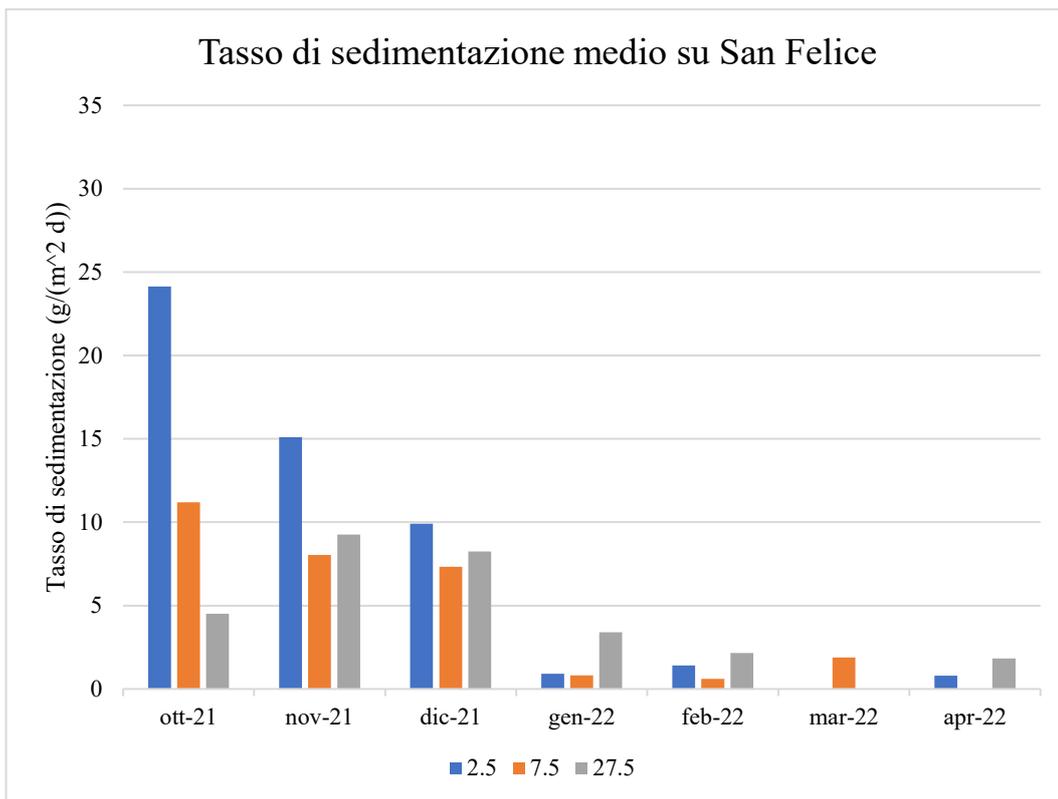


Figura 66: Tasso medio di sedimentazione su San Felice

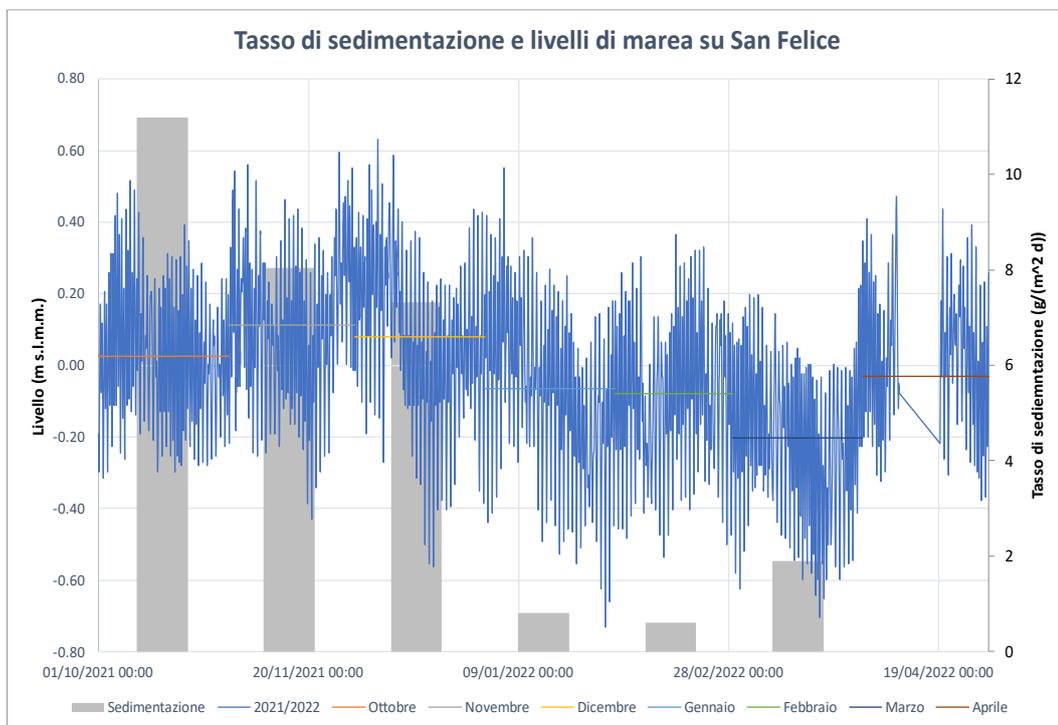


Figura 67: Confronto livelli di marea con tasso di sedimentazione sull'area studio di San Felice

### 3.2.2 Sant'Erasmus

Si procede in modo analogo a quanto visto nel paragrafo precedente, §3.2.1, mediando tra di loro i tassi di sedimentazione dei transetti SE1 e SE2.

Il tasso medio di sedimentazione presenta valori notevolmente più bassi rispetto a quanto misurato sull'area studio di San Felice: il tasso, infatti, non eccede mai i  $15 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  (Figura 68). A ottobre e novembre la sedimentazione risulta essere maggiore rispetto agli altri mesi, per poi diminuire gradualmente fino a febbraio.

Noti i tassi medi di sedimentazione per transetto e procedendo a mediarli per ottenere il tasso medio per l'intera area studio, si procede al confronto di quest'ultimi con i livelli di marea registrati dalla stazione metereologica di Sant'Erasmus (Figura 69). Il tasso medio di sedimentazione tende a essere maggiore ad ottobre rispetto agli altri mesi, come già osservato sull'area studio di San Felice. Anche qui, nel mese di gennaio e febbraio sono registrati dei valori di tasso minori in corrispondenza di basse maree eccezionali, pari a, rispettivamente (livello medio mensile s.l.m.m) a  $-0.064 \text{ m}$  e  $-0.095 \text{ m}$ .

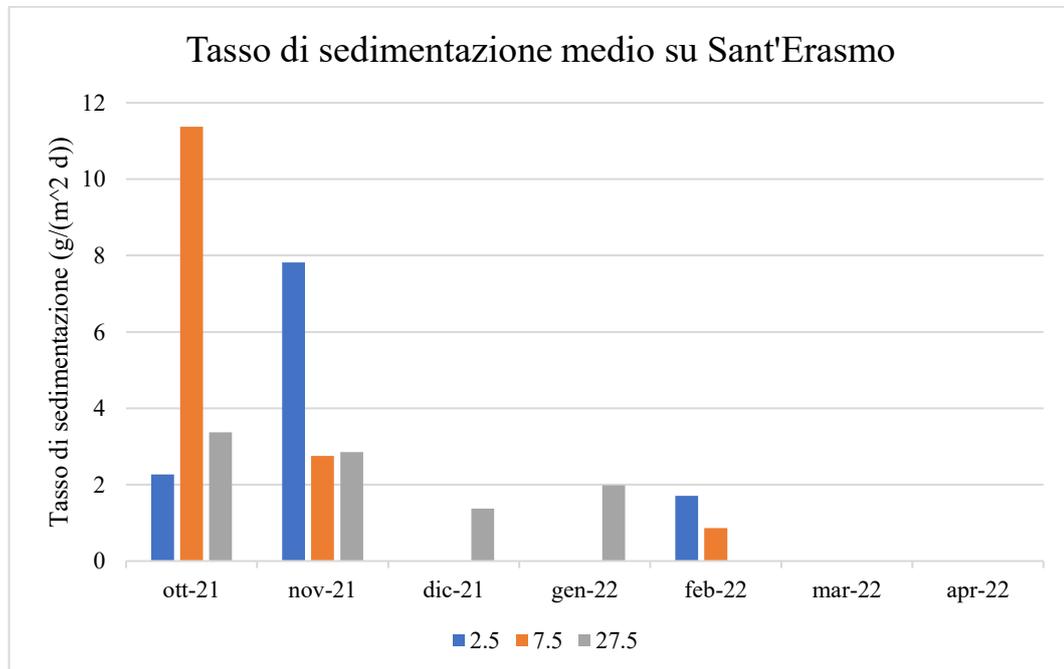


Figura 68: Tasso medio di sedimentazione sull'area studio di Sant'Erasmus

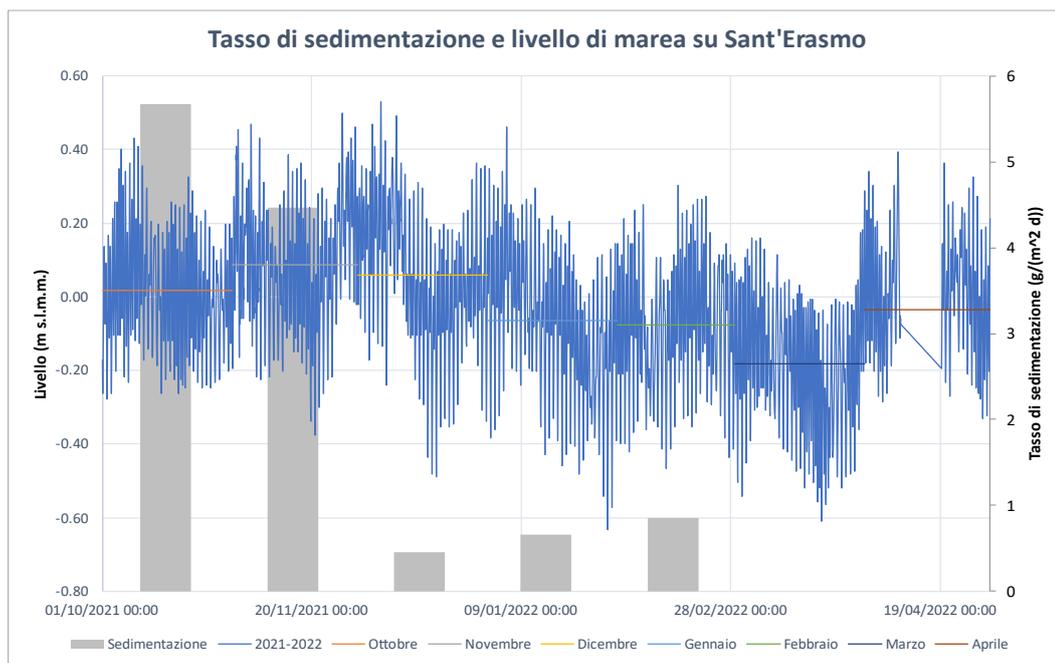


Figura 69: Confronto livelli di marea con tasso di sedimentazione sull'area studio di Sant'Erasmo

### 3.2.3 Foce Dese

Si procede in modo analogo a quanto visto in precedenza, mediando tra di loro i tassi di sedimentazione dei transetti FD1, FD2 e FD3.

Il tasso medio di sedimentazione presenta una tendenza decrescente all'aumentare della distanza dal margine della barena: presenta valori generalmente inferiori a  $20 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ , ad eccezione di due picchi: uno nel mese di ottobre a 2.5 m dal margine della barena, pari a  $22.49 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ , e uno nel mese di novembre a 7.5 m dal margine della barena, pari a  $26.57 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  (Figura 70).

Noti i tassi medi di sedimentazione per transetto e procedendo a mediarli per ottenere il tasso medio per l'intera area studio, si procede al confronto di quest'ultimi con i livelli di marea registrati dalla stazione meteorologica di Sant'Erasmo (Figura 71). Rispetto alle aree studio precedentemente analizzate, si osserva che il tasso medio di sedimentazione in novembre presenta valori maggiori rispetto agli altri mesi, pari a  $17.04 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$ , in concomitanza con un livello medio di marea, pari a 0.087 m s.l.m.m, superiore a quanto registrato negli altri mesi del

periodo di interesse. Da dicembre a febbraio si osservi una tendenza decrescente del tasso, dovuta ad un abbassamento del livello medio della marea.

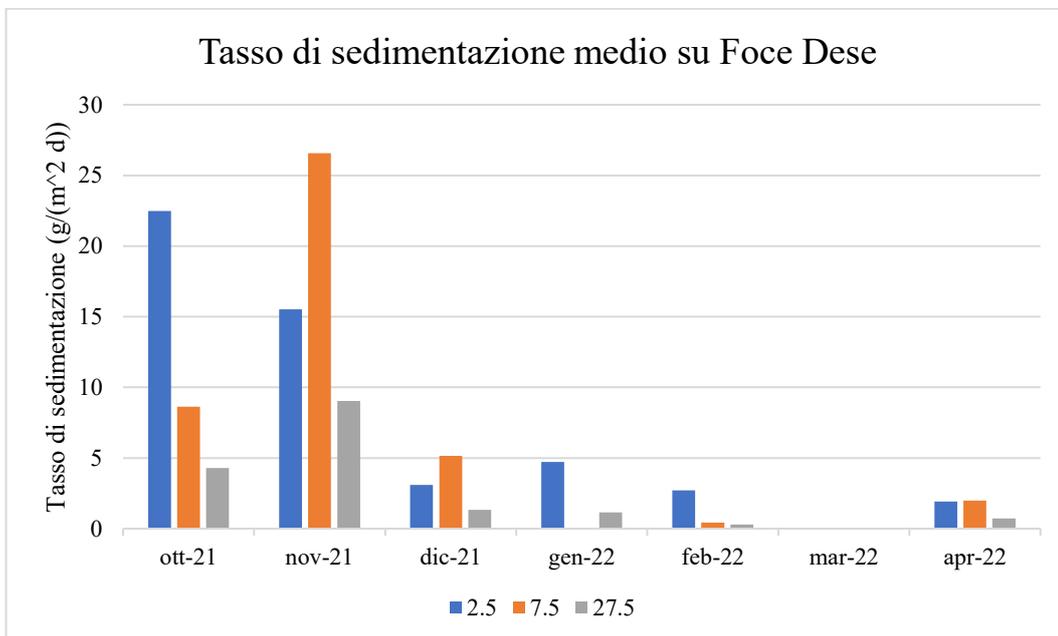


Figura 70: Tasso medio di sedimentazione sull'area studio di Foce Dese

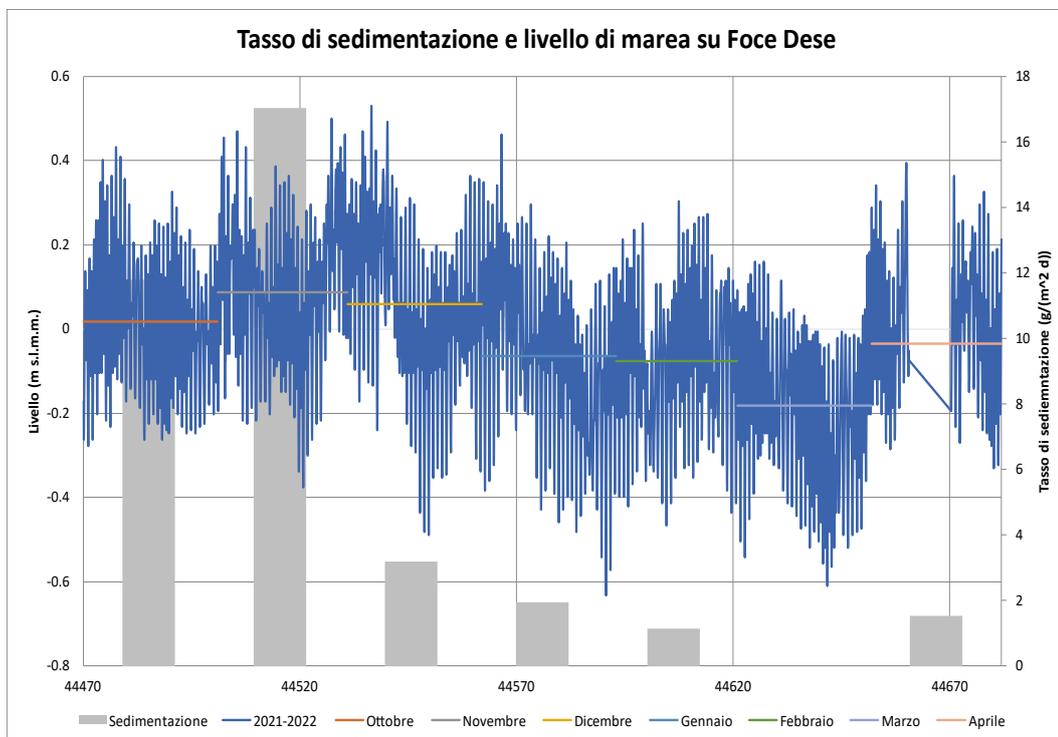


Figura 71: Confronto livelli di marea con tasso di sedimentazione sull'area studio di Foce Dese

### 3.2.4 Conche

Si procede in modo analogo a quanto visto in precedenza, mediando tra di loro i tassi di sedimentazione medi dei transetti CO1, CO2 e CO3.

Il tasso medio di sedimentazione presenta valori inferiori a  $20 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ , ad eccezione di due picchi, posti a 7.5 m dal margine della barena, in corrispondenza dei mesi di ottobre e gennaio, pari rispettivamente a  $22.33 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  e  $29.96 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 72).

Il tasso tende a decrescere nel mese di novembre, per poi crescere gradualmente nei mesi di dicembre e gennaio. A febbraio si registra un valore minimo a 7.5 m dal margine della barena, pari a  $0.43 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ .

Noti i tassi medi di sedimentazione per transetto e procedendo a mediarli per ottenere il tasso medio per l'intera area studio, si procede al confronto di quest'ultimi con i livelli di marea registrati dalla stazione meteorologica di Petta di Bò (Figura 73). Nonostante a novembre si sia registrato un livello medio di marea s.l.m.m più elevato (+0.177 m) rispetto agli altri mesi del periodo di interesse, il tasso medio di sedimentazione risulta essere molto minore rispetto ai mesi di ottobre, dicembre e gennaio, caratterizzati da un livello medio di marea inferiore.

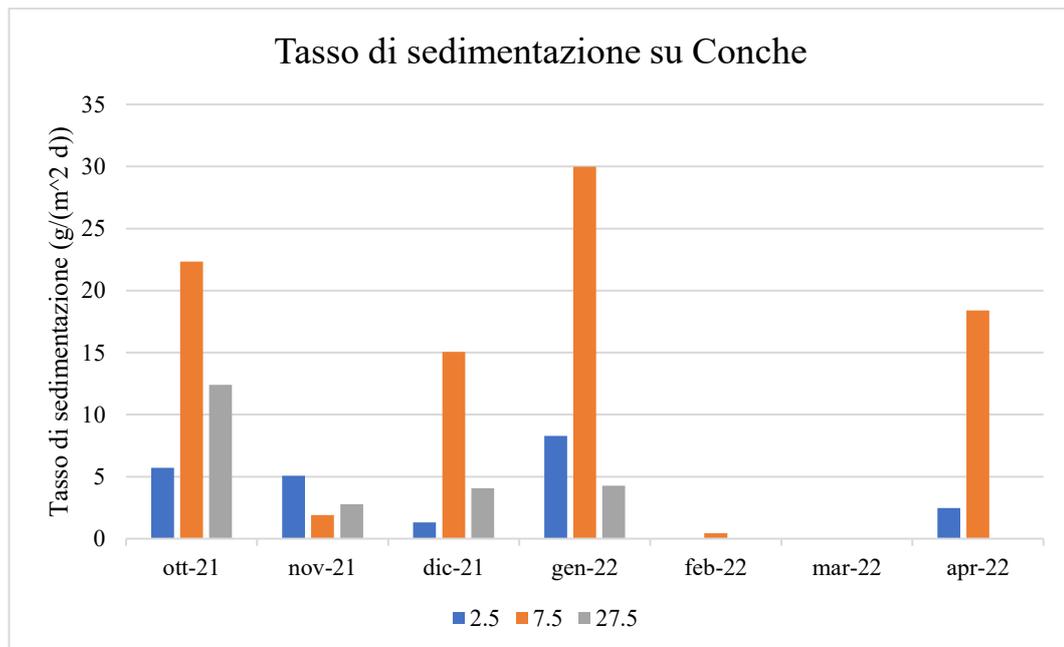


Figura 72: Tasso medio di sedimentazione sull'area studio di Conche

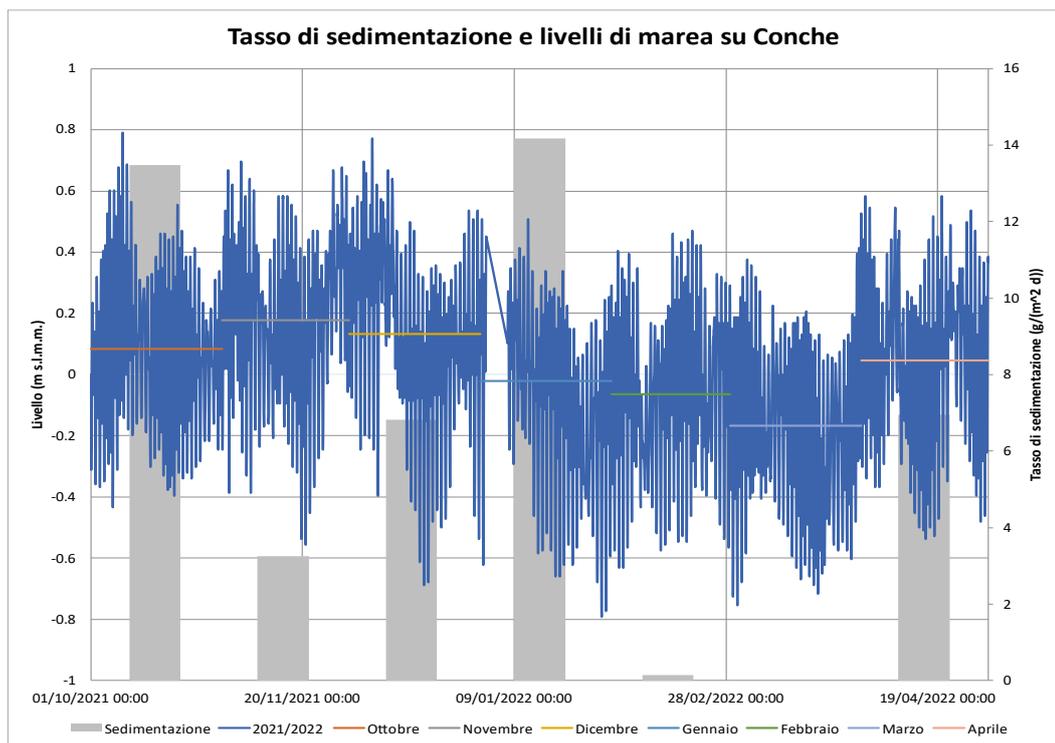


Figura 73: Confronto livelli di marea con tasso di sedimentazione sull'area studio di Conche

### 3.3 Relazione tra sedimentazione e idroperiodo

Si procede ora all'analisi dei dati raccolti cercando una relazione tra il tasso di sedimentazione medio precedentemente calcolato e l'idroperiodo. L'idroperiodo è definito come il tempo medio in ore al giorno di sommersione della barena e viene determinato utilizzando la seguente formula:

$$IDR = \frac{n * \Delta T_{misurazione}}{\Delta T_{raccolta}}$$

Dove n è il numero di volte per la quale la stazione sulla barena viene sommersa (si fa riferimento al livello di marea registrato dalle stazioni mareografiche di Treporti, Sant'Erasmo e Petta di Bò),  $\Delta T_{misurazione}$  è l'intervallo temporale tra le misurazioni (sono effettuate ogni 30 minuti) e  $\Delta T_{raccolta}$  è l'intervallo temporale in giorni che intercorre tra una raccolta e l'altra.

Definito l'idroperiodo quindi, è possibile procedere alla ricerca di tale relazione graficando i dati, identificando due possibili linee di tendenza che interpolano i dati delle aree studio.

Si applica quindi una regressione di tipo esponenziale, definita:

$$SED = a * e^{b*IDR}$$

dove SED è il tasso e sedimentazione, a e b sono coefficienti della funzione, e una regressione lineare, definita:

$$SED = l_1 * IDR + l_2$$

dove  $l_1$  e  $l_2$  sono coefficienti della funzione.

La bontà di adattamento delle curve è stata valutata per mezzo dell'indice  $R^2$ , definito come la somma degli scostamenti quadrati dei dati di origine dalla media, che valuta di quanto le singole osservazioni si discostino dalla curva di regressione. Tale indice, compreso tra 0 e 1, è tanto maggiore quanto è maggiore la capacità predittiva delle curve utilizzate.

Le analisi sono state effettuate considerando anche i dati relativi ai periodi analoghi (ottobre-aprile) dei due anni di raccolta precedenti, ovvero i dati raccolti nel 2019/2020 tra il 19/09/2019 e 14/05/2020 e nel 2020/2021 tra il 18/09/2020 e 13/04/2021, distinguendo i periodi dove il sistema Mo.S.E. è stato attivato e durante i quali non lo è stato. Sono state plottate quindi due linee di tendenza (esponenziale e lineare) in funzione a due serie di dati: una relativa ai dati con sistema Mo.S.E. non attivo e una comprendente tutti i dati, ovvero sia i dati con Mo.S.E. attivo che non attivo (verrà indicata come relazione totale).

### 3.3.1 San Felice

#### 3.3.1.1 SFI

Sulle tre stazioni le funzioni di tipo esponenziale mostrano un tasso di accrescimento della sedimentazione in correlazione all'idroperiodo inizialmente lento, che poi subisce un rapido incremento tanto più la stazione è vicina al margine della barena (Figura 74, Figura 75, Figura 76). Tale accrescimento, inoltre, risulta essere molto veloce per la serie di dati con il sistema Mo.S.E. non attivo, mentre risulta esserci un incremento più lento se si considera la relazione totale. Anche le funzioni lineari mostrano pendenza maggiore più le stazioni sono vicine al margine

e se il sistema Mo.S.E. non è attivo, pendenza minore se invece si considera la relazione totale.

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto SF1:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
1.1	Relazione totale	7.280	0.418	17.430	3.320	0.43	<b>0.52</b>
	Mo.S.E. non attivo	5.444	0.521	27.729	-9.329	0.54	<b>0.73</b>
1.2	Relazione totale	6.218	0.310	11.002	-4.059	0.56	<b>0.59</b>
	Mo.S.E. non attivo	5.397	0.4109	16.967	-9.231	0.83	<b>0.85</b>
1.3	Relazione totale	4.570	0.1968	5.1899	-6.190	<b>0.64</b>	0.62
	Mo.S.E. non attivo	4.694	0.249	7.083	-7.913	<b>0.84</b>	0.77

Le funzioni che meglio interpolano le due serie di dati delle stazioni 1.1 e 1.2 sono funzioni di tipo lineare, con valori di  $R^2$  leggermente maggiori rispetto a quelli ottenuti per le funzioni esponenziali nella medesima stazione. Per la stazione 1.3 invece la funzione che meglio approssima i dati raccolti è quella esponenziale, con un valore di  $R^2$  pari a 0.84 per la serie di dati con sistema Mo.S.E. non attivo e pari a 0.64 per la relazione totale.

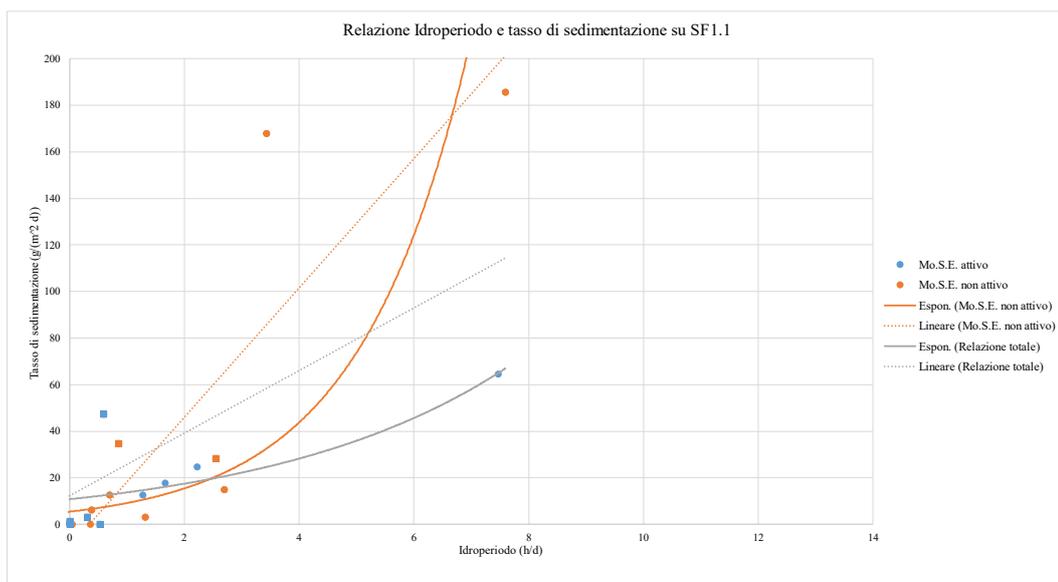


Figura 74: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF1.1

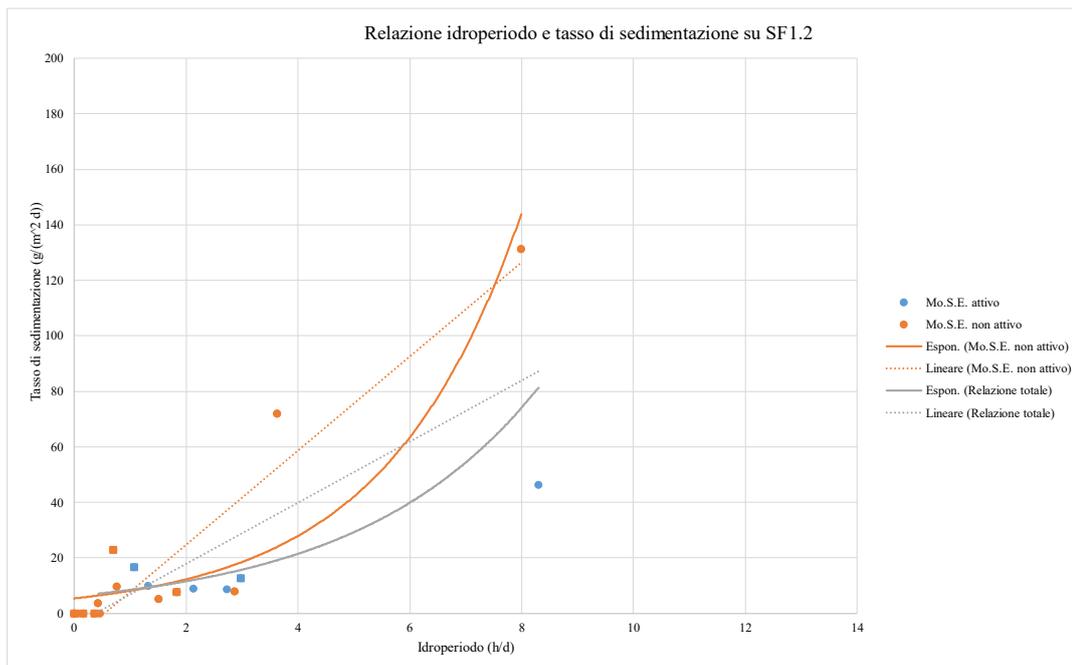


Figura 75: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF1.2

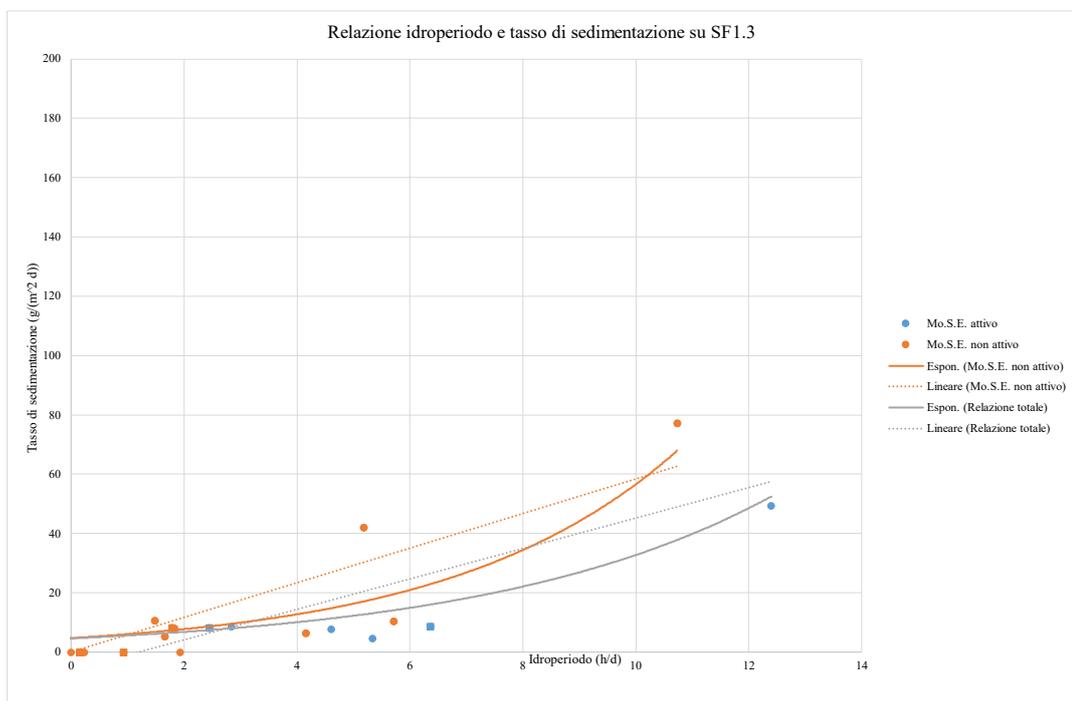


Figura 76: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF1.3

### 3.3.1.2 SF2

Si analizzano ora i risultati ottenuti in corrispondenza dell'area studio di San Felice sul transetto 2.

Analogamente a quanto visto sul transetto 1, le funzioni di tipo esponenziale mostrano un tasso di accrescimento della sedimentazione in correlazione all'idroperiodo inizialmente lento, che subisce poi un incremento al crescere dell'idroperiodo e della vicinanza al margine della barena: tale accrescimento risulta essere molto rapido per la serie di dati con il sistema Mo.S.E. non attivo, mentre risulta esserci un incremento più lento per la relazione totale (Figura 77, Figura 78, Figura 79). Anche le funzioni lineari mostrano pendenza crescente maggiore è la vicinanza al margine della barena e se il sistema Mo.S.E. non è attivo, pendenza minore se invece si considera la relazione totale.

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto SF2:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
2.1	Relazione totale	6.860	0.394	9.131	21.865	0.02	<b>0.06</b>
	Mo.S.E. non attivo	7.509	0.363	8.210	35.172	0.01	<b>0.04</b>
2.2	Relazione totale	2.716	0.455	12.032	-10.707	<b>0.65</b>	0.59
	Mo.S.E. non attivo	2.403	0.557	18.290	-12.560	<b>0.98</b>	0.88
2.3	Relazione totale	1.059	0.364	5.941	-11.670	<b>0.98</b>	0.78
	Mo.S.E. non attivo	1.119	0.386	5.900	-12.889	<b>0.99</b>	0.85

Si osservi che sulla stazione 2.1 entrambe le funzioni presentano una bontà di adattamento pessima:  $R^2$  è infatti inferiore a 0.1.

Sulle stazioni 2.2 e 2.3 le funzioni che meglio interpolano i dati sono quelle esponenziali, con valori di  $R^2$  superiori 0.98, ad eccezione della funzione interpolante la relazione totale sulla stazione 2.2, che presenta una bontà buona ma minore ( $R^2$  è pari a 0.65) rispetto all'altra serie di dati e all'altra stazione.

Le funzioni sia esponenziale che lineare sulla stazione 2.3 tendono a sovrapporsi (i coefficienti di funzione differiscono in minima quantità).

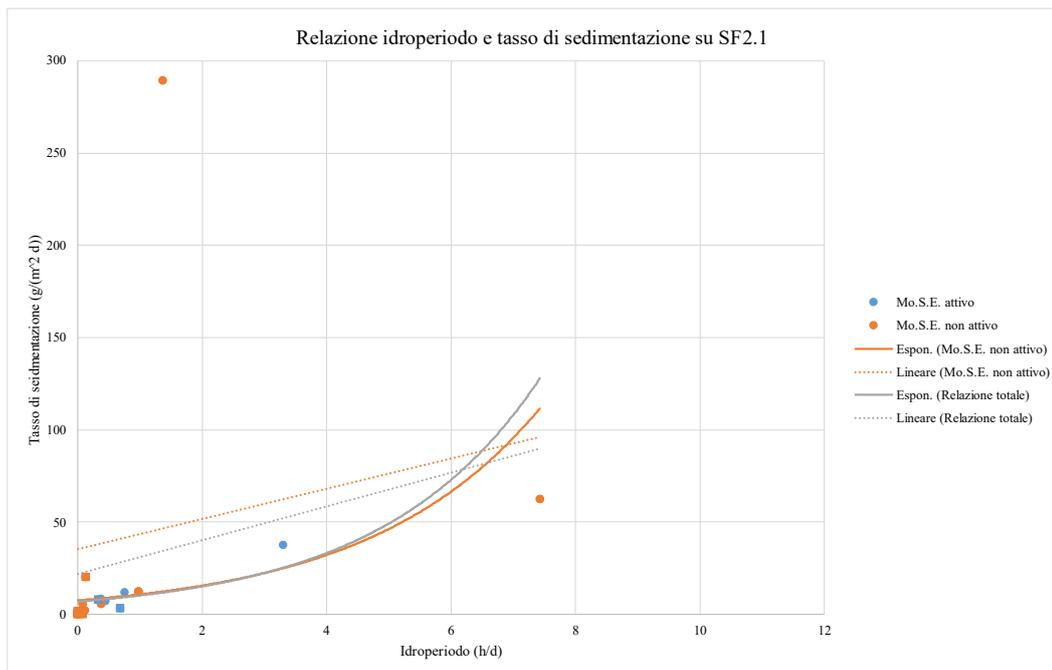


Figura 77: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF2.1

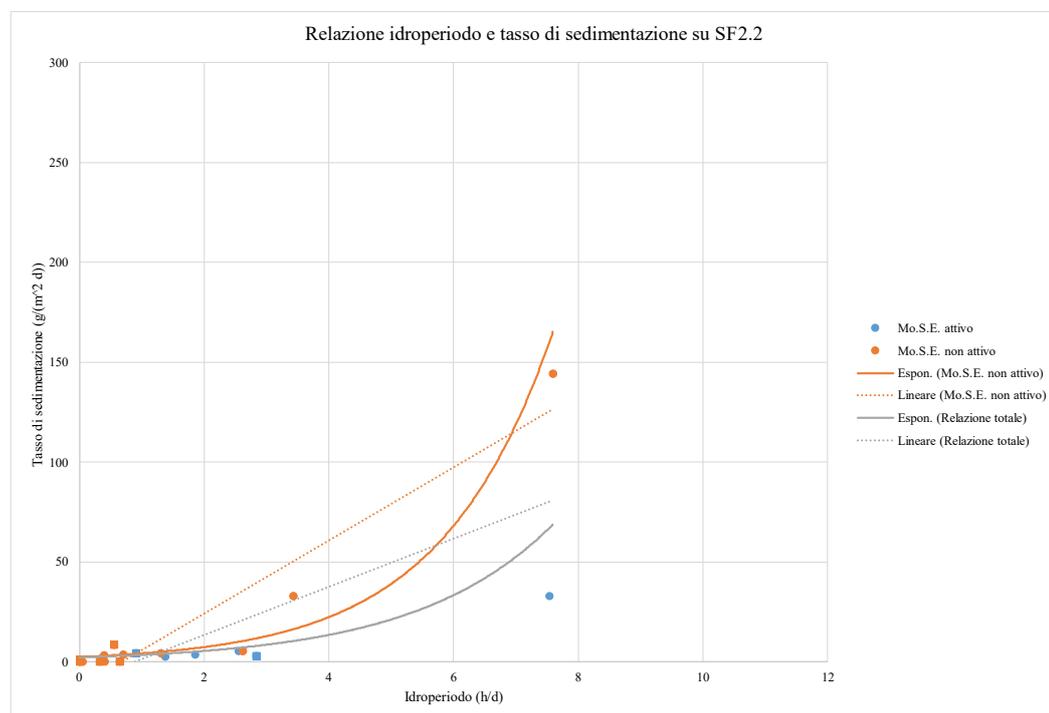


Figura 78: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF2.2

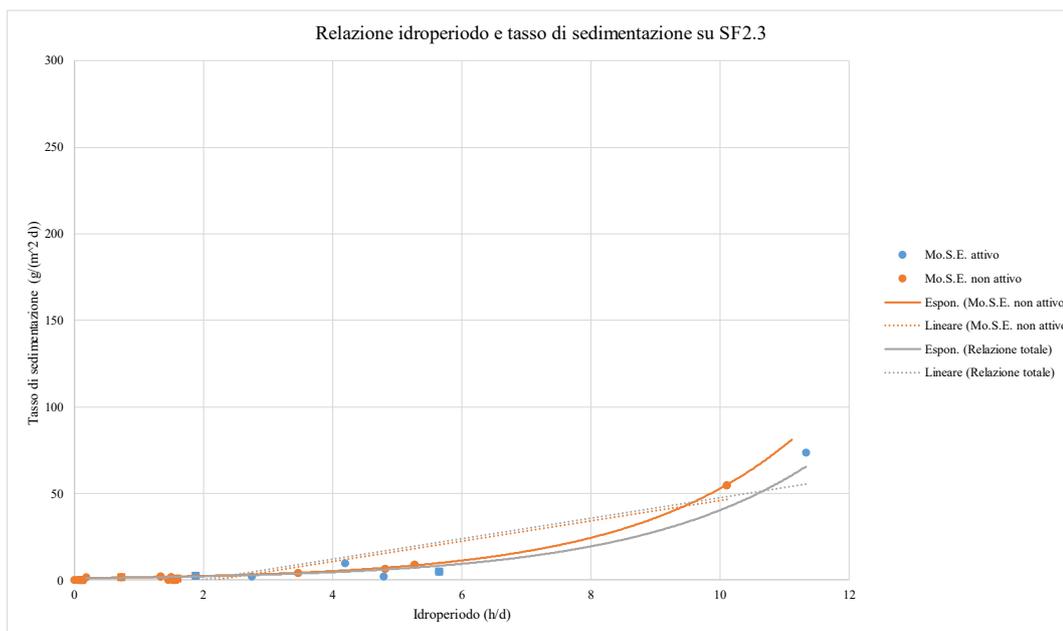


Figura 79: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF2.3

### 3.3.1.3 SF3

Analogamente a quanto visto sui transetti 1 e 2, le funzioni di tipo esponenziale mostrano un tasso di accrescimento della sedimentazione in correlazione all'idroperiodo inizialmente lento, che subisce poi un incremento al crescere dell'idroperiodo e della vicinanza al margine della barena (Figura 80, Figura 81, Figura 82).

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto SF3:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
3.1	Relazione totale	5.373	0.732	30.605	-1.322	<b>0.91</b>	0.75
	Mo.S.E. non attivo	4.812	0.829	37.902	-1.851	<b>0.95</b>	<b>0.95</b>
3.2	Relazione totale	3.167	0.331	6.875	-1.885	<b>0.54</b>	0.50
	Mo.S.E. non attivo	3.231	0.477	11.321	-3.316	<b>0.91</b>	0.64
3.3	Relazione totale	1.602	0.272	4.638	-9.923	<b>0.53</b>	0.50
	Mo.S.E. non attivo	1.601	0.347	7.116	-12.987	<b>0.96</b>	0.75

La funzione che meglio interpola i dati è, per tutte le stazioni e per entrambe le serie di dati in analisi, quella esponenziale: presenta infatti per la serie di dati con Mo.S.E. non attivo su tutte le stazioni e per la relazione totale sulla stazione 1.1 una bontà ottima ( $R^2$  superiore a 0.9). Per la relazione totale sulle stazioni 1.2 e 1.3 la bontà è minore ( $R^2$  pari o leggermente inferiore a 0.54).

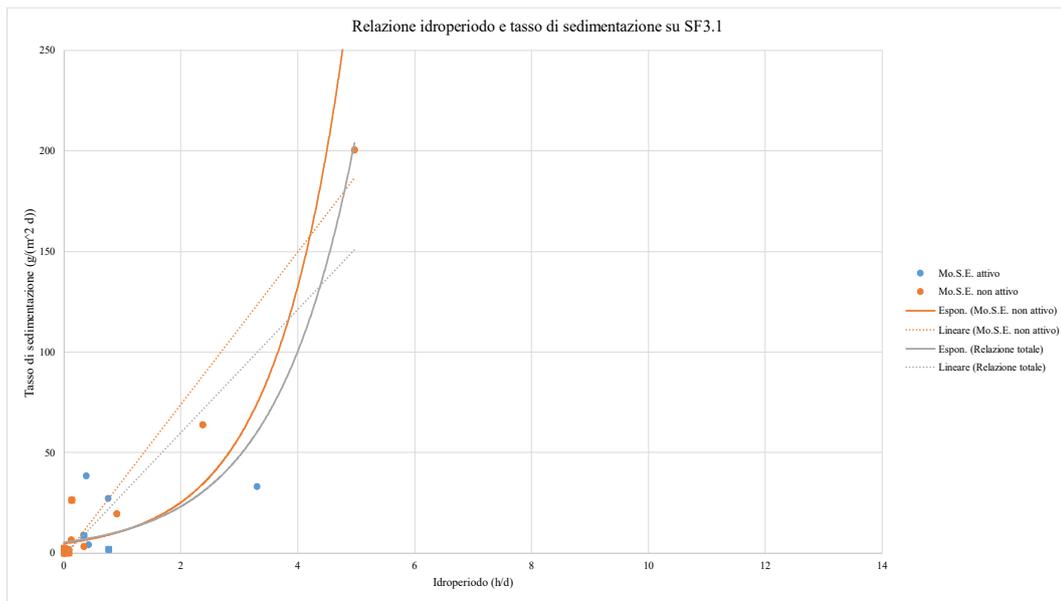


Figura 80: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF3.1

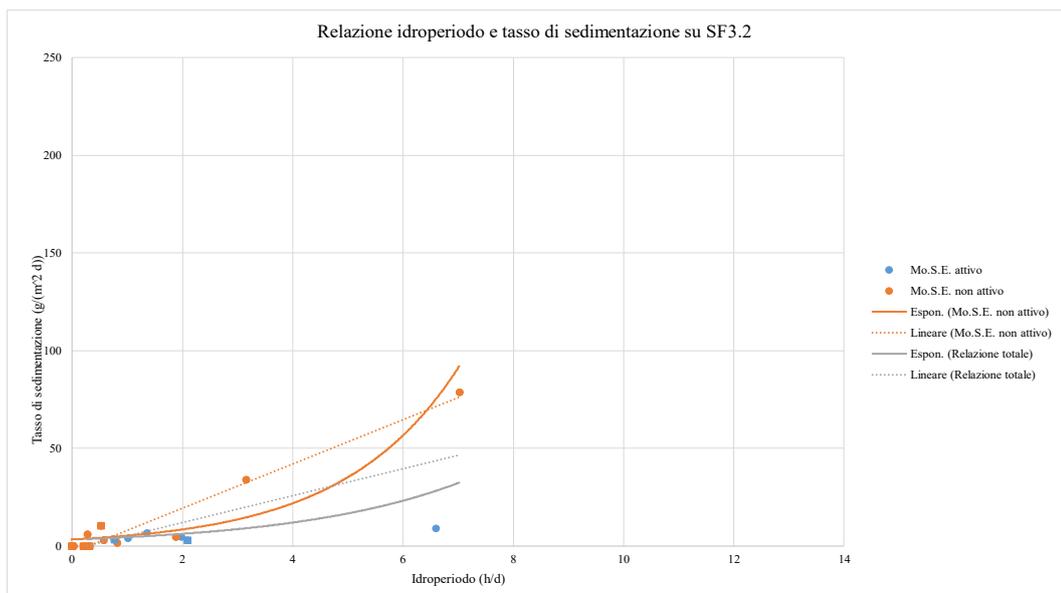


Figura 81: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF3.2

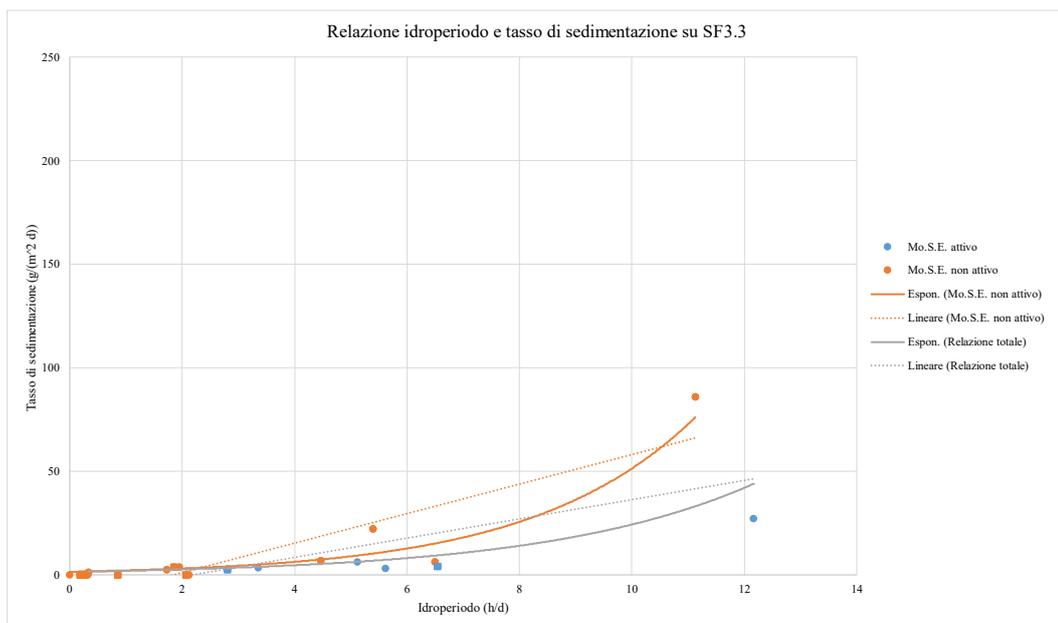


Figura 82: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF3.3

### 3.3.1.4 SF4

L'andamento delle funzioni in analisi è analogo a quanto visto sugli altri transetti dell'area studio, tuttavia il tasso di sedimentazione è minore, generalmente inferiore a  $40 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$  per tutte e tre le stazioni (Figura 83, Figura 84, Figura 85).

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto SF4:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
4.1	Relazione totale	2.928	0.175	1.278	2.763	0.32	<b>0.42</b>
	Mo.S.E. non attivo	2.234	0.312	2.511	1.152	0.85	<b>0.92</b>
4.2	Relazione totale	2.475	0.245	3.094	-1.838	<b>0.55</b>	0.53
	Mo.S.E. non attivo	2.451	0.249	3.129	-0.466	0.55	<b>0.59</b>
4.3	Relazione totale	6.901	0.007	10.565	6.447	<b>0.27</b>	0.25
	Mo.S.E. non attivo	4.694	0.249	7.083	-7.813	<b>0.84</b>	0.77

Sulla stazione 4.2 le funzioni impiegate tendono a coincidere, differendo di poco nei valori dei coefficienti (a e b per l'esponenziale,  $l_1$  e  $l_2$  per la lineare) (Figura

84). La funzione che meglio interpola le due serie di dati sulla stazione 4.1 è quella lineare, che presenta una bontà di adattamento ottima per la serie di dati con Mo.S.E. non attivo ( $R^2$  pari a 0.92). In generale, sulle stazioni la relazione totale risulta essere meglio descritta dalla funzione esponenziale che quella lineare, anche se la bontà di adattamento non è ottima (sulla stazione 1.2  $R^2$  è pari a 0.55, su 1.3 pari a 0.27), ad eccezione della stazione 4.1, meglio descritta dalla lineare.

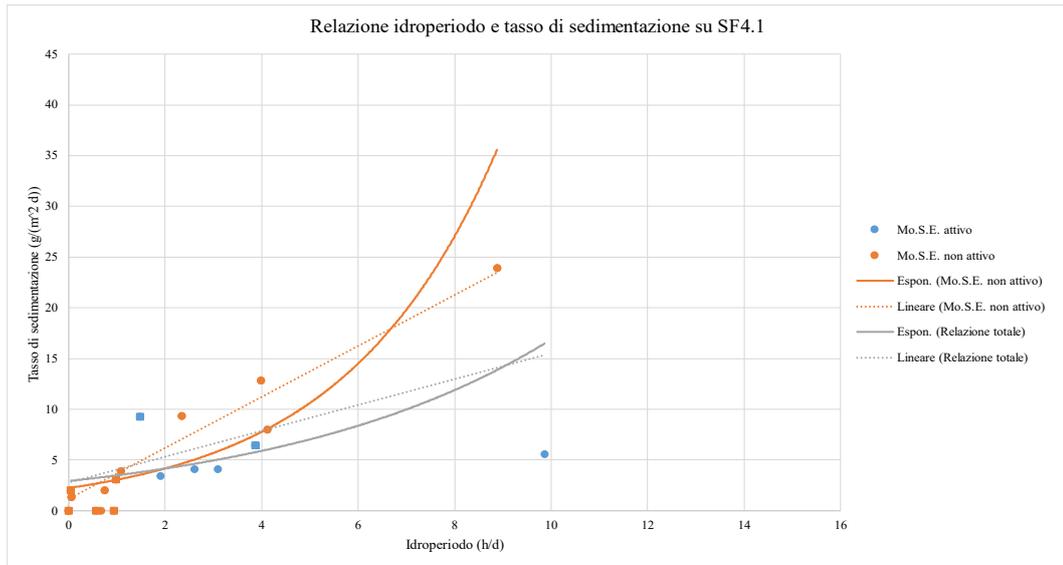


Figura 83: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF4.1

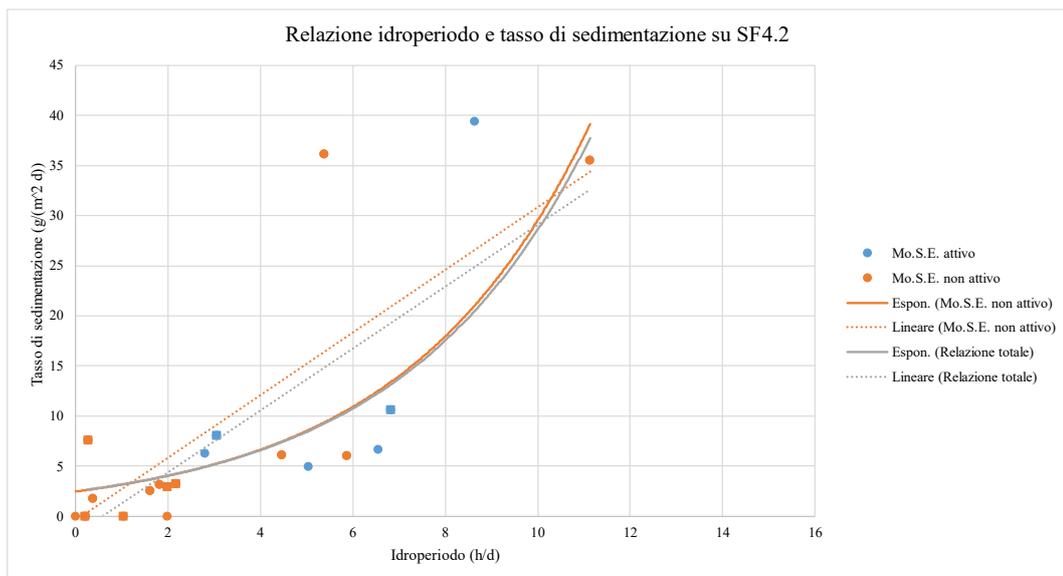


Figura 84: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF4.2

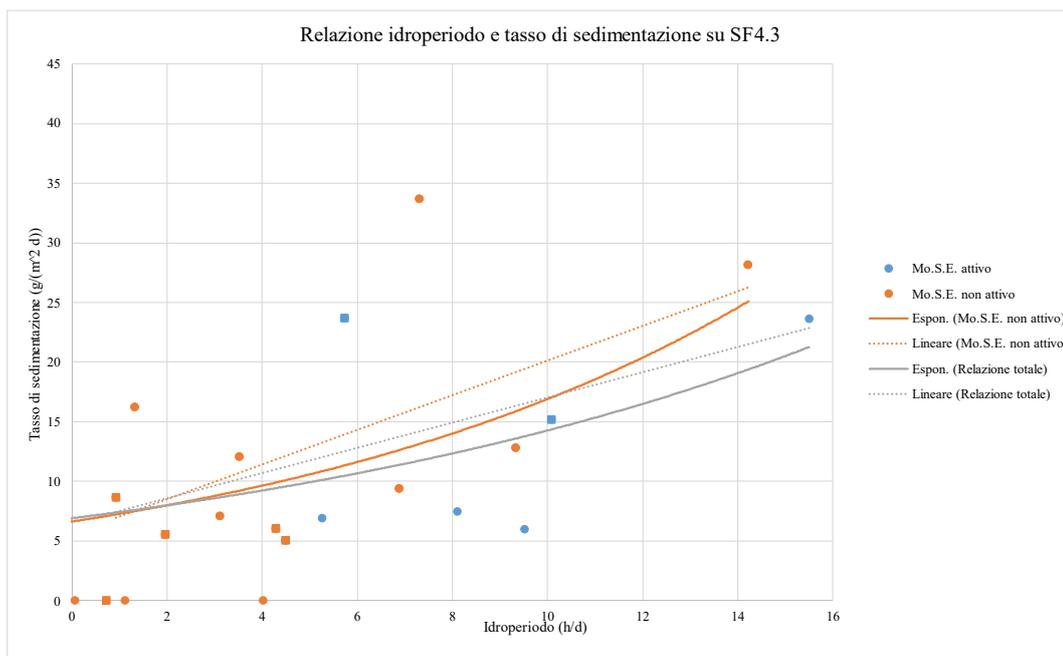


Figura 85: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SF4.3

### 3.3.1.5 Medio per area studio

Si procede ora ad effettuare una media su area studio, mediando l'idroperiodo e il tasso di sedimentazione di tutte le stazioni dell'area studio di San Felice. Si procede poi, come visto in precedenza, a distinguere due serie di dati: una con sistema Mo.S.E. non attivo e una, indicata come relazione totale, comprendente sia i dati di Mo.S.E. non attivo che attivo. Si plottano le due funzioni di tendenza (esponenziale e lineare).

La funzione che meglio interpola la serie di dati con sistema Mo.S.E. non attivo è quella esponenziale, con un valore di  $R^2$  pari a 0.89, di poco maggiore rispetto a quanto ottenuto dalla funzione lineare, pari invece a 0.85 (Figura 86).

Per la relazione totale invece la funzione che meglio interpola i dati disponibili è la lineare, che presenta un valore di  $R^2$  pari a 0.63, di poco superiore a quanto ottenuto con la funzione esponenziale sulla medesima serie di dati, pari a 0.61.

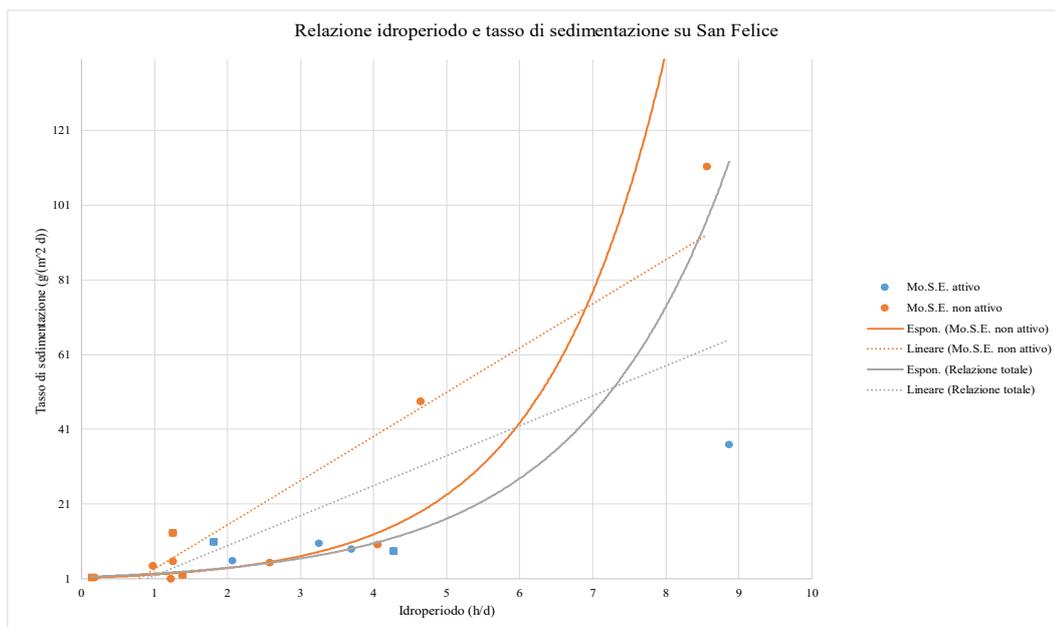


Figura 86: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero con sistema Mo.S.E. attivo e non attivo su San Felice

### 3.3.2 Sant’Erasmus

#### 3.3.2.1 SE1

Come visto in precedenza sull’area studio di San Felice, il tasso di sedimentazione tende a crescere all’aumentare dell’idroperiodo e della vicinanza al margine della barena. Si osservi che le funzioni di tipo esponenziale tendono a procedere lentamente per idroperiodi piccoli, per poi incrementare rapidamente maggiore è la vicinanza al margine della barena (Figura 87, Figura 88, Figura 89).

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto SE1:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
1.1	Relazione totale	3.953	0.120	1.351	6.073	0.13	<b>0.14</b>
	Mo.S.E. non attivo	2.025	0.237	1.936	0.844	<b>0.71</b>	0.61
1.2	Relazione totale	2.541	0.149	1.944	1.269	<b>0.41</b>	0.28
	Mo.S.E. non attivo	1.518	0.241	2.830	-1.912	<b>0.77</b>	0.49
1.3	Relazione totale	1.087	0.219	3.146	-9.987	<b>0.84</b>	0.54
	Mo.S.E. non attivo	1.134	0.244	3.364	-10.013	<b>0.89</b>	0.59

La funzione che meglio interpola i dati su tutte le stazioni considerate è quella esponenziale, con valori di  $R^2$  maggiori di 0.7, ad eccezione della serie di dati della relazione totale alla stazione 1.1, che presenta una bontà minore ( $R^2$  pari a 0.14). Si osservi che la funzione esponenziale sulla stazione 1.2, anche se da preferire a quella lineare, presenta una bontà di adattamento  $R^2$  minore rispetto alle altre stazioni, pari a 0.41.

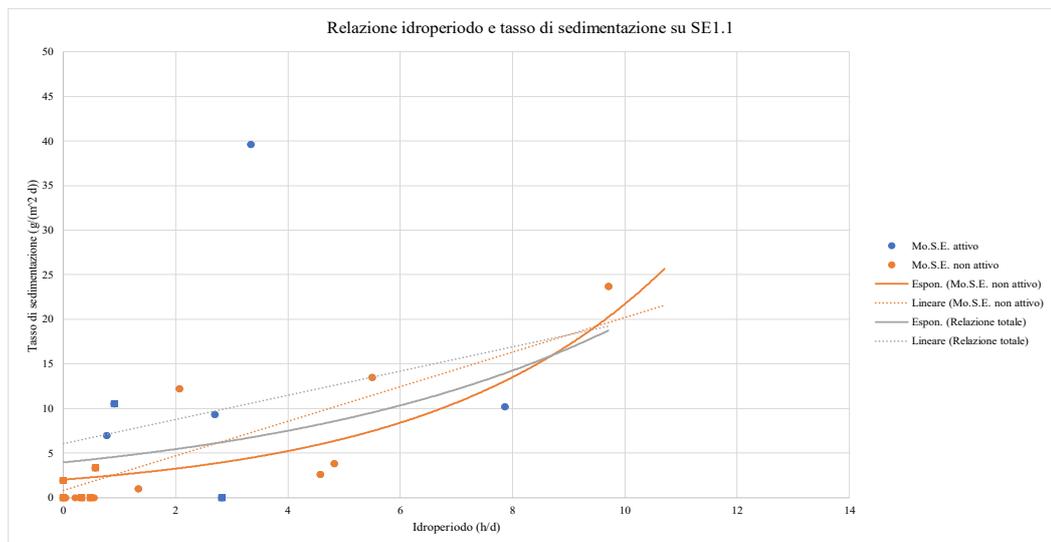


Figura 87: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SE1.1

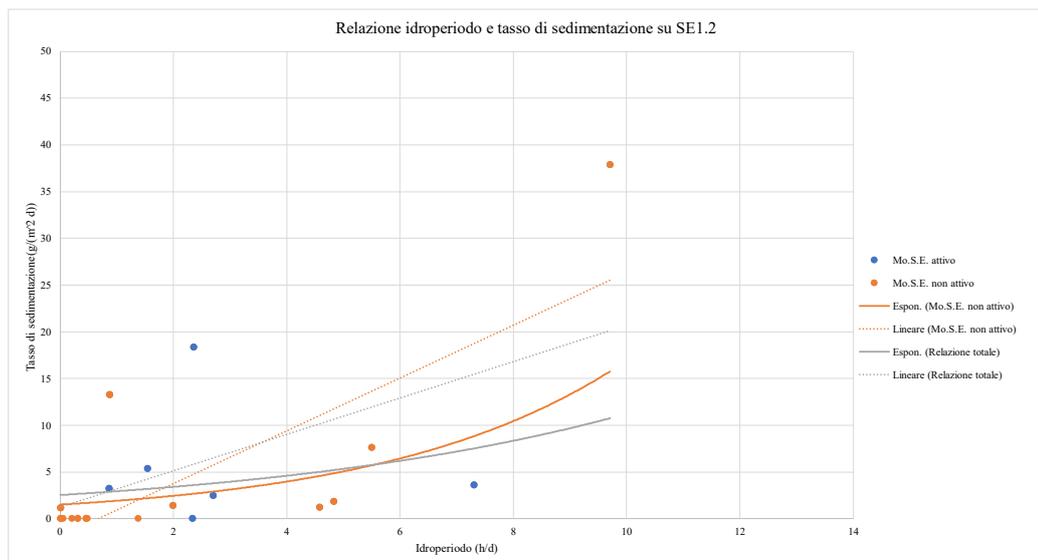


Figura 88: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SE1.2

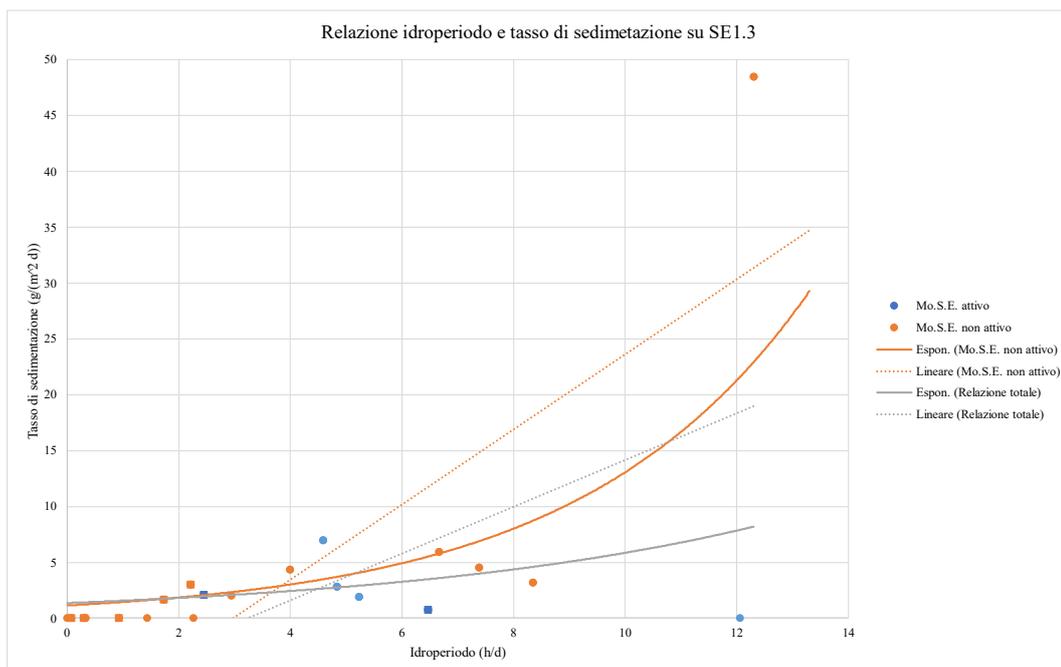


Figura 89: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SE1.3

### 3.3.2.2 SE2

Si osservi che il tasso di sedimentazione è generalmente basso, con un valore variabile con massimi registrati intorno a  $40 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$  (Figura 90, Figura 91, Figura 92). Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto SE2:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_t^2$
2.1	Relazione totale	5.736	-0.029	-0.326	8.010	0.02	<b>0.02</b>
	Mo.S.E. non attivo	1.001	0.372	2.647	-2.247	0.83	<b>0.99</b>
2.2	Relazione totale	2.637	0.288	3.243	1.541	<b>0.68</b>	0.47
	Mo.S.E. non attivo	1.583	0.397	4.375	-1.957	<b>0.93</b>	0.72
2.3	Relazione totale	1.651	0.307	5.187	-7.371	<b>0.92</b>	0.69
	Mo.S.E. non attivo	1.550	0.320	5.343	-7.845	<b>0.92</b>	0.69

Le funzioni esponenziali sulle stazioni 2.1 e 2.2 tendono, nel primo tratto per idroperiodi inferiori a 6 h/d, a sovrapporsi, per poi allontanarsi. Allo stesso modo si osservi, sulla stazione 2.3, che le funzioni sia lineari che esponenziali tendano

rispettivamente a sovrapporsi, differendo di poco nei coefficienti di funzione (a e b per l'esponenziale,  $l_1$  e  $l_2$  per la lineare) (Figura 92). Si osservi che la funzione esponenziale è quella che meglio interpola entrambe le serie di dati in analisi, ad eccezione della stazione 2.1, che risulta meglio interpolata dalla funzione lineare con bontà di adattamenti ottima per la serie di dati con Mo.S.E. non attivo ( $R^2$  pari a 0.99), pessima per la relazione totale ( $R^2$  pari a 0.02).

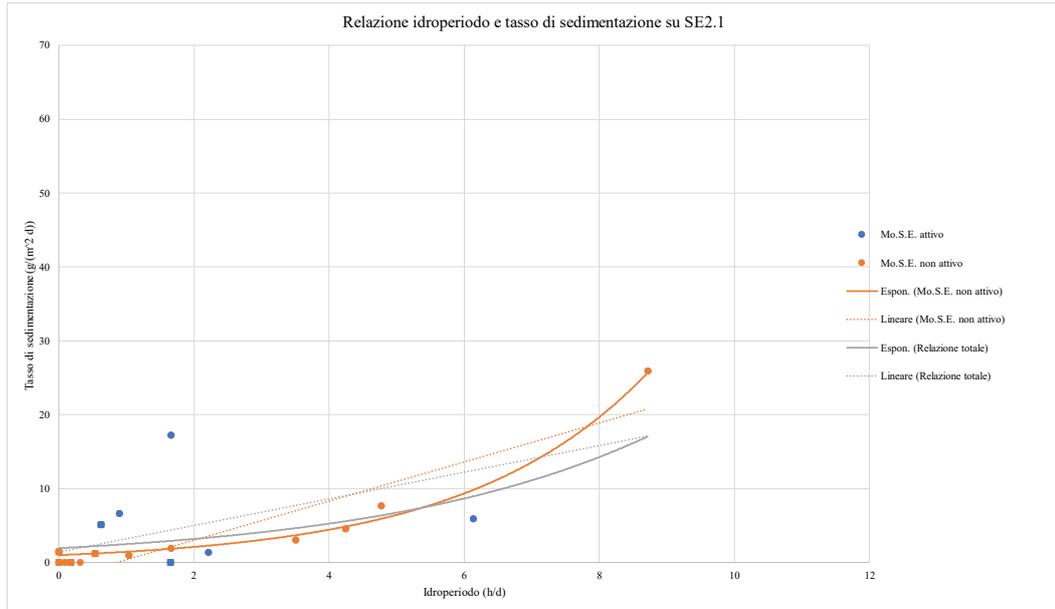


Figura 90: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su SE2.1

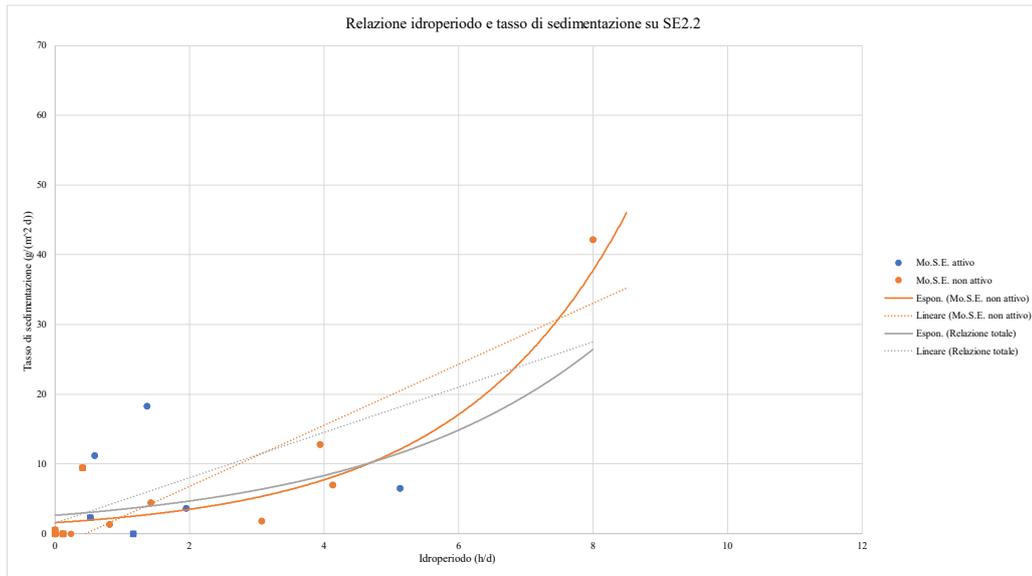


Figura 91: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero con sistema Mo.S.E. attivo e non attivo su SE2.2

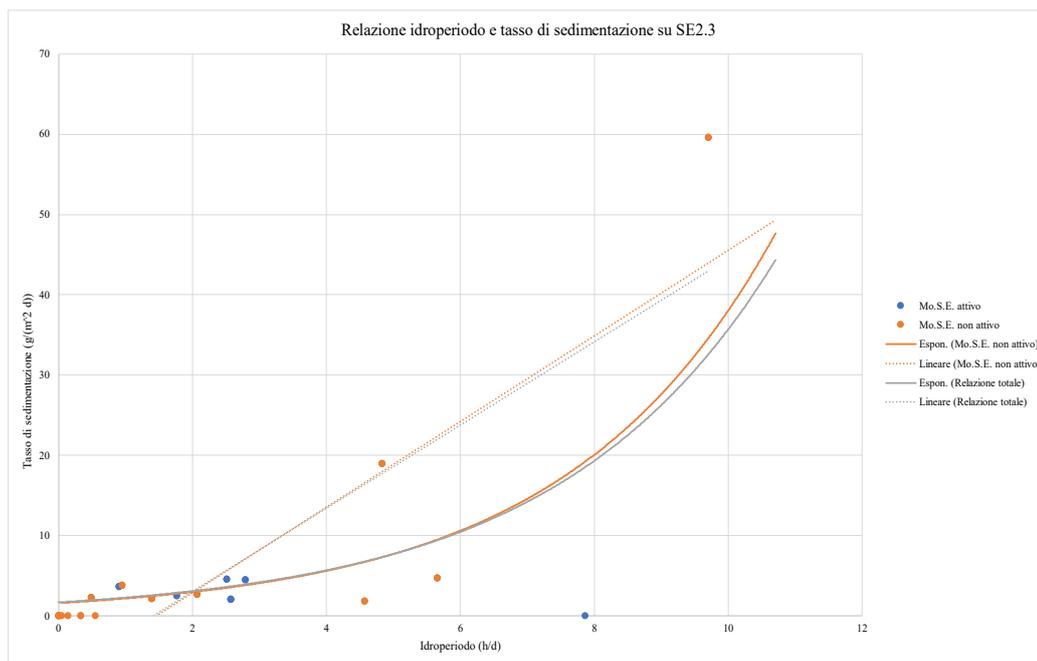


Figura 92: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero con sistema Mo.S.E. attivo e non attivo su SE2.3

### 3.3.2.3 Media su area studio

Si procede ora ad effettuare una media su area studio, mediando l'idroperiodo e il tasso di sedimentazione di tutte le stazioni dell'area studio di Sant'Erasmo. Si procede poi, come visto in precedenza, a distinguere due serie di dati, una con il sistema Mo.S.E. attivo e una, che viene chiamata relazione totale, comprendente sia i dati con sistema Mo.S.E. attivo che non attivo, plottando le due funzioni di tendenza (esponenziale e lineare).

Le funzioni esponenziali ben riproducono l'andamento della serie di dati con Mo.S.E. non attivo ( $R^2$  pari a 0.97) e della relazione totale ( $R^2$  pari a 0.71) (Figura 93). Inizialmente, per valori di idroperiodo inferiori a 5 h/d, le due funzioni esponenziali tendono a sovrapporsi, per poi separarsi e crescere con velocità diverse (maggiore per la funzione relativa alla serie con sistema Mo.S.E. attivo, minore per la relazione totale).

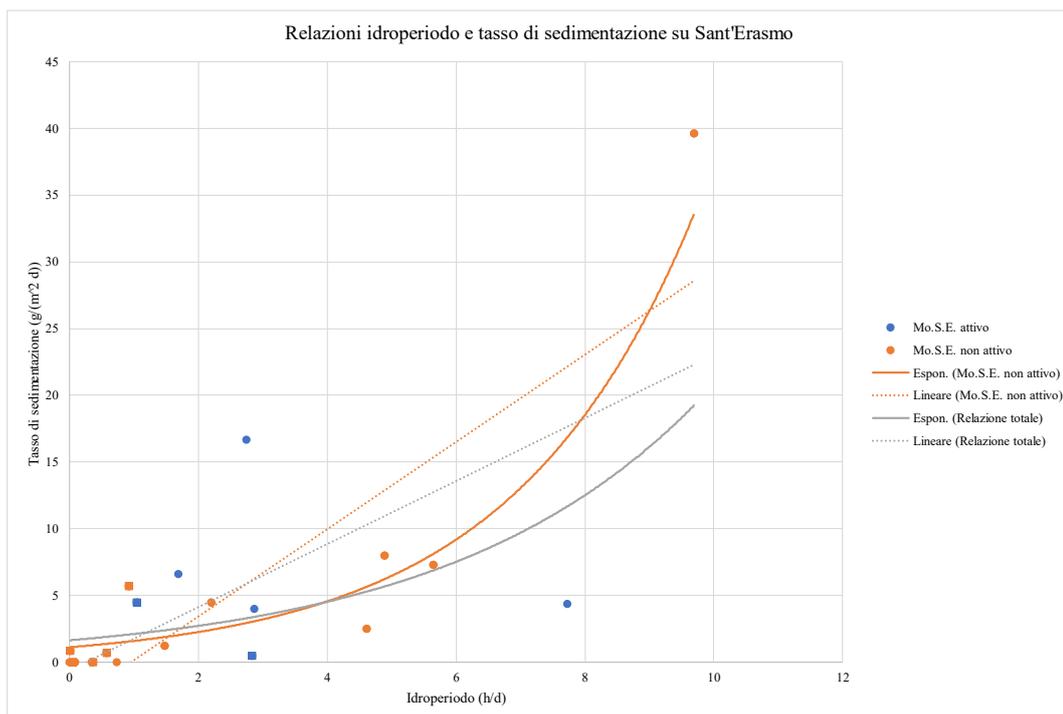


Figura 93: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero con sistema Mo.S.E. attivo e non attivo su Sant'Erasmo

### 3.3.3 Foce Dese

#### 3.3.3.1 FDI

Analogamente a quanto già osservato nell'area studio di San Felice, sul transetto 1 le funzioni di tipo esponenziale mostrano un tasso di accrescimento della sedimentazione in correlazione all'idroperiodo inizialmente lento, che poi subisce un incremento al crescere dell'idroperiodo e della vicinanza al margine della barena: tale accrescimento risulta essere molto veloce per la serie di dati con il sistema Mo.S.E. non attivo, mentre risulta esserci un incremento leggermente più lento per la relazione totale (Figura 94, Figura 95, Figura 96). Anche le funzioni lineari mostrano pendenza crescente se il sistema Mo.S.E. non è attivo, pendenza leggermente minore se si considera la relazione totale.

Sulla stazione 2.2 si osservi che, per idroperiodi inferiori a 5 h/d, le funzioni esponenziali relative alle due serie di dati tendano a sovrapporsi, per poi allontanarsi.

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto FD1:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
1.1	Relazione totale	5.036	0.306	3.723	7.551	<b>0.21</b>	0.21
	Mo.S.E. non attivo	5.857	0.290	3.543	11.118	0.17	<b>0.18</b>
1.2	Relazione totale	2.984	0.376	5.156	0.709	0.53	<b>0.59</b>
	Mo.S.E. non attivo	2.425	0.428	5.951	0.652	0.50	<b>0.66</b>
1.3	Relazione totale	2.039	0.226	0.452	8.833	<b>0.01</b>	0.003
	Mo.S.E. non attivo	3.151	0.225	0.265	13.845	<b>0.002</b>	0.001

Le funzioni sia lineare che esponenziale presentano una cattiva interpolazione dei dati sulle stazioni 1.1 e 1.3, in particolare sulla 1.3 il coefficiente  $R^2$  è inferiore a 0.01. Si osservi che, sulla stazione 1.2, la funzione che meglio interpola i dati è quella lineare, che presenta un indice  $R^2$  superiore a 0.60 per entrambe le serie di dati in analisi.

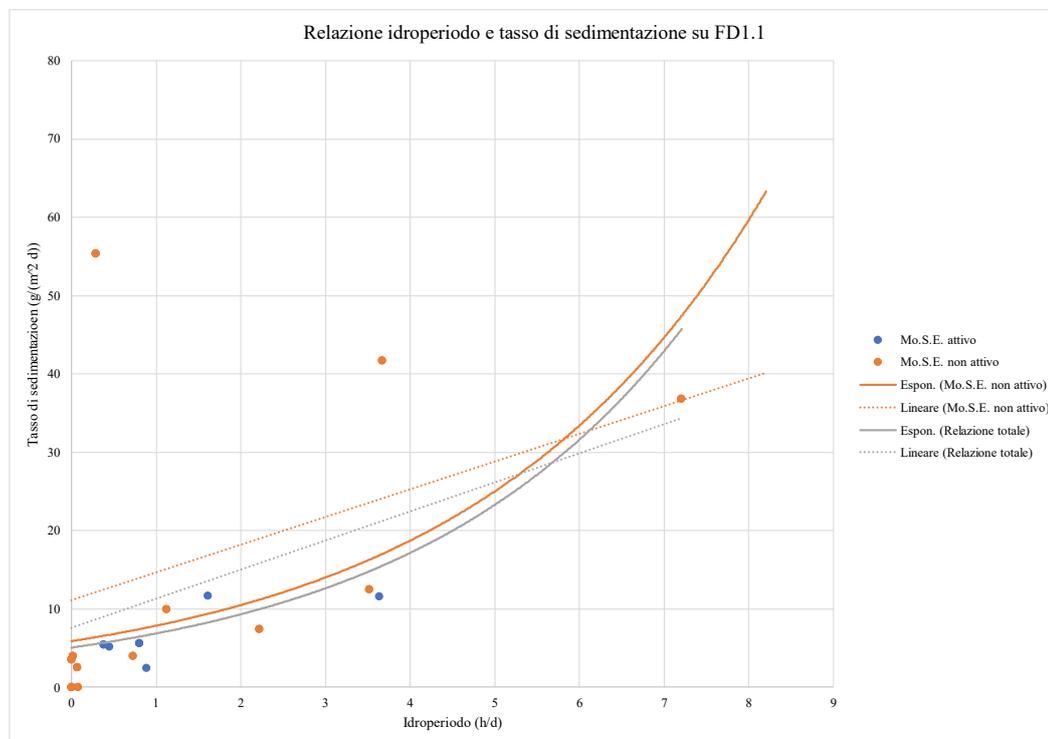


Figura 94: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD1.1

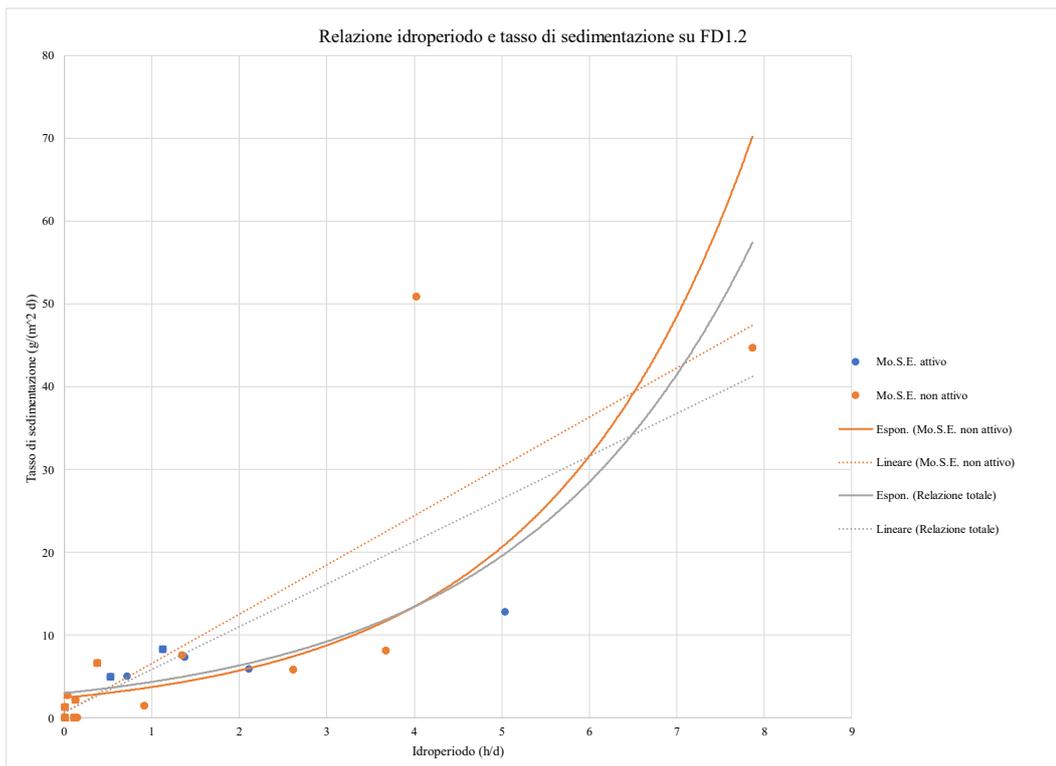


Figura 95: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD1.2

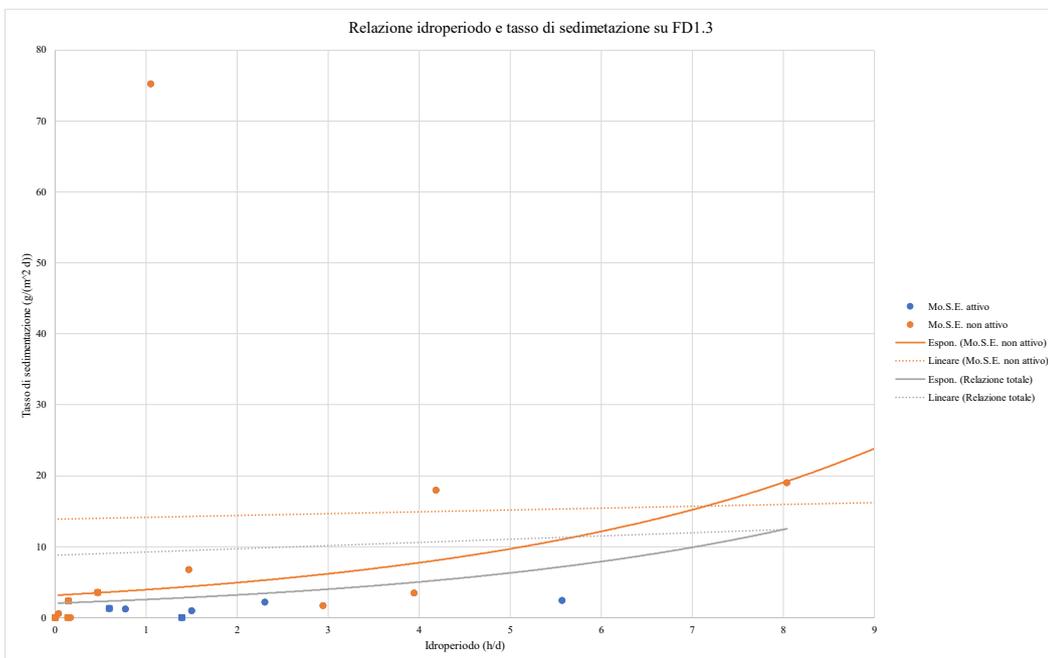


Figura 96: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD1.3

### 3.3.3.2 FD2

L'andamento delle funzioni in analisi è analogo a quanto visto sul transetto 1: le funzioni di tipo esponenziale mostrano un tasso di accrescimento della sedimentazione in correlazione all'idroperiodo inizialmente lento, che poi si incrementa all'aumentare della vicinanza al margine della barena (Figura 97, Figura 98, Figura 99). Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto FD2:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
2.1	Relazione totale	5.703	0.339	9.162	1.261	0.51	<b>0.63</b>
	Mo.S.E. non attivo	5.924	0.368	10.693	3.528	0.50	<b>0.76</b>
2.2	Relazione totale	6.198	0.265	4.723	7.662	0.31	<b>0.38</b>
	Mo.S.E. non attivo	6.100	0.303	6.063	5.549	0.48	<b>0.71</b>
2.3	Relazione totale	3.185	0.221	1.899	2.187	0.71	<b>0.77</b>
	Mo.S.E. non attivo	3.832	0.201	1.779	3.344	0.69	<b>0.78</b>

Su tutte e tre le stazioni la funzione che meglio interpola le due serie di dati considerate è quella lineare, con una bontà di adattamento definita dall'indice  $R^2$  uguale o superiore a 0.71, ad eccezione delle funzioni lineari riferite, per la relazione totale, alle stazioni 2.1 e 2.2., dove  $R^2$  assume valori minori pari a, rispettivamente, 0.63 e 0.38. Si registra quindi una minor bontà di adattamento della funzione.

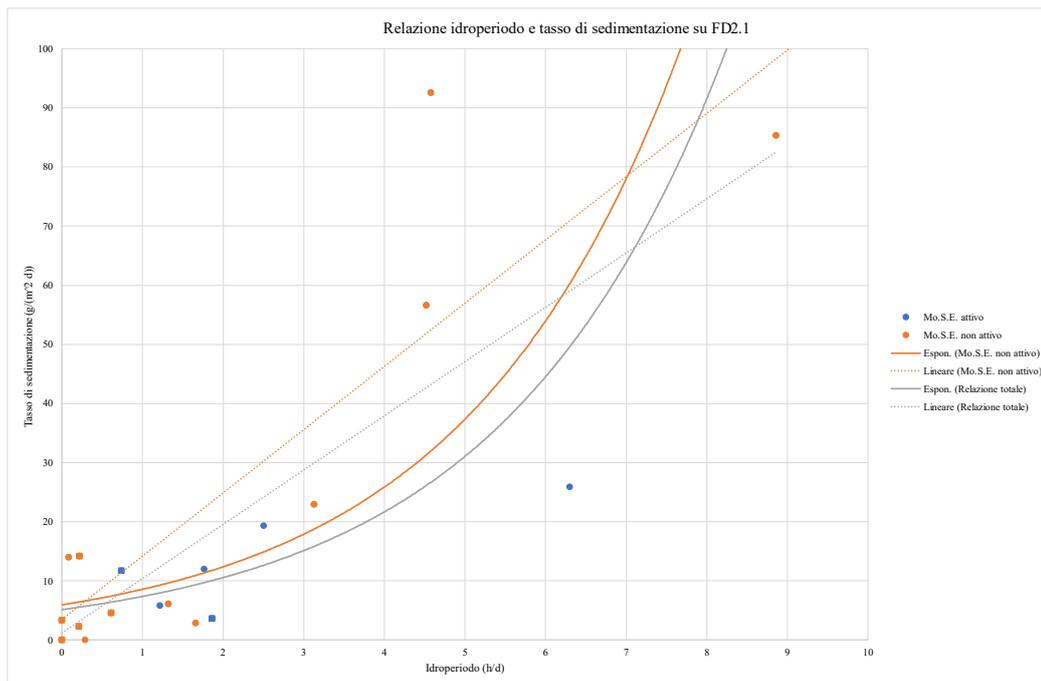


Figura 97: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD2.1

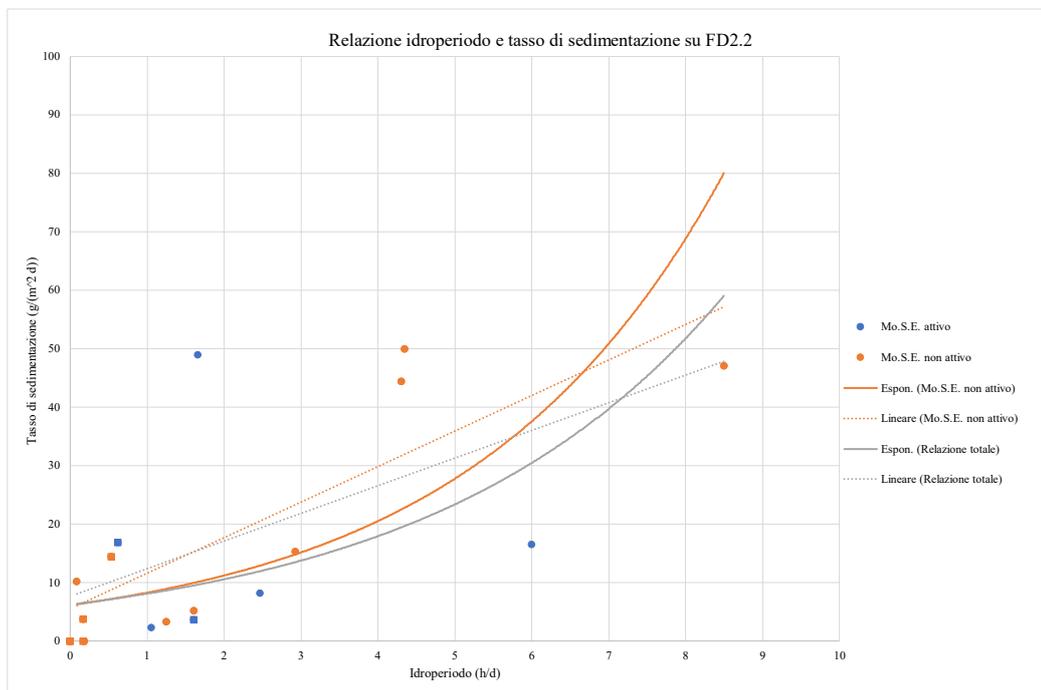


Figura 98: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD2.2

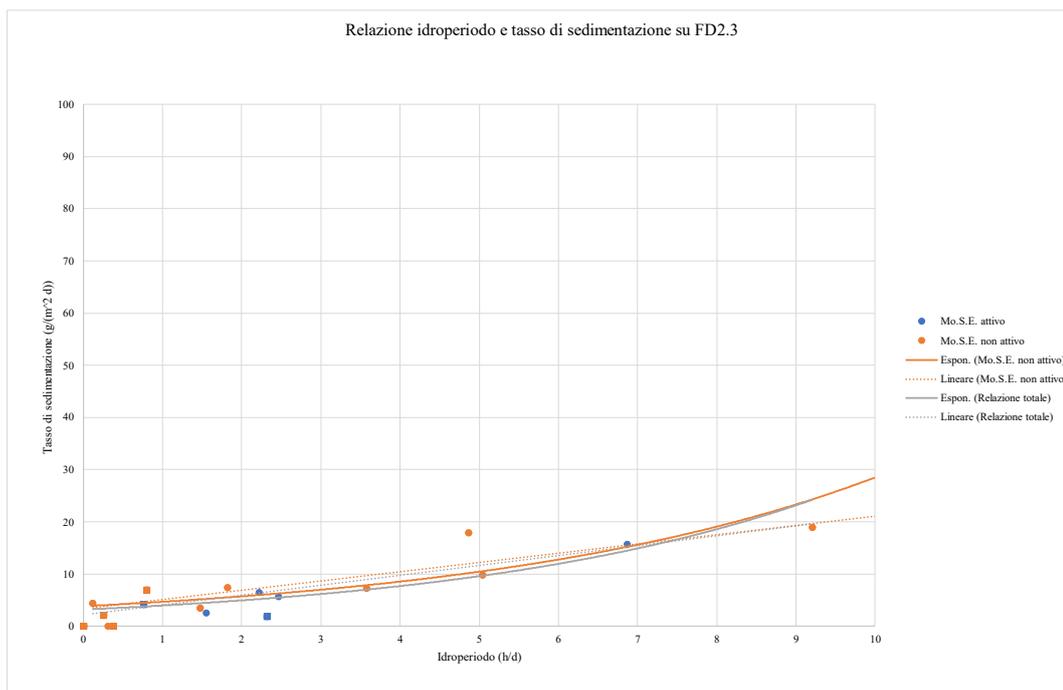


Figura 99: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD2.3

### 3.3.3.3 FD3

L'andamento delle funzioni di interpolazione è analogo a quanto osservato sugli altri transetti della medesima area studio (Figura 100, Figura 101, Figura 102).

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto FD3:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
3.1	Relazione totale	4.625	0.738	37.942	-6.646	0.41	<b>0.63</b>
	Mo.S.E. non attivo	2.568	0.875	40.324	-5.027	0.37	<b>0.68</b>
3.2	Relazione totale	9.492	0.521	17.505	19.126	0.24	<b>0.49</b>
	Mo.S.E. non attivo	6.461	0.576	18.515	12.947	0.28	<b>0.61</b>
3.3	Relazione totale	2.906	0.504	7.706	2.072	0.54	<b>0.68</b>
	Mo.S.E. non attivo	2.091	0.579	9.026	0.712	0.53	<b>0.82</b>

La funzione che meglio interpola le due serie di dati in analisi è, su tutto il transetto, la lineare, con valori dell'indice  $R^2$  superiori a 0.5. In particolare, il miglior

adattamento dei dati sulla funzione è quello della serie con sistema Mo.S.E. non attivo sulla stazione 3.3, con indice  $R^2$  pari a 0.82.

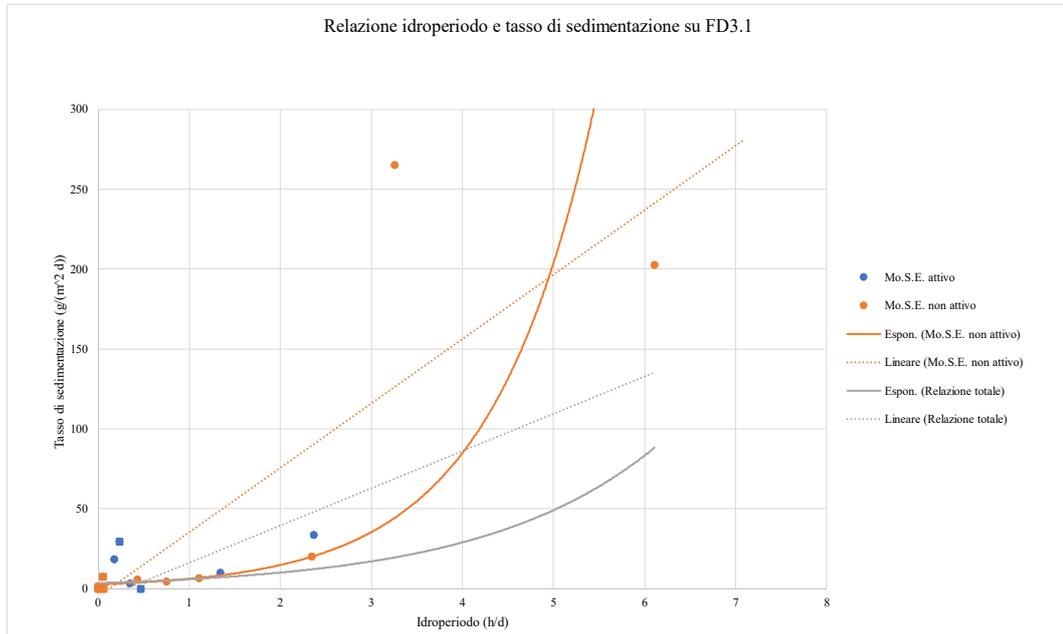


Figura 100: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD3.1

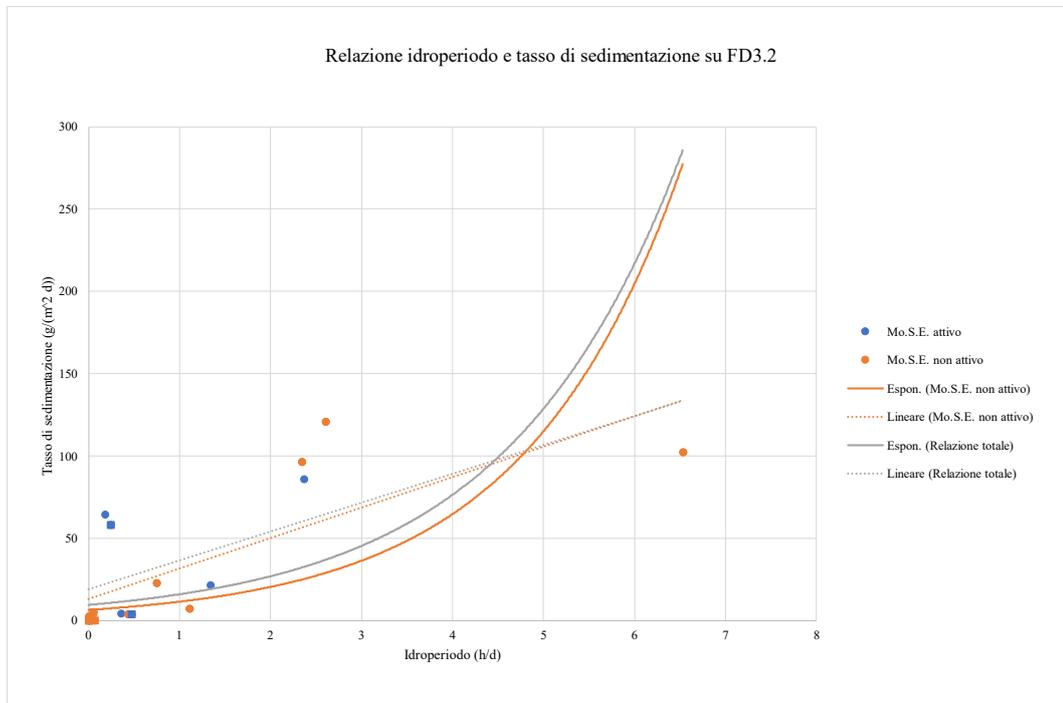


Figura 101: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD3.2

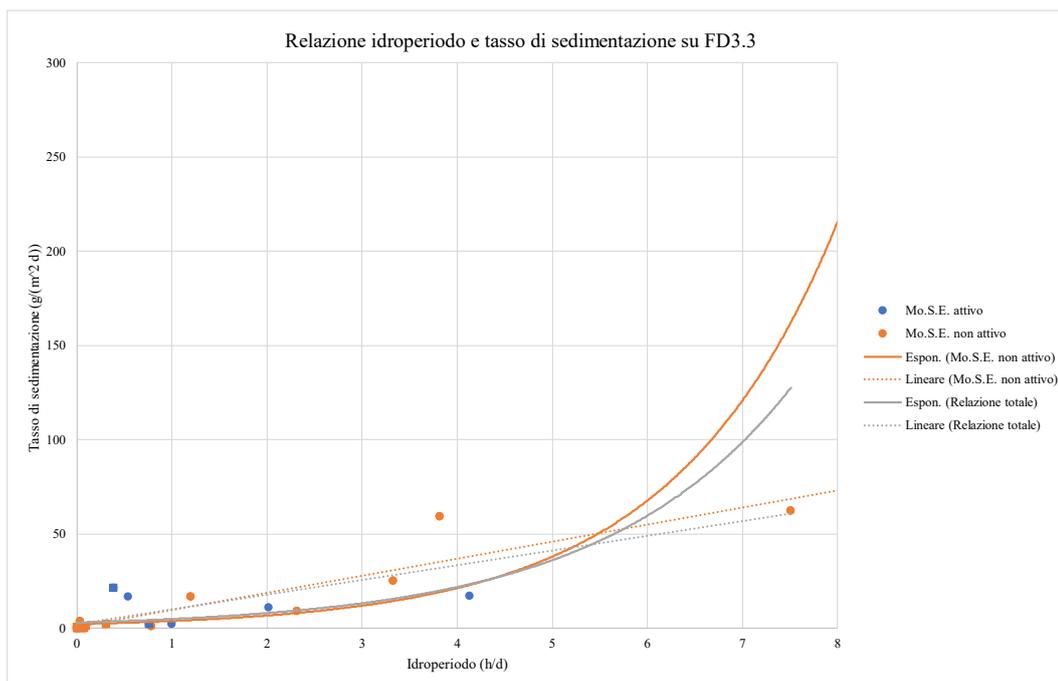


Figura 102: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su FD3.3

### 3.3.3.4 Media su area studio

Si procede ora ad effettuare una media su area studio, mediando l'idroperiodo e il tasso di sedimentazione di tutte le stazioni dell'area studio in prossimità della foce del fiume Dese.

Si procede poi, come visto in precedenza, a distinguere due serie di dati, una con sistema Mo.S.E. non attivo e una, che viene chiamata relazione totale, comprendente sia i dati con sistema Mo.S.E. attivo che non attivo, plottando le due funzioni di tendenza (esponenziale e lineare) (Figura 103).

La funzione che meglio approssima le due serie di dati in analisi è quella lineare, con un indice  $R^2$  per la serie con sistema Mo.S.E. non attivo pari a 0.77 e per la relazione totale pari a 0.60. Per le funzioni esponenziali, infatti, si sono ottenute bontà di adattamento peggiori, con indici  $R^2$  pari a 0.51 per la serie con sistema Mo.S.E. non attivo e pari a 0.48 per la relazione totale.

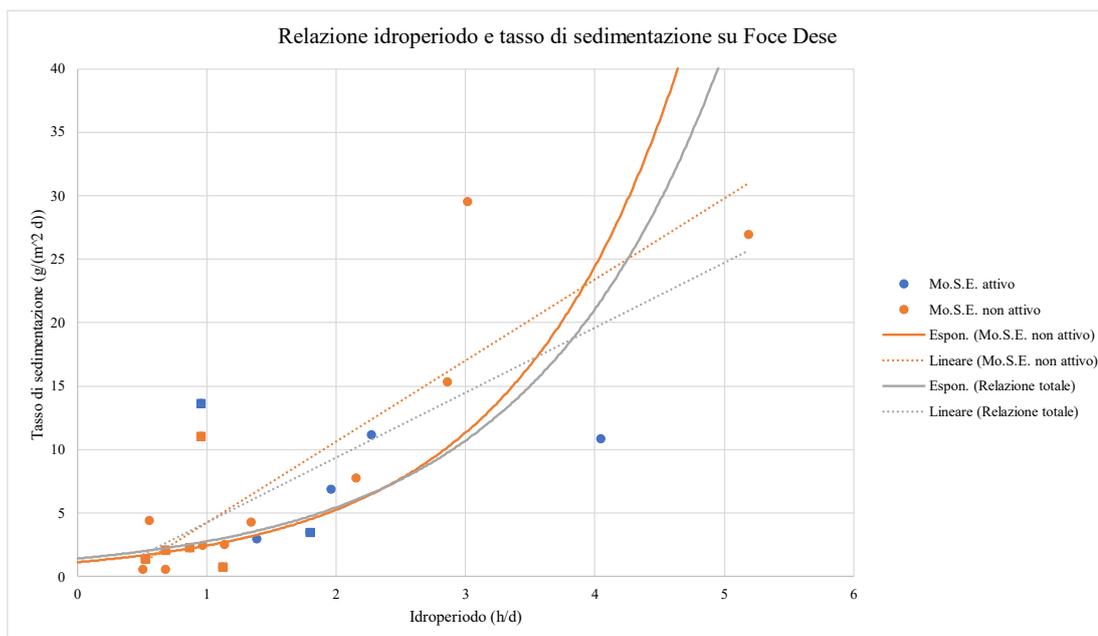


Figura 103: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su Foce Dese

### 3.3.4 Conche

#### 3.3.4.1 CO1

Diversamente da quanto osservato nelle precedenti aree studio, sui tre transetti le funzioni di tipo esponenziale mostrano un tasso di accrescimento della sedimentazione in correlazione all'idroperiodo inizialmente lento, che subisce poi un incremento al crescere dell'idroperiodo e della distanza dal margine della barena (Figura 104, Figura 105, Figura 106).

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto CO1:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
1.1	Relazione totale	4.3284	0.2128	2.4138	4.9218	<b>0.50</b>	0.44
	Mo.S.E. non attivo	4.5032	0.2129	3.2199	2.6869	<b>0.59</b>	0.33
1.2	Relazione totale	5.2407	0.4586	17.346	-0.6916	<b>0.55</b>	0.45
	Mo.S.E. non attivo	8.7217	0.4921	20.195	12.84	<b>0.64</b>	0.61
1.3	Relazione totale	0.7103	0.8569	44.45	-77.79	<b>0.99</b>	0.91
	Mo.S.E. non attivo	3.0757	0.5768	20.502	-8.6637	<b>0.88</b>	0.79

Sulla stazione 1.1 si osservi che le funzioni esponenziale e lineare tendono a sovrapporsi (presentano infatti coefficienti molto simili, come osservabile nella tabella sopra). La funzione che meglio interpola le due serie di dati è quella esponenziale, con valori di  $R^2$  superiori a 0.50. La miglior interpolazione è registrata sulla stazione 1.3 per la serie comprendente tutti i dati ( $R^2$  è pari a 0.99).

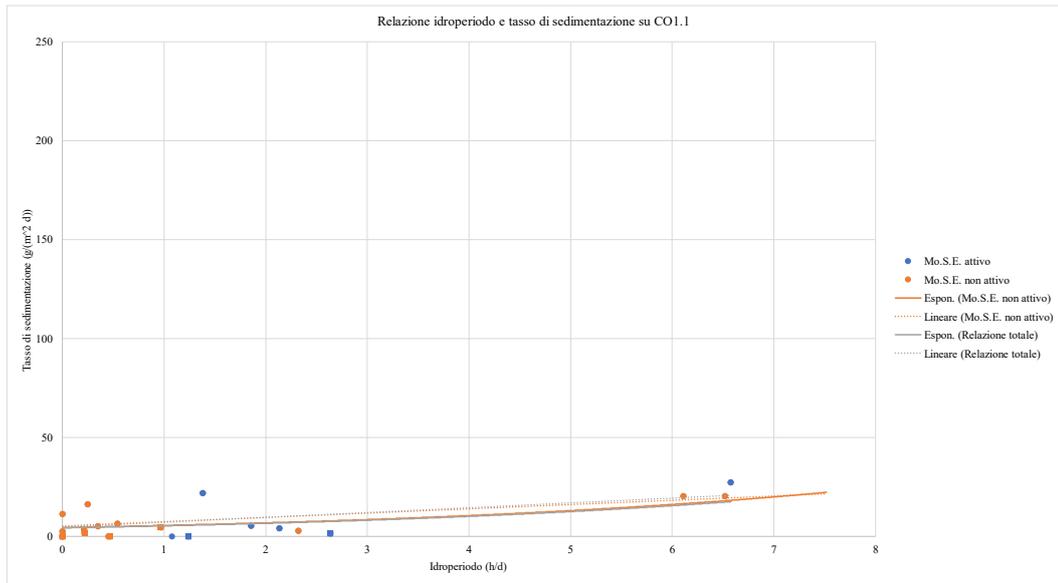


Figura 104: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO1.1

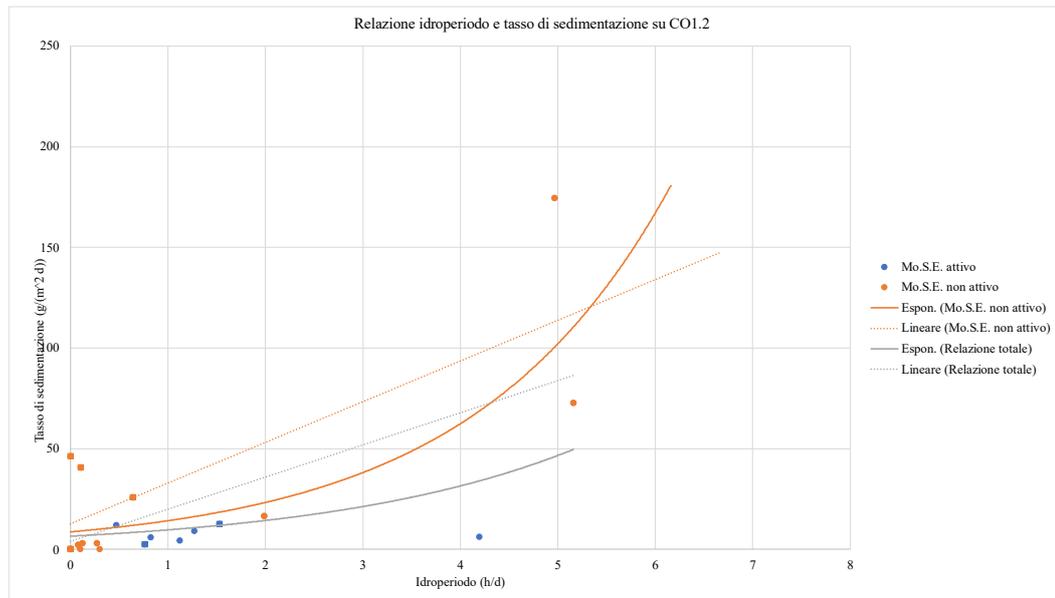


Figura 105: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO1.2

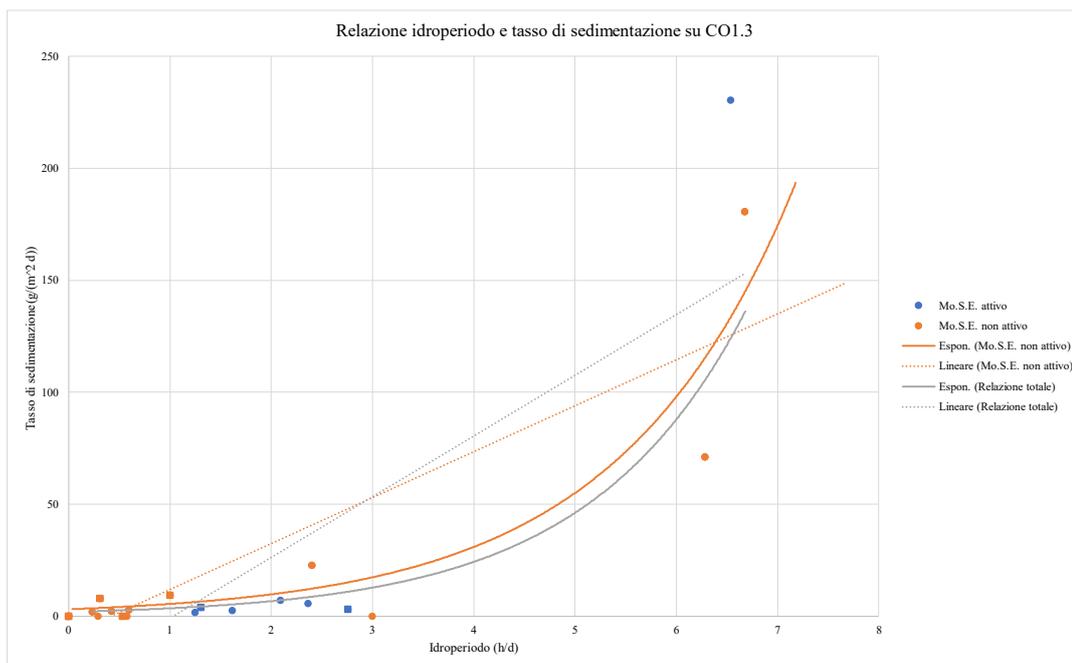


Figura 106: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO1.3

### 3.3.4.2 CO2

Analogamente a quanto già osservato sul transetto 1, il tasso di sedimentazione tende a crescere inizialmente in modo lento, per poi incrementare all'aumentare della distanza dal margine della barena (Figura 107, Figura 108, Figura 109).

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto CO2:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
2.1	Relazione totale	4.919	0.317	5.383	4.364	<b>0.77</b>	0.66
	Mo.S.E. non attivo	4.730	0.365	6.465	4.024	<b>0.92</b>	0.85
2.2	Relazione totale	6.803	0.422	6.522	8.613	0.47	<b>0.50</b>
	Mo.S.E. non attivo	6.914	0.386	5.873	10.146	0.46	<b>0.47</b>
2.3	Relazione totale	3.472	0.873	48.397	-16.385	0.48	<b>0.63</b>
	Mo.S.E. non attivo	6.345	0.698	30.233	5.6962	0.80	<b>0.87</b>

Sulla stazione 2.1 le curve esponenziali tendono a sovrapporsi (si osservi che i coefficienti della funzione, a e b, sono simili e differiscono lievemente). La

funzione che meglio interpola le due serie di dati è quella esponenziale, con un'ottima bontà di adattamento. Le altre stazioni sono meglio interpolate dalla funzione lineare per entrambe le serie di dati in analisi.

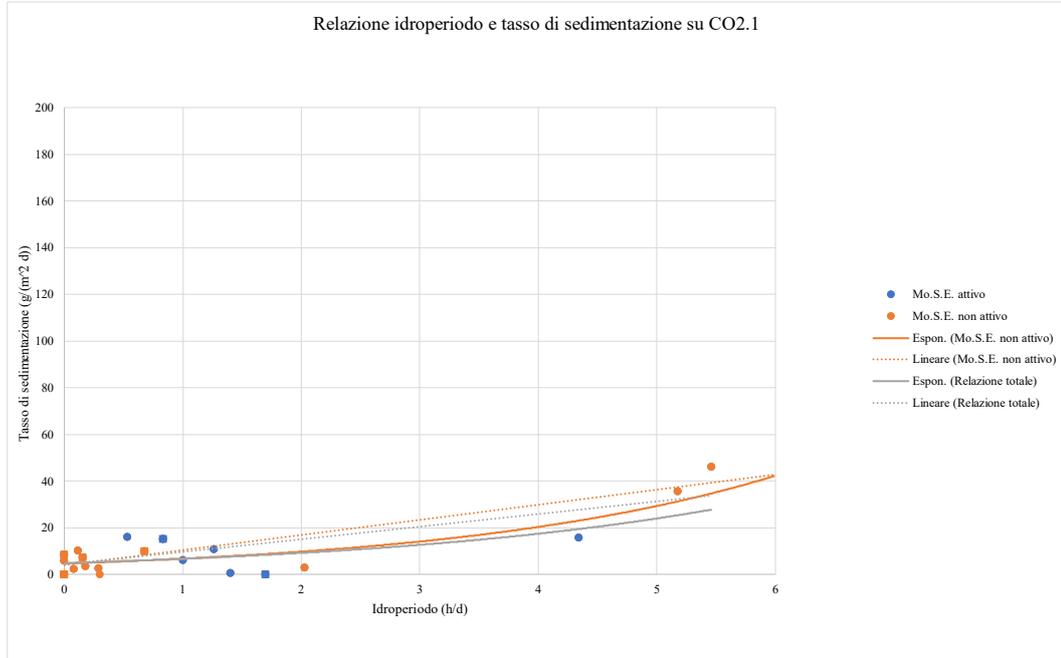


Figura 107: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO2.1

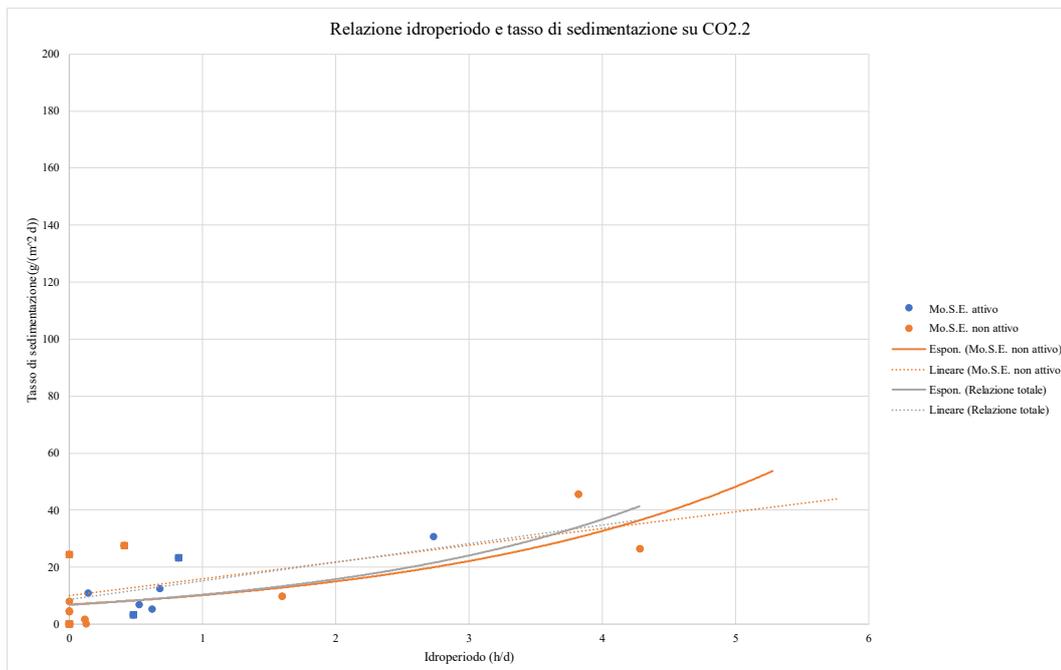


Figura 108: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO2.2

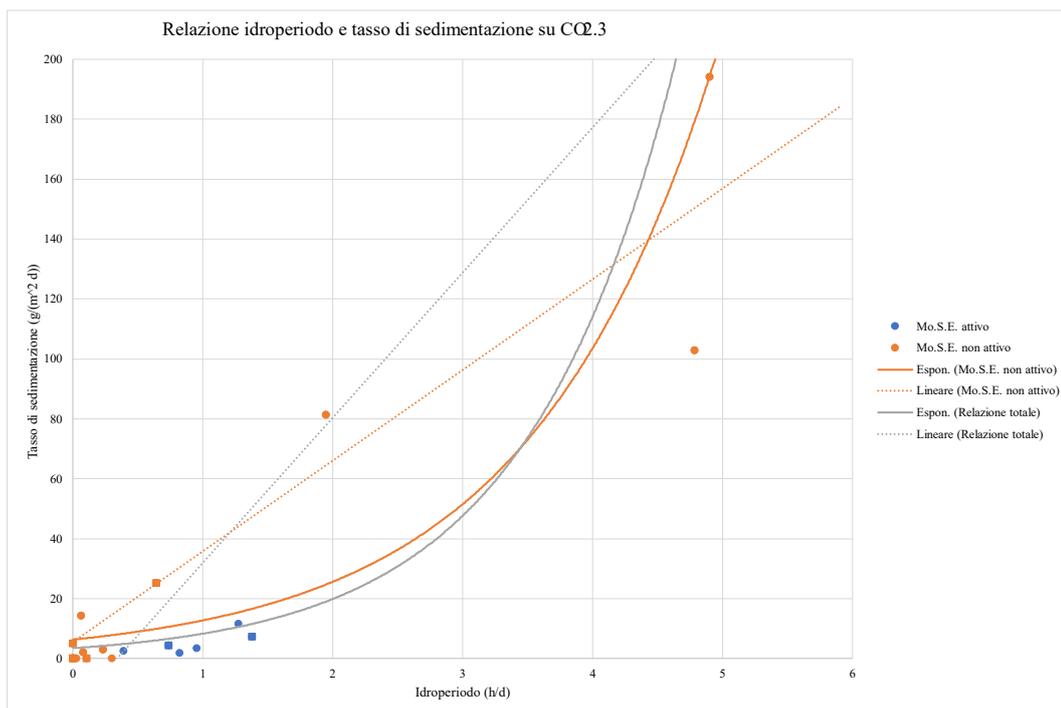


Figura 109: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO<sub>2.3</sub>

### 3.3.4.3 CO<sub>3</sub>

Sul transetto 3 viene confermato quanto già visto sugli altri transetti della medesima area studio; tuttavia, si osservi che la stazione 3.2 presenta una crescita del tasso di sedimentazione maggiore rispetto alla stazione più vicina al margine della barena e a quella più lontana dal margine della barena.

Si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti delle curve di regressione e i rispettivi valori di  $R^2$  per le tre stazioni del transetto CO<sub>3</sub>:

		a	b	$l_1$	$l_2$	$R_e^2$	$R_l^2$
3.1	Relazione totale	3.991	0.037	0.275	4.803	<b>0.04</b>	0.03
	Mo.S.E. non attivo	2.294	0.181	0.634	4.823	<b>0.13</b>	0.11
3.2	Relazione totale	4.543	0.558	19.437	-3.340	<b>0.78</b>	0.63
	Mo.S.E. non attivo	5.123	0.649	24.675	1.881	<b>0.95</b>	0.88
3.3	Relazione totale	0.968	0.572	4.033	-1.299	0.62	<b>0.70</b>
	Mo.S.E. non attivo	1.055	0.499	2.966	-0.017	<b>0.98</b>	0.90

Si osservi che la stazione 3.1 presenta una pessima bontà di adattamento per entrambe le funzioni, con valori dell'indice  $R^2$  inferiori a 0.15. Le altre due stazioni invece presentano una buona interpolazione dei dati ad opera, principalmente, della funzione esponenziale.

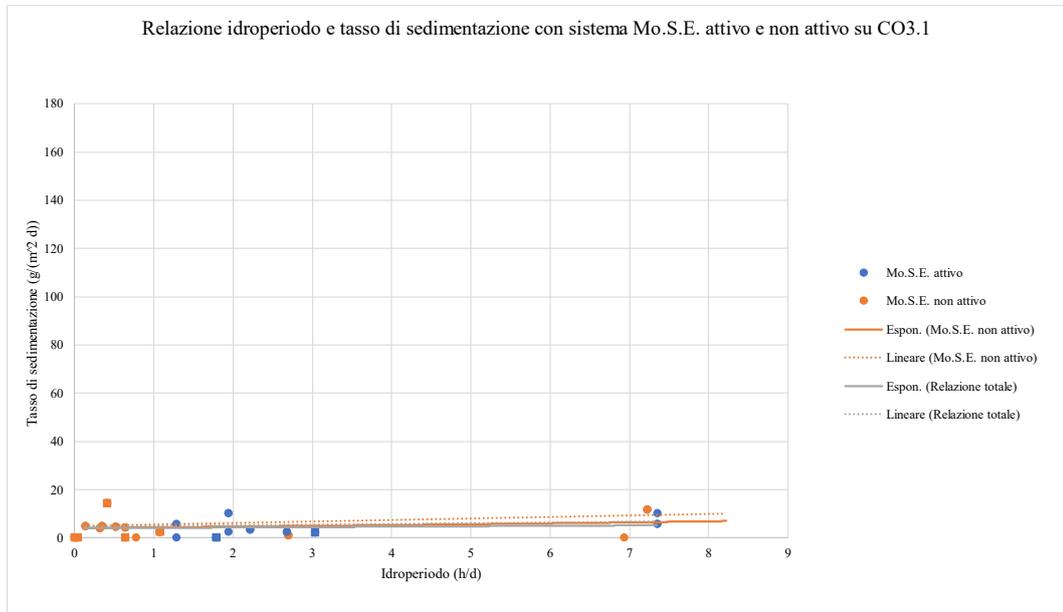


Figura 110: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO3.1

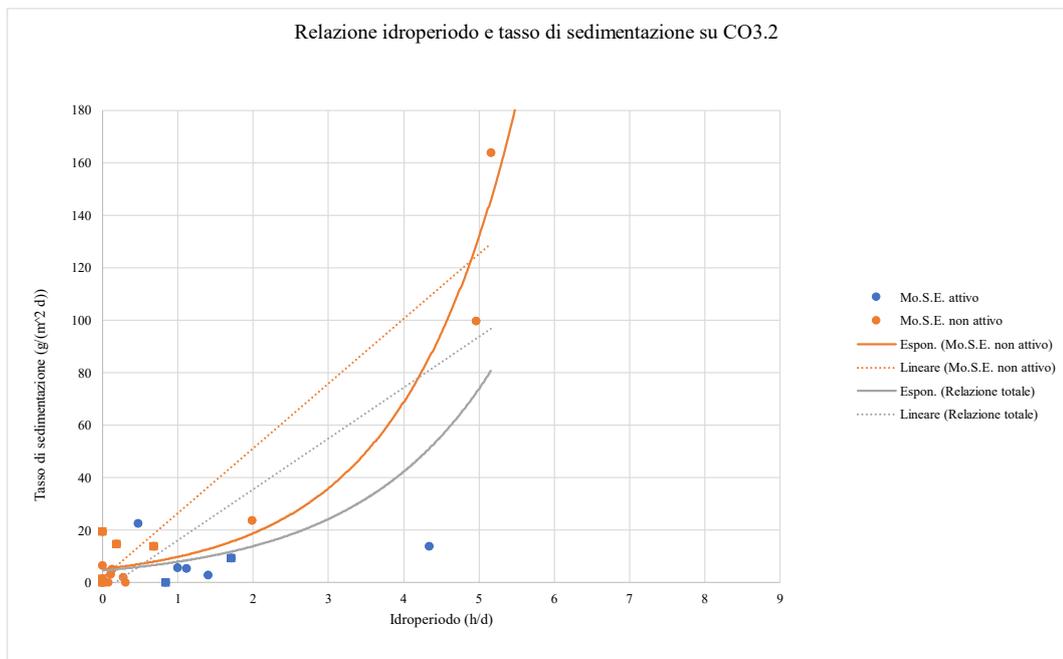


Figura 111: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO3.2

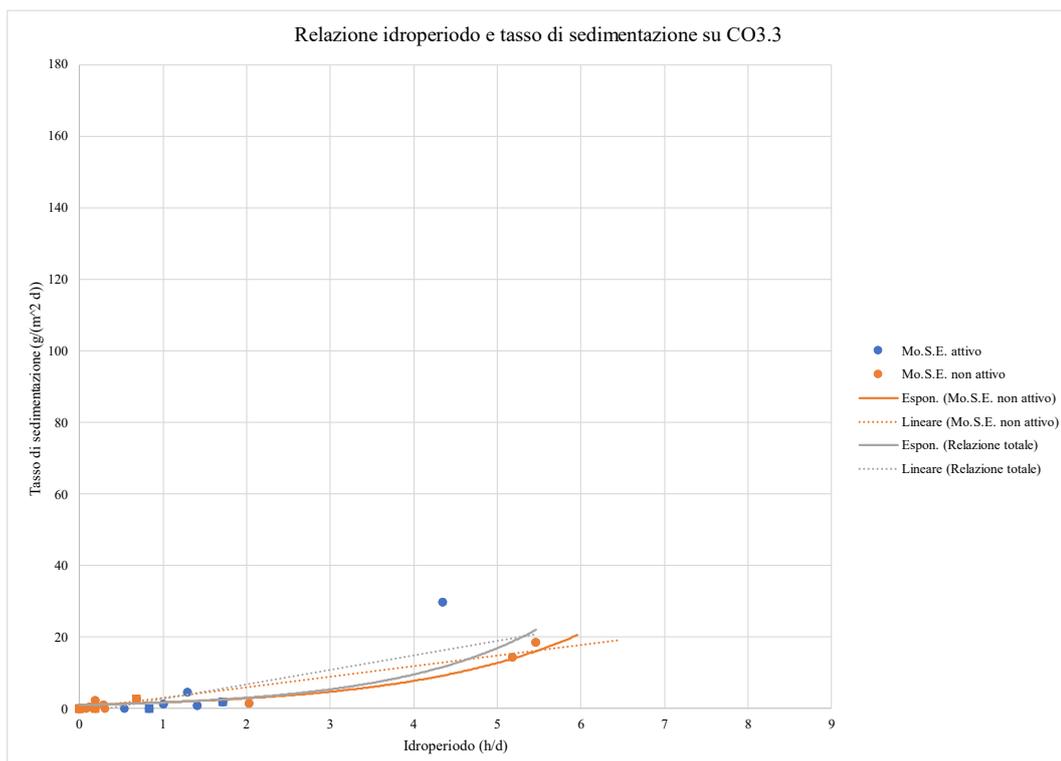


Figura 112: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su CO3.3

#### 3.3.4.4 Media su area studio

Si procede ora ad effettuare una media su area studio, mediando l'idroperiodo e il tasso di sedimentazione di tutte le stazioni dell'area studio di Conche. Si procede poi, come visto in precedenza, a distinguere una serie di dati con sistema Mo.S.E. non attivo e una, che viene chiamata relazione totale, comprendente sia i dati di Mo.S.E. attivo che non attivo, plottando le due funzioni di tendenza (esponenziale e lineare) (Figura 113).

A differenza delle altre aree studio analizzate, la funzioni esponenziali e lineari delle due serie di dati analizzati tendono rispettivamente a sovrapporsi.

Le funzioni esponenziali presentano un'ottima interpolazione, con  $R^2$  pari a 0.97 per la serie con sistema Mo.S.E. non attivo e 0.92 per la serie comprendente tutti i dati.

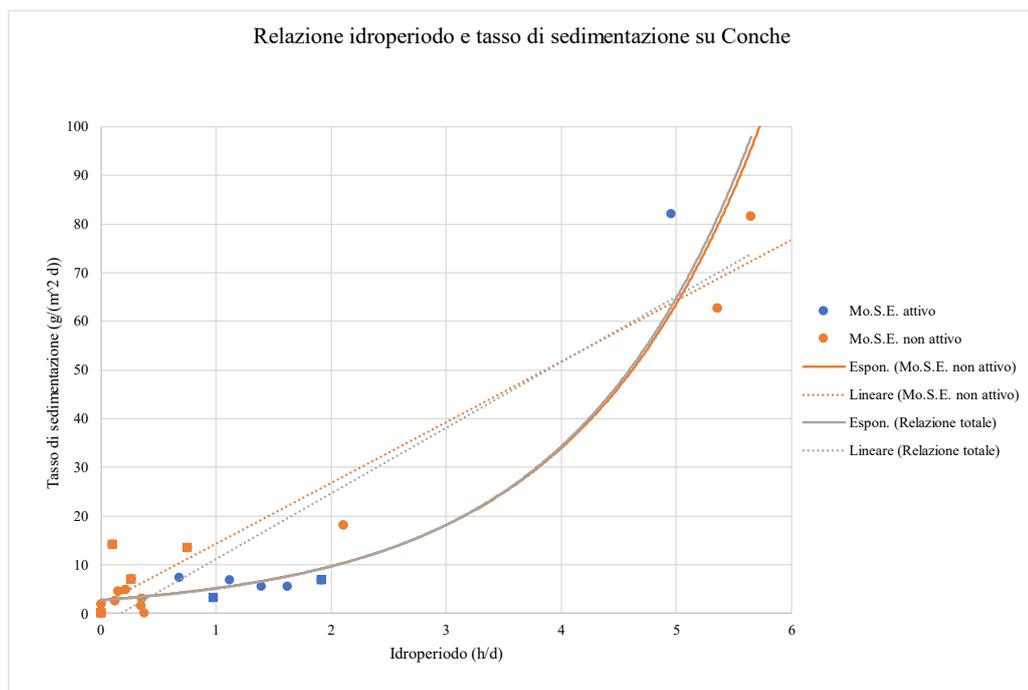


Figura 113: Relazione tra idroperiodo e tasso di sedimentazione medio giornaliero su Conche

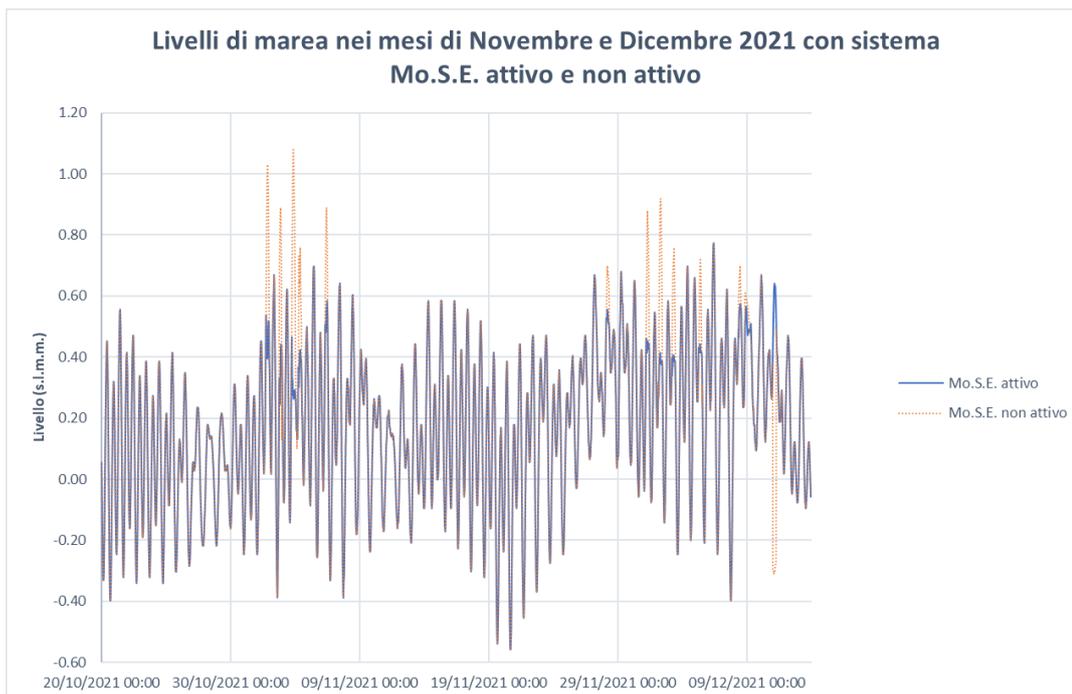
## 4 Effetti del sistema Mo.S.E.

Come osservato dai grafici che illustrano la relazione tra tasso di sedimentazione e idroperiodo nel §Capitolo 3, il sistema Mo.S.E. influisce sulla sedimentazione. Infatti, in corrispondenza dei mesi in cui dove il sistema Mo.S.E. è stato attivato si sono registrati idroperiodi minori con corrispondenti tassi di sedimentazione minori. A titolo esemplificativo, si è quindi deciso di effettuare il ricalcolo dell'idroperiodo sull'area studio di Conche assumendo, per i mesi di novembre 2021 e dicembre 2021 durante i quali il sistema Mo.S.E. è stato attivato, che i livelli registrati in laguna siano quelli che ci sarebbero stati se il sistema Mo.S.E. non fosse stato messo in funzione. In questo modo è stato possibile effettuare una stima del tasso di sedimentazione medio giornaliero che sarebbe stato registrato se il sistema non fosse entrato in funzione.

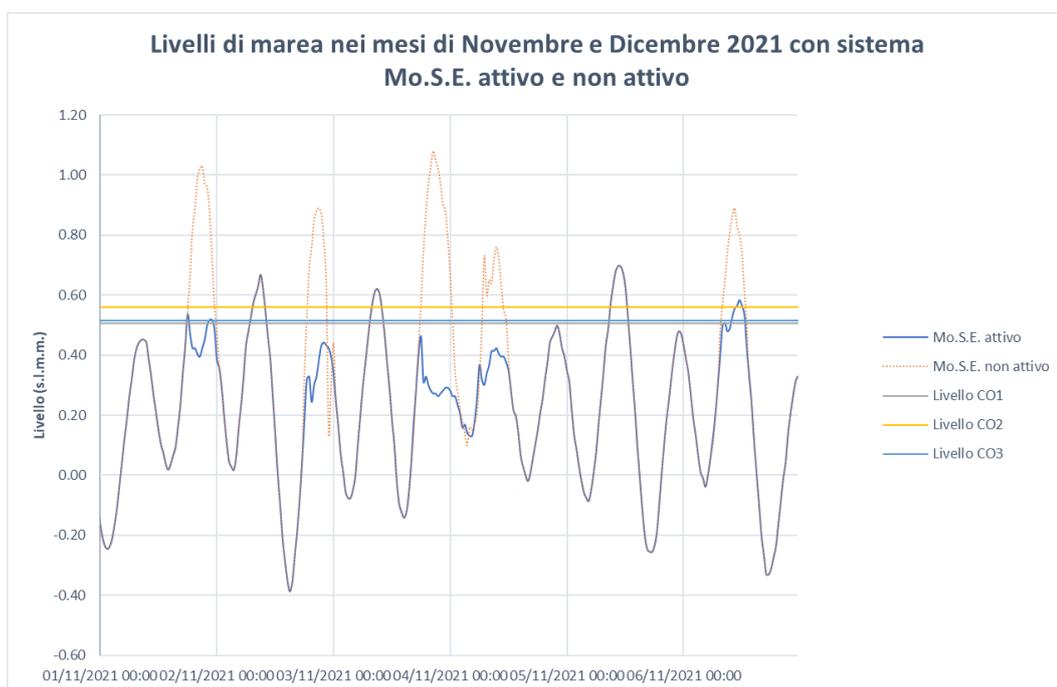
Si riportano in seguito le alzate effettuate nei due mesi considerati per l'area studio analizzata:

Data	Venezia	Lido mare	Mal. mare	Chioggia mare	Mose
1.11.2021	83cm 18:15	139cm 20:35	134cm 20:30	134cm 19:45	Si 4
2.11.2021	66cm 21:00	119cm 20:30	122cm 21:10	120cm 21:15	Si 4
3.11.2021	54cm 18.15	139cm 20:00	137cm 20:05	138cm 19:45	Si 4
4.11.2021	71cm 08:05	108cm 08:45	108cm 09:10	106cm 08:50	Si 4
6.11.2021	71cm 10:40	118cm 10:00	120cm 10:05	121cm 10:05	Si 4
28.11.2021	83cm 03:15	102cm 04:20	99cm 04:40	100cm 04:30	Si 4
1.12.2021	76cm 05:30	119cm 07:20	117cm 07:00	118cm 07:00	Si 4
2.12.2021	67cm 10:35	122cm 07:13	121cm 06:36	122cm 07:21	Si 4
3.12.2021	66cm 05:30	106cm 08:15	105cm 08:20	108cm 07:50	Si 4
5.12.2021	75cm 07:20	116cm 09:05	114cm 08:50	114cm 08:50	Si 4
8.12.2021	75cm 09:30	99cm 12:10	99cm 11:45	101cm 11:50	Si 4
9.12.2021	80cm 08:25	125cm 00:45	121cm 00:25	122cm 00:54	Si 4

I livelli ricalcolati sono stati realizzati a partire dai dati di livello registrati in prossimità della Diga Sud di Chioggia.



*Figura 114: Livelli di marea nei mesi di novembre e dicembre 2021 con sistema Mo.S.E. attivo e non attivo*



*Figura 115: Differenza livelli di marea con sistema Mo.S.E. attivo e non attivo nel periodo 01/11/2021 - 06/11/2021 su Conche*

Si osservi, in Figura 114 e nel dettaglio per il periodo 01/11/2021 al 06/11/2021 in Figura 115, che il sistema Mo.S.E. smorza i picchi di marea (curva in arancione) e quindi viene diminuito il tempo (in ore) di sommersione della barena. Considerando i livelli di marea senza il sistema Mo.S.E., si osservi che l'area studio di Conche viene sommersa per un periodo maggiormente prolungato su tutti e tre i transetti. Mediante la regressione esponenziale, precedentemente calcolata per l'area studio di Conche, si è potuto procedere alla determinazione di una nuova stima per il tasso di sedimentazione medio giornaliero secondo la relazione definita dalla regressione esponenziale:

$$SED_{noMo.S.E.} = 2.7071 * e^{(0.6352 * IDR_{noMo.S.E.})}$$

Dove  $IDR_{noMo.S.E.}$  è l'idroperiodo in ore al giorno calcolato riconsiderando il numero di sommersioni della barena dovuto all'aggiornamento dei livelli considerando il Mo.S.E. non attivo,  $SED_{noMo.S.E.}$  è il tasso di sedimentazione in  $g/(m^2d)$  ricalcolato con l'idroperiodo aggiornato. Si riportano i valori ottenuti in grafico, calcolati mediando i valori ottenuti dalle singole stazioni sui mesi di novembre e dicembre.

Si osservi che, con il sistema Mo.S.E. attivo, l'idroperiodo subisce una diminuzione pari a circa il 47% nel mese di novembre (da 2.09 h/d a 0.98 h/d) e pari a circa il 65% nel mese di dicembre (da 2.98 h/d a 1.91 h/d).

Di conseguenza la sedimentazione, quando il sistema Mo.S.E. è attivo, essendo strettamente legata all'idroperiodo, passa da 10.245  $g/(m^2d)$  calcolati a 3.252  $g/(m^2d)$  registrati per il mese di novembre e da 18.027  $g/(m^2d)$  calcolati a 6.813  $g/(m^2d)$  registrati per il mese di ottobre: si registra quindi una diminuzione del tasso di sedimentazione sulla barena pari a circa 70% (Tognin D. et al. 2021) (Figura 116). Tale risultato mette in luce come il sistema Mo.S.E. non favorisca l'accrescimento verticale della barena, ma anzi lo contenga.

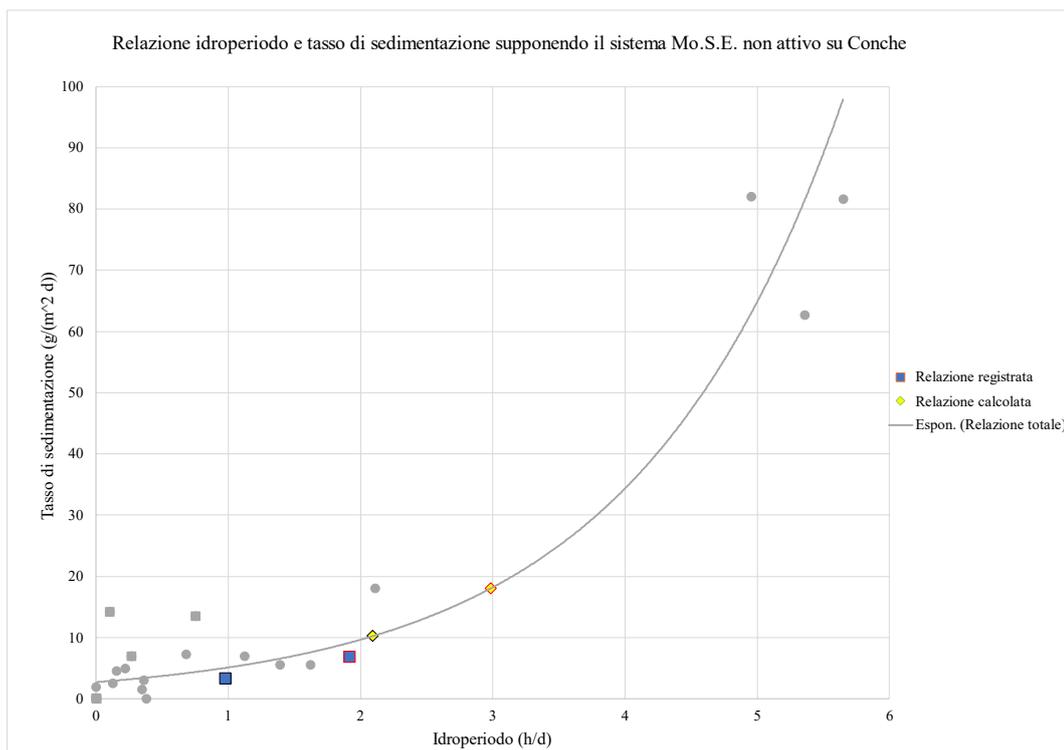


Figura 116: Ricalcolo del tasso di sedimentazione su Conche usando la regressione di tipo esponenziale

## 5 Conclusioni

Dal lavoro di tesi svolto si è evidenziato un legame tra l'idroperiodo e il tasso di sedimentazione, influenzato dalla distanza dal margine di barena, dagli eventi di alta marea e dalla presenza del sistema Mo.S.E. attivo. Si è infatti osservata una tendenza crescente del tasso all'aumentare della distanza dal margine della barena sulle aree studio di San Felice, Sant'Erasmus; tale tendenza risulta invece invertita per l'area studio di Conche e Foce Dese, dove il tasso di sedimentazione decresce all'aumentare della distanza dal margine della barena. La sedimentazione è concentrata principalmente poi nei mesi invernali, da ottobre a dicembre, soggetti al frequente fenomeno dell'acqua alta. I mesi primaverili invece, per la maggior parte delle stazioni, presentano sedimentazione scarsa o nulla.

Il contenuto organico percentuale invece, analizzato mediante il processo LOI, risulta essere elevato nei mesi con poca sedimentazione e periodi di breve sommersione, come febbraio e aprile. Ciò può essere dovuto ad un maggior contributo di sostanza organica ad opera della vegetazione in loco.

Attraverso il confronto con i dati raccolti nei precedenti anni di osservazione nel medesimo periodo di interesse (autunnale/invernale/primaverile degli anni 2019/2020 e 2020/2021), è stato evidente come il blocco parziale delle alte maree in Laguna ad opera del sistema Mo.S.E. influisca sulla sedimentazione sulle barene e quindi sul loro accrescimento verticale: i valori registrati infatti presentano idroperiodi brevi e tassi di sedimentazione minori rispetto a quanto registrato con il sistema Mo.S.E. non attivo, durante i quali invece si è osservata la presenza di picchi di sedimentazione dovuti alla presenza di livelli di marea elevati che hanno contribuito a una sommersione prolungata, nei mesi invernali, delle barene oggetto di studio di tale elaborato.

Con tali risultati non si vuole criticare il sistema Mo.S.E., nato per salvaguardare Venezia da eventi metereologici estremi e ad oggi unico sistema disponibile per mettere in sicurezza la città da tali fenomeni, ma si vuole porre l'attenzione su come sia fondamentale coniugare l'esigenza assoluta di sicurezza alla necessità di non mettere a rischio i delicati equilibri esistenti nell'ecosistema lagunare.



## 6 Bibliografia/sitografia

- Acqua alta: Venezia — ISMAR (cnr.it)  
<http://www.ismar.cnr.it/infrastrutture/previsioni/acqua-alta-veneziah#:~:text=Questo%20lo%20possiamo%20dividere%20in,medio%20del%20mare%20si%20alza.> (08/09/2022)
- Luigi D'Alpaos, *Lo scavo dei grandi canali navigabili*, in *Fatti e misfatti di idraulica lagunare. La laguna di Venezia dalla diversione dei fiumi alle nuove opere delle bocche di porto*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, 2010.
- Rallo G., Lambertini M., *Guida alla natura nella laguna di Venezia – Itinerari, storia e informazioni naturalistiche*, Padova, Franco Muzzio Editore, 1996.
- Barene - Venezia (istitutoveneto.org)  
<http://www.istitutoveneto.org/veneziah/divulgazione/valli/barene.php>.  
(08/09/2022)
- Anò N., Calzavara D., Salviato L., *Gli ambienti salmastri della Laguna - Flora e vegetazione delle barene - note e schede*, Venezia, Società Veneziana di scienze naturali lavori, 2001.
- MOSE Venezia | Progetto <https://www.moseveneziah.eu/progetto/>.  
(10/09/2022)
- Laguna di Venezia: non c'è solo il problema dell'acqua alta | Il Bo Live UniPD <https://ilbolive.unipd.it/it/content/laguna-di-veneziah-non-c%E2%80%99e-solo-il-problema-dell%E2%80%99acqua-alta>.  
(12/09/2022)
- Tognin, D., A. D'Alpaos, M. Marani, and L. Carniello (2021), Marsh resilience to sea-level rise reduced by storm-surge barriers in the Venice Lagoon, *Nature Geoscience* 2021; doi.org/10.1038/s41561-021-00853-7.
- Tognin, D., A. Finotello, A. D'Alpaos, D.P. Viero, M. Pivato, R.A. Mel, A. Defina, E. Bertuzzo, M. Marani, and L. Carniello (2021), Loss of geomorphic diversity in shallow tidal embayments promoted by storm-surge barriers, *Science Advances* 2022; doi.org/10.1126/sciadv.abm8446.

- IPCC, 2013. Annex II: climate system scenario tables. In: Prather, M., Flato, G., Friedlingstein, P., Jones, C., Lamarque, J.-F., Liao, H., Rasch, P. (Eds.), *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bexand P.M. Midgley (eds.)].
- Mel, R., L. Carniello, and L. D'Alpaos (2021), How long the Mo.S.E. barriers will be effective in protecting all urban settlements within the Venice Lagoon? The wind setup constraint, *Coastal Engineering* 2021, 168, 103923; doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103923. (23/09/2022).