

**ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI SCIENZE**

*Corso di Laurea Magistrale in Analisi e Gestione dell'Ambiente*

**Mappatura della popolazione di *Pinna nobilis* con drone nella zona  
centro-meridionale della laguna di Venezia**

Tesi di Laurea Magistrale in Monitoraggio e Pianificazione del Territorio

**Relatore**

*Prof.ssa Silvestri Sonia*

**Presentata da**

*Veronica Capra*

**Correlatore**

*Professore Tarolli Paolo*

Anno Accademico 2019/2020

# INDICE

ABSTRACT .....	3
1. INTRODUZIONE.....	4
1.1 PINNA NOBILIS.....	5
1.1.1 MICROSTRUTTURA DELLA CONCHIGLIA .....	8
1.1.2 ANATOMIA.....	9
1.1.3 CRESCITA.....	10
1.1.4 BIOLOGIA ED ECOLOGIA .....	11
1.1.5 IDRODINAMICA E ORIENTAMENTO DELLE CONCHIGLIE .....	13
1.1.6 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA.....	14
1.1.7 MAR MEDITERRANEO.....	15
1.1.8 MINACCE.....	17
1.2 FANEROGAME MARINE .....	19
1.3 LAGUNA DI VENEZIA.....	26
2. AREA DI STUDIO.....	34
3. MATERIALI E METODI .....	35
3.1 CAMPIONAMENTO .....	35
3.2 ELABORAZIONE DATI DA RILIEVO CON DRONE .....	38
3.3 ANALISI DATI DA SONDA MULTIPARAMETRICA .....	42
3.4 TRATTAMENTO DEI CAMPIONI IN LABORATORIO.....	48
3.4.1 BULK DENSITY (BD):.....	49
3.4.2 LOSS OF IGNITION (LOI).....	51
3.4.3 CHN ANALYZER WITH DIFFERENCE COMBUSTION (CHN-DOI).....	54
3.4.4 ANALISI GRANULOMETRICA .....	57
4. RISULTATI.....	61
4.1 RILIEVO UAV .....	61
4.2 FATTORI AMBIENTALI .....	67
4.3 ANALISI DI LABORATORIO .....	74
5. DISCUSSIONE .....	85
6. CONCLUSIONI .....	91
BIBLIOGRAFIA .....	95
SITOGRAFIA .....	103

## ABSTRACT

Il presente elaborato si concentra sullo studio di una popolazione di *Pinna nobilis* nella zona centro-meridionale della Laguna di Venezia, in un'area adiacente all'isola di Pellestrina.

*Pinna nobilis* (Linnaeus 1758), anche comunemente conosciuta con il nome di "nacchera di mare", "matrepperna" o "cozza penna", è il più grande mollusco bivalve endemico del Mediterraneo. Si tratta di un mollusco bivalve pteriomorfo presente nel Mar Mediterraneo già a partire dalla fine del Miocene. Le dimensioni delle sue grandi valve possono raggiungere i 120 cm di lunghezza, con individui che vivono fino a 27 anni di età. *Pinna nobilis*, specie protetta dalla Direttiva Habitat (92/43/CEE), recentemente è stata inserita anche nella lista rossa IUNC a causa di eventi di mortalità di massa che si sono verificati lungo le coste del Mediterraneo a causa di un agente patogeno che porta alla morte la quasi totalità degli organismi che attacca nella popolazione colpita. Solitamente questo bivalve sessile vive ad una profondità variabile tra 0,50 m e 60 m. Tale mollusco non colonizza solo zone di mare aperto ma anche zone estuarine e lagunari, infatti la sua presenza è stata osservata in alcune lagune nel Mar Adriatico dopo diversi decenni di assenza. Molto spesso nelle aree colonizzate da *Pinna nobilis* si nota la stretta associazione tra il mollusco e la prateria di fanerogame marine in cui cresce, questa associazione è più evidente in aree meno profonde. Circa 10-15 anni fa *Pinna nobilis* ha ripreso a colonizzare i prati di fanerogame marine della Laguna di Venezia (Italia), tanto che oggi diversi bacini delle aree centrali e meridionali della laguna risultano colonizzati dal bivalve.

In questo studio sono impiegate le immagini derivanti da rilievo UAV per mappare la popolazione di *Pinna nobilis* presente nell'area di studio; le stesse sono impiegate per svolgere la valutazione di densità di copertura delle fanerogame marine. La presenza di praterie di fanerogame è un elemento importante per la stabilità del sedimento di fondo delle lagune poiché influenzano la risospensione, la torbidità delle acque, il trasporto e la deposizione di esso. Ad ampliare il quadro conoscitivo, oltre alle indagini direttamente sul campo sono state svolte analisi di laboratorio sui campioni prelevati dall'area di studio, in riferimento al contenuto di carbonio organico e alla granulometria; in più sono stati presi in considerazione 18 anni di dati della sonda multiparametrica Ve3 (Rete SAMANET) di proprietà del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle Opere pubbliche del Veneto – Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia. Questi consentono di esplorare i diversi fattori ambientali che probabilmente possono aver influenzato la crescita e la salute della popolazione di *Pinna nobilis*. Uno degli obiettivi dello studio è quello di rilevare i principali fattori ambientali e geomorfologici importanti per la crescita della popolazione negli ultimi anni e per fornire informazioni per metodi di protezione e ripristino nel caso la popolazione venga attaccata dal patogeno. In questo caso la popolazione di *Pinna nobilis* si trova in stretta correlazione con la copertura di fanerogame marine. In merito ai diversi fattori ambientali indagati, in particolar modo la torbidità, presenta una diminuzione a partire dagli anni 2008/2009. I sedimenti analizzati presentano una scarsa percentuale di carbonio organico ma sono caratterizzati dalla frazione sabbiosa (>63 µm).

## 1. INTRODUZIONE

*Pinna nobilis* (Linnaeus 1758), comunemente conosciuta con il nome di “nacchera di mare”, “matrepperna” o “cozza penna”, è il più grande mollusco bivalve del Mediterraneo. Si tratta di un mollusco bivalve pteriomorfo presente nel mar Mediterraneo già a partire della fine del Miocene. Questo elaborato descrive il lavoro di ricerca effettuato per giungere alla mappatura della popolazione del mollusco in una zona di studio all’interno della laguna di Venezia, nei pressi della bocca di Malamocco.

Da alcuni anni a questa parte la popolazione di *Pinna nobilis* ha ricolonizzato l’ambiente lagunare con una densità variabile a seconda delle diverse zone. Come riportato da Russo (2012), si è osservato un notevole ripopolamento di *Pinna nobilis* in determinate aree tanto che si possono trovare anche 12-16 esemplari/m<sup>2</sup> (Russo, 2012).

Nello specifico, si può notare che sono state colonizzate le aree coperte da un letto di fanerogame marine. Queste formano praterie strutturate e sono uno dei più complessi ecosistemi comuni nelle lagune litoranee, tipicamente crescono tra 0-30m (Coppa *et al.*, 2019). Le praterie di fanerogame marine sono un’importante riserva per la pesca e svolgono il compito di stabilizzare i sedimenti del fondo e il litorale stesso dall’erosione. Rappresentano un ecosistema chiave nei mari nelle zone tropicali e temperate ma diversi studi affermano che negli ultimi decenni sono state sottoposte a forte stress che ha condotto ad un deterioramento delle praterie e alla loro diminuzione (De Falco *et al.*, 2006).

Alcuni recenti studi sono volti ad indagare la relazione tra la morfodinamica delle praterie di fanerogame e la distribuzione della *Pinna nobilis*. Infatti, il mollusco può essere trovato in numerosi substrati tra cui il sedimento nudo privo di copertura da parte della vegetazione, in fondali o in aree estuarine non vegetate e letti di Maërl, ma di solito viene trovato in praterie di fanerogame marine (García-March *et al.*, 2006; Marrocco *et al.*, 2018). Le praterie di fanerogame marine, quindi, sono l’habitat preferito dal mollusco, e l’associazione tra queste è molto più forte in zone poco profonde dove le foglie delle fanerogame svolgono il compito importante di attenuare lo stress idrodinamico (Hendriks *et al.*, 2011; Manca *et al.*, 2012). Le praterie di fanerogame oscillano con il flusso, al contrario la rigidità della conchiglia *Pinna nobilis* impedisce lo smorzamento dell’idrodinamismo (Granata *et al.* 2001).

*Pinna nobilis* si trova nella lista delle specie protette in quanto è considerata una specie minacciata da estinzione (International Union for Conservation of Nature) a causa della riduzione delle sue popolazioni osservata dal secolo scorso dovuto al degrado del suo habitat naturale (Richardson *et al.* 2004) e dell’azione di un patogeno che causa la morte del 80%-100% di individui nelle popolazioni colpite (Carella, 2019). Il mollusco è incluso nella lista di specie di interesse “Les Espèces Marines à protéger en Méditerranée” (Vicente *e al.*, 1991), nell’allegato II del Protocollo SPA/BIO della Convenzione di Barcellona (1995), nella Convenzione di Berna e nell’allegato IV della Direttiva Habitat (1992). Per la sua rilevanza ecologica, *Pinna*

*nobilis* è la specie bersaglio per valutare il descrittore “Diversità ecologica” e “Stato delle singole componenti strutturali degli ecosistemi” della Marine Strategy Framework Directive (MSFD 56 / EC, 2008) dell’unione europea da applicare per raggiungere il buon stato ambientale (GES) entro il 2020. Essendo una specie protetta è vietata la sua detenzione, consumo, raccolta e vendita ai fini commerciali, e ognuna di queste azioni costituisce un reato.

Lo studio in questione non ha come unico obiettivo quello di mappare la popolazione di *Pinna nobilis* ma anche quello di osservare l’orientamento dei bivalvi. Si è notato infatti, che in alcune aree si ha un orientamento preferenziale delle conchiglie, questa strategia è assunta quando forze idrodinamiche forti sono un fattore chiave per determinarla (García-March, 2007 b; Coppa *et al.*, 2010). Per le specie sessili l’idrodinamica può influenzare il trasporto di nutrienti migliorando l’approvvigionamento di cibo, la respirazione, ma si può rivelare anche un elemento dannoso in quanto può staccare organismi e spazzarli via (Coppa *et al.*, 2013).

Nello svolgimento della tesi sono state indagate e studiate anche le caratteristiche di alcuni campioni di sedimento dell’area di studio organizzati in due transetti, uno situato in un’area in cui è presente *Pinna nobilis* e l’altro in un’area dove il mollusco è assente nel tentativo di osservare variazioni spaziali nel contenuto di carbonio organico e inorganico. Sono stati infine indagati i dati provenienti da una sonda multiparametrica (Ve3) ubicata nei pressi del sito di campionamento al fine di indagare i principali fattori ambientali che possono aver influenzato la crescita e lo sviluppo di *Pinna nobilis* in laguna durante l’ultimo decennio.

La popolazione indagata in vicinanza dell’isola di Pellestrina per il momento sembra essere in buone condizioni di salute.

## 1.1 PINNA NOBILIS

*Pinna nobilis* (Linnaeus 1758), comunemente conosciuta come “nacchera di mare”, “matrepperna” o “cozza penna”, è il più grande mollusco bivalve endemico del Mediterraneo (Figura 1).

Le dimensioni delle sue grandi valve possono superare i 100 cm di lunghezza, tanto che l’esemplare vivente più grande raggiunge i 120 cm di lunghezza. Alcuni esemplari di questo mollusco possono raggiungere 27 anni di età (García-March *et al.*, 2011; Richardson *et al.*, 1999).

*Pinna nobilis* solitamente vive ad una profondità variabile tra 0,50 m e 60 metri (Marrocco *et al.*, 2018).

Si tratta di un mollusco bivalve pteriomorfo presente nel Mar Mediterraneo già a partire dalla fine del Miocene (Gomez-Alba, 1988). Il genere *Pinna* insieme al genere *Atrina* e *Streptopinna*, diffusi nell’America tropicale occidentale, fanno parte della famiglia Pinnidae, superfamiglia Pinnodea e sottoclasse Pteriomorphia, classe Bivalvia e Phylum Mollusca.



Figura 1. Immagine rappresentativa di *Pinna nobilis* in natura (García-March, 2005).

Le importanti dimensioni che riesce a raggiungere *P. nobilis* sono una caratteristica comune a tutti i bivalvi della famiglia delle Pinnidae, ed è possibile grazie allo sviluppo del mantello lontano dai muscoli adduttori posteriori (Yonge, 1953).

Le sue valve riportano la tipica forma distintiva triangolare con una superficie più stretta nella parte anteriore e una più ampia in quella posteriore. Infatti, *P. nobilis* vive con le estremità anteriori di forma appuntita sepolte verticalmente in substrati morbidi di fango, fango-sabbioso o sabbia. Solitamente si trova in superfici coperte da fanerogame marine. Più grandi sono gli individui più la frazione sepolta nel sedimento sarà alta rispetto a organismi di più piccole dimensioni, questo suggerisce che l'individuo affondi passivamente nel sedimento quando il suo peso aumenta con l'età altrimenti risulterebbe instabile (Richardson *et al.* 1999).

La profondità di sepoltura della parte anteriore evidenzia che circa un terzo del guscio risiede sotto al sedimento. L'ancoraggio dell'organismo avviene grazie ai molti e resistenti fili di bisso che permettono l'adesione a strutture solide presenti nel substrato come detriti, sabbia, radici e rizomi (Richardson *et al.* 1999) (Figura 2). Trattandosi di un organismo sessile, cercano di rinforzare il bisso in modo da aumentare la fissazione al substrato; il bisso contribuisce alla loro posizione verticale, rendendolo meno soggetto a idrodinamica locale (Basso *et al.* 2015 c).

Detto ciò, la parte dell'organismo che rimane esposto al di sopra del sedimento rappresenta la parte maggiore del bivalve e rimane priva di protezione; gli organismi adulti sono minacciati dalle correnti e dal moto ondoso, mentre gli organismi più giovani sono minacciati anche dai predatori (Fiorito *et al.*, 1999).

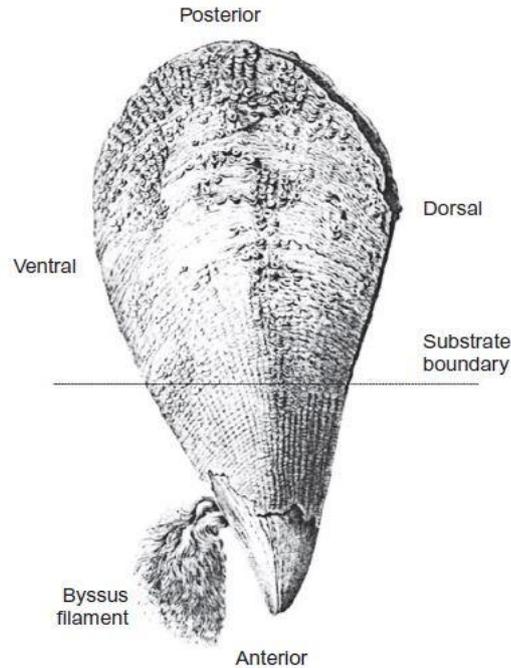


Figura 2. Rappresentazione generale di un esemplare di *Pinna nobilis* come si osserva in natura, con il terzo anteriore sepolto nel sedimento attaccato da fili di bisso e la parte posteriore esposta; ridisegnata da Cziahač and Dierl, 1961.

*Pinna nobilis* è stata una risorsa preziosa per l'uomo. La particolarità per cui *P. nobilis* è molto conosciuto già dalle epoche passate è il bisso marino o seta di mare, descritto come filamenti di una fibra grezza di colore marrone dorato, creati dal mollusco con il principale scopo di ancoraggio al substrato. Già gli antichi egiziani e i romani, grazie al bisso prodotto dai bivalvi, erano in grado di produrre dei tessuti molto pregiati. La parola bisso originariamente deriva dal greco e significa "lino fino", un termine che compare anche in tempi molto antichi. Si ritrovano citazioni anche nella Bibbia, nell'antico Testamento, e si dice che la regina egiziana Cleopatra avesse vesti fatte di bisso (Basso *et al.* 2015 c).

La biologia del mollusco si trova descritta nella Storia Naturale di Plinio e ripresa poi da Buonanni (1681).

*"E' però certissimo, che dal ventre dell'animale nasca legata con nervosa sostanza una quasi ciocca di capelli delicatissimi al tatto. Questa si chiama da alcuni Lana da altri Bisso marino, a distintione dal terrestre, fatto di lino, ò bambagia, secondo altri. E' di colore castagno scuro, e nelle maggior pinne si stende alla lunghezza di un palmo al più."* (Buonanni, 1681).

Fa un chiaro riferimento al bisso di mare anche il Carducci nelle sue opere "Delle delizie tarantine. Opera postuma di Tommaso Niccolò d'Aquino patrizio della città di Taranto":

*"che gli antichi si servivano d'una tal lagugine per le loro vesti"* (Carducci, 1771)

### 1.1.1 MICROSTRUTTURA DELLA CONCHIGLIA

La maggior parte dei molluschi ha sviluppato un esoscheletro calcificato rigido per proteggersi dalle pressioni ambientali e da eventuali predatori. Si tratta di una costruzione organo minerale in cui il 95 % del peso è costituito dalla frazione minerale, e solo il 5% è organico. Ma questa piccola percentuale è sufficiente per garantire una maggiore resistenza alla frattura (Marin *et al.*, 2005).

Il mollusco bivalve *P. nobilis* presenta valve di grandi dimensioni, caratteristica che rende unica tale specie; dal punto di vista microstrutturale la conchiglia è formata da tre strati sovrapposti.

Il periostraco è lo strato proteico di natura organica più esterno del guscio dopo la sua formazione viene rapidamente eroso; è formato dalla proteina conchiolina (Yonge, 1953). Oltre a questo primo strato, si possono osservare altre due microstrutture di natura inorganica costituenti l'ostraco: lo strato di calcite esterno, formato da prismi di calcite, presente in tutto il guscio, e lo strato madreperlaceo più interno formato da lamelle impilate di madreperla. Lo strato di calcite è composto da strutture poliedriche prismatiche che negli organismi adulti possono raggiungere dimensione di diversi millimetri ma diametro inferiore ai 10  $\mu\text{m}$ , prende il nome di strato prismatico regolare; questo strato si estende su tutta la conchiglia (Figura 3).

La conchiolina viene assorbita in buona quantità dallo strato di calcite conferendo una buona flessibilità alla parte posteriore del guscio (Basso *et al.* 2015 c).

Lo strato madreperlaceo interno è presente solo nella parte anteriore del guscio, approssimativamente dal punto di inserzione dei muscoli adduttori. Un terzo strato, il miostraco, costituito da prismi irregolari di aragonite può essere osservato sotto gli adduttori e forma anche una parte del legamento, le creste legamentose (García-March, 2008). Si osserva negli organismi adulti e si tratta di uno strato continuo e sottile che copre quello madreperlaceo (Basso *et al.* 2015 c).

Anche la microstruttura di madreperla è caratteristica in quanto presenta un posizionamento di fogli di madreperla in modo ordinato, impilati in modo sfalsato creando uno strato di notevole spessore, per questo motivo viene chiamato "row stack-nacre", fila impilata di fogli (Figura 3).

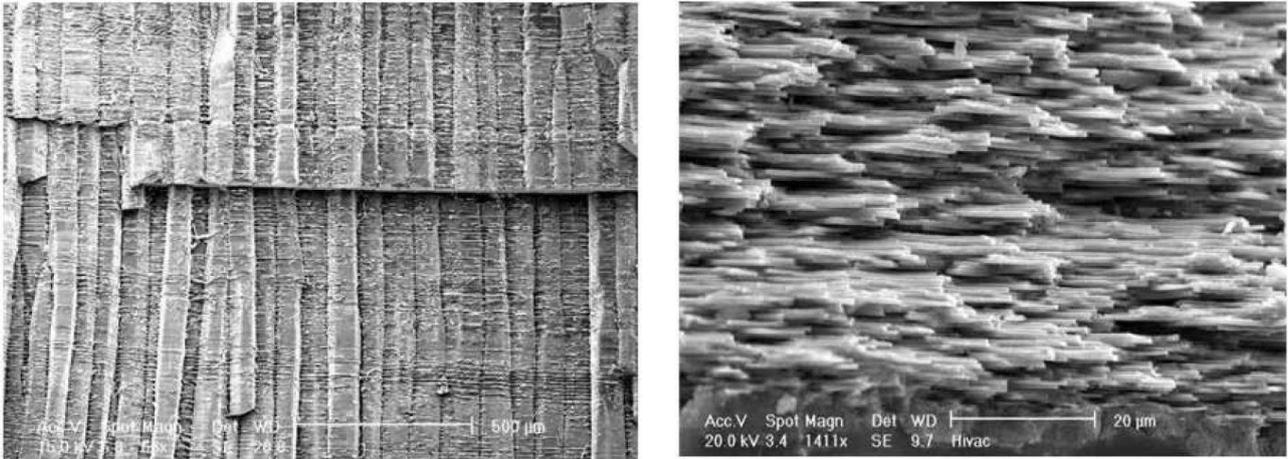


Figura 3. A sinistra: prismi di calcite osservati nella conchiglia di *P. nobilis*. A destra: fogli di madreperla osservati nella conchiglia di *P. nobilis*. Nella parte inferiore si nota lo strato di miostraco (García-March *et al.*, 2006).

L'estensione dello strato madreperlaceo è differente nei tre generi; in *Streptopinna* questo è fortemente ridotto, in *Pinna* è presente un solco di calcite che separa la madreperla in una dorsale e lobo ventrale, in *Atrina* (il genere più primitivo) lo strato di madreperla è continuo non è presente alcun solco (García-March *et al.*, 2006) (Figura 4).

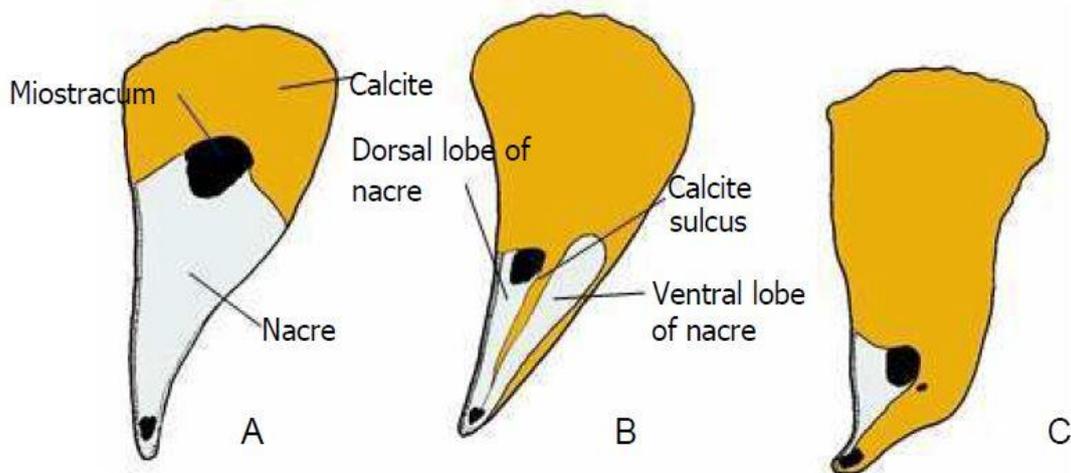


Figura 4. Diverse estensioni di strati di calcite e madreperla in diversi Pinnidae: A. *Atrina*, B. *Pinna*, C. *Streptopinna* (García-March *et al.*, 2006).

### 1.1.2 ANATOMIA

Caratteristica unica di questo bivalve è di vivere parzialmente infossato nel sedimento per circa un terzo della sua estremità anteriore.

L'ancoraggio del mollusco a strutture che si trovano nel sedimento quali sassi, sabbia, rizomi di fanerogame marine, frammenti bio-detritici e radici, avviene tramite molti filamenti caratteristici di questa specie che

prendono il nome di “bisso”. Si tratta di una struttura complessa specializzata per l’adesione al substrato. Il bisso completamente sviluppato di un organismo adulto è composto da un numero di filamenti, prevalentemente di natura proteica, normalmente tra i 20.000 e i 30.000, che sporgono dall’animale attraverso una piccola fessura nella parte anteriore. Sono dotati di placche di adesione che consentono il miglioramento dell’adesione al substrato, i filamenti sono anche legati tra di loro; anche nel caso l’organismo perdesse l’adesione delle piastre i filamenti rimarrebbero comunque legati (García-March *et al.*, 2006). Questa combinazione di fattori conferisce a *P. nobilis* una buona resistenza agli sforzi.

Il bisso è composto da due tipi di filamenti lisci e di sezione ovale: i filamenti sottili e quelli spessi. I filamenti più spessi protrudono dall’organismo per una lunghezza di circa 10-15 mm con uno spessore di circa 0,04 mm e sono formati dalla fusione di quattro filamenti sottili insieme; quelli sottili hanno lunghezza e dimensioni minori rispetto ai precedenti. L’elasticità e la forza sono ancora oggi sconosciute.

Il bisso non è idoneo allo spostamento, ciò indica che gli organismi hanno tendenza a rimanere sessili cercando di rinforzare il legamento in ogni modo (Basso *et al.* 2015 c).

La conchiglia è la parte più appariscente con una determinata forma e colorazione ma la sua funzione principale è quella di sostegno e protezione dell’organismo che vive al suo interno; le due valve sono collegate dorsalmente da un legamento la cui funzione è quella di mantenerle unite (García-March *et al.*, 2008). L’azione di apertura delle valve è prodotta dalla flessibilità della zona posteriore della conchiglia, quando il muscolo adduttore si contrae il guscio si flette e l’apertura si chiude. Diversi studi affermano che il solco presente nei molluschi dove non è presente alcuna madreperla aiuta nel processo di chiusura delle valve (García-March *et al.*, 2006).

Il corpo del mollusco è composto esternamente da un mantello non fuso con le valve che racchiude al suo interno gli organi, tra cui gli organi sessuali, la ghiandola responsabile della produzione del bisso e il cuore. Nella cavità muscolare originata dal mantello si trova il piede, una struttura muscolare che aiuta l’infossamento dell’organismo e il muscolo adduttore che consente di compiere l’azione di apertura e chiusura delle valve definita “gaping activity”. Sono presenti anche le branchie che permettono sia la respirazione che la nutrizione, due funzioni che permettono la sopravvivenza dell’organismo. L’ossigeno viene legato dal liquido sanguigno a livello delle branchie. Essendo una specie protetta, il numero di studi sulla riproduzione di questo bivalve è limitato (Basso *et al.* 2015 c; Carrella *et al.*, 2019).

### 1.1.3 CRESCITA

Lo studio della crescita di *P. nobilis in situ* è stato affrontato da diversi studi ma a causa della lenta crescita degli individui e della scarsa densità di popolazione, arrivare a risultati concreti è difficoltoso e richiede un grande dispendio di tempo.

*Pinna nobilis* riporta il tasso di crescita più alto rispetto ad altri bivalvi e la crescita maggiore si ha proprio nei primi mesi di vita. La crescita della conchiglia in questa specie è molto variabile tra le popolazioni e

anche all'interno della stessa popolazione a diverse profondità. Le diverse dimensioni, età e crescita possono essere correlate alle caratteristiche ambientali di idrodinamica locale, copertura di fanerogame e disponibilità di nutrimento (García-March *et al.* 2020). Uno studio recente sulla crescita degli organismi è stato svolto ad Alicante, Spagna, su due popolazioni per cinque anni consecutivi da luglio 1997 a luglio 2002 (García-March *et al.* 2007 a). Sono state stimate le dimensioni dei gusci del bivalve impiegando dei calibri nelle misurazioni in modo da ottenere dati precisi relativi alla loro dimensione. Queste popolazioni situate nello stesso prato di *Poseidonia oceanica* presentano differenze in termini di distribuzione spaziale degli organismi, dimensioni medie e orientamento.

Lo studio delle dimensioni è importante in quanto, per stimare l'età di un organismo studiato, è possibile far ricorso alle sue dimensioni e alla relazione tra la grandezza e l'età (García-March *et al.* 2020). Sempre più spesso si è impiegata la cicatrice del muscolo adduttore posteriore (PAMS) per stimare l'età di *Pinna nobilis* (García-March *et al.*, 2006).

#### 1.1.4 BIOLOGIA ED ECOLOGIA

Il bivalve *Pinna nobilis* ha un ruolo ecologico estremamente importante in quanto, avendo una vita lunga può essere visto come filtro biologico in grado di riflettere le condizioni ambientali e di alimentazione indicando le condizioni ambientali legate, tra l'altro, anche all'attività antropica negli anni.

*Pinna nobilis* è una specie sospensivora, si trova solitamente in ambienti con acqua pulita e dove gravi disturbi legati alla risospensione del sedimento non sono presenti; presumibilmente non sarebbe in grado di rimuovere in modo efficace l'eccesso di particelle introdotte dalla corrente nel sistema inalante ciò porterebbe ad un collasso del sistema digerente (García-March, 2005).

Essendo filtratore, è in grado di trattenere grandi quantità di materiale organico particolato contribuendo alla limpidezza dell'acqua (Trigos *et al.* 2014). Gli individui rappresentano inoltre un substrato duro fornendo una superficie che può essere colonizzata da diverse specie di flora e fauna bentoniche (Basso *et al.* 2015 c).

Si tratta di organismi filtratori che si nutrono mediante un sifone inalante posto all'estremità posteriore del corpo. È stato dimostrato che hanno una dieta molto più ampia di quello che ci si aspetterebbe; si nutrono di un'ampia gamma di fonti alimentari. *Pinna nobilis* filtra fitoplancton, zooplancton, detriti, materia organica particellare (POM), materia organica sospesa (SPM), materia organica dei sedimenti (SOM) frammenti di foglie di fanerogame e le loro epifite (Davenport *et al.* 2011). Lo studio Trigos, 2014 rivela che *Pinna nobilis* filtra detriti ed è in grado di trattenere circa la metà della materia organica presente in essi. Dall'analisi del contenuto dello stomaco di alcuni individui sembra che inali per lo più detriti, oltre il 95% in volume del materiale ingerito rispetto alle altre classi di nutrienti (Davenport *et al.* 2011).

Il regime alimentare potrebbe dipendere proprio dall'area in cui si trovano i vari organismi; si è osservato

che organismi di piccole dimensioni tendono a filtrare una percentuale più alta di detriti, mentre con l'aumentare delle dimensioni della conchiglia aumenta anche la percentuale di fitoplancton e zooplancton (Davenport *et al.* 2011).

Recentemente si è scoperta un'altra importante differenza tra organismi di differenti taglie. Sono stati impiegati gli acidi grassi come marker per rintracciare e identificare le relazioni trofiche che interessano il mollusco dando informazioni su quello che è stato ingerito di recente. Dall'analisi di acidi grassi prelevati dalla ghiandola digestiva e dai tessuti del muscolo adduttore si è visto che i bivalvi di taglia piccola sono prevalentemente associati a una catena alimentare detritica caratterizzata da acidi grassi saturi. Mentre gli organismi aventi taglia medio-grande hanno una percentuale di acidi grassi polinsaturi maggiore (Najdek *et al.* 2013).

Significa che gli organismi di piccole dimensioni si nutrono all'interno dello strato bentonico con elevate percentuali detritiche. Questo concorda con quanto risultato dall'analisi del contenuto dello stomaco di questi organismi (Davenport *et al.* 2011): quelli di piccole dimensioni sono i più influenzati dal sedimento e i detriti probabilmente a causa della loro vicinanza al substrato, mentre quelli più grandi dalla colonna d'acqua sovrastante. Pertanto, come suggerito da Trigos *et al.* 2014, gli individui più piccoli mostrano una specificità minore nel selezionare la fonte di cibo rispetto a quelli più grandi.

Un aspetto di grande importanza legato all'habitat risiede nel fatto che *P. nobilis* potrebbe prediligere le praterie di fanerogame marine proprio grazie all'abbondanza di nutrienti, infatti, le elevate concentrazioni di materiale organico che si trovano in sospensione nelle praterie di fanerogame come *Poseidonia oceanica*, aumentano la disponibilità di nutrimento per gli organismi; questo potrebbe spiegare la stretta associazione di habitat (Trigos *et al.* 2014; Duarte *et al.*, 1999). La presenza delle fanerogame hanno però altri effetti positivi per *P. nobilis*. Le piante, infatti, riducono l'energia delle onde attenuando la velocità della corrente, questo produce una riduzione degli sforzi a cui sono sottoposti i gusci nei due terzi della conchiglia esposta dal sedimento. Forze idrodinamiche importanti potrebbero condurre allo spostamento dell'organismo e anche alla morte, e gli organismi di grandi dimensioni sono molto più vulnerabili. Le fanerogame marine svolgono quindi un'azione di protezione (Hendriks *et al.* 2011).

Per quanto riguarda più nello specifico la riproduzione, la specie è ermafrodita sequenziale, cioè gli organismi producono sia gameti femminili che maschili e li emettono in periodi successivi per evitare l'autofecondazione. La maturità sessuale degli organismi viene raggiunta intorno a 1-2 anni di età (Richardson *et al.* 1999). Lo sviluppo gametogenico si verifica da marzo a giugno seguito dalla deposizione delle uova e una gametogenesi veloce da giugno ad agosto. I gameti vengono espulsi direttamente in acqua nelle stagioni calde mentre la fecondazione tra diverse cellule germinali di individui diversi dipende dall'azione delle correnti. Dalla schiusa dell'uovo si origina una larva la cui durata è stata stimata dai cinque ai dieci giorni, dopo si attacca al fondo e inizia la vita bentonica nel periodo di tarda estate. Il periodo di vita larvale può subire quindi delle piccole variazioni a seconda dell'approvvigionamento di nutrimento,

temperatura e della disponibilità di una zona idonea all'insediamento nelle praterie di fanerogame marine (Richardson *et al.* 1999). L'intero processo si svolge da marzo a settembre, coinvolgendo i mesi più caldi. Questa fase è considerata un punto debole per la popolazione perché le uova e le larve sono molto vulnerabili ai cambiamenti ambientali. Il breve periodo di vita planctonica e la bassa spesa per la riproduzione degli adulti suggerisce che la capacità di dispersione è bassa e quindi ripopolare aree in cui gli organismi non sono più presenti può richiedere molto tempo (Basso *et al.* 2015 c; García-March, 2005; Carella *et al.* 2019).

Non sono ancora stati fatti molti studi relativi alla conoscenza delle comunità epibentoniche associate a questi grandi molluschi sessili. Ma in relazione ai risultati che si conoscono già si trovano in termini di numero di specie i molluschi, e in proporzione decrescenti anellidi, crostacei, ascidi, spugne, cnidari, echinodermi e biozoi. Nello studio condotto su popolazioni di *Pinna nobilis* in tre diversi siti rispettivamente in Sardegna, Golfo di Oristano, Mediterraneo Occidentale; in cui si trovavano prati di *Poseidonia oceanica* o prati misti di *P. oceanica* e *C. nodosa* o estuari privi di vegetazione a differenti profondità, sono stati trovati 16 taxa e 3 categorie morfologiche, ma alcune di queste sono state rintracciate solo in alcuni ambienti. Gusci di *P. nobilis* sono stati colonizzati da epibionti in zone prive di vegetazione e da alghe scure filamentose le quali sono state trovate in zone dove era presente *P. oceanica* e *C. nodosa*. Anche alghe rosse incrostanti sono state osservate ma non in habitat privi di vegetazione (Addis *et al.* 2009; Cosentino *et al.*, 2007).

#### 1.1.5 IDRODINAMICA E ORIENTAMENTO DELLE CONCHIGLIE

L'idrodinamica è un fattore importante nell'ecologia di *Pinna nobilis*; la distribuzione delle dimensioni, la distribuzione spaziale, la crescita e l'orientamento della conchiglia possono essere collegati a questo fattore. L'idrodinamica dell'area può agire sui parametri di popolazione, può portare alla morte alcuni organismi o spostarli a causa dell'azione delle onde. Vari studi riportano un orientamento comune delle valve. L'orientamento comune delle valve è stato osservato anche in una popolazione studiata a 6 metri di profondità in una costa della Spagna ad Alicante. Qui si è osservato un orientamento comune Nord-Sud degli organismi, che segue la pendenza della costa. Ma nell'altra area indagata che vedeva la popolazione di *Pinna nobilis* a 13 metri di profondità non ha riportato nessun orientamento specifico (García-March *et al.* 2007 a). Oltre a questi studi, anche un approccio modellistico relativo ad una popolazione protetta nel Golfo di Oristano (Sardegna) ha evidenziato che correnti con velocità inferiori e profonde influenzano l'orientamento delle conchiglie aumentando la disponibilità di cibo (Coppa *et al.* 2013). Un orientamento comune degli organismi nella popolazione meno profonda fa sì che espongano una superficie minore all'idrodinamica locale.

Un secondo aspetto legato all'interazione tra idrodinamica e *P. nobilis* risiede nel fatto che gli organismi che crescono a profondità minori raggiungono grandezze massime inferiori rispetto a quelli che colonizzano

fondali più profondi. Si pensa che la maggiore risospensione dei sedimenti e lo stress idrodinamico cui sono sottoposti gli individui che crescono in acque basse possano essere la causa di questa differenza nelle dimensioni (García-March *et al.*, 2007 b). Un altro caso si è osservato in Francia a La Palud, Port Cross, qui l'80% degli individui situati ad una profondità di 20-26 m, ha evidenziato un orientamento comune probabilmente segnato dalle correnti di fondo lente e dall'abbondanza di nutrienti (Combelles *et al.*, 1986). Gli effetti dell'idrodinamica su *P. nobilis* possono variare in base a diversi fattori: (i) la microtopografia dei fondali può cambiare la direzione dell'onda, (ii) la composizione del fondale può modulare la risospensione dei sedimenti, (iii) la presenza di praterie di fanerogame e la distribuzione degli organismi al loro interno o al margine di essa può influenzare la crescita e la sopravvivenza del bivalve. Tutti questi fattori interagiscono simultaneamente tra di loro influenzando gli effetti dell'idrodinamica a seconda delle condizioni ecologiche locali (Hendriks *et al.* 2011). Le fitte praterie di fanerogame per esempio, *Poseidonia oceanica*, hanno un'influenza positiva sullo sviluppo di *Pinna nobilis*, con la caratteristica di intrappolare particelle dal flusso aumentando la disponibilità di nutrienti; grazie ai loro rizomi e radici forniscono un substrato al quale *P. nobilis* può legarsi grazie al bisso e le foglie forniscono protezione dai predatori in particolar modo per gli organismi molto giovani. Queste caratteristiche facilitano anche l'insediamento delle larve (Hendriks *et al.* 2008).

#### 1.1.6 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA

Ad oggi non sono disponibili molte informazioni riguardanti la distribuzione geografica di *P. nobilis* a causa del numero ridotto di studi. Il Mar Mediterraneo è caratterizzato da una grande biodiversità, contiene moltissime specie marine in un volume di acqua relativamente piccolo; è considerato un'oasi di biodiversità. Lungo le coste del Mediterraneo si sono sviluppate grandi civiltà sin dai tempi antichi. Inizialmente gli impatti erano circoscritti solo ad aree limitate attorno alle città principali, con l'età moderna le attività antropiche si sono espanse provocando la riduzione delle popolazioni del bivalve ma creando danni anche alle praterie di fanerogame (García-March *et al.*, 2006). Nonostante ciò, *P. nobilis* è ancora diffusa in tutto il Mediterraneo con diversi *range* di densità di individui, in aree superficiali fino a fondali più profondi, che possono raggiungere 60 m. Alcuni studi, oltre a fornire indicazioni sull'ubicazione, tentano di fornire delle valutazioni sulla densità degli individui. Ottenere delle stime affidabili della popolazione di questo mollusco richiede molto tempo a causa dei problemi legati all'accessibilità dei luoghi colonizzati. Altri problemi sono legati alla presenza di fanerogame marine che, con le loro foglie, possono andare a ricoprire gli organismi di piccola e media taglia rendendo difficile il riconoscimento visivo degli organismi (Figura 5).

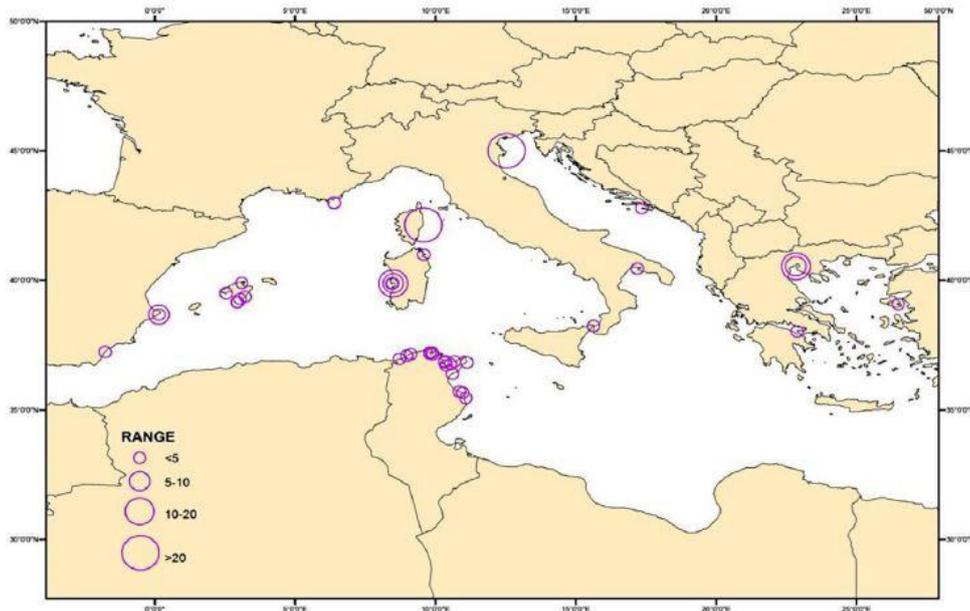


Figura 5. Distribuzione di popolazioni di *Pinna nobilis* nel bacino del Mar Mediterraneo. Rappresentato in numero di individui per m<sup>2</sup> (Basso *et al.*, 2015 c).

#### 1.1.7 MAR MEDITERRANEO

Nel bacino del Mar Mediterraneo, *Pinna nobilis* si incontra soprattutto dove il fondale è colonizzato da fanerogame marine; principalmente in praterie di *Poseidonia oceanica* ma non è raro trovarla associata ad altre specie come *Cymodocea nodosa*, su fondali fangosi con *Caulerpa prolifera* e anche in quelli costieri detritici con “Maërl” (caratterizzati dall’accumulo sul substrato di talli vivi e morti che formano un habitat ad elevata diversità specifica). Una descrizione molto dettagliata della distribuzione delle popolazioni di *Pinna nobilis* in Spagna è riportata in García-March (2003). Come emerge da tale studio, le principali popolazioni lungo le coste spagnole sono situate a sud di San Antonio Cape e intorno alle Isole Baleari; mentre lungo la costa a nord di San Antonio Cape sono presenti poche popolazioni con una densità di individui molto bassa, qui l’inquinamento ha portato ad un deterioramento della copertura di *Poseidonia oceanica*, in particolare nel Golfo di Valencia dove *Pinna nobilis* è praticamente scomparsa. Alcune volte i prati sono stati sostituiti da alghe sciafile o copertura di *Caulerpa prolifera*, qui si osservano pochi organismi adulti e solo alcuni in stadi giovanili, che forse non raggiungeranno l’età adulta senza la protezione delle foglie, mettendo in dubbio anche il mantenimento della popolazione in futuro (García-March, 2003). A nord del Golfo di Valencia, ad eccezione delle isole Columbretes, sono note popolazioni di *Pinna nobilis* in prati di *Cymodocea nodosa* e Maërl in buono stato, la specie poi risulta essere scarsa per un vasto tratto di litorale fino alle isole Medas in Catalogna. Nella laguna di Mar Menor *Pinna nobilis* si trova associata a praterie di *C. prolifera*.

Popolazioni molto ben conservate nel sud-est della Spagna sono presenti ad Alicante, Almería, Isole Baleari e Murcia presentando un’alta densità degli individui. Mentre è considerata una specie rara nelle coste catalane, sono conosciute solo alcune popolazioni situate in praterie di *Poseidonia oceanica* nelle coste di

Gerona e nella riserva marina di Ses Negres. Nelle isole Baleari sono presenti delle popolazioni che possono raggiungere anche densità di circa 15 individui su 100 m<sup>2</sup>; queste popolazioni però sono soggette ad un importante stress antropico specialmente nel periodo estivo che porta nel lungo periodo ad una diminuzione della densità degli organismi. Gli stress di origine antropica hanno effetto non solo sulla popolazione di *Pinna nobilis* ma anche sulle praterie di *Posidonia oceanica*, infatti in aree meno soggette a questi stress si osserva una maggiore densità di fanerogame e lo stesso vale per i bivalvi.

Lungo le coste francesi ci sono segnalazioni di popolazioni di *P. nobilis* come riportate da Combelles *et al.* (1986) ritrovate a seguito di immersioni nel Parco Nazionale di Port-Cross, qui gli individui sono strettamente correlati alle praterie di *Poseidonia oceanica*.

Sono stati individuati organismi di *Pinna nobilis* lungo le coste tunisine, specialmente nelle lagune costiere protette da *Poseidonia oceanica*. *Pinna nobilis* è stato osservato anche lungo le zone litorali del Mar Mediterraneo, Mar Egeo, Mar di Marmara e Mar Nero (Demi, 2003). Nel Mar Egeo sono presenti dense popolazioni che possono raggiungere anche un numero di individui pari a 5 individui per m<sup>2</sup> associate a macchie di vegetazione di *P. oceanica* in zone riparate come il golfo di Gares (Catsiki *et al.*, 1994).

Anche lungo le coste italiane le segnalazioni di popolazioni di *Pinna nobilis* sono abbastanza consistenti; sono note popolazioni in Sardegna, nel Golfo di Oristano (Coppa *et al.* 2019), in Campania e in Sicilia (Carella *et al.* 2019).

La specie risulta essere diffusa anche nel Mar Adriatico, più precisamente nell'adriatico meridionale nel Parco Nazionale di Mljet (Siletic *et al.*, 2003), qui la specie è stata registrata per la prima volta nel 1980 associate a praterie di fanerogame marina *C. adriatica* e *C. nodosa*. Nell'alto Adriatico invece ci sono segnalazioni nel Golfo di Trieste, laguna di Marano, laguna di Grado, Baia di Muggia ma anche nella zona ZSC/ZPS "Foce dell'Isonzo-Isola del Cona" (De Luca *et al.*, 2017).

Nella Laguna di Venezia sono osservate popolazioni di *Pinna nobilis* in diverse aree della laguna, da qualche anno a questa parte si osserva una ricolonizzazione della laguna da parte del mollusco bivalve, la popolazione studiata da Russo, (2012) colonizza aree caratterizzate da *Zostera marina* e in minore quantità *Ulva lactuca*.

Come emerge dalla descrizione della distribuzione spaziale, *Pinna nobilis* si trova spesso associata a praterie di fanerogame marine (García-March, 2003) nelle quali tendono a legare filamenti di bisso a radici e rizomi per contribuire al loro ancoraggio.

Da queste osservazioni emerge che la presenza di un substrato adatto è importante per la presenza e la sopravvivenza della specie, ma in lagune e in zone riparate, essendoci un'idrodinamica ridotta l'esistenza delle popolazioni di *P. nobilis* potrebbe essere indipendente dal tipo di substrato (García-March, 2003).

### 1.1.8 MINACCE

I primi casi di mortalità di massa sono stati registrati a partire dal 2016 lungo le coste sud-occidentali della Spagna, ed hanno interessato centinaia di chilometri di costa. Si pensava che questo fenomeno fosse dovuto a un parassita di natura protozoica battezzato con il nome di *Haplosporidium pinnæ*. Questo grazie alle correnti si è diffuso rapidamente nel bacino del Mediterraneo, causando la morte quasi del 100% degli organismi nelle popolazioni che infettava. Purtroppo, sono diventate quotidiane le segnalazioni in tutto il bacino del Mediterraneo lungo le coste italiane, francesi e greche. Dal 2017 si è assistito ad una mortalità di massa delle popolazioni di *P. nobilis* lungo le coste campane, portandole alla scomparsa. In molti casi la mortalità si verifica in assenza del parassita e in presenza del micobatterio *Mycobacterium sherrisii* che determina lesioni infiammatorie sistemiche nel mollusco che ne compromettono la sopravvivenza. Il batterio è un patogeno opportunisto già noto in medicina umana e veterinaria, perché responsabile di malattie che colpiscono soggetti immunodepressi (ad esempio AIDS), ma casi sono stati segnalati anche in mammiferi selvatici. Purtroppo, la presenza del parassita viene riportata in tutta Italia e nel resto del bacino del Mediterraneo.

In che modo tale batterio abbia raggiunto le popolazioni di *P. nobilis* rimane ancora oggetto di studio, tuttavia non è la prima volta che agenti patogeni di origine terrestre determinano malattie gravi in organismi acquatici. Un ruolo importante potrebbero anche giocare i cambiamenti climatici e l'inquinamento, che con il surriscaldamento delle acque e l'apporto trofico, possono favorire sia la moltiplicazione batterica che una riduzione della capacità immunitaria del bivalve (Carrella *et al.*, 2019; Carrella *et al.*, 2020).

Il riscaldamento globale è sicuramente una minaccia da non sottovalutare e che colpisce tutto il pianeta e le diverse specie. Questo fenomeno mostra i suoi effetti su tutta la superficie terrestre, sui diversi habitat e sui diversi organismi che la popolano.

Il Mar Mediterraneo è una regione in rapido riscaldamento e la velocità con cui ciò avviene è superiore alla velocità con cui si riscaldano gli oceani (Giorgi, 2006; Coma *et al.*, 2009). Il riscaldamento accelerato può provocare danni agli organismi marini. Molte specie, infatti, sono vulnerabili a ondate di calore e a stress associati al cambiamento climatico, nei periodi caldi si vede il loro decadimento con tassi di recessione piuttosto veloci (Marbà *et al.*, 2010). A causa del cambiamento della temperatura, si sono osservate variazioni della disponibilità di cibo dovuto a cambiamenti nelle fioriture planctoniche e nell'idrodinamica locale (Basso *et al.* 2015 c), con conseguenze gravi sull'insediamento degli individui proprio nella fase più vulnerabile della loro vita, creando una minaccia per le popolazioni. Per quanto riguarda *P. nobilis*, un recente studio ha mostrato come il numero di organismi post-larvali risenta dello stress da vento, temperatura e clorofilla-a, e che quindi sia passibile a danni dal riscaldamento delle acque del Mediterraneo (Basso *et al.* 2015 c). Il continuo riscaldamento delle acque porterà ad un avvicinamento costante e al superamento delle tolleranze degli organismi di *P. nobilis*, provocando una condizione di

stress termico, dovuto al fatto che gli organismi si trovano fuori dalle loro nicchie termiche. Prove sperimentali condotte in laboratorio hanno dimostrato che un aumento delle temperature produce una diminuzione della sopravvivenza degli organismi giovani di *P. nobilis* (Basso *et al.*, 2015 a). Malgrado i risultati delle prove sperimentali suggeriscano impatti gravi (Basso *et al.*, 2015 a), non c'è ancora chiarezza sugli effetti diretti del riscaldamento sul mollusco e in generale a dipendenza dalla temperatura nei processi chiave come la crescita, il metabolismo e la sopravvivenza durante il ciclo di vita. Dagli studi è emerso che gli organismi giovanili di *Pinna nobilis* sono tolleranti a eventi di ipossia lievi e anche a periodi di riscaldamento delle acque non troppo elevati. Oltre agli studi di laboratorio, sono stati fatti anche studi in campo, su popolazioni esposte a fluttuazioni dell'ossigeno in scenari costieri ed è emerso che le forme di vita sessile sono più tolleranti di quelle mobili (Basso *et al.* 2015 b).

Il cambiamento globale ha portato ad un aumento delle specie invasive in tutto il mondo. Le macroalghe invasive rappresentano un rischio per gli ecosistemi naturali danneggiando la biodiversità e alterando la struttura degli ecosistemi. Fondamentale è conoscere le interazioni tra le specie autoctone e quelle invasive, come ad esempio la macroalga rossa invasiva *Laphocladia Lallemandii* che, originariamente diffusa nelle aree tropicali e sub-tropicali, è stata introdotta nel Mar Mediterraneo attraverso il canale di Suez. L'alga invasiva vive in molti substrati compreso quello colonizzato da fanerogame marine colpendo anche le comunità sessili insediate in esse, influenzando le comunità faunistiche e i microhabitat. L'analisi della componente isotopica è diventata un modo efficace per lo studio delle reti trofiche alimentari; gli organismi ingeriscono isotopi stabili di carbonio e azoto mediante le fonti di cui si nutrono (Cabanellas-Reboredo *et al.* 2010). Le fonti dell'isotopo  $^{13}\text{C}$  sono state usate per indicare le fonti alimentari primarie mentre l'isotopo  $^{15}\text{N}$  ha permesso di determinare il livello trofico. Questo per dire che l'alga può andare ad alterare le fonti di sostentamento di *Pinna nobilis* e la fauna associata. Lo studio condotto da (Cabanellas-Reboredo *et al.* 2010) su diversi tipi di isotopi stabili  $^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}$  su organismi invasivi e non invasivi ha dimostrato che le sorgenti di cibo sono diverse, specialmente per quanto riguarda il  $^{15}\text{N}$ .

La protezione degli organismi giovanili come di quelli adulti è influenzata dalle forze idrodinamiche che sono influenzate negativamente dalla riduzione e deterioramento che avviene in questi anni del loro habitat, le praterie di fanerogame (Hendriks *et al.* 2011).

Il decadimento delle popolazioni di tale mollusco sessile è una conseguenza della perdita del loro habitat, questo porta ad un aumento della mortalità degli organismi adulti più esposti a forze idrodinamiche, ma anche degli organismi giovanili dove trovavano protezione dai predatori. Si è stimato che sono andate perdute dal 13% al 50% delle aree coperte da praterie di *Poseidonia Oceanica* nel mediterraneo e che le rimanenti possono aver subito una diminuzione della loro densità (Marbà *et al.*, 2014).

L'attività antropica rimane uno dei maggiori fattori che causa la diminuzione delle popolazioni di *Pinna nobilis* nel mediterraneo portando al decadimento anche del loro habitat.

Anche l'ancoraggio delle imbarcazioni marine in aree coperte da fanerogame può portare al deterioramento di queste praterie. Questo può causare anche un grave danneggiamento degli organismi in quanto sono caratterizzati da grandi valve e quindi maggiormente esposti, può portare alla morte di alcuni esemplari oppure causare gravi malformazioni alla conchiglia (Montefalcone *et al.* 2008).

Senza dimenticare che *Pinna nobilis* essendo una specie protetta ha grande valore economico; purtroppo non sono infrequenti le attività di pesca subacquea, così come gli episodi di pesca volontaria e involontaria da parte di pescatori.

Gli organismi, *P. nobilis*, non possono sfuggire all'input di contaminanti sia terrestri che marini, pochi studi hanno affrontato questo problema. In uno di questi è stato studiato il bioaccumulo di idrocarburi policiclici aromatici IPA dopo 1 mese e 6 mesi di esposizione, con un aumento degli enzimi antiossidanti solo dopo un anno dall'incidente che ha causato la perdita di petrolio (Sureda *et al.* 2013). Dagli studi è emerso che l'attività degli enzimi antiossidanti è stata analizzata nei siti impattati, non sono state trovate differenze importanti nei marcatori di soggetti presenti in acqua incontaminate e inquinate (Sureda *et al.* 2013).

## 1.2 FANEROGAME MARINE

Le praterie di fanerogame marine costituiscono le comunità più produttive sul pianeta, sono le specie principali che formano i paesaggi sottomarini, gli habitat per gli organismi invertebrati associati e i pesci. Sono ecosistemi di primaria importanza per la biodiversità costiera (Ligurian, 2007).

Le fanerogame marine sono piante a fioritura visibile capaci di svolgere l'intero ciclo vitale in ambiente marino. Definite nella letteratura anglosassone "seagrasses" per la somiglianza con piante erbacee terrestri, si distinguono nettamente sia da queste ultime, sia dalle alghe, dal punto di vista morfologico, biologico ed evolutivo. Costituiscono un gruppo ecologico e non tassonomico; pur appartenendo a gruppi tassonomici (famiglie) diversi, sono accomunate da una serie di caratteri morfologici e fisiologici che consentono il compimento dell'intero ciclo vitale in habitat marini o estuarini ed esclusivamente in essi (Badalamenti *et al.*, 2010).

La tassonomia della fanerogame marine è stata a lungo oggetto di molti cambiamenti. Dal punto di vista tassonomico le fanerogame marine si posizionano all'interno del gruppo delle Spermatofite, phylum angiosperme, classe monocotiledoni, superordine Alismatiflorae o Helobiae, ordine Alismatales e comprendono 6 famiglie, 13 generi per un totale di circa 60 specie (Badalamenti *et al.*, 2010).

Nella classificazione tassonomica, le fanerogame marine sono comprese in sei diverse famiglie: Hydrocaritaceae, Cymodoceaceae, Posidoniaceae, Ruppiaceae, Zosteraceae, Zanichelliaceae (Badalamenti *et al.*, 2010).

Le fanerogame marine sono monocotiledoni, non hanno una sola origine evolutiva, ma sono un gruppo polifiletico, definiti dalla particolare nicchia ecologica in cui abitano. Hanno antenati terrestri, ma,

nonostante ciò, sono ben adattate all'ambiente marino, solitamente si trovano nell'ambiente intercotidale fino ad una profondità di 50 m circa. Piante di fanerogame sono state osservate ad una profondità di 70 metri in acque molto limpide, ma a causa della rapida attenuazione della luce con la profondità di solito si trovano a profondità minori (Green *et al.*, 2004).

Hanno sviluppato adattamenti per sopravvivere in tali condizioni: la capacità di crescere mentre sono completamente sommerse, un sistema di ancoraggio per resistere al moto dell'acqua, un meccanismo di impollinazione sottomarino e la capacità di competere con altre specie (Green *et al.*, 2004).

Prelevano in modo efficace carbonio inorganico dall'acqua e le sostanze nutritive necessarie per la crescita possono essere assorbite sia dalle radici, come per le piante terrestri, sia dalla colonna d'acqua attraverso le foglie.

Dal momento che il sedimento del fondo marino è spesso privo di ossigeno, le parti sotterranee vengono spesso rifornite di ossigeno dalle foglie attraverso un sistema di canali pieni d'aria all'interno del tessuto. In generale presentano foglie sottili e allungate (Borum *et al.* 2004).

Solitamente le fanerogame crescono nelle aree dominate da substrati non consolidati formati da sabbia o fango, ma alcune specie possono essere trovate crescere su substrati rocciosi.

L'importanza ecologica delle praterie di fanerogame marine è nota per tutti i sistemi costieri; le praterie possono essere sia monospecifiche che costituite da più specie, sono caratterizzate da un'elevata produzione ed esportazione di biomassa e, aumentando l'eterogeneità del substrato, offrono una molteplicità di habitat e risorse alla fauna e alla flora ad esse associate. Le praterie inoltre costituiscono un'efficace barriera per la difesa della costa dall'erosione, per effetto sia della stabilizzazione dei fondali sia dello smorzamento operato sul moto ondoso (ISPRA, 2014). In funzione della composizione si possono rinvenire praterie "pure" o monospecifiche (caratterizzate da una specie) e "miste" o plurispecifiche (caratterizzate dalla presenza di più specie). Invece, sulla base della distribuzione della pianta sul fondo, le praterie sono definite "omogenee" (distribuzione uniforme su tutta l'estensione) o "disomogenee" (distribuzione diversa). In ogni caso, esse modificano notevolmente il substrato originario di impianto; lo strato fogliare della fanerogama agisce come una sorta di trappola per le particelle in sospensione nella colonna d'acqua, facilitandone la sedimentazione. Questo fenomeno è dovuto alla duplice azione che le foglie viventi esercitano sia sul particolato fine che viene catturato, sia sulle onde e le correnti la cui intensità viene notevolmente ridotta (IPSRA, 2014).

La funzione delle foglie, oltre ad assorbire nutrienti dall'ambiente acquatico, è quella fotosintetica, si tratta di piante fotofile che colonizzano solo le aree dove sono presenti le caratteristiche adatte alla loro sopravvivenza. Di solito le praterie, infatti, sono caratterizzate da un limite superiore e uno inferiore. Richiedono alti livelli di luce, più di altre piante marine, a causa delle loro strutture complesse che includono quantità considerevoli di tessuti non fotosintetici (Green *et al.*, 2004).

Nelle acque europee (bacino del Mediterraneo, Mar Baltico e Mare del Nord) sono presenti principalmente quattro specie, che formano una cintura quasi continua lungo le coste (Borum *et al.* 2004):

- *Zostera marina*

- *Zostera noltii*

- *Cymodocea nodosa*

- *Poseidonia oceanica*

Queste hanno diverse caratteristiche in comune. La parte visibile esposta dal sedimento è costituita da germogli o fasci di foglie da 3 a 10 foglie lineari. I germogli sono attaccati ai rizomi, i quali possono essere verticali o orizzontali chiamati rispettivamente ortotropo o plagiotropo. I rizomi si estendono sopra o all'interno del sedimento in cui le radici possono penetrare più in profondità. I rizomi si dividono e formano nuovi fasci di foglie e ogni sistema ramificato di rizomi può contenere molti germogli geneticamente identici, che sono poi interconnessi come individuo nelle piante clonali.

Nella crescita e la riproduzione delle fanerogame marine ha un ruolo fondamentale l'acqua; la riproduzione può essere asessuata o sessuata. Nel primo caso si parla di stolonizzazione. Nuovi rizomi si originano da quelli preesistenti dando origine a dei cloni che si espandono lateralmente originando una struttura intricata ove diviene difficile distinguere le singole unità. La diffusione di polline dei fiori femminili, si verifica attraverso le correnti d'acqua. La riproduzione sessuale invece avviene grazie alla produzione di fiori, frutti e semi trasportati ad opera delle correnti (Borum *et al.* 2004).

Gli habitat di prateria acquatica sono piuttosto abbondanti lungo le lagune costiere del Nord Adriatico, dove in alcuni tratti possono ricoprire ampie aree e rappresentano elementi fondamentali per il funzionamento dell'intero ecosistema lagunare. La loro presenza lungo la fascia marino-costiera del Nord Adriatico è invece rada e discontinua e concentrata prevalentemente nel settore orientale, lungo la costa triestina (Molin *et al.*, 2015). La crescita e la distribuzione delle fanerogame marine sono controllate da fattori fisici, chimici e biologici dell'ambiente in cui vivono, ma anche dalle pressioni a cui si trovano sottoposte. Luce sufficiente, nutrienti e carbonio inorganico sono fondamentali per la fotosintesi, ma anche un substrato adatto, esposizione moderata all'aria, temperatura e vari fattori biologici influenzano la distribuzione delle fanerogame marine. Si tratta di piante rizomatose che crescono in ambienti litorali dove le perturbazioni sia naturali, come le tempeste, e antropiche come gli effetti dovuti ai porti, possono provocare una grande redistribuzione del sedimento con conseguente riduzione della vegetazione (Borum *et al.* 2004). Le fonti di disturbo delle praterie di fanerogame marine possono essere di origine naturale o antropica; le prime riguardano eventi geologici, meteorologici, interazioni biologiche come infezioni, erbivoria e bioturbating. Gli impatti determinati dalle attività antropiche possono essere divisi in impatti meccanici diretti, che risultano in una rimozione parziale o totale delle praterie o nel loro seppellimento, ed impatti indiretti, cioè attività antropiche che comportano un'alterazione delle condizioni chimico-fisiche

dell'habitat al di là dei limiti di tolleranza delle specie e determinando anch'esse il degrado e la regressione delle praterie. La ridistribuzione del sedimento può provocare l'interramento dei germogli causando mortalità delle piante; mentre l'erosione tende a provocare l'esposizione dei rizomi (Badalamenti *et al.*, 2010; Marbà *et al.*, 1995). La costruzione di infrastrutture lungo i litorali, le operazioni di dragaggio, la pesca a strascico, sono tra le attività antropiche che implicano una parziale o totale rimozione diretta delle praterie o il loro seppellimento. Gli scarichi urbani ed industriali, gli impianti di acquacoltura e i dissalatori, determinano un aumento del carico organico e di nutrienti, una riduzione della trasparenza delle acque innescando processi di eutrofizzazione. Anche la costruzione di strutture perpendicolari alla costa può determinare un'alterazione delle dinamiche sedimentarie ed il seppellimento delle praterie mentre l'incremento dell'apporto di sedimento sottile dall'entroterra e la sua continua risospensione causano una riduzione della trasparenza delle acque. L'eutrofizzazione è considerata la principale causa di declino delle praterie di fanerogame marine a livello mondiale. L'incremento della quantità di nutrienti nella colonna d'acqua può determinare la proliferazione di fitoplancton, macroalghe, ed epifiti fogliari con un conseguente incremento della torbidità delle acque ed una complessiva riduzione della quantità di luce che raggiunge i tessuti fotosintetizzanti delle piante (Badalamenti *et al.* 2010).

Nelle lagune costiere del Nord Adriatico sono attualmente diffuse e abbondanti tre specie di fanerogame marine: *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, *Zostera marina* (Linnaeus) e *Nanozostera noltii* Hornemann (Tomlinson e Posluzny). Ad esse vanno ad aggiungersi *Ruppia maritima* (Linnaeus) e *Ruppia cirrhosa* (Linnaeus), che a differenza delle precedenti sono però relegate nelle aree più confinate delle lagune (Molin *et al.*, 2015).

Nell'area di studio interessata i prati di fanerogame marine sono principalmente costituiti da *Cymodocea nodosa* come si vede dalla mappa, in Figura 6. La mappa presenta l'estensione delle praterie di fanerogame marine nel 2017; questi dati provengono dal sito del Sistema Informativo della Laguna di Venezia, SOLVe.

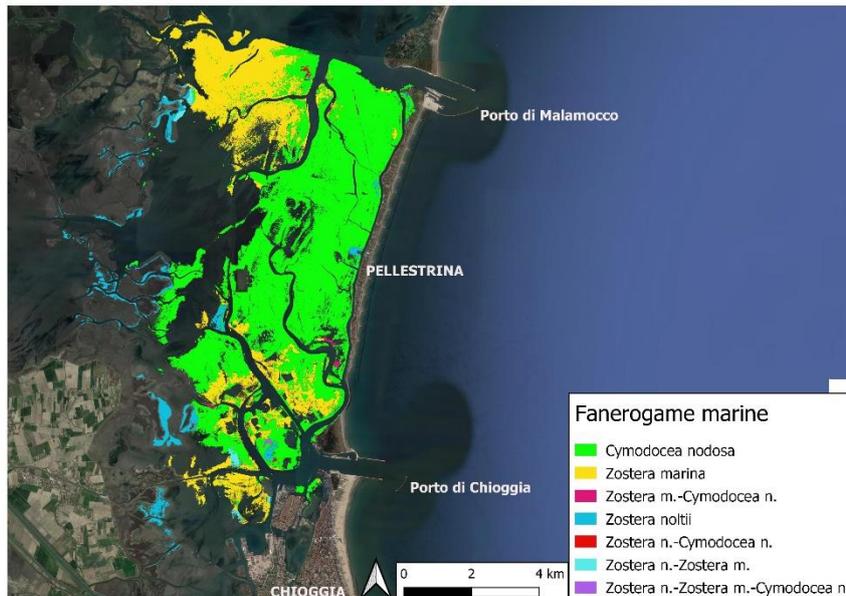


Figura 6. Estensione di praterie di fanerogame marine nella laguna centro-meridionale nel 2017 (SOLVe, 2019).

Come si vede dalla mappa, nell'area meridionale della laguna di Venezia sono presenti principalmente tre specie di fanerogame: *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* e *Zostera noltii*. Oltre alla presenza di prateria di fanerogame composte da una singola specie sono presenti prati a composizione mista. Questi ultimi rappresentano aree di scarsa estensione. I prati misti di *Z. noltii*, *C. nodosa* e *Z. marina* si osservano in diverse aree ma lontano dalla zona litorale. La superficie coperta da prati di fanerogame nell'area centro-meridionale della laguna veneta vede prima di tutto una copertura di *C. nodosa*, molto estesa, mentre *Z. marina* si ritrova principalmente nell'area antistante la bocca di Malamocco e in aree più a sud vicino a Chioggia.

Di seguito è presentata una mappa della distribuzione delle fanerogame marine in laguna dai primi anni 2000 fino al 2010 monitorata per conto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle OO. PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia, ex Magistrato delle Acque. I layer impiegati per la rappresentazione delle mappe derivano da indagini effettuate mediante aeromobile e/o natante (Figura 7). Nella mappa sono rappresentate estensioni o retrocessioni di una o più specie nella laguna centro-meridionale.

Gli anni per cui erano disponibili i dati sono 2002, 2004, 2009 e 2010.

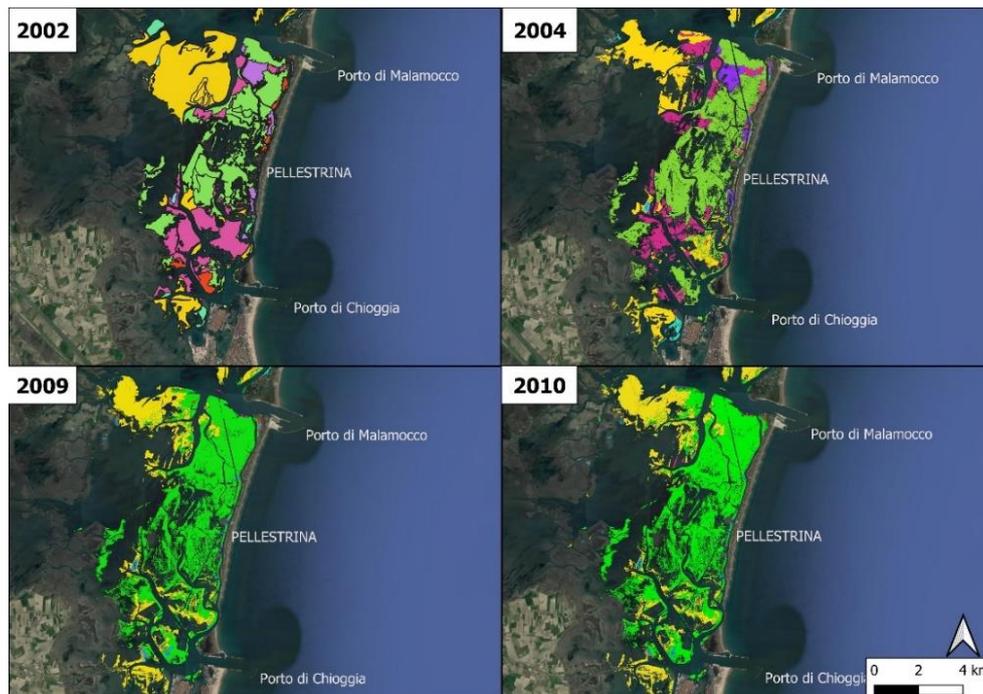


Figura 7. Estensione delle praterie di fanerogame marine in diversi anni (Atlante della Laguna, 2014).

La mappa evidenzia non solo l'estensione delle diverse specie di fanerogame presenti in questa area ma anche i cambiamenti che sono avvenuti. Infatti, nel 2002 erano presenti praterie miste di *Zostera marina*-*Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii* e *Cymodocea nodosa* che nel corso degli anni si sono modificate. L'estensione di *Zostera spp.* è diminuita lasciando spazio ad estese praterie monospecifiche di *Cymodocea nodosa* che sono rimaste stabili fino ad oggi (v. Fig. 6). Dalle mappe emerge anche come l'estensione totale della superficie effettivamente ricoperta da fanerogame sia aumentata. *C. nodosa* è la specie che in laguna di Venezia si sta espandendo maggiormente (Sfriso, 2014-2018).

#### *Cymodocea nodosa*

*Cymodocea nodosa* è la seconda specie per diffusione nel Mediterraneo dopo *P. oceanica*, solitamente la si trova lungo le coste nordafricane e nelle isole Canarie in acque calde. Cresce in substrati con granulometria grossolana, siti riparati dal moto ondoso e ad elevata salinità. Quando sono presenti queste condizioni presenta le sue maggiori dimensioni (Figura 8).



Figura 8. *Cymodocea nodosa* (Borum *et al.* 2004).

Vegeta abbondante nei primi metri di profondità, ma la si può trovare anche a 50-60 metri. A differenza di *P. oceanica*, che presenta praterie geneticamente poco distinte, quelle di *C. nodosa* sono invece geneticamente diversificate. Ha fasci di foglie costituiti da 2 a 5 foglie. Le foglie sono larghe da 2 a 4 mm e lunghe da 10 a 45 cm. L'altezza media arriva a 100-120 cm con estremi fino a 150 cm.

Le foglie assomigliano a quelle di *Zostera marina*. I germogli sono attaccati a rizomi verticali con brevi segmenti di rizoma che di nuovo sono attaccati a rizoma orizzontale con segmenti lunghi circa 1-6 cm. L'apice forma rizomi verticali e si ramifica in nuovi rizomi orizzontali, il rizoma può crescere di diversi metri all'anno. *C. nodosa* è considerata una specie pioniera che può velocemente colonizzare aree nude del fondale marino. Può essere facilmente identificata dai rizomi verticali e orizzontali con segmenti che presentano colorazione dal bianco al rosa.

Gli individui sono piante maschili o femminili. I fiori femminili hanno due ovaie e due semi (simili a una lenticchia) prodotti da ogni fiore, lunghi circa 8 millimetri, considerevolmente più grandi dei semi della specie *Zostera* (Borum *et al.*, 2004).

È presente sia nelle aree marinizzate sia in quelle confinate ad elevata salinità ma in tal caso, poiché la granulometria è fine, le piante rimangono più piccole e gracili (IPSRA, 2018; Sfriso, 2014-2018).

Il suo periodo di crescita va da maggio a dicembre in quanto è una pianta tipica subtropicale, in inverno rimangono solo i rizomi con la base dei fasci fogliari. A causa delle sue necessità termiche solitamente la produzione avviene tramite rizomi, difficilmente avviene mediante i semi (Borum *et al.* 2004).

### 1.3 LAGUNA DI VENEZIA

La laguna di Venezia è la laguna più estesa del Mar Mediterraneo, situata a nord-ovest del bacino del Mar Adriatico, lungo le coste del Veneto (Figura 9).

Occupava una superficie di circa 550 km<sup>2</sup>, confina a sud con la parte terminale del fiume Brenta e a nord con il tratto finale del Sile. Il cordone litoraneo che separa la laguna dal mare aperto presenta tre bocche di porto: Lido, Malamocco e Chioggia. Si tratta di una delle più vaste aree umide d'Europa e dell'intero bacino mediterraneo con un immenso patrimonio biologico, faunistico e floristico. La laguna di Venezia è caratterizzata da una profondità media di circa 1,5 m e un regime di marea microtidale che mostra la sua massima escursione (circa  $\pm 70$  cm MSL) di marea alle bocche della laguna (Roner *et al.* 2016).

Il bacino lagunare è caratterizzato da alcuni elementi morfologici (MATTM, 2012):

- aree perennemente sommerse o che emergono in occasione di basse maree eccezionali (bassifondali);
- il cordone litoraneo che separa il bacino dal mare e le isole;
- le velme, fondali sommersi in condizioni di marea normale emersi solo durante le basse maree;
- le barene, poste a quote comprese orientativamente tra 0 m e + 0,60 m sul medio mare, si trovano emerse e coperte da vegetazione alofila tranne che in occasione di alta marea;
- la rete di canali di larghezza variabile permette il trasporto di nutrienti, sedimenti, acqua e organismi animali e vegetali dalle bocche alle aree interne della laguna;
- valli da pesca arginate, che occupano circa 9.000 ha, sono sede di attività di allevamento estensivo oltre che importanti per aspetti naturalistici.

Circa l'80% della superficie risulta stabilmente coperto da acqua, il 10% composto da barene e circa il 5% da isole. L'intero territorio è stato designato, dal 1987, come patrimonio mondiale dell'umanità dall'UNESCO. Individuata anche quasi interamente come Sito di Importanza Comunitaria (SIC) e Zona di Protezione Speciale (ZPS) nell'ambito della Rete Natura 2000 dalla Commissione Europea (ARPA Veneto, 2020).

La laguna è un ambiente in continua evoluzione a causa di forzanti naturali e antropiche, tra cui: (i) lo scambio idrico attraverso le bocche di porto prodotto dalle oscillazioni di marea e influenzato dal vento; (ii) le onde, originate da vento o imbarcazioni, causano risospensione di sedimenti nella colonna d'acqua e le correnti di marea causano il trasporto di sedimento; (iii) la subsidenza naturale o indotta, innalzamento del livello del mare e apporto di acqua dolce dal bacino scolante.

A questi fattori sono da aggiungere e tenere in considerazione, con importanti interazioni, quelli biologici, in particolare collegati con la vegetazione sommersa ed emersa che copre un ruolo importante nel trattenere il sedimento che altrimenti sarebbe trasportato (MATTM, 2012).

Le barene, le velme e i bassifondi, costituiscono uno degli ambienti più caratteristici, ma anche più fragili dell'ecosistema lagunare. Sono soggette a forti variazioni morfologiche dipendenti dall'apporto o perdita di sedimento.

L'immagine in Figura 9, elaborata in QGis, rappresenta la laguna di Venezia (sistema di riferimento WGS 84-UTM 33N).

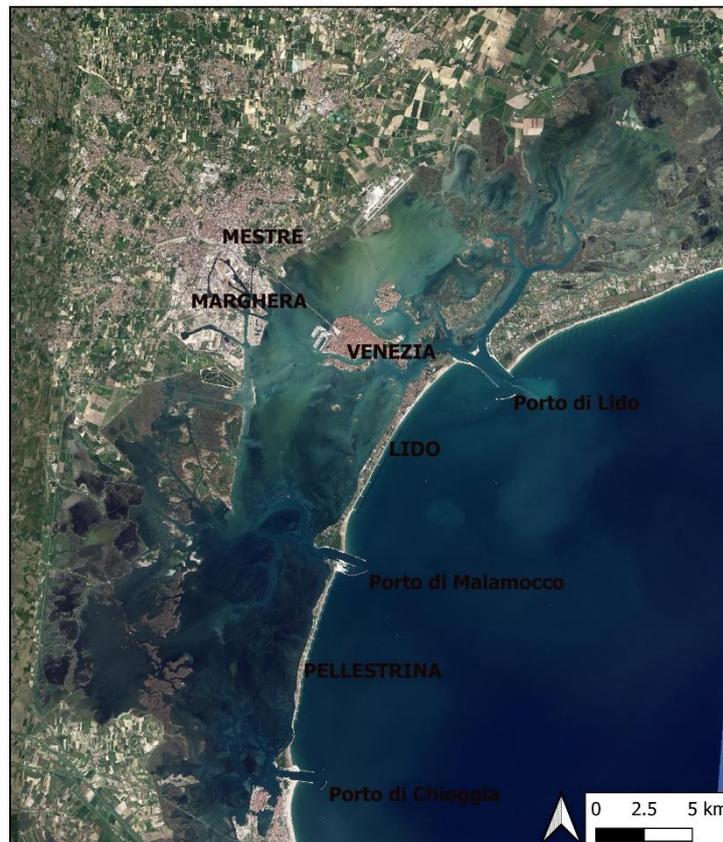


Figura 9. Laguna di Venezia (Earth observatory, 2013).

La laguna di Venezia è costituita anche da molte isole. Tra le isole maggiori troviamo quelle di Venezia, Sant'Erasmus, Murano, Vignole, Chioggia, Giudecca, Mazzorbo, Torcello, La Certosa e Burano e i litorali: Lido di Venezia, Pellestrina e Sottomarina. Le isole però possono essere distinte in isole di origine naturale e isole di origine artificiale. Le isole naturali sono molto spesso residue degli antichi cordoni litoranei come nel caso delle Vignole o di Sant'Erasmus, oppure sono il risultato dell'opera di deposizione e accumulo di materiali solidi trasportati dai fiumi, come nel caso di Burano o Torcello. Un consistente numero di isole è artificiale; la creazione di tali isole, a partire dal XIX secolo, ha trasformato il panorama insulare della laguna.

Le origini della laguna risalgono approssimativamente a circa 6000 anni fa, in concomitanza dell'innalzamento del livello del mare nel periodo post-glaciale del würmiano. L'attuale configurazione è il risultato di un complesso di eventi naturali che ne hanno determinato la formazione e del succedersi di eventi antropici che hanno alterato l'evoluzione naturale (ARPA Veneto, 2020).

Un tempo la zona lagunare più prossima alla conterminazione, chiamata laguna morta, era ricca di barene, tipiche forme lagunari le cui quote sono sufficientemente elevate per essere sommerse dalle acque

solamente durante le fasi di alta marea. Tra le barene, solcate da molti piccoli canali, si trovano specchi d'acqua poco profondi che creano un tessuto morfologico estremamente articolato (D'Alpaos, 2010). L'evoluzione morfologica della laguna negli ultimi secoli è stata fortemente influenzata dalle opere realizzate dall'uomo sovrapponendosi agli eventi derivanti da fenomeni naturali da sempre in atto nel territorio lagunare.

La trasformazione della laguna di Venezia è iniziata dal XIV e XV secolo con la realizzazione di alcune opere da parte dell'uomo, la deviazione di importanti corsi d'acqua che sfociavano in laguna come il Brenta o il Piave che interferivano con la laguna in occasione delle piene.

Nel corso del XIV secolo è stata presa la decisione di estromettere dalla laguna i fiumi Brenta e Bacchiglione, questo ebbe esiti decisivi per le sorti della laguna, segnò l'inizio dell'inversione di tendenza nella sua evoluzione morfologica. La laguna iniziò a risentire di importanti fenomeni erosivi benché fino a quel momento fosse dominata dall'apporto di sedimenti fluviali. Successivamente sono stati estromessi tutti i corsi d'acqua che si immettevano in laguna. Altre opere antropiche che hanno condotto all'attuale conformazione della laguna sono state la modificazione delle bocche di porto e la costruzione dei Murazzi per la difesa dei litorali (completata nel 1796), la costruzione dei moli foranei per evitare l'interramento delle bocche di porto (1840-1900), lo scavo del canale Vittorio- Emanuele (1925) e nuovo porto di Marghera e il canale Malamocco-Marghera, questi ultimi in modo da favorire il transito di grandi navi e permettere il loro ingresso in laguna (1960-1969) (MATTM, 2012; D'Alpaos, 2010).

Negli ultimi decenni la laguna ha risentito in modo negativo di forti processi erosivi in particolar modo nella parte centrale del suo bacino all'interno del perimetro formato dai grandi canali che si dipartono dalle bocche di Lido e di Malamocco e dai canali realizzati dall'uomo nel corso del XX secolo per permettere l'accesso ai porti interni alle navi moderne di maggiore pescaggio. Conseguentemente a tali fenomeni la laguna sta perdendo le caratteristiche fondamentali che la contraddistinguono; come i fondali poco profondi, innervati da una rete di canali che, penetrando dalle bocche verso l'interno con successive e sempre più minute ramificazioni, giunge fin quasi ai suoi margini, portandovi i benefici del periodico alternarsi delle maree alle bocche di porto e contribuendo in modo decisivo al ricambio delle acque (D'Alpaos, 2010).

La Laguna di Venezia viene divisa in tre sottobacini, delimitabili convenzionalmente dagli spartiacque delle aree influenzate dalla propagazione della marea dall'Adriatico attraverso le bocche di porto. I risultati delle misure di portata eseguite fino alla fine del 2005 indicano che il volume medio giornaliero scambiato tra la laguna e il mare nei due cicli di marea è di circa  $400 \times 10^6 \text{ m}^3$ , pari al 67% del volume d'invaso della laguna; è presente però una forte variabilità dovuta alla fase lunare e alle condizioni meteorologiche.

I volumi scambiati in sizigie raddoppiano quasi il volume scambiato in quadratura. Il volume scambiato durante la singola fase di marea in quadratura è di  $140 \times 10^6 \text{ m}^3$  mentre in sizigie è dell'ordine di  $260 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

La laguna presenta una struttura morfologica articolata, presenta una fitta rete di canali che partendo dalle bocche di porto diminuiscono gradatamente la loro sezione. Questa rete convoglia la corrente di marea fino alle parti più interne, avente maggiore velocità nelle zone più vicine alle bocche dove le correnti sono più intense, mentre le aree più interne sono caratterizzate da un modesto ricambio idrico e idrodinamismo (Piano di gestione, 2010).

Lo scambio mare-laguna e la conseguente circolazione idrodinamica interna alla laguna rappresentano le forzanti principali dell'ecosistema lagunare, che condiziona lo stato delle acque e delle comunità, in stretta relazione con tempi di residenza, ridotti alle bocche di porto, e che arrivano a 20 giorni nelle parti più interne vicino alla gronda (Figura 10).

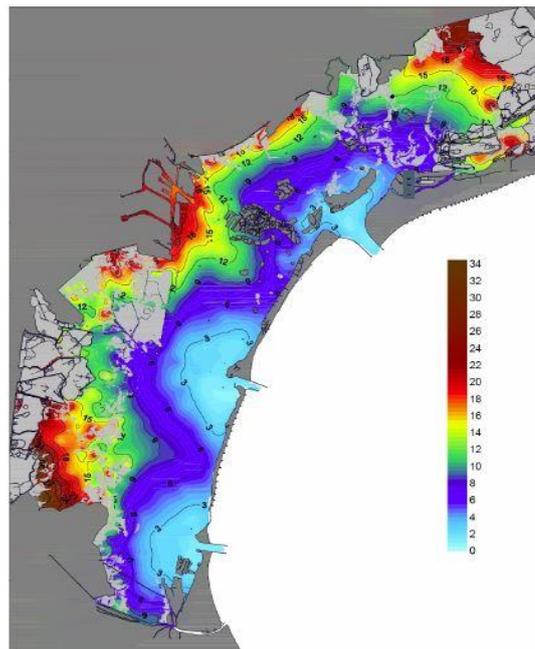


Figura 10. Tempi di residenza calcolati attraverso il modello CRUP del Servizio Informativo del Provveditorato Interregionale alle OO. PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia, espresso in giorni (Piano di gestione, 2010).

La propagazione di marea avviene in condizioni di assenza di vento seguendo la rete di canali lagunari. L'onda di marea subisce variazioni di ampiezza e ritardi nell'avanzare dalle bocche verso l'interno della laguna, che assumono valori maggiori nei distretti più interni. In presenza di forti venti la propagazione di marea risente dell'interazione con il moto ondoso e dell'attrito all'interfaccia aria-acqua; effetto che risulta più evidente nelle aree a basso fondale. L'orientamento della laguna fa sì che il suo asse principale si trovi quasi parallelo alla direzione del vento di Bora che rappresenta uno dei venti dominanti del mare davanti la laguna (MATTM, 2012).

I fondali della laguna di Venezia sono composti da sedimenti di differenti granulometrie, dalle sabbie fino all'argilla. I locali regimi idrodinamici e di trasporto determinano la presenza e prevalenza di una determinata frazione granulometrica. Nei bassifondi la distribuzione superficiale dei sedimenti è

caratterizzata da un progressivo decremento della dimensione del materiale dalle bocche di porto verso l'interno (MATTM, 2012).

La laguna centro-settentrionale risulta caratterizzata dalla presenza di sedimenti con granulometria silt e silt-argilloso, mentre i sedimenti trovati nei fondali meridionali sono più grossolani del tipo silt-sabbioso e sabbia-siltosa. Osservando la mappa in Figura 11 si vede il gradiente granulometrico presente tra le aree più interne della laguna, in cui si notano sedimenti con granulometria più fine, e le aree prossime alle bocche di porto caratterizzate da sedimenti più grossolani come conseguenza delle maggiori forze erosive delle correnti (Piano di gestione, 2010) (Figura 11).

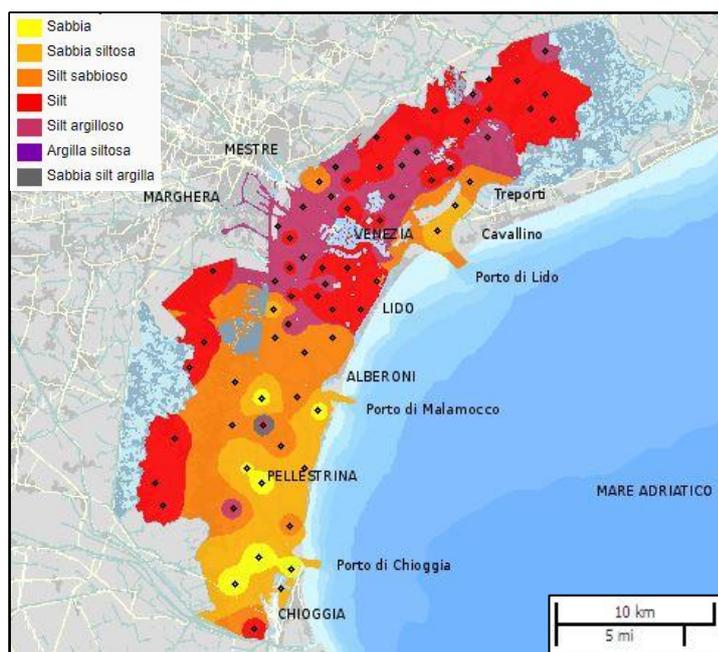


Figura 11. Classificazione superficiale dei sedimenti, 1997-1998 (Atlante della Laguna, 2014).

L'analisi del contenuto mineralogico delle componenti maggiori evidenzia la prevalenza di carbonati, prevalentemente dolomite e silicati. La dolomite prevale nel bacino centro-settentrionale e settentrionale della laguna, diminuendo da nord a sud e verso il bordo interno della laguna; i silicati prevalgono invece nel bacino meridionale, in particolare a sud di Chioggia, diminuendo verso nord e in generale verso il mare. Le caratteristiche mineralogiche dei sedimenti della laguna riflettono la predominanza dei materiali principalmente legati alle aree di provenienza dei fiumi Brenta, Bacchiglione e Adige (Piano di gestione, 2010).

La pesca costituisce il principale utilizzo delle acque lagunari, presenta tre tipologie di attività legate alla risorsa alieutica: la pesca tradizionale artigianale, l'allevamento e la raccolta delle vongole veraci (*Tapes philippinarum*) e la vallicoltura. In laguna esistono circa 3200 ha dati in concessione al G.R.A.L., gestione risorse alieutiche laguna, da parte del Provveditorato Interregionale alle OO. PP del Veneto- Trentino Alto

Adige- Friuli Venezia Giulia, di cui circa 1800 ha sono utilizzati a scopo di allevamento, mentre i rimanenti 1700 ha sono utilizzati per finalità collettive come la pesca gestita. I principali sistemi di pesca attualmente utilizzati sono le reti fisse, le nasse, le reti derivanti (barracuda, tramagli, ecc.), il piccolo strascico (tartana, schiller, ecc.) e le reti da pesce novello (Piano di gestione, 2010).

La regione Veneto con DGR n. 449 del 21/02/2003, integrate con DGR, 1180 del 18/04/2006, n. 4059 del 11/12/2007, n. 4240 del 30 /12/2008, n. 4003 del 16/12/2008, n. 4003 del 16/12/2008, n 220 del 01/03/2011, ha individuato e perimetrato i Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS) come rappresentato in Figura 12. Nel territorio lagunare queste aree sono quasi completamente sovrapposte.

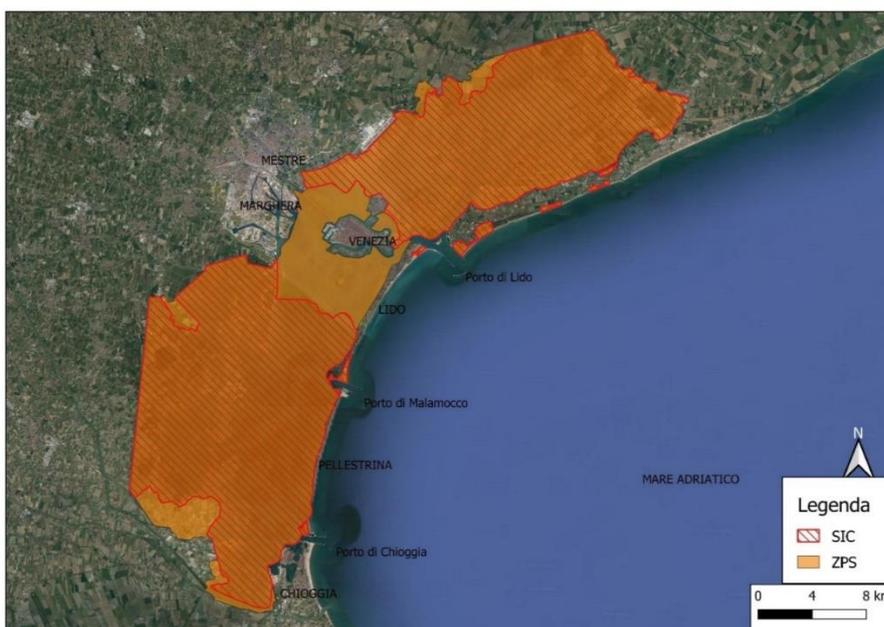


Figura 12. SIC e ZPS nel territorio lagunare, mappa realizzata mediante il Software Gis.

Un elemento da non sottovalutare sono le pressioni antropiche cui è sottoposto il territorio lagunare. Le principali fonti puntuali di inquinamento per la laguna di Venezia sono costituite dagli scarichi industriali e civili del Bacino Scolante immessi in Laguna in corrispondenza delle foci fluviali e dagli scarichi diretti dei depuratori, nonché delle aziende di Porto Marghera, immessi in Laguna attraverso i canali industriali. A questi si aggiungono poi gli scarichi fognari del centro storico della città di Venezia e delle isole lagunari, molti dei quali già adeguati con sistemi di trattamento individuali.

Il carico complessivo relativo ai nutrienti ha subito una costante diminuzione dagli anni 2000 fino al raggiungimento di un valore discretamente stabile a partire dal 2005, raggiungendo valori intorno ai 550 tonnellate/anno per l'azoto e circa 6 t/a per il fosforo (Piano di gestione, 2010). Per i micronutrienti organici, diossine, PCB ed esaclorobenzene si riporta una diminuzione della concentrazione negli scarichi.

Questa riduzione coincide con la realizzazione dei primi interventi di adeguamento ai sensi dei diversi decreti “Ronchi-Costa”; per quanto riguarda gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici) non è stato possibile identificare una tendenza univoca.

Riduzioni più nette si osservano per cromo, zinco e ferro. Anche per il piombo, cadmio, arsenico e mercurio è evidenziata una riduzione.

Nel quadro complessivo del carico inquinante afferente alla laguna di Venezia non può essere trascurata la componente proveniente dagli scarichi del centro storico di Venezia e delle sue isole. Tale carico è sostanzialmente di natura civile e interessa principalmente la sostanza organica, azoto e fosforo, comprendendo gli scarichi abitativi, alberghieri e gli scarichi dei pubblici esercizi quali ristoranti, bar e attività artigiane. A tale carico si somma il carico di altri inquinanti (metalli e microinquinanti organici), derivante dalle produzioni artigianali locali, come per esempio quelle legate alla produzione e lavorazione del vetro (Piano di gestione, 2010).

Le fonti diffuse di inquinamento per la laguna sono: acque di pioggia urbane, ruscellamento/drenaggio di terreni agricoli. I fiumi che sfociano in laguna veicolano il carico proveniente da tali fonti diffuse assieme al carico proveniente dagli scarichi puntuali civili e industriali del bacino scolante. Si aggiungono poi il traffico acqueo e la cantieristica, le deposizioni atmosferiche dirette sulla laguna, il ruscellamento di acque contaminate dalle aree non ancora marginalate di Porto Marghera. Al traffico acqueo viene attribuita la presenza in laguna di idrocarburi policiclici aromatici localizzati in particolare nelle aree della Laguna centrale. Le attività cantieristiche per il mantenimento delle imbarcazioni immettono nell’ambiente composti organostannici, inquinanti tossici presenti ad esempio nelle vernici antivegetative sugli scafi delle imbarcazioni. Altre due pressioni significative per gli impatti che generano sull’ecosistema lagunare veneziano sono il traffico marittimo e la pesca. Il traffico marittimo si articola in diverse tipologie: traffico industriale, commerciale, turistico e traffico minore. I primi tre tipi interessano i canali di maggiore navigazione che collegano le tre bocche di porto con la città di Venezia, il porto industriale di Marghera e la città di Chioggia. Le criticità associate a questo tipo di traffico coinvolgono sia le tematiche connesse all’inquinamento chimico, sia le tematiche inerenti la morfologia lagunare (Piano di gestione, 2010). Il traffico cosiddetto minore ha invece rilevanza a scala di ecosistema soprattutto perché interessa l’intero corpo idrico lagunare, incluse le aree più sensibili e soggette a fenomeni di perturbazione dei fondali e delle sponde, ed è quindi tra le concause dei processi di erosione ed incremento della torbidità delle acque, nonché tra quelle che concorrono a determinare l’inquinamento chimico. Questa componente è quindi “minore” in termini di stazza rispetto al traffico portuale ma è sicuramente significativa in termini di impatti sull’ecosistema. Per quanto riguarda il comparto della pesca in laguna di Venezia vanno distinte le due tipologie di attività principali: la pesca di tipo artigianale e la raccolta delle vongole, essenzialmente riconducibile alla pesca monospecifica e meccanizzata della vongola filippina (*Tapes philippinarum*). Un fattore da non sottovalutare legato all’aumento delle pressioni antropiche sempre più forti sia nel mar

Mediterraneo che in aree come le lagune porta ad una regressione della densità e moria di praterie di fanerogame marine. Le praterie di fanerogame marine, piante o angiosperme acquatiche, svolgono un ruolo fondamentale per la conservazione degli habitat costieri, sono in grado di dare supporto a molteplici comunità biologiche, la fauna aviaria, aumentano la stabilità dei fondali, e sequestrano in modo definitivo importanti quantità di CO<sub>2</sub> (ISPRA, 2018; Consiglio regionale del Veneto, 2015). La presenza di fanerogame marine in laguna di Venezia è già nota da tempo; formano praterie sommerse in grado di consolidare in modo più o meno efficiente i substrati nei quali si insediano (Caniglia *et al.* 1992), negli anni in cui è stato svolto questo studio le praterie di fanerogame erano presenti specialmente in prossimità delle bocche di porto e nel bacino meridionale. Le praterie erano composte da *C. nodosa*, *Z. noltii* e *Z. marina*, queste però si espandevano su una superficie di 5400 ha, occupando cioè il 13% della superficie lagunare. Vincoli normativi recenti hanno portato ad una riduzione degli elementi di disturbo non indifferente, sono stati ridotti gli apporti di nutrienti nel bacino idrografico (Decreto Legge 152/99 “Rochi-Costa”) e regolata la raccolta delle vongole. La diminuzione della torbidità delle acque creata dalla pesca e la copertura di Ulvaceae ha permesso la ricolonizzazione da parte delle fanerogame. Queste misure hanno permesso la ricolonizzazione di vaste aree della laguna meridionale. Le angiosperme acquatiche riescono a colonizzare nuovi habitat grazie alla dispersione dei semi e proliferazione dei rizomi, ma la limitata circolazione idrodinamica caratteristica della Laguna Superiore dovuta alla sua particolare conformazione idrologica la rendono isolata da altre zone della laguna dove invece sono presenti praterie strutturate.

Con lo scopo di contribuire al raggiungimento del buono stato ecologico dei corpi idrici di transizione è stato messo a punto e realizzato partendo dal 2014 un progetto che prende il nome di LIFE Seresto (Consiglio regionale del Veneto, 2015; ISPRA, 2018) nella parte settentrionale della laguna (SIC IT3250031), dove l’habitat prioritario 1150\* (Lagune costiere) copre circa 3660 ha. La finalità è proprio la rinaturalizzazione e recupero dello stato ecologico della laguna settentrionale di Venezia con ripristino dell’habitat prioritario 1150\* (lagune costiere) e della flora e fauna che lo caratterizzano. Tale progetto si è proposto di ricolonizzare le praterie di fanerogame acquatiche tramite il trapianto in particolare di *Zostera marina* e *Nanozostera noltii* in siti di piccole dimensioni diffusi in tutta l’area di intervento. La tecnica di intervento proposta prevede l’utilizzo di un numero ridotto di zolle, con un vantaggio in termini di costi, di impatto sui siti donatori e di applicazione su larga scala. A sostegno della naturale espansione delle praterie nelle aree circostanti, sono previsti interventi diretti, per l’intera durata del progetto, volti a favorire l’attecchimento dei semi e a diffondere i nuovi rizomi prodotti dalle zolle trapiantate. Dopo pochi mesi dai trapianti delle zolle, nelle aree strettamente limitrofe, è iniziata la dispersione dei rizomi per supportare lo sviluppo delle praterie. Questo come testimonianza dell’importanza della ridiffusione dei prati di fanerogame marine sui fondali lagunari e la loro importanza biologica.

## 2. AREA DI STUDIO

L'area di studio è situata nella zona centro-meridionale della Laguna di Venezia, e adiacente all'isola di Pellestrina in prossimità della bocca di Malamocco. L'area di studio ospita una popolazione di *Pinna nobilis* (Figura 13).

L'area di interesse si trova poi delimitata a sud da un piccolo canale e a nord dalla struttura che consente il trasporto pubblico delle autovetture.

Le immagini in Figura 13 forniscono un inquadramento generale della localizzazione dell'area di studio; l'immagine di sinistra fornisce una visione più a grande scala mentre quella a destra evidenzia la vicinanza dell'area di studio alla bocca di porto e la struttura di attracco della linea del ferry boat.



Figura 13. Inquadramento dell'area di studio in laguna di Venezia (elaborazione effettuata impiegando il Software Qgis; immagini satellitari Google Satellite).

### 3. MATERIALI E METODI

#### 3.1 CAMPIONAMENTO

La campagna di misura è stata svolta il 23 giugno 2020. Il bassofondo oggetto di studio è costituito da una superficie che si trova periodicamente emersa a causa di eventi di marea di diversa entità. L'intensità di tali eventi è influenzata oltre che dalla fase lunare anche dalle condizioni atmosferiche. Al momento del rilievo (tra le 7:00 e le 8:00 della mattina) la superficie si trovava in parte sommersa (Figura 14).

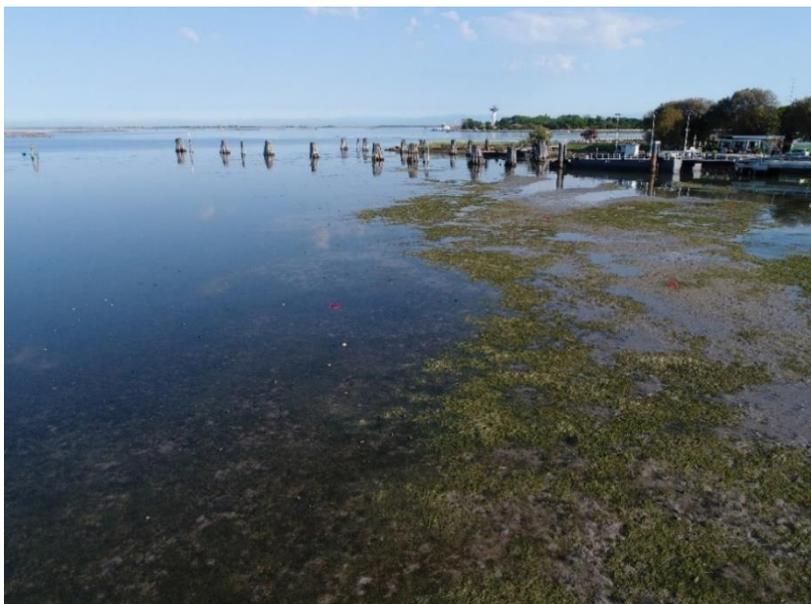


Figura 14. Area di studio parzialmente sommersa.

Durante la campagna di misura sono state effettuate due attività principali: (i) un rilievo tramite volo di un drone (rilievo UAV) e (ii) il prelievo di campioni di sedimento.

#### *Rilievo UAV (Unmanned Aerial Vehicle)*

Inizialmente si è provveduto a preparare l'area per il rilievo fotogrammetrico realizzato con il drone. Poiché la procedura di restituzione fotogrammetrica necessita della localizzazione di punti nell'immagine di cui si conoscono le coordinate (per l'orientamento e la georeferenziazione delle immagini), detti "targets". Prima di effettuare il volo sono stati disposti 16 target artificiali a terra, ben visibili, e per ognuno di essi è stata registrata l'esatta posizione con un sistema GNSS, strumento Geomax Zenith40 e l'acquisizione dei *ground control point (GCPs)* è stata fatta in modalità RTK (Real Time Kinematic) con datum WGS84.

Per avere risultati più affidabili i targets devono essere distribuiti uniformemente sulla superficie, essere ben visibili dalle foto da drone e specialmente deve essere immediato identificare il loro centro per attribuire con precisione le coordinate rilevate. I 16 target sono stati distribuiti solo sulla superficie asciutta dell'area da rilevare.

Le immagini UAV sono state raccolte con la bassa marea con una fotocamera DJI Zennus X4S (20 Mpixel, lunghezza focale 8,8 mm, sensore CMOS da 1 pollice) montata su un quadricottero professionale DJI Matrice 210v2 (Figura 15). Sono state raccolte 228 immagini in totale. In seguito, mediante l'utilizzo del software Agisoft Metashape Pro v. 1.6.2, si è prodotto un ortomosaico successivamente impiegato per le analisi. Il rilievo GNSS dei target ha accuratezza millimetrica: 0,011 m (X,Y) e 0,016 (Z); l'errore relativo ai GCPs impiegati per generare l'ortomosaico in termini di georeferenziazione e co-registrazione: 0,039 m (X), 0,038 m (Y) e 0,117 m (Z).



Figura 15. Drone impiegato per il rilievo.

Il rilievo fotogrammetrico ha permesso di restituire un mosaico ad alta risoluzione in cui sono visibili chiaramente gli organismi di *Pinna nobilis* e la copertura vegetativa.

#### *Raccolta campioni di sedimento*

Dieci campioni di sedimento sono stati prelevati lungo due transetti. I due transetti sono stati scelti in modo da rilevare eventuali differenze presenti nell'area. Il primo di questi è situato in un'area priva di *P. nobilis* (campioni da 1 a 5), mentre il secondo è stato realizzato proprio in un'area in cui è presente la popolazione di molluschi (campioni da 6 a 10). Ciascuno dei due transetti è composto da 5 campioni distanziati gli uni dagli altri di circa 2,5 m, misurati in fase di campionamento con una cordella metrica adagiata sul substrato. Per confronto, sono stati analizzati ulteriori quattro campioni aggiuntivi di sedimento provenienti da un bassofondo presso la zona meridionale dell'isola, vicino al porto di Chioggia, raccolti sempre in occasione di bassa marea, portati a Ravenna il 24 settembre.

I campioni sono stati prelevati per mezzo di un carotatore di forma cilindrica di raggio 5 cm e altezza 10 cm che viene conficcato nel sedimento mediante l'uso di un martello. È importante estrarre la carota senza perdite di sedimento, per questo si scava al contorno del carotiere e con l'impiego di una cazzuola, si solleva il campione ancora dentro la sonda e lo si pone all'interno di un sacchetto cercando di conservare tutto il volume estratto; si considera così il volume noto. Si annota il nome identificativo di ciascun campione sul sacchetto. Dopo il campionamento, i campioni sono posti in freezer per garantirne una buona conservazione fino al momento dell'analisi in laboratorio. Questi saranno poi impiegati per studiare la variazione spaziale del contenuto organico e inorganico del sedimento. I campioni contengono una quantità non indifferente di steli, radici ma anche bivalvi, gasteropodi e frammenti di conchiglie.

La rappresentazione dei punti presi tramite GNSS e impiegati nella georeferenziazione dell'immagine fotogrammetrica si trova in Figura 16.

Due target non sono stati impiegati in quanto erano stati sommersi dalla marea. Sono rappresentati anche i transetti, solo il punto iniziale per il primo di questi, segnato con X, ed entrambi i punti per il secondo transetto, contrassegnato con Y.

Questi poi si estendono per una lunghezza di circa 10 m.

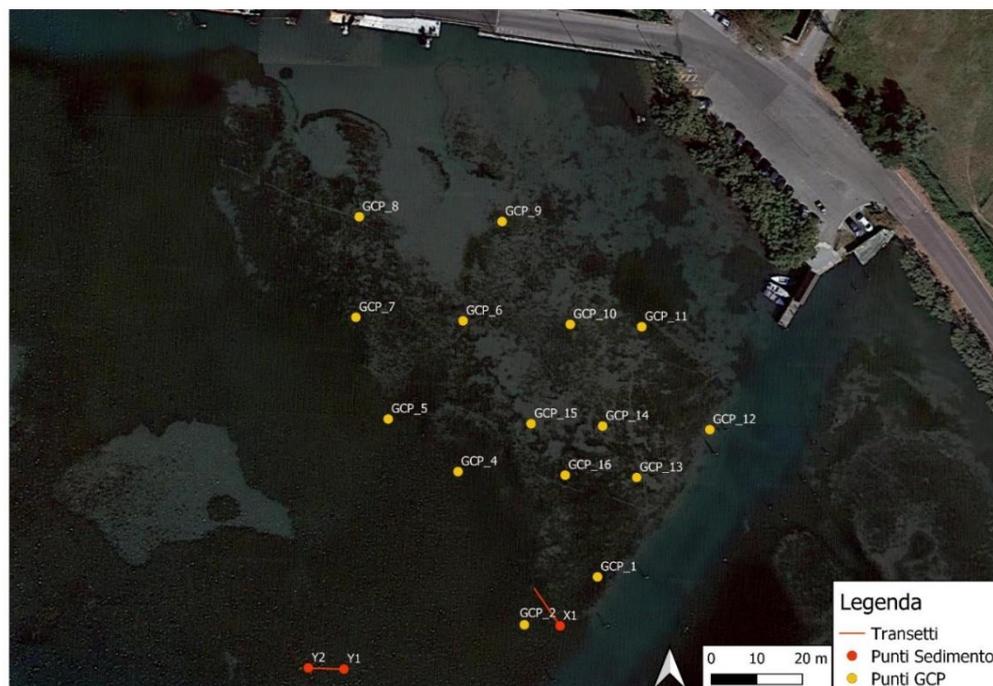


Figura 16. Rappresentazione dei punti impiegati per georeferenziare l'immagine e i transetti per il campionamento del sedimento.

In un altro momento sono stati presi altri quattro campioni di sedimento provenienti dalla zona sud dell'isola di Pellestrina, tre molto vicini all'isola nominati rispettivamente 1.1, 1.2, 1.3; mentre l'ultimo è stato preso più lontano davanti alla bocca di Chioggia, 2.1 (Figura 17).



Figura 17. Siti di campionamento a sud di Pellestrina.

### 3.2 ELABORAZIONE DATI DA RILIEVO CON DRONE

Dopo il campionamento si sono svolte due elaborazioni separate dei dati ottenuti dal rilievo. Da un lato si è proceduto al trattamento e analisi dei campioni in laboratorio, dall'altro sono state effettuate le elaborazioni delle immagini derivanti dal rilievo fotogrammetrico.

L'impiego di immagini georeferenziate permette di ottenere la corretta rappresentazione di tutte le proporzioni in QGIS; software impiegato nella realizzazione delle mappe. Il progetto è stato svolto impiegando il sistema di riferimento WGS 84-UTM 32N.

Il lavoro di analisi dell'ortomosaico si è concentrato non solo sulla caratterizzazione della popolazione di *Pinna nobilis*, ma anche della prateria di *Cymodocea nodosa* che si trova più o meno uniformemente distribuita sull'intera superficie dell'area di studio.

L'obiettivo principale dell'analisi riguarda la definizione della distribuzione spaziale degli organismi sessili ma, sapendo che le praterie di fanerogame marine sono un habitat favorevole al loro sviluppo e insediamento, si è proceduto anche ad una quantificazione della percentuale di copertura di *Cymodocea nodosa*. Nello specifico, sempre grazie all'impiego dell'ortomosaico, è stata effettuata una valutazione qualitativa e quantitativa della copertura vegetativa, con la conseguente definizione di quattro classi di copertura di fanerogame presenti sull'area.

Sono state inoltre considerate delle aree campione sulle quali è stata fatta una valutazione statistica dell'orientamento delle conchiglie dei bivalvi, per osservare se, come accade spesso in mare (Combelles *et al.*, 1986; García-March *et al.*, 2007 a), anche in ambiente lagunare in particolari condizioni i bivalvi preferiscano un preciso orientamento delle valve. In laguna si trovano esemplari di *Pinna nobilis* non molto grandi in quanto sono situati in un ambiente di stress causato dalle maree che scoprono spesso i bassifondi.

In Figura 18, foto scattata nella mattinata del campionamento, si vedono alcuni individui di *Pinna nobilis* parzialmente emersi esposti sopra alla copertura di fanerogame.

Grazie alle maree ed agli eventi di acqua bassa queste popolazioni si vedono chiaramente.



Figura 18. Esempio di *Pinna nobilis* parzialmente emerso in laguna di Venezia.

Osservando l'area di interesse e quella circostante ci si rende conto che la superficie non è uniforme, la morfologia è differente. La superficie presenta quote diverse perché al momento del campionamento erano presenti diverse aree emerse ed altre sommerse. Facendo una rapida osservazione qualitativa dell'area prima di iniziare il vero campionamento si nota che una parte di essa è completamente emersa, mentre l'altra parte è sommersa dall'acqua per uno spessore non quantificabile. Quanto appena detto si nota anche dall'ortomosaico riportato in Figura 19.

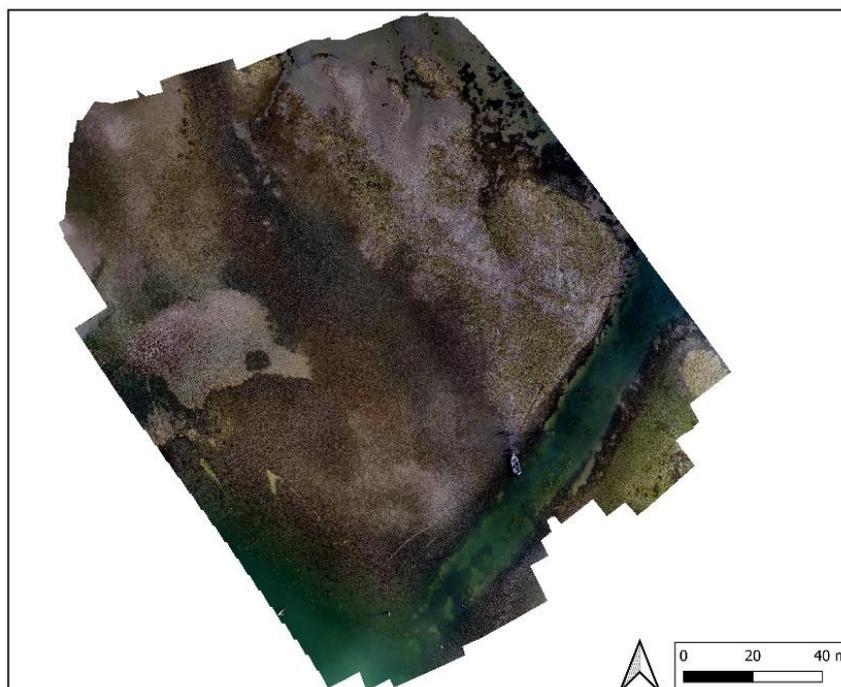


Figura 19. Ortomosaico dell'area di studio.

Nell'ortomosaico si nota il piccolo canale che delimita a sud la superficie; la parte sommersa del bassofondo è quella a ovest con una tonalità di colore più scura, mentre quella ad est è visibilmente più chiara in quanto è emersa. Si nota che la marea tende a risalire da ovest a est in modo obliquo, e la linea dell'acqua traccia quasi una retta che suddivide la zona di studio in direzione NO-SE.

Dall'ortomosaico vediamo che si alternano aree caratterizzate da vegetazione più densa e vegetazione meno densa, ma vi sono anche aree con sedimento nudo. In alcune regioni questo passaggio è graduale mentre in altre avviene in modo brusco. Da una prima osservazione si nota subito che è presente un'importante fascia centrale che si estende proprio da NO a SE in cui la densità è molto elevata, caratterizzata da un colore molto scuro. Da qui, spostandosi verso est si passa ad aree con vegetazione meno densa e sparsa fino ad arrivare gradualmente al sedimento privo di copertura. Verso ovest della fascia centrale ad alta densità si passa a vegetazione meno densa; in un'area abbastanza vasta si passa quasi direttamente a sedimento nudo, senza alcuna copertura. Queste informazioni si sono dedotte dalla sola osservazione dell'area.

Sempre sulla base dell'osservazione e interpretazione visiva, si osserva che i bivalvi si riconoscono molto più chiaramente sulla superficie sommersa, mentre gli individui che colonizzano la superficie emersa sono difficili da identificare. Sulla parte emersa infatti, a causa del sedimento e della vegetazione, il riflesso dei raggi solari impedisce una visione chiara; inoltre, l'appiattimento delle foglie di fanerogame sopra a molti individui di *P. nobilis* ne impedisce l'identificazione. A causa del riflesso a volte non è neppure semplice differenziare la vegetazione dal sedimento bagnato e dai bivalvi o talvolta da sedimenti grossolani. Questo comporterebbe errori grossolani nell'individuazione degli individui e pertanto, durante la valutazione quantitativa degli individui si è scelto di considerare solo la parte sommersa dell'area di studio.

#### *Valutazione quantitativa di Pinna nobilis*

Una volta definita e selezionata solo l'area sommersa, è stata digitalizzata sull'ortomosaico una griglia di 5 m per 5 m, assegnando ad ognuna delle "celle" della griglia un numero identificativo. Sono state scartate dal conteggio le celle che cadevano anche parzialmente al di fuori dall'ortomosaico. Inizialmente sono state digitalizzate 659 "celle" in totale.

Lo scopo della digitalizzazione della griglia è quello di andare a individuare delle superfici di 25 m<sup>2</sup> ciascuna, per valutare quantitativamente i molluschi compresi in ognuna di queste "celle". La valutazione quantitativa è stata svolta contando per ogni cella ogni singolo individuo presente.

Non sono state prese in considerazione le celle dove la determinazione del numero di *Pinna nobilis* potesse essere affetta da un grande errore a causa della non chiarezza dell'immagine o la presenza di elementi che potessero interferire con una chiara determinazione, come ombre e massi. Dalle 659 "celle" inizialmente digitalizzate ne sono state considerate effettivamente solo 484.

### Valutazione della copertura vegetativa

Successivamente è stata realizzata una valutazione qualitativa relativa alla densità della copertura superficiale di *Cymodocea nodosa*. Dalla semplice osservazione della copertura vegetativa si notano aree con densità completamente differenti. Sono state identificate chiaramente quattro classi di copertura, partendo da quella ad elevata densità e procedendo verso densità via via minori fino ad arrivare a sedimento senza alcuna copertura. La fotointerpretazione qualitativa della copertura vegetativa è stata integrata da una quantitativa. Quella quantitativa è una valutazione statistica svolta su un numero di celle scelte a campione in maniera casuale: almeno il 10% delle celle della categoria densa e sedimento nudo. Mentre per le altre due categorie, vegetazione a bassa densità e sparsa si è scelto di considerare una percentuale di celle maggiore, circa il 20%, per ottenere un dato più rappresentativo in quanto sono categorie con maggiore variabilità della copertura.

La valutazione svolta su queste celle è stata fatta con una metodologia ben precisa.

Ciascuna “cella” di 25 m<sup>2</sup> scelta è stata suddivisa in celle più piccole di lato 1 metro per 1 metro, andando a creare una griglia con maglia più fitta, di 1m<sup>2</sup>. Quindi in ogni cella di 25 m<sup>2</sup> sono state ottenute 25 celle più piccole.

Nella valutazione quantitativa non si prendono in considerazione le aree dei quadratini bensì tutti i vertici di ogni cella di piccole dimensioni.

Si contano i vertici che cadono perfettamente sul prato di fanerogame marine tralasciando quelli che cadono sul sedimento in assenza di vegetazione, ottenendo così una percentuale identificativa della copertura di vegetazione di quella cella di grandi dimensioni (25 m<sup>2</sup>) (Figura 20). Nell'immagine si vede chiaramente la griglia di lato 5 metri in colore verde, in rosa quella di lato 1 metro, la numerazione delle singole celle ma anche la copertura del sedimento e gli organismi sessili.

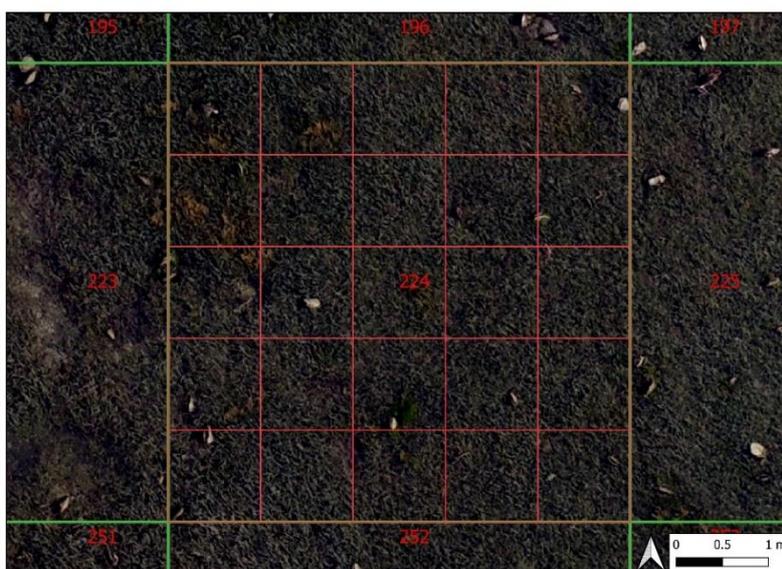


Figura 20. Rappresentazione di griglia di lato 1 metro. Classe di copertura “Densa”; copertura di fanerogame 100%, sedimento 0%.

Una volta calcolata la percentuale di copertura per ogni cella viene mediata per tutti i valori delle celle considerate di una determinata classe di copertura, ottenendo così il valore rappresentativo per essa e per le altre classi.

### 3.3 ANALISI DATI DA SONDA MULTIPARAMETRICA

Il monitoraggio della qualità delle acque della laguna di Venezia è considerato un'azione necessaria per verificare e controllare lo stato di salute della laguna stessa.

La qualità delle acque di transizione della regione Veneto è controllata da ARPAV, che in collaborazione con ISPRA, ha redatto, su incarico della Regione Veneto, uno specifico "Piano di Monitoraggio per la definizione dello Stato Ecologico della laguna di Venezia, ai sensi della Direttiva 2000/60/CE e del D. Lgs. 152/2006", con lo scopo di definire lo stato di qualità secondo quanto previsto dalla Direttiva 2000/60/CE e dal "Piano di Gestione della sub unità idrografica Bacino Scolante, laguna di Venezia e mare antistante", facente parte del "Piano di Gestione del Distretto Alpi Orientali" (ARPAV, 2019).

Nella tesi sono analizzati i dati di una stazione fissa di monitoraggio della qualità delle acque situata in laguna di Venezia facente parte della rete di monitoraggio in continuo (Rete Samanet) ("Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle OO.PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia- tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova").

Le sonde multiparametriche sono del modello OCEAN SEVEN 316 della Idronaut. Mentre il torbidimetro, per misurare la torbidità, e il fluorimetro, clorofilla-a, sono invece della Seapoint, altra casa produttrice di strumenti che possono essere montati sulle sonde. Le sonde Samanet, quindi, rilevano i seguenti parametri: Profondità (inteso come battente dell'acqua), Temperatura (°C), Conducibilità (ms/cm), Ossigeno disciolto (% e ppm), pH, Potenziale redox, Clorofilla-a (microgrammi/litro) e Torbidità (FTU).

La sonda multiparametrica OCEAN SEVEN 316 CTD è il risultato di 20 anni di esperienza e continui miglioramenti da parte della casa produttrice Idronaut nella realizzazione di strumentazione marina a risposta rapida. Questa offre una combinazione di accuratezza dei dati ad alta risoluzione a 16 bit con stabilità del sensore a lungo termine. I dati vengono emessi in un formato standard RS232C con l'opzione di telemetria disponibile per la trasmissione dei dati in tempo reale. La sonda multiparametrica può ospitare fino ad un massimo di 32 sensori e due digitali. I dati locali misurati dalle sonde si riferiscono sempre all'ora solare locale (Idronaut S.r.l., 2021).

Il sensore che consente di misurare la temperatura è dotato di una termoresistenza al platino molto veloce, presenta una costante temporale di 50 ms. L'effetto di auto riscaldamento di questo sensore è trascurabile. Il sensore per la misura della conducibilità è costituito da una cella al quarzo a sette anelli di grande diametro che permette di essere pulita senza essere ricalibrata.

Per la misurazione dell'ossigeno dispone di un sensore innovativo polarografico con cappuccio sostituibile per il supporto della membrana.

La misurazione del pH avviene con l'impiego di un elettrodo a membrana di vetro in combinazione con un elettrodo di riferimento senza giunzione ceramica e un sistema di amplificazione differenziale. Un elettrodo di riferimento per la misurazione del potenziale redox del pH.

In Figura 21 sono riportati i sensori appena descritti prodotti da Idronaut per la misurazione di differenti parametri chimici e fisici.

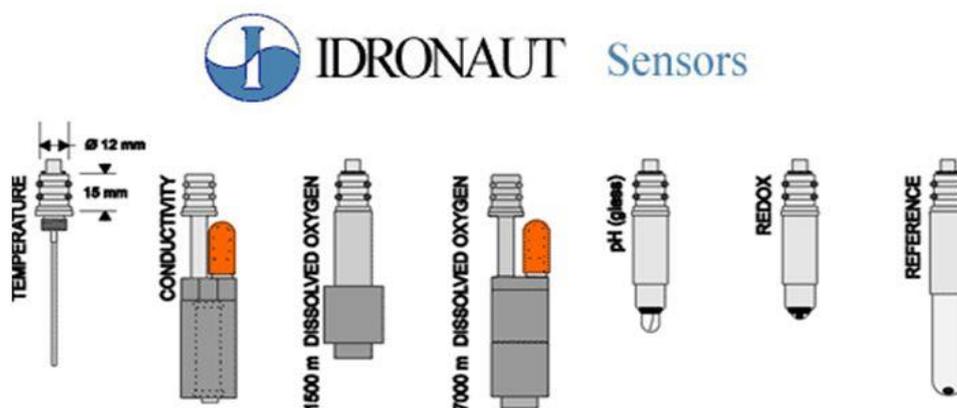


Figura 21. Rappresentazione dei diversi sensori impiegati in sonde multiparametriche (Idronaut S.r.l, 2021).

Il sensore per la misurazione in situ della clorofilla-a prodotto dalla Seapoint è uno strumento ad alte prestazioni. Le sue dimensioni sono ridotte, così come il consumo energetico; è dotato di una elevata sensibilità e capacità di arrivare a profondità di 6000 metri. Il fluorimetro per clorofilla Seapoint (SCF) usa lampade al led blu modulate ed un filtro di eccitazione blu per eccitare la clorofilla-a. La luce fluorescente emessa dalla clorofilla-a passa attraverso un filtro di emissioni rosse e viene rilevata da un fotodiode al silicio (Figura 22). Realizzato con materiali robusti alla corrosione, si interfaccia bene con altri sistemi di acquisizione di dati, viene impiegato per la misurazione di biomasse e nutrienti, tollerante allo stress ambientale, si impiega per misurazioni ormeggiate (Seapoint, 2000).



Figura 22. Sensore di rilevazione di clorofilla-a (Seapoint, 2000).

Il sensore per la misura della torbidità prodotto da Seapoint rileva la luce diffusa dalle particelle sospese nell'acqua generando una tensione di uscita proporzionale alla torbidità o i solidi sospesi. La portata è identificata da due linee digitali che possono essere controllate da un microprocessore, scegliendo così la

portata e la risoluzione più appropriate (Figura 23). L'esclusivo design ottico limita il volume di rilevamento entro 5 centimetri dal sensore in modo da consentire rilievi quasi dal fondo e riducendo al minimo i riflessi errati in spazi ristretti (Seapoint, 2013). Alcune caratteristiche importanti di tale strumento oltre a una richiesta alimentazione molto bassa, dimensioni piccole e un volume di rilevamento otticamente limitato; può arrivare a 6000 metri di profondità, insensibile alla luce solare, si interfaccia facilmente con i sistemi di acquisizione dei dati ed è realizzato con materiali resistenti alla corrosione. Viene principalmente impiegato in monitoraggi dell'inquinamento, qualità dell'acqua, trasporto di sedimenti, monitoraggio di fiumi e torrenti.

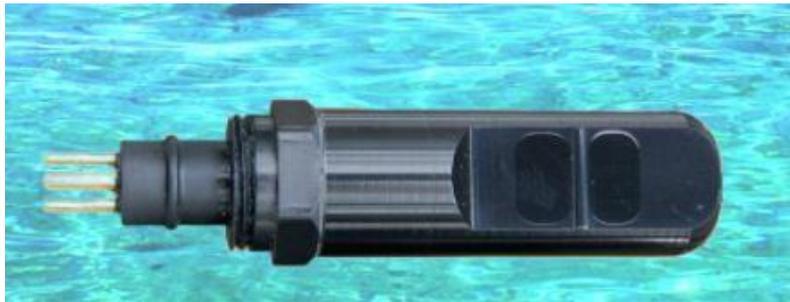


Figura 23. Sensore di rilevazione della torbidità (Seapoint, 2013).

Le batterie sommergibili interne o esterne consentono il funzionamento della sonda per un intervallo variabile di 20 – 200 ore, è possibile usare anche batterie ricaricabili o al litio (Idronaut S.r.l, 2021). Tutti i sensori installati nella sonda hanno costanti di tempo molto basse sia per i parametri fisici che per quelli chimici. La sonda è controllata dall'elettronica interna molto avanzata; può misurare, memorizzare e trasmettere i dati in modi diversi. Acquisizione dei dati in tempo reale, acquisizione dei dati non presidiata in funzione del tempo, attivata da un interruttore magnetico, e acquisizione dei dati in funzione della profondità. Le serie di dati acquisiti vengono caricati alla fine dei cicli di misura; la durata della batteria è influenzata da un sistema di regolazione automatica dell'alimentazione che spegne la sonda quando non acquisisce dati (Idronaut S.r.l, 2021).

In Laguna di Venezia sono presenti dieci sonde multiparametriche situate in diverse località. Nella tabella seguente sono riportate sia i nomi delle sonde, le coordinate Nord e Est espresse in metri (Sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Est) per ciascuna di esse oltre alla profondità e la posizione.

Nome	Posizione	Coordinata E	Coordinata N	Profondità (cm)
Ve1	Fusina	2306706	5032565	140
Ve2	Campalto	2311679	5038698	106
Ve3	S.Pietro	2307295	5022722	136
Ve4	Fondamenta Nuove	2312192	5035562	98
Ve5	Trezze	2305790	5034719	130
Ve6	Sacca Sessola	2310584	5031251	115
Ve7	Dese	2316836	5042645	250
Ve8	Palude Maggiore	2323743	5042185	190
Ve9	Valle Millecampi	2299441	5019644	170
Ve10	Chioggia	2303460	5010320	140

Tabella 1. Sonde multiparametriche situate nell'ambito lagunare.



Figura 24. Ubicazione delle dieci sonde multiparametriche in laguna di Venezia.

Per quanto riguarda la sonda Ve3 situata a S. Pietro, essa riporta la serie temporale di dati partendo dall'anno della sua installazione, il 2003. Prima era situata in un'altra località.

Nel tentativo di valutare sostanziali cambiamenti di parametri chimici e fisici che possano spiegare o evidenziare l'espansione della popolazione di *Pinna nobilis* sono stati analizzati i dati della sonda multiparametrica Ve 3, poiché essa è vicina all'area di studio, distante solo 2 km circa.

I dati analizzati vanno dal 2003 al 2020 e sono stati rilasciati dal "Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle OO.PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia- tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova".

Il dataset era composto dai dati inerenti tutti gli anni dal 2003 al 2020, la serie temporale va dal 22/07/2003 al 31/08/2020. Sono stati analizzati nel complesso circa 18 anni di dati. Per ogni singolo anno sono presenti i dati misurati per ogni variabile di cui la sonda possiede il sensore. I dati sono medie giornaliere.

Come già spiegato sono presenti i dati di Pressione (m), Temperatura (°C), Conducibilità (ms/cm), Salinità (PSU), Ossigeno disciolto espresso in % e in ppm, pH, Potenziale redox (eH), Clorofilla-a (microgrammi/l) e Torbidità (FTU).

Come primo passo per affrontare il dataset, sono stati esclusi i valori che indicavano un mal funzionamento della sonda; questi riportavano valori come -9999.00 o -9999 decisamente troppo bassi per essere presi in considerazione. Per alcuni anni e variabili i periodi di malfunzionamento della sonda sono stati molti e per questo in certe occasioni manca buona parte dei dati, talvolta mesi.

Un aspetto importante da precisare è che con questi dati non sono state fatte delle interpolazioni o altre operazioni per riempire i dati mancanti e neanche sono stati scartati eventuali outliers. Quello che si vuole ottenere dall'analisi di questi dati è un'osservazione generale dell'andamento delle variabili considerate. Si è scelto poi di elaborare i dati in modo da ottenere dei valori rappresentativi sia annualmente che stagionalmente. Di seguito è riportata la tabella rappresentante le percentuali dei dati mancanti totali solo per i parametri presi in considerazione più nello specifico, Temperatura, Clorofilla-a, Torbidità e Ossigeno disciolto (Tabella 2).

Anno	Temperatura (%)	Clorofilla-a (%)	Torbidità (%)	Ossigeno disciolto (%)	Anno	Temperatura (%)	Clorofilla-a (%)	Torbidità (%)	Ossigeno disciolto (%)
2003	0	0	0	0	2012	20,5	27,9	27,9	20,5
2004	6,6	6,6	6,6	10,1	2013	19,7	27,7	32,3	20,8
2005	6,3	6,3	6,3	23,6	2014	1,9	1,9	14,0	1,9
2006	0,0	0,0	2,2	3,0	2015	61,4	61,4	62,2	61,4
2007	15,1	15,1	15,1	25,2	2016	3,8	5,2	22,4	4,1
2008	1,9	1,9	2,5	3,6	2017	6,6	6,6	8,5	9,6
2009	0,5	4,4	9,7	3,8	2018	17,3	17,3	21,9	17,3
2010	27,7	35,1	35,1	31,0	2019	36,2	36,2	36,2	43,6
2011	15,9	14,8	15,1	14,8	2020	0,8	0,8	0,8	1,2

Tabella 2. Percentuali dati mancanti.

Per quanto riguarda i dati meteorologici sono stati analizzati i dati della rete telemareografica della Laguna di Venezia (Comune di Venezia- Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, 2021) per la stazione più

vicina all'area di studio cioè la stazione di Malamocco porto (Figura 25). La rete telemareografica è costituita da 15 stazioni automatiche, la maggior parte di esse collegate via radio ad una stazione centrale. Le stazioni periferiche acquisiscono e processano i dati registrati dai sensori, trasmettono le misure alla centrale, situata negli uffici del Centro Maree, nel centro storico di Venezia. Questo strumento si dimostra particolarmente utile per la gestione delle attività necessarie durante il verificarsi degli eventi di 'acqua alta'. Il parametro principale, misurato da quasi tutte le stazioni della rete telemareografica, è il livello del mare. Alcune stazioni registrano anche parametri meteorologici, come vento, pressione e temperatura atmosferica, umidità relativa, precipitazione.

La stazione selezionata ha coordinate geografiche: - Latitudine 45° 20' 23.28" N,

- Longitudine 12°17'31.08" E



Figura 25. Stazione telemareografica Malamocco porto e la sua ubicazione in laguna di Venezia.

La stazione è attrezzata con diversi sensori, tra cui un sistema di acquisizione DA9000, un mareografo T039 TIDROM, ed è in grado di acquisire la direzione e la velocità del vento.

Il trasduttore della direzione del vento installato sulla stazione, t033 TDV, casa produttrice SIAP+MICROS, è stato progettato per assicurare elevate prestazioni nel monitoraggio della direzione del vento. L'elemento sensibile è costituito da una banderuola bilanciata accoppiata ad un magnete, la cui posizione viene rilevata tramite dispositivo ad effetto hall in modo da determinare la direzione di provenienza del vento. Per misurare la velocità del vento è stato montato un trasduttore di velocità, t021 TVV, della stessa casa produttrice, composto da un corpo che ruota su sé stesso sfruttando la resistenza al vento in grado di determinarne la velocità.

La struttura robusta del sensore ne garantisce la durabilità e un'adeguata resistenza anche a velocità del vento elevate. Inoltre, il suo design semplice e compatto ne facilita l'installazione e semplifica le attività di manutenzione in campo (SIAP+MICROS S.p.a., 2021).

Questa stazione del Centro Maree mette a disposizione i dati osservati così come sono stati rilevati dalle stazioni automatiche della "Rete Telemareografica della Laguna di Venezia". I dati si riferiscono all'ora solare (UTC+1).

Facendo riferimento a questa stazione è stato possibile consultare i dati dal 2004, l'anno di installazione della strumentazione del Centro Previsioni e Segnalazioni Maree presso la cabina della bocca di porto di Malamocco. Il dataset presenta i valori di livello espressi in metri, quelli di intensità del vento in metri/secondo, la direzione del vento in Gradi Nord. I file riportano il formato data (giorno, mese, anno) e ora (ora, minuti).

Si è scelto di considerare anche i dati del vento proprio per osservare se tra la velocità del vento e i valori di torbidità più elevati riferiti a particolari anni ci fossero particolari correlazioni. Va infatti ricordato che l'orientamento della Laguna di Venezia si trova in direzione quasi sub-parallela alla direzione di venti di Bora che sono i venti dominanti dell'area di mare antistante. Talvolta, questi venti possono raggiungere intensità tali da essere in grado di generare onde di altezza di un metro grazie alla lunghezza del fetch lagunare. Queste sono in grado di risospingere sedimenti per poi essere trascinati dalle correnti (MATTM, 2012).

### 3.4 TRATTAMENTO DEI CAMPIONI IN LABORATORIO

Durante la fase di trattamento dei campioni in laboratorio sono state svolte analisi mirate a studiare la variazione spaziale del contenuto di materia organica e inorganica dei campioni raccolti. I campioni a prima vista presentavano una composizione prevalentemente sabbiosa e colorazione grigiastra scura a tratti quasi tendente al marrone; al suo interno sono chiaramente visibili radici, foglie di fanerogame, gasteropodi ma anche frammenti di conchiglie. Sono state applicate le metodologie per Bulk Density, Loss of Ignition (LOI) e l'impiego del CHN (analizzatore elementare). Successivamente è stata determinata la granulometria dei sedimenti.

I campioni prima di essere impiegati nella procedura analitica vera e propria sono tolti dal freezer e lasciati scongelare completamente (Figura 26).

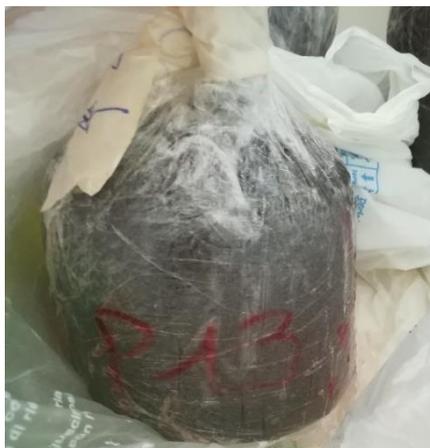


Figura 26. Campione di sedimento numerato della Laguna di Venezia.

#### 3.4.1 BULK DENSITY (BD):

La densità apparente del suolo, nota anche come densità apparente secca, è il peso del suolo asciutto per unità di volume di suolo. Solitamente espressa in ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (Hossain *et al.*, 2015). La variazione della densità apparente che si può registrare in diversi suoli dipende dalla proporzione relativa di particelle organiche e inorganiche ma anche dalla porosità del suolo e dal contenuto di acqua. La maggior parte dei suoli minerali ha densità apparente compresa tra  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$  e  $2 \text{ g}/\text{cm}^3$ ; mentre suoli con un buon contenuto di materia organica hanno densità apparente minore di  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Nonostante la densità apparente sia scarsamente misurata è molto importante perché fornisce informazioni sullo stato e nutrimento degli ecosistemi (Hossain *et al.*, 2015).

In questo caso si tratta di sedimenti lagunari che al momento del campionamento si trovavano completamente sommersi. La densità apparente è stata calcolata solo per i campioni fino ad una profondità di 10 cm, cioè la profondità a cui si è campionato.

Per la determinazione della densità apparente ci sono alcuni passaggi importanti da rispettare per ottenere dei risultati affidabili. Ciascun campione scongelato viene trasferito in un contenitore di alluminio precedentemente pesato ( $M_c$ ); l'intero campione ( $M_s$ ) viene trasferito al suo interno e per facilitare le operazioni di riconoscimento lo si nomina con la stessa sigla. In questa fase è molto importante fare attenzione alla pulizia del contenitore del campione attraverso diversi risciacqui con acqua deionizzata in modo da minimizzare la frazione che rimane aderita alle pareti e quindi la perdita di materiale.

Il contenitore è una vaschetta di alluminio piuttosto capiente in grado di contenere sia il campione che l'acqua impiegata. Successivamente, tutte le vaschette contenenti i campioni e l'acqua di risciacquo sono poste in forno a 105°C per almeno 24 ore. I campioni umidi però possono impiegare più tempo a seccare, circa 36-48 ore (Figura 27).



Figura 27. Campioni posti a seccare in stufa.

A determinati intervalli di tempo vengono effettuate delle pesate dei diversi campioni ( $M_c + M_s$ ) fin tanto che i pesi non risultano costanti nel tempo. A questo punto si considera che abbiano perso tutte le tracce di umidità e sono considerati completamente asciutti. Successivamente è stato possibile calcolare la Bulk Density dei differenti campioni, per il calcolo si considera il peso del campione secco (g) dividendolo per il volume del campione al momento del campionamento ( $\text{cm}^3$ ). Il peso secco del campione ( $M_s$ ) viene calcolato sottraendo al valore registrato durante l'ultima pesatura ( $M_s + M_c$ ) il peso della vaschetta in alluminio ( $M_c$ ).

Il volume viene calcolato dalla sonda di forma cilindrica impiegata per il campionamento avente raggio,  $r=5$  cm e altezza,  $h=10$  cm, il volume è di  $785,4 \text{ cm}^3$ ; è considerato un volume noto.

$$\text{Densità apparente secca } \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{peso sedimento secco}}{\text{volume noto}}$$

I campioni completamente secchi sono privati poi dei materiali superflui presenti al momento del campionamento: resti di conchiglie, bivalvi, gasteropodi, radici ed eventuali frammenti di fanerogame. Il processo è stato eseguito con l'aiuto di una spatola. Successivamente ciascun campione viene passato al setaccio con maglia di 2 mm in modo da assicurare una migliore separazione dei materiali superflui, Figura 28.



Figura 28. A sinistra campione seccato privato dei materiali superflui. A destra, frammenti di conchiglie e fanerogame separati mediante setacciatura.

Di seguito sono applicati due metodi analitici per la determinazione della materia organica e carbonio organico nei campioni: LOI (Loss of Ignition), CHN-DOI (CHN analyzer with difference of ignition).

I sedimenti rappresentano una matrice importante per la decomposizione della materia organica e di rigenerazione dei nutrienti negli ambienti costieri. Il contenuto di carbonio organico e di azoto nei sedimenti solitamente tende a diminuire con la profondità e gli anni di tale deposizione causati da processi di decomposizione aerobica e anaerobica (Kristensen *et al.*, 1987).

La determinazione del contenuto di carbonio organico dai campioni può essere condotta attraverso diverse metodologie.

#### 3.4.2 LOSS OF IGNITION (LOI)

Le metodologie attraverso le quali è possibile determinare il contenuto di materia organica dei campioni comprende: trattamento attraverso il perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ); trattamento con perossido di idrogeno e in successione con ipoclorito di sodio ( $NaClO$ ); e loss of ignition (LOI) analisi.

Solitamente i trattamenti chimici per determinare il contenuto di materia organica non sono usati frequentemente in quanto richiedono molto tempo. Tuttavia, consentono di mantenere l'esatta granulometria della frazione inorganica, al contrario della LOI (Roner *et al.* 2016).

Molto spesso il contenuto di carbonio organico nei suoli è definito in letteratura basandosi sui valori ottenuti da LOI, ma una procedura standardizzata vera e propria non è ancora codificata. Esistono procedure eterogenee in termini di temperatura, durata dell'esposizione, posizione in muffola e granulometria del campione. I risultati di diverse procedure non possono essere comparate perché possono sovrastimare o sottostimare il contenuto di materia organica (Roner *et al.* 2016).

La scelta di tutti i parametri coinvolti nell'analisi è stata fatta basandosi sulla letteratura esistente.

La LOI è un metodo affidabile, sicuro e poco costoso per la predizione del contenuto di materia organica nel suolo; il contenuto di carbonio organico aumenta con l'aumento del contenuto di materia organica nel suolo (Craft *et al.*, 1991).

La perdita alla combustione (LOI) descrive il processo di misurazione della variazione di peso di un campione dopo che è stato riscaldato ad alta temperatura causando la combustione e la volatilizzazione di alcuni suoi componenti. Il metodo è fondamentale nella determinazione della materia organica in campioni di suoli provenienti anche da paludi e nel nostro caso da laguna. La differenza di peso prima e dopo il processo è impiegata per stimare la quantità di materia organica combusta.

Tuttavia, ci sono alcuni aspetti a cui prestare attenzione. La presenza di carbonati non va ad influenzare l'esito della LOI ma alcuni eventi possono condurre ad errori nella determinazione. Durante il processo di riscaldamento, tra un range di temperatura di 450°C e 600 °C, la perdita di acqua strutturale dal campione con una grande componente di argilla può condurre ad una sovrastima della perdita di materia organica. Tra i 450°C e i 520°C si ha la perdita potenziale di CO<sub>2</sub> contenuto in alcuni minerali o sedimenti contenenti carbonio inorganico tra cui Siderite (FeCO<sub>3</sub>), Magnesite (MgCO<sub>3</sub>), Dolomite (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), Rhodocrosite (MnCO<sub>3</sub>) (Roner *et al.*, 2016; Craft *et al.*, 1991).

Un altro aspetto importante da non sottovalutare è la differenza di età che possiamo avere tra le diverse aree paludose che si considerano, aree paludose molto giovani hanno un basso contenuto organico nei suoli, la materia organica che si deposita in questi solitamente è materiale vegetale che si è depositato recentemente, con l'invecchiamento della palude risultano dei continui accumuli di materia organica nei suoli (Craft *et al.*, 1991).

La LOI necessita di fattori di conversione per stimare il contenuto di carbonio organico nei suoli.

Dai campioni privati di materiali superflui viene prelevata una determinata aliquota di campione il più omogenea possibile così da essere rappresentativo dell'intero campione. L'aliquota viene poi macinata finemente con un mortaio (Figura 29).

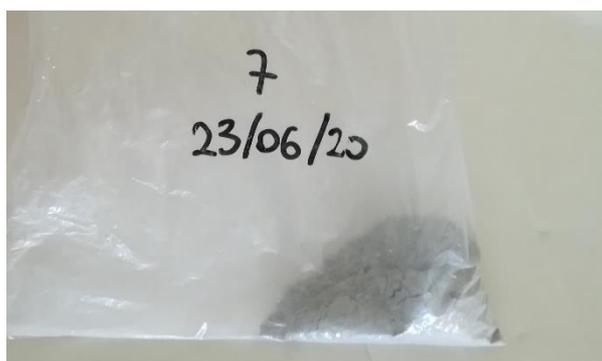


Figura 29. Aliquota di campione originale macinata al mortaio, mostra una colorazione grigio chiaro.

Successivamente, i crogiuoli vengono risciacquati con acido e seccati in stufa prima del loro impiego in modo da evitare delle possibili contaminazioni ed eliminare eventuali tracce di umidità.

Una volta seccati, vengono pesati (M<sub>cru</sub>) con una bilancia sensibile (a quattro cifre decimali) in modo da considerare anche le più piccole variazioni di peso. Viene poi posto all'interno del crogiuolo una certa quantità di materiale finemente macinata in precedenza, circa 5 g (M<sub>cru</sub>+M<sub>samp</sub>).

Il crogiuolo contenente l'aliquota di campione viene posto in essiccatore dove viene lasciato per 30 minuti in modo da togliere ulteriori tracce di umidità. Trascorso il tempo fissato viene pesato velocemente con una bilancia sensibile e posto in muffola. La temperatura si aumenta con un gradiente di 100°C ogni ora fino ad arrivare ad una temperatura di 450°C alla quale rimane stabile per 8 ore. Durante questo periodo di tempo la materia organica presente nei campioni viene ossidata e persa. Dopo lo spegnimento della muffola e il raffreddamento per otto ore, i crogiuoli sono estratti con apposite pinze, sono posti in essiccatore fino a quando non raffreddano completamente e successivamente viene effettuata la pesata del crogiuolo contenente la cenere rimanente (Figura 30).

Per ogni campione è stato scelto di considerare due repliche rispettivamente *a* e *b*.



Figura 30. A destra è mostrata la muffola impiegata con i campioni al suo interno; a sinistra l'essiccatore con i campioni appena estratti.

Le differenze di peso, prima e dopo il processo, sono impiegate per la determinazione del contenuto di materia organica combusta, il risultato ottenuto da LOI è usato per la determinazione del contenuto di carbonio organico in ogni campione.

Il calcolo per ottenere la % di cenere e LOI sono i seguenti:

$$\% \text{ Ash} = \frac{[(M_{cru} + M_{ash}) - M_{cru}]}{[(M_{cru} + M_{samp}) - M_{cru}]} * 100$$

$$\% \text{ LOI} = \frac{[M_{samp} - M_{ash}]}{M_{samp}} * 100$$

Per calcolare il contenuto di carbonio organico nei suoli solitamente può essere impiegata la relazione:

$$\text{Corg} = \% \text{ LOI} / 1.724 \text{ (Nelson et al., 1996).}$$

### 3.4.3 CHN ANALYZER WITH DIFFERENCE COMBUSTION (CHN-DOI)

Frequentemente, il metodo usato per la determinazione della materia organica è la LOI, ma l'introduzione dell'analizzatore elementare ha condotto a dei miglioramenti nella determinazione di carbonio organico e azoto nei sedimenti. Tale strumentazione porta a combustione il campione ad elevate temperature per poi rilevare gascromatograficamente i prodotti della combustione.

I vantaggi sono che permette di considerare dei campioni di peso molto piccolo, impiega tempi ridotti per le analisi, ha elevata precisione e permette la determinazione simultanea di carbonio e azoto. Lo svantaggio è la mancanza di separazione tra carbonio organico e inorganico. I sedimenti infatti possono essere più o meno ricchi di carbonio inorganico derivanti dal materiale di partenza, conchiglie e processi biogenici. Quando il campione viene combusto il carbonio organico è bruciato a temperature al di sotto dei 550 °C mentre quello inorganico al di sopra dei 400°C, ma l'analizzatore elementare considera il carbonio come carbonio totale.

Il metodo impiegato per la separazione del carbonio organico e del carbonio inorganico è il CHN-DOI, dove il carbonio organico è misurato in campioni secchi non trattati con analizzatore elementare (Kristensen *et al.*, 1987). Il carbonio organico è rimosso dalle repliche per combustione in muffola, il rimanente carbonio inorganico è misurato sempre mediante analisi con analizzatore elementare. Il Carbonio organico perso durante la combustione lo si determina per differenza (Kristensen *et al.*, 1987) (Figura 31).



Figura 31. Analizzatore elementare.

Lo strumento impiegato è costituito da due colonne, quella di sinistra impiegata per l'analisi CHN e quella di destra per l'analisi dell'ossigeno.

Quando lo strumento è configurato per l'analisi CHN l'autocampionatore è posto sulla colonna di sinistra mentre quella di destra è chiusa. Il flusso di elio (He) viene sdoppiato e fatto passare in parallelo nella colonna del CHN (carrier) e in quella dell'ossigeno (reference). Nella prima soluzione viene miscelato con ossigeno molecolare e avviene la combustione del campione. Uscito dalla colonna del CHN il flusso del carrier entra nella colonna cromatografica e arriva al detector TCD; mentre il flusso del reference esce dalla

colonna dell'ossigeno, passa per una colonna esterna per la purificazione, arriva alla colonna cromatografica anch'esso e al detector.

Per garantire delle buone prestazioni dello strumento è buona norma prima di eseguire le analisi controllare lo stato della colonna in quarzo impaccata, la quale se esausta deve essere correttamente smaltita e sostituita. La colonna impaccata CHN è costituita da diverse parti, la parte superiore ossidante e la inferiore riducente. Nelle colonne troviamo sia ossido di rame CuO che rame elettrolitico in fili, entrambe gli spessori sono interposti da piccoli strati di lana di quarzo. Questi servono per ossidare il CO a CO<sub>2</sub> e per ridurre NO<sub>x</sub> a N<sub>2</sub>. Il crogiuolo in questo caso consiste in un tubo di acciaio nel quale va posto sul fondo uno strato di lana di quarzo sulla quale si posa il campione durante l'analisi, l'altezza a cui si posiziona è quella in cui si raggiunge la massima temperatura di combustione.

Dopo un certo numero di analisi si accumulano parecchie ceneri e si può verificare un innalzamento del livello di posizionamento del campione rendendo la combustione non più ottimale, occorre quindi togliere il crogiuolo, pulirlo e cambiarlo. La colonna CHN andrebbe sostituita con una nuova dopo circa 200 analisi. La frequenza di pulizia del crogiuolo è maggiore a seconda del peso del campione e del quantitativo di cenere che sono prodotte dalla combustione.

Successivamente si passa all'accensione dello strumento, aprendo i flussi di He, di ossigeno e il programma dedicato "Eager Experience".

Per verificare lo stato e la condizione dello strumento si può fare un Leak test a freddo dove il flusso del carrier deve scendere sotto i 5 ml/min e il flusso del reference sotto i 10 ml/min, questa operazione impiega qualche minuto. Si accende poi la fornace o di sinistra o di destra a seconda del metodo.

Per le analisi CHN deve essere accesa solo la fornace di sinistra, quella di destra deve essere mantenuta spenta e si deve portare questa fornace fino a una temperatura di 950°C. Il forno deve arrivare a 65°C, il Carrier a 140°C, il Reference a 100°C e l'Ossigeno a 250°C.

Prima di effettuare l'analisi vera e propria si preparano i campioni da sottoporre ad analisi.

Una piccola aliquota di campione compresa tra 7 mg e 10 mg è stata prelevata dal campione con una spatolina e riposta in una capsula di stagno, pesando l'esatto peso della capsula con una bilancia sensibile. Esistono le capsule sia di stagno che di argento, nel nostro caso sono usate quelle di stagno in quanto si tratta di campioni solidi che non hanno subito dei trattamenti con acidi. Una volta messo l'aliquota di campione nella capsula questa viene chiusa ripiegando le estremità su sé stessa in modo da assicurare che il campione non venga perso, poi riposta in una placchetta porta campioni (Figura 32).

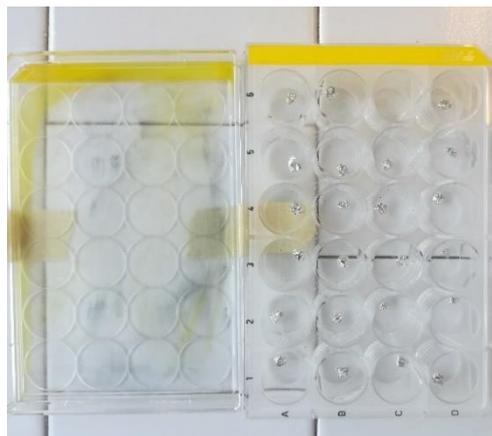


Figura 32. Campione riposto in capsule di stagno e porta campione in cui sono riposte le capsule già ripiegate.

Con questo tipo di metodo sono stati analizzati entrambe le repliche precedentemente sottoposte a LOI, un'aliquota per ciascun campione originale, due aliquote di un materiale di riferimento il "soil reference" e quattro BBOT (2,5-Bis(5'-tert-butyl-2-benzoxazol-2-yl) thiophene) (C<sub>26</sub>H<sub>26</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S) titolo minimo 99,5%, questi ultimi con peso di ciascuno compreso tra i 2 e 2.5 mg; per maggiore precisione è stata svolta un'analisi di un bianco senza capsula, riportata con il nome "Vuoto".

Il "soil reference material" è composto da: - Carbonio 2.29% +/- 0.07

- Azoto 0.21% +/- 0.01

- Zolfo 0.023% +/- 0.004

I campioni preparati vengono disposti in ordine nel girello sovrastante il crogiuolo e successivamente può iniziare l'analisi. Il tempo di analisi per ciascun campione è di circa 12 minuti e contemporaneamente lo svolgimento dell'analisi si può vedere la creazione del cromatogramma del campione in analisi con i picchi di azoto, carbonio e idrogeno ma lo zolfo non è rilevato, Figura 33.

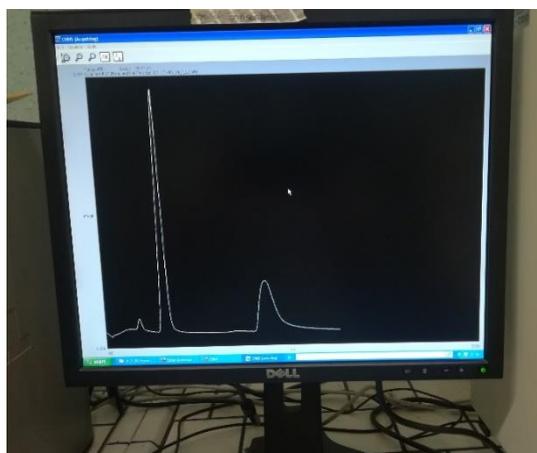


Figura 33. Cromatogramma visibile a seguito dell'analisi dei campioni.

#### 3.4.4 ANALISI GRANULOMETRICA

Il seguente capitolo tratta dell'analisi granulometrica dei sedimenti; permette di classificare il sedimento secondo classi granulometriche presenti in letteratura.

Osservando il campione completamente secco nel suo insieme si osserva la prevalenza della frazione sabbiosa e la presenza di una classe più fine. Durante lo svolgimento delle analisi si è scelto di prestare particolare attenzione alla classazione delle sabbie.

Spesso in campioni di questo tipo si possono trovare componenti bioclastiche estranee al campione sottoforma di frammenti di gusci visibili ad occhio nudo, in questo caso si possono togliere agevolmente a mano con l'aiuto di una spatola (SNPA, 2018).

I campioni studiati in questa analisi sono solo tre, due provenienti dai due transetti presenti nell'area di studio mentre l'ultimo proveniente dalla zona sud dell'isola di Pellestrina. Il campione 4 appartiene al primo transetto, il campione 9 al secondo e l'ultimo è il 2.1. Per ciascuno di questi è stata prelevata un'aliquota di peso:

- campione 4 = 201,34 g
- campione 9 = 199,71 g
- campione 2.1 = 199,49 g

##### *Metodo della quartatura*

Si procede con la preparazione del campione all'analisi granulometrica; il metodo della quartatura è una tecnica impiegata per prelevare dai campioni di materiale granulare una determinata aliquota di composizione prossima alla media rappresentativa del campione che verrà sottoposto all'analisi. Si procede adagiando il campione su un piano di lavoro e dividendolo in quattro parti, due delle frazioni opposte sono eliminate mentre le rimanenti sono rimescolate. Si ripete il procedimento fin tanto che non si arriva a ottenere una frazione circa del peso di interesse. In questo caso, partendo da un campione di circa un chilogrammo, sono state prelevate aliquote di circa due ettogrammi rappresentativi del campione in esame (Magno *et al.* 2016).

##### *Pretrattamento del campione*

La fase di pretrattamento del campione è comune a quasi tutte le metodologie analitiche ed è fondamentale per l'eliminazione del contenuto salino e del materiale organico, eventualmente presente nel sedimento, che tende ad aggregare le particelle alterando la reale composizione granulometrica. L'aliquota di campione viene mescolata con acqua distillata e posta all'interno di un ampio contenitore in modo da favorire l'azione di mescolamento e quindi di sciogliere eventuali aggregati di particelle che avrebbero falsato i risultati.

Successivamente iniziano le azioni svolte per l'analisi dei campioni che comprendono due fasi: prima, la separazione a 63  $\mu\text{m}$  seguita poi dall'analisi della frazione grossolana  $>63 \mu\text{m}$ .

#### *Separazione a 63 $\mu\text{m}$*

Dopo la fase di pretrattamento del campione avviene la separazione del campione a 63  $\mu\text{m}$ , che rappresenta per convenzione il limite inferiore per la sabbia. Solitamente questo passaggio si rende necessario per la quasi totalità dei sedimenti ed è effettuato impiegando un setaccio con larghezza di maglia pari a quello sopra citato. Si applica la setacciatura a umido dell'intero campione mediante un setaccio con maglia di 63  $\mu\text{m}$ , questo permette di separare i campioni in esame in due diverse aliquote. Il campione e l'acqua prima contenuti nel contenitore sono versati nel setaccio prestando particolare cura a ripulire attentamente le pareti del contenitore con più risciacqui se necessario evitando perdite di materiale.

La frazione del campione grossolana rimane trattenuta dal setaccio mentre quella più fine viene raccolta dal contenitore insieme all'acqua. La setacciatura richiede tempi non troppo brevi che possono variare tra i 15 e i 30 minuti. Questa separazione è essenziale in quanto identifica due frazioni con granuli aventi forma e comportamento sedimentario diversi: la frazione grossolana ( $> 63 \mu\text{m}$ ) costituita essenzialmente da sabbie e ghiaie, e la frazione fine ( $< 63 \mu\text{m}$ ) costituita da limi e argille (SNPA, 2018).

La frazione rimanente sopra alla maglia è quella di granulometria superiore, viene raccolta in apposite vaschette e messa in stufa ad asciugare a 65°C. Mentre la frazione passante è trattata in modo differente.

#### *Analisi per setacciatura*

Una volta che i campioni privati della frazione fine sono asciutti si procede con l'analisi della frazione grossolana mediante l'applicazione di una metodologia diretta, il setacciamento. La setacciatura, prevede l'utilizzo di una pila di setacci con dimensioni delle maglie variabili (SNPA, 2018). Lo spettro dimensionale coperto dalla vagliatura può sicuramente comprendere sabbie e ghiaie, mentre è poco fattibile per le classi del limo e dell'argilla; in particolare, il numero di setacci utilizzati e il relativo intervallo dimensionale dipendono dal dettaglio delle classi granulometriche in cui si vuole suddividere il campione. E' utilizzata un'apposita batteria di setacci in cui il diametro della maglia diminuisce progressivamente andando verso il basso terminando con un contenitore per raccogliere la frazione passante. La pila di setacci è coperta da un coperchio per evitare la fuoriuscita di materiale dall'alto. I setacci sono generalmente in acciaio inossidabile, con il fondo costituito da una serie di fili metallici calibrati a formare delle maglie quadrate di larghezza controllata. La forma e le luci dei setacci sono stabilite da normative nazionali o internazionali (Figura 34).



Figura 34. Pila di setacci impiegati per l'analisi granulometrica.

In questo caso sono impiegati stacci con maglia di 250  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$ .

La frazione grossolana di ogni campione viene posta all'interno del setaccio più in alto con maglia più ampia e l'intera batteria viene sottoposta ad agitazione fino alla completa vagliatura del materiale. Al termine della setacciatura, ciascuna classe dimensionale trattenuta da ogni setaccio deve essere pesata con bilancia analitica di adeguata precisione per il successivo calcolo delle abbondanze percentuali. In questa fase è importante rimuovere accuratamente tutti i granuli contenuti nel setaccio per garantire una corretta quantificazione delle singole pesate (Figura 35). I dati così ottenuti verranno poi integrati con i risultati dell'analisi della frazione fine.

Si procede poi alla stima del peso delle frazioni trattenute all'interno dei setacci valutandone la percentuale rispetto al peso iniziale per ogni classe granulometrica considerata.



Figura 35. Differenti granulometrie della frazione grossolana.

### Analisi frazione fine <math><63 \mu\text{m}</math>

L'analisi granulometrica per sedimentazione è un approccio impiegato specialmente per l'analisi della frazione fine, si basa sul principio meccanico della Legge di Stokes che prevede la separazione di particelle di dimensioni diverse per caduta in un fluido fermo (SNPA, 2018).

La frazione ottenuta dall'operazione di setacciatura a umido raccolta nel contenitore del setaccio non è messa in stufa a seccare ma viene posta direttamente in appositi contenitori con l'aggiunta di acqua distillata di risciacquo del contenitore di raccolta del setaccio. La deposizione dei sedimenti fini (<math><63 \mu\text{m}</math>) richiede tempi abbastanza lunghi. La deposizione è completa quando si vede chiaramente il sedimento depositato in fondo al contenitore e l'acqua è chiara. Una volta depositati completamente vengono privati dell'acqua in eccesso soprastante grazie a pipette e vengono messi in stufa ad asciugare ad una temperatura di <math>40^{\circ}\text{C}</math> (Figura 36).



Figura 36. Frazione fine posta all'interno di contenitori dopo la setacciatura a umido.

Al termine della seccatura ogni campione viene pesato con una bilancia sensibile, importante per stimare la percentuale di frazione fine contenuta nei vari campioni.

I dati ricavati dall'analisi granulometrica sono utilizzati per quantificare le singole frazioni che costituiscono il sedimento (Tabella 3).

Limite superiore	Classe granulometrica	Limite inferiore
	Ghiaia	> 2 mm
2 mm >	Sabbia	> 63 $\mu\text{m}$
63 $\mu\text{m}$ >	Limo	> 4 $\mu\text{m}$
4 $\mu\text{m}$ >	Argilla	

Tabella 3. Limite dimensionale delle classi granulometriche.

La suddivisione di queste frazioni deriva da Wentworth (1922) ed è basata sui limiti dimensionali definiti da Udden nel 1898 (Figura 37).

Millimeters (mm)	Micrometers (µm)	Phi (φ)	Wentworth size class		Rock type
4096		-12.0	Boulder	Gravel	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble		
64		-6.0	Pebble		
4		-2.0	Granule		
2.00		-1.0	Very coarse sand	Sand	Sandstone
1.00		0.0	Coarse sand		
1/2	0.50	1.0	Medium sand		
1/4	0.25	2.0	Fine sand		
1/8	0.125	3.0	Very fine sand		
1/16	0.0625	4.0	Coarse silt	Silt	Siltstone
1/32	0.031	5.0	Medium silt		
1/64	0.0156	6.0	Fine silt		
1/128	0.0078	7.0	Very fine silt		
1/256	0.0039	8.0		Mud	Claystone
	0.00006	14.0	Clay		

Figura 37. Scala di Udden-Wentworth (SNPA, 2018).

## 4. RISULTATI

### 4.1 RILIEVO UAV

In questo studio, mediante le osservazioni delle immagini UAV, è stata mappata la presenza di *Pinna nobilis* nell'area di interesse notando una buona correlazione con la densità delle fanerogame marine.

Tutte le informazioni raccolte in fase di campionamento e successivamente elaborate, riguardanti sia la densità della popolazione di *Pinna nobilis* che la densità della copertura vegetativa, sono state impiegate per l'elaborazione della mappa in QGIS riportata di seguito. In questo paragrafo vengono presentati i risultati derivanti dalla valutazione quantitativa della densità di *Pinna nobilis*.

Per rendere più immediata la comprensione dei risultati sono state scelte 5 classi di densità in cui è suddivisa l'area sommersa del bassofondo:

- < 5 individui/25 m<sup>2</sup>
- 5-20 individui/25 m<sup>2</sup>
- 20-35 individui/25 m<sup>2</sup>
- 35-50 individui/25 m<sup>2</sup>
- 50-67 individui/25 m<sup>2</sup>

Come si può notare dalla Figura 38 si ha una grande variabilità del numero di *Pinna nobilis*, si passa da aree in cui gli organismi sono molto pochi ad altre con densità molto più elevata.

In tabella 4 viene evidenziata la suddivisione in classi di densità di *Pinna nobilis*, e per ognuna di queste è riportato il numero di celle in cui si trova questo numero di organismi e la loro rappresentazione percentuale (Tabella 4 e Figura 38).

Classi (individui/25 m <sup>2</sup> )	Numero Celle	Percentuale
<5	230	47,5%
5-35	161	33,3%
20-35	61	12,6%
35-50	29	6,0%
>50	3	0,6%

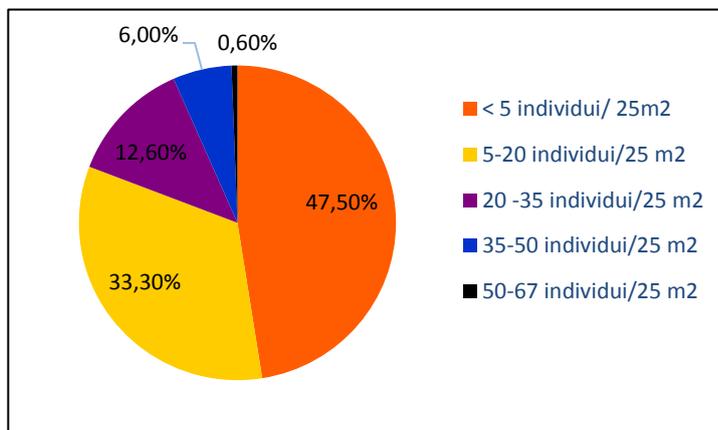


Tabella 4, Figura 38. Suddivisione in classi di densità dei bivalvi in 25 m<sup>2</sup> e la loro rappresentazione percentuale rispetto all'area sommersa del bassofondo.

La classe a minor densità identifica un numero <5 individui/25m<sup>2</sup>, quella a maggior densità un numero di individui >50 ogni 25 m<sup>2</sup>. Mentre le tre classi intermedie sono state create considerando intervalli ben precisi, rispettivamente 5-20 individui/ 25 m<sup>2</sup>, 20-35 individui/ 25 m<sup>2</sup> e 35-50 individui/ 25 m<sup>2</sup>. Come si osserva dalla tabella circa il 47 % delle celle dell'area è caratterizzata da un numero di organismi inferiore a 5 individui/25 m<sup>2</sup>. Crescendo il numero di bivalvi osservati in 25 m<sup>2</sup> tende a diminuire il numero di celle in cui sono stati contati questi *range* di densità. Infatti, troviamo un numero di molluschi compreso tra 5-20 individui/25 m<sup>2</sup> nel 33,3% delle celle, l'intervallo che va da 20-35 individui/25 m<sup>2</sup> occupa il 12,6% dell'area, il 35-50 individui/25 m<sup>2</sup> occupa solo il 6 % e un numero maggiore di 50 individui/25 m<sup>2</sup> è stato osservato solo in poche celle, 3 per l'esattezza, rappresentante lo 0,6% dell'area.

La valutazione della copertura di fanerogame marine ha portato alla distinzione di 4 classi di diversa densità. La fotointerpretazione qualitativa è stata integrata da una quantitativa svolta su un numero minimo di celle; questa operazione ha dato modo di creare dei *range* di copertura vegetale associata a ciascuna delle classi:

- *vegetazione densa*: 85% - 100%
- *vegetazione a bassa densità*: 40% - 85%
- *vegetazione sparsa*: 10% - 40%
- *sedimento nudo*: < 10%

Le classi di densità di *Pinna nobilis* e di fanerogame sono poi impiegate per la rappresentazione della mappa definitiva. Le informazioni riferite alla valutazione quantitativa della densità di copertura delle fanerogame sono riportate in Tabella 5. Anche in questo caso in tabella sono riportate le classi di diversa densità di copertura, il numero di celle in cui si è osservata questa classe e la percentuale rappresentativa (Tabella 5 e Figura 39).

Classi Vegetazione	Numero celle	Percentuale
Densa	242	50,0%
Bassa densità	146	30,2%
Sparsa	38	7,9%
Sedimento nudo	58	12,0%

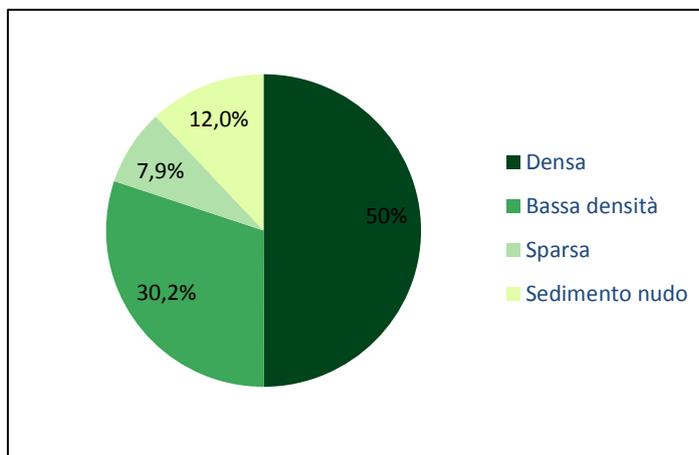


Tabella 5, Figura 39. Suddivisione in classi di densità della copertura di fanerogame.

In Figura 39 si nota che il 50% dell'area ospita vegetazione densa, mentre la copertura identificata come a bassa densità rappresenta il 30 % dell'area, la vegetazione sparsa circa l'8% e il sedimento nudo il 12%. Queste informazioni sono impiegate nella rappresentazione accoppiata della distribuzione di fanerogame e di *Pinna nobilis* nell'area indagata.

I colori prima impiegati nelle rappresentazioni riguardanti la densità degli organismi e la copertura vegetativa sono gli stessi impiegati nella mappa, in Figura 40, dove si riporta la digitalizzazione della griglia di lato 5 metri sovrapposta all'ortofoto.

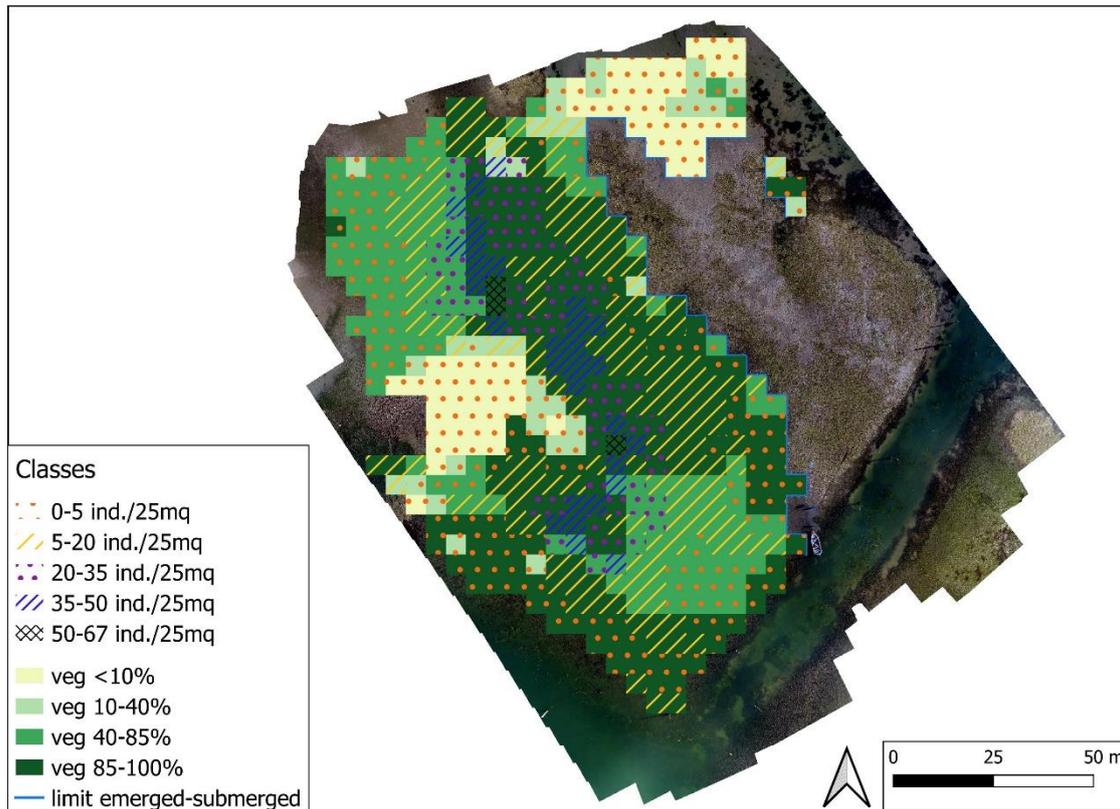


Figura 40. Mappatura della distribuzione spaziale di *Pinna nobilis*.

Osservando più nel dettaglio, dalla mappa si vede come la vegetazione classificata come densa si estenda parallelamente alla linea di emersione per una superficie piuttosto vasta, estendendosi a ovest arrivando fino all'estremità meridionale della superficie indagata. Per quanto riguarda la copertura a bassa densità si vede che si estende maggiormente in due aree, una a ovest e una più in basso. Mentre la vegetazione sparsa si trova in stretta correlazione con il sedimento nudo, rappresentando un passaggio graduale tra le aree caratterizzate come vegetazione densa o a bassa densità a sedimento nudo. Il sedimento nudo, osservando la mappa, si trova solo in due macroaree.

In Figura 40, le 5 classi identificative della densità di *Pinna nobilis* sono state contrassegnate da simboli e colori differenti in modo da renderle più facilmente identificabili.

La popolazione di *Pinna nobilis* osservata tra le foglie di fanerogame marine senza dubbio risente della presenza della copertura di *Cymodocea nodosa* ed è influenzata anche dalla sua densità. Infatti, proprio dove la prateria di fanerogame è stata classificata come più densa è stato trovato il maggior numero di organismi e quindi i valori più alti di presenza di organismi per 25 m<sup>2</sup>.

Nelle aree di sedimento nudo la densità di questi individui è molto bassa, tra i 0-5 organismi per 25 m<sup>2</sup>. Anche nella classe di copertura sparsa e a bassa densità si nota che la densità degli individui non è molto diversa; si contano organismi con una densità di 0-5 organismi/25m<sup>2</sup>, solo raramente di 5-20 organismi per 25 m<sup>2</sup>.

Passando alle aree con copertura vegetale più densa si ha l'aumento netto del numero di bivalvi che colonizzano queste aree. Si vede che sono presenti le classi a densità maggiore di *Pinna nobilis*. Proprio nella classe di vegetazione densa si osserva la densità maggiore di 50-67 individui/25m<sup>2</sup>.

È interessante notare che i valori di più elevata densità di questi organismi è proprio trovata al limite tra le due aree, quella della vegetazione ad alta densità e quella a bassa densità.

In tabella 6 si riportano i dati riassuntivi del numero di individui di *Pinna nobilis* trovati in ciascuna classe di copertura di *C. nodosa*. Viene evidenziato il numero massimo e il numero minimo di organismi contati. È stato riportato anche un valore mediato con la rispettiva deviazione standard e mediana del set di dati.

Numero <i>Pinna nobilis</i> / 25 m <sup>2</sup>	Classe di Vegetazione			
	Densa	Bassa densità	Sparsa	Sedimento nudo
Max	67	41	44	1
Min	0	0	0	0
Media	15,2	9,4	5,2	0,1
Deviazione standard	13,5	9,8	8,4	0,3
Mediana	11	6	2,5	0

Tabella 6. Dati ottenuti dal censimento degli organismi.

Come si vede dalla tabella la densità degli organismi effettivamente trovati nelle differenti classi di copertura sono molto diverse. Dove la vegetazione è più densa si ha una media di 15,2 individui/25 m<sup>2</sup> ma anche valori molto alti, raggiungendo in alcuni casi i 67 individui/25 m<sup>2</sup>. Man mano che la densità della copertura diminuisce ecco che si nota anche la diminuzione degli organismi. Nelle classi successive troviamo valori massimi ancora abbastanza elevati ma valori medi decisamente inferiori a quelli della classe precedente; rispettivamente 9,4 individui/25m<sup>2</sup> e 5,2 individui/25m<sup>2</sup> per le classi a bassa densità e vegetazione sparsa. Dove invece la vegetazione è pressoché assente è molto raro individuare *Pinna nobilis* riportando una media di 0,1 individui/25m<sup>2</sup>.

Le informazioni ottenute dal censimento degli organismi e alcune semplici operazioni statistiche hanno permesso di creare il grafico in Figura 41.

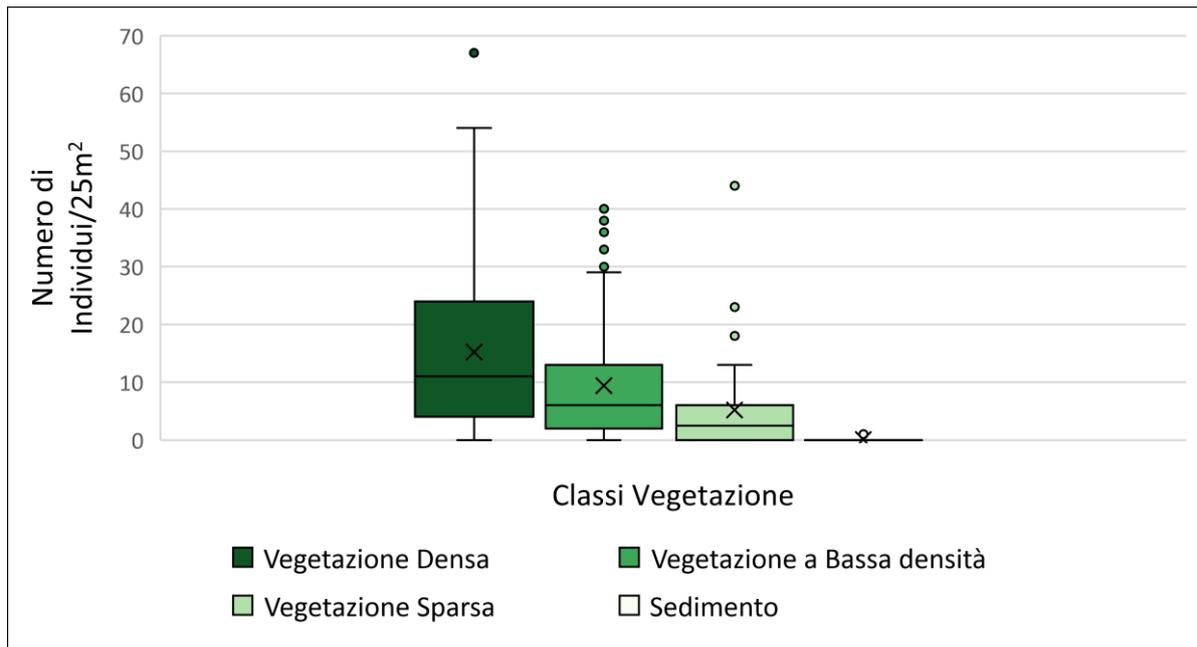


Figura 41. Numero di individui di *Pinna nobilis* in 25 m<sup>2</sup>.

Si osserva pertanto una chiara correlazione tra il numero di *Pinna nobilis* e la copertura dell'area. I dati suggeriscono che questi bivalvi prediligano colonizzare aree con una densa copertura di fanerogame marine; il loro numero di individui diminuisce al diminuire della densità della vegetazione fino ad arrivare a dove la copertura è assente quasi del tutto, sui sedimenti. In questa sezione il numero di *Pinna nobilis* è quasi nullo, nel migliore dei casi è stato identificato un solo organismo per 25 m<sup>2</sup>. È interessante notare che i valori di più elevata densità di questi organismi è proprio trovata al limite tra vegetazione ad alta densità e quella a bassa densità.

Un altro interessante fattore di cui si è discusso in vari studi è proprio l'orientamento comune delle valve che si può trovare in alcune popolazioni di *Pinna nobilis*.

Per questa valutazione si sono considerate 20 celle totali, distribuite in modo casuale, rappresentative a livello statistico dell'intero insieme. In ognuna di queste si è misurato l'angolo di orientamento delle valve dell'organismo prendendo come direzione di riferimento il Nord.

La valutazione compiuta sull'orientamento delle valve è stata realizzata su 267 individui compresi nelle celle considerate. Si è deciso di considerare gli angoli che vanno da 0° a 180°, poiché proseguendo con gli angoli da 180° a 360° poi l'orientamento generale delle valve sarebbe lo stesso considerando che la valutazione è fatta mediante l'osservazione degli individui dall'ortomosaico e non direttamente in campo. Infatti, sarebbe stato difficile riuscire a differenziare le due valve degli organismi. La determinazione delle angolazioni è stata fatta impiegando gli strumenti in QGIS.

Sono state realizzate 18 classi di differenti angolazioni, quindi ognuna di 10°. Si è cercato di valutare quanti di questi individui siano rappresentativi di ciascuna classe di angoli ma non si è osservata una vera e propria preferenza (Figura 42 e Tabella 7). Quanto ottenuto è presentato in un diagramma radiale dove nella circonferenza sono riportati gli angoli e verticalmente il numero di *Pinna nobilis*.

Angoli	N. <i>Pinna nobilis</i>	Angoli	N. <i>Pinna nobilis</i>
10°	22	100°	15
20°	14	110°	10
30°	19	120°	17
40°	18	130°	15
50°	17	140°	27
60°	16	150°	22
70°	9	160°	7
80°	10	170°	13
90°	11	180°	5

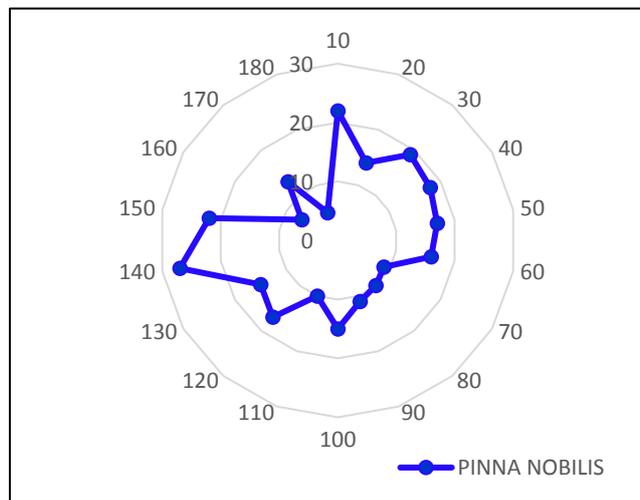


Tabella 7, Figura 42. Angolazioni delle valve di *Pinna nobilis*.

I dati, infatti, non mostrano un chiaro orientamento preferenziale ma tre angolazioni sono più ricorrenti di altre, tra cui quella dell'angolazione minore di 10°, 140° e 150°.

I picchi che si notano nel grafico delle angolazioni individuano il 10% degli organismi nella classe di 140° (cioè compresa tra i 130° e 140°) e l'8% nelle classi di 10° e 150° (rispettivamente tra 0°-10° e 140°-150°).

#### 4.2 FATTORI AMBIENTALI

È possibile che *Pinna nobilis* abbia iniziato a colonizzare la laguna di Venezia a partire dagli anni 2006/ 2007, come riportato da Russo (2012) e che tale colonizzazione sia dovuta ad una espansione della prateria di fanerogame oppure al cambiamento di diversi fattori ambientali che hanno favorito tale espansione. Infatti, per tentare di spiegare il concetto sono riportati graficamente i risultati dei parametri ambientali tratti dalle misure della sonda multiparametrica Ve3 e della stazione di monitoraggio meteomarina. Sono stati riportati alcuni grafici per la Temperatura, Clorofilla-a, Torbidità, Ossigeno disciolto e Vento nei quali sono emerse differenze nel corso degli anni analizzati.

##### Temperatura

In un mondo in rapido riscaldamento la biodiversità marina e terrestre e gli ecosistemi stanno rispondendo con cambiamento nella distribuzione e abbondanza fenologica, struttura e funzionamento. Lo studio di

questi aspetti è estremamente importante in quanto, è previsto un cambiamento ambientale globale che porterà ad una frequenza più alta e tempi di ritorno più brevi di eventi estremi (Coma *et al.*, 2009). Il mar Mediterraneo e le regioni dell'Europa centro-orientale emergono come principali Hot-Spot, tanto che possono essere definite come regioni nelle quali i danni dovuti al cambiamento climatico sull'ambiente o su diversi settori produttivi sarà particolarmente pronunciato. Si tratta di regioni in cui il clima è particolarmente sensibile al cambiamento (Giorgi, 2006).

Nel caso della temperatura si è riportato, in Figura 43, il grafico generale di tale variabile rappresentante solo il valore medio annuo della temperatura dell'acqua registrata dalla sonda.

Come si vede dal grafico, nei 18 anni di dati considerati a prima vista la temperatura riporta valori più alti alternati a valori più bassi sia per la temperatura media, minima e massima registrata.

Vediamo che le misurazioni riportano una temperatura media dell'acqua variabile tra i 15 °C e i 18 °C. La temperatura minima registrata in questo periodo è di circa 14 °C mentre la più elevata è di circa 20 °C. Nel 2015 non è stato possibile riportare la rappresentazione grafica in quanto mancava oltre il 60% dei dati, come riportato in tabella 2. Prestando maggiore attenzione però si può notare come nel corso degli anni tutti i valori medi di temperatura annua, minimi e massimi presentano una leggera tendenza in aumento; per renderla meglio visibile si è riportata nel grafico una linea di tendenza della temperatura media (Figura 43).

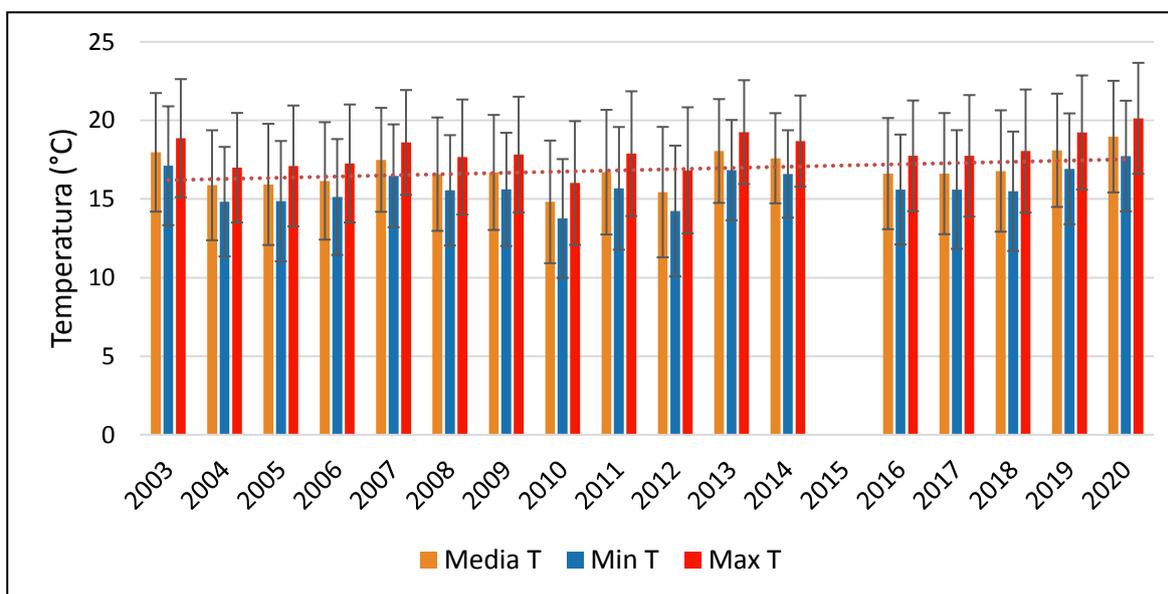


Figura 43. Rappresentazione media annua della temperatura, media dei massimi e media dei minimi giornalieri.

In riferimento all'anno 2015, si nota dal database che i dati mancanti all'interno del dataset riguardano il periodo estivo e primaverile dando così una temperatura media annuale molto più bassa rispetto agli altri anni. Si è scelto perciò di non presentare il dato.

Osservando i valori di temperatura stagionali nel dataset, nel periodo invernale la temperatura dell'acqua varia in un range tra i 6°C e i 10 °C, nel primaverile va dai 15° C ai 20°C, in quello estivo le temperature medie sono tutte intorno ai 25 °C, mentre nel periodo autunnale si hanno temperature tra i 13°C e i 16 °C.

### Torbidità

Con il termine torbidità si definisce la riduzione della trasparenza di un campione dovuto alla presenza di sostanza in sospensione. Il sensore misura la concentrazione di materiale in sospensione nelle acque lagunari, importante in quanto comporta una riduzione della trasparenza e di limpidezza dell'acqua.

La torbidità rappresenta una misura aspecifica della concentrazione in peso dei solidi sospesi all'interno del campione. Non è possibile stabilire una correlazione diretta tra queste due, in quanto le proprietà ottiche di una sospensione risultano influenzate non solo dalla quantità, ma anche dalla forma, dalle dimensioni e dall'indice di rifrazione delle particelle sospese e dalla lunghezza d'onda del raggio incidente.

Alcune interferenze o cause di errore nella determinazione della torbidità può derivare dalla presenza di particelle di più grandi dimensioni all'intero del campione causando improvvisi aumenti nella lettura della torbidità. Un'altra interferenza è causata dalla colorazione del campione dovuta a sostanze disciolte che assorbono la luce (Ziegler *et al.* 2002).

La torbidità può essere espressa in unità nefelometriche di torbidità (NTU), a seconda del metodo impiegato possono essere le unità di torbidità NTU definite come l'intensità della luce a una lunghezza d'onda specifica diffusa o attenuata dalle particelle sospese assorbite ad un determinato angolo specificato dal metodo di solito a 90°, dal percorso della luce incidente rispetto ad uno standard sintetico chimicamente preparato (Ziegler *et al.* 2002). Gli standard di formazina possono essere instabili e avere un'ampia variabilità nella dimensione delle particelle e le caratteristiche di diffusione della luce.

In questo caso la torbidità è stata misurata in unità di formazina (FTU), si è visto che una specifica sospensione di formazina definita come 40 unità nefelometriche di torbidità (NTU), o 40 unità torbidimetriche di formazina, quando viene misurata con un torbidimetro a candela presenta una torbidità pari a 40 JTU. Si può affermare che le varie unità di misura (NTU, FTU, JTU e JCU) rappresentano con buona approssimazione lo stesso grado di torbidità.

Un aumento della torbidità può influenzare diversi fattori, come condizionare la vita delle piante acquatiche riducendo la quantità di luce per la fotosintesi clorofilliana con la conseguenza di una minor produzione di ossigeno disciolto. Il materiale in sospensione svolge un altro compito importante che è quello di essere veicolo per agenti patogeni sia di inquinanti come i metalli pesanti e le diossine.

Dall'analisi dei dati emerge che questo parametro è caratterizzato da una variabilità molto alta in funzione delle condizioni meteo-marine e risente dell'influenza anche di fenomeni più locali come può essere il traffico marittimo (Badetti *et al.*, 2007).

Di seguito sono riportati i grafici rappresentanti i valori di torbidità registrati nei 18 anni considerati, in unità di formazina (FTU) (Figura 44).

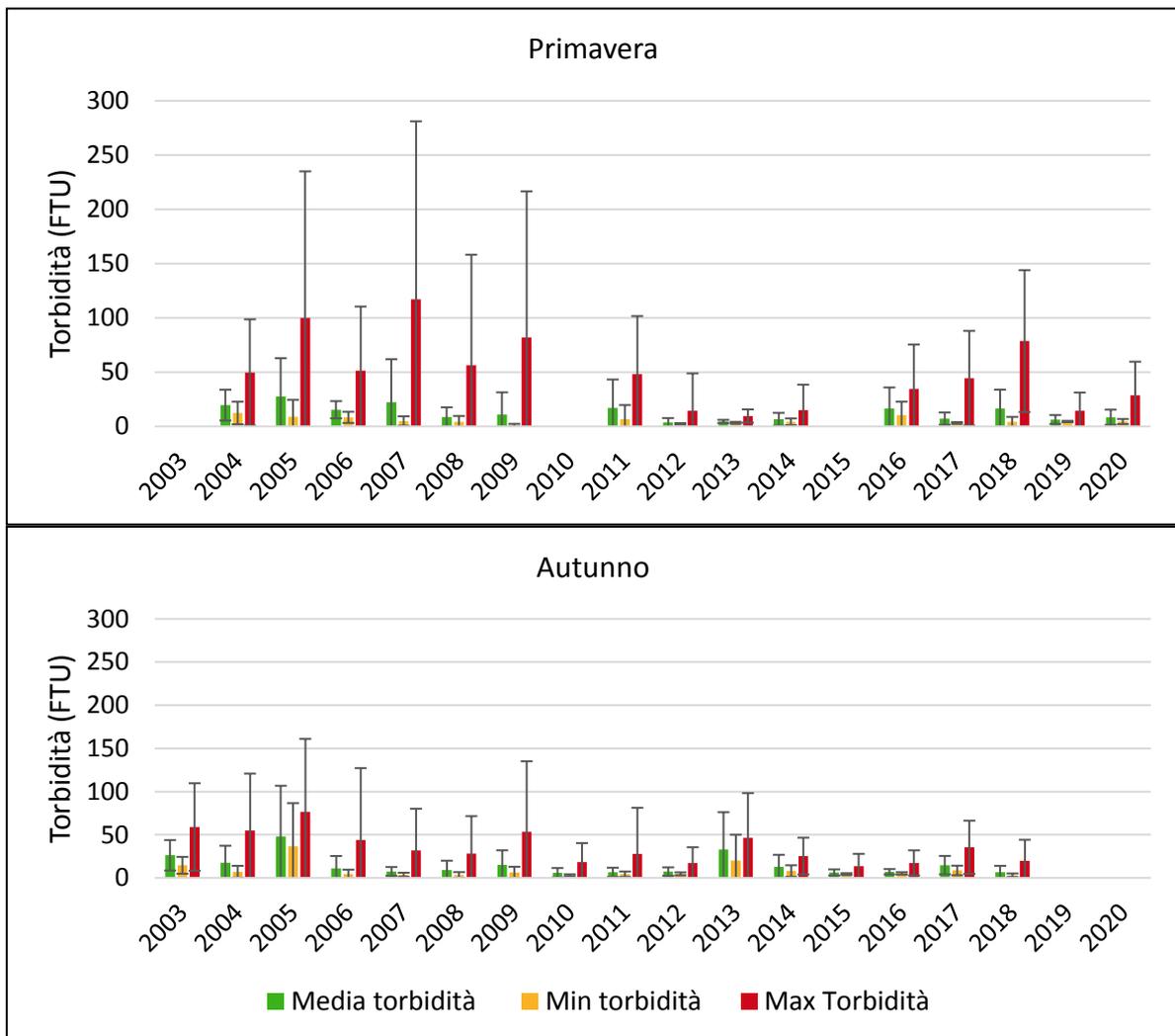


Figura 44. Rappresentazione della media stagionale della torbidità, media dei massimi e media dei minimi giornalieri.

La torbidità dell'acqua in questo caso mostra una variazione visibile nel tempo. Sono stati riportati i grafici stagionali della primavera e dell'autunno in quanto da questi si nota una buona differenza tra i valori di torbidità prima e dopo gli anni 2008 e 2009. La principale differenza che si nota è che nel periodo primaverile si hanno dei picchi di torbidità massima piuttosto elevati rispetto ai valori di torbidità media, che talvolta superano i 100 FTU. Questi valori di torbidità presentano i loro picchi più alti dal 2003 al 2008/2009; dopo di essi i picchi riferiti alla torbidità massima hanno registrato valori molto più bassi restando intorno al valore delle 50 FTU. Anche nel periodo autunnale i picchi di torbidità massima registrati dalla sonda sono più alti nello stesso periodo, ma rimangono più alti quelli nel periodo primaverile. In primavera però rispetto all'autunno è più elevata la torbidità media stagionale nel periodo dal 2003 al 2006.

Questi cambiamenti registrati nella torbidità delle acque con una diminuzione dei picchi importante può significare una variazione dei fattori che controllano la risospensione dei sedimenti.

### Clorofilla-a

La clorofilla- a è anch'esso un parametro misurato con la sonda multiparametrica attraverso il sensore chiamato fluorimetro. Tale dato risulta importante in quanto ci dà informazioni sulla presenza di comunità fitoplanctoniche (microalgali) presenti e distribuite nella laguna.

Le misure di biomassa algale basate su clorofilla sono sempre più sostituite da misure automatiche o remote basate su sensori bio-ottici.

Nell'oceano attuale tranne che per pochi batteri molto antichi, gli organismi fototrofi, cioè organismi in grado di soddisfare il proprio fabbisogno energetico mediante meccanismi biologici per produrre in modo autonomo energia dalla fotosintesi (Lazzara, 2007) posseggono la clorofilla-a o un pigmento molto simile, la dinil-clorofilla-a, mentre pigmenti accessori come i carotenoidi possono cambiare da gruppo a gruppo. La clorofilla e i feopigmenti sono stati quantificati nelle acque e anche nei sedimenti (Strickland, 1972) come stima della biomassa fitoplanctonica e microfite bentonica, fonti primarie di nutrimento per i bivalvi filtratori. Il nutrimento potenzialmente disponibile è descritto dalla frazione bentonica della clorofilla, mentre la frazione planctonica dei pigmenti totali rappresenta una misura istantanea della disponibilità di nutrimento (Magni *et al.*, 2000; Sin *et al.*, 2009).

La clorofilla è solitamente legata al sedimento ma può entrare in sospensione nella colonna d'acqua esponendo gli organismi sessili al contatto diretto con essa. Rispetto alla biomassa fitoplanctonica è dotata di una motilità inferiore rendendola un parametro più integrato nel tempo e più caratteristico dell'area di studio. In laguna di Venezia i principali organismi che contribuiscono alla biomassa fitoplanctonica superficiale, non tutti fonte di nutrimento per i bivalvi, ma comunque produttori primari fondamentali alla base della catena trofica sono i cianobatteri filamentosi, diatomee bentoniche e gli stadi giovanili di microalghe (Facca *et al.*, 2007).

Si può affermare che nonostante le misure di carbonio siano quelle più corrette per una stima della biomassa fitoplanctonica, quelle basate sulla clorofilla risultano ancora le più utilizzate, sia per motivi storici che pratici (Lazzara, 2007).

In Figura 45 sono riportati i grafici della clorofilla riferiti al periodo primaverile ed estivo.

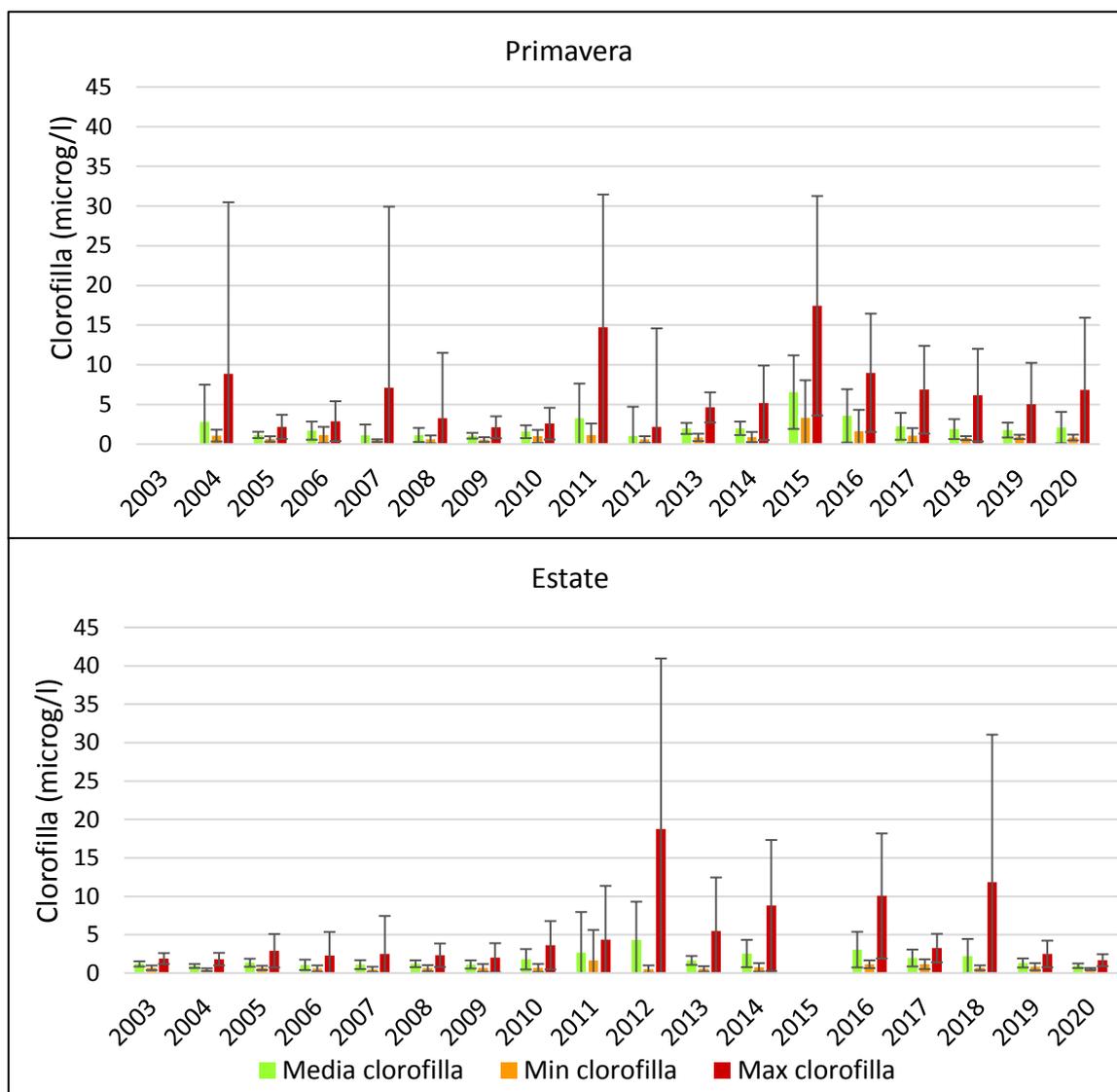


Figura 45. Rappresentazione dei valori di Clorofilla media stagionale, media dei massimi e media dei minimi giornalieri.

Osservando i grafici riferiti alla concentrazione di clorofilla nelle acque lagunari nei dintorni della sonda si vede che non è presente una vera e propria tendenza.

La prima cosa che salta all'occhio sia per la primavera che per l'estate è che ci sono dei picchi di clorofilla massima che hanno dei valori molto elevati rispetto alla media.

Nel periodo primaverile i picchi più elevati di concentrazione massima sono distribuiti su tutto l'arco temporale ma specialmente dal 2015 al 2020. Anche nel periodo estivo sono presenti picchi con concentrazione piuttosto elevata ma dal 2012 in poi. I valori di clorofilla media invece sono sempre risultati in un intervallo che da 1 a 4 microgrammi/litro per il periodo estivo, non mostrando nessuna tendenza particolare. In quello primaverile i valori sono compresi in un range tra 1 e 6 microgrammi/litro, si nota una

leggera tendenza positiva; dal 2012 in poi i valori di clorofilla sono risultati leggermente più elevati rispetto a quelli degli anni precedenti.

### Ossigeno disciolto

L'ossigeno disciolto misurato attraverso le sonde multiparametriche è un parametro importante per la valutazione dello stato ecologico della qualità dell'acqua in laguna e per la vita di molti organismi. Viene misurata la quantità di ossigeno molecolare disciolto in acqua. L'ossigeno disciolto è influenzato da fattori fisici come temperatura, pressione atmosferica, ventilazione e rimescolamento dell'acqua; da caratteristiche chimiche-fisiche dell'acqua come pH e temperatura ma anche da caratteristiche chimiche e biologiche come l'attività fotosintetica e respirazione di piante e animali (Badetti *et al.*, 2007; ARPAV.,2006). E' un parametro che può presentare elevata variabilità; è funzione della costante di Henry e della pressione parziale del gas e al crescere della temperatura dell'acqua diminuisce il contenuto di ossigeno disciolto (Cioni, 2015). La solubilità dell'O<sub>2</sub> a 20°C e in un'atmosfera di acqua distillata presenta un valore di 9,17 mg O<sub>2</sub>/L. Un valore critico per i pesci è di 4 mg/L (Fermo, 2009).

In figura 46 è riportato il grafico dei valori di ossigeno disciolto in percentuale di saturazione ottenuto dall'analisi dei dati della sonda multiparametrica.

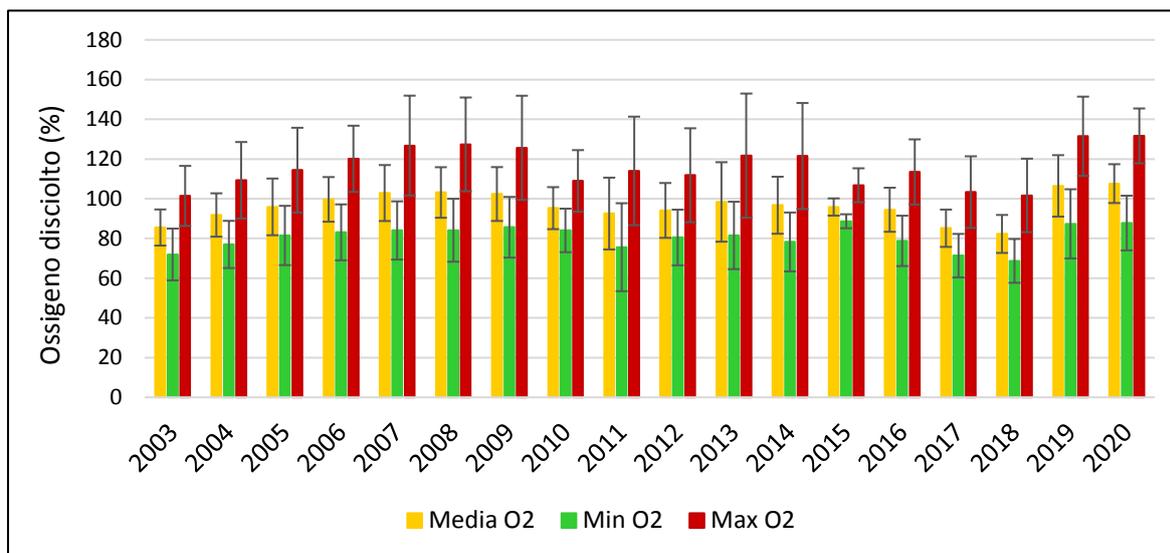


Figura 46. Saturazione di ossigeno media annua (%), media dei minimi e media dei massimi.

Dal grafico non emergono tendenze ben precise. I valori medi di saturazione dell'ossigeno registrati dalla sonda sono molto elevati, infatti i valori medi variano da 80% a 100% di saturazione. Anche per i diversi periodi stagionali questi valori risultano essere molto elevati.

Non sono stati osservati fenomeni anomali né di origine antropica e né naturali come mucillagini o ipossia-anossia.

Nel grafico in Figura 47 viene riportato la velocità del vento media. Non sono presenti picchi di vento molto forti, si aggirano intorno ad un range che va da 3 m/s a 4 m/s.

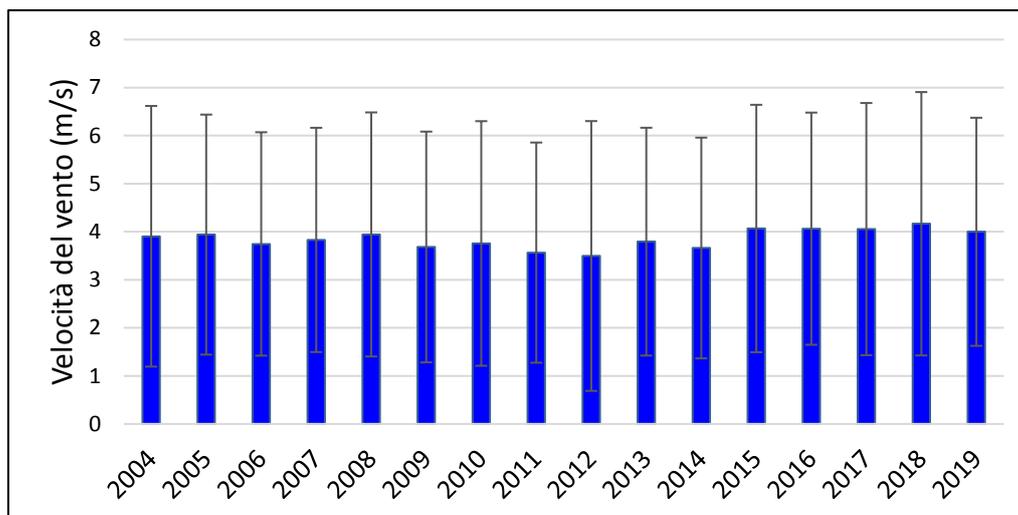


Figura 47. Velocità media del vento annua espressa in m/s.

Si è scelto di considerare anche i dati del vento proprio per osservare se tra il vento e i valori di torbidità più elevati riferiti a particolari anni ci fossero correlazioni. Visto però che i valori di velocità del vento sono pressoché molto simili tra i diversi anni senza una grande variazione o fenomeni che potessero spiegare i valori alti di torbidità, la variazione di torbidità deve trovare spiegazione in altri fattori.

## 4.3 ANALISI DI LABORATORIO

### 4.3.1 BULK DENSITY

Il valore critico della densità apparente varia in base al tipo di suolo ed è considerato un fattore limitante alla crescita delle radici nel suolo. In generale densità elevate tendono a limitarne la crescita. Per terreni non compattati e indisturbati i valori di densità apparente possono variare in determinati range: 1,26 - 1,44 g/cm<sup>3</sup> per terreni argillosi e raggiungere anche 1,63 g/cm<sup>3</sup> per i sabbiosi. Questi valori sono influenzati dalla tessitura, porosità, dal contenuto di umidità e quantità di materia organica. Essa assume dei valori inferiori nei terreni con una buona percentuale di materia organica come in pascoli o suoli forestali (Jabro *et al.*, 2020). In terreni ricchi di sostanza organica, suoli torbosi, si hanno valori inferiori a 0,5 g/cm<sup>3</sup> generalmente compresi tra i 0,03 g/cm<sup>3</sup> e 0,3 g/cm<sup>3</sup>.

Di seguito sono riportate le Tabelle con i valori dei pesi a diversi intervalli di tempo trascorsi in stufa impiegati per arrivare al peso asciutto. Nella seconda tabella sono state effettuate solo due pesature in quanto i campioni sono stati lasciati in stufa un intero fine settimana a 70°C, in modo da non intaccare le caratteristiche del campione. Dopo è stata effettuata solo un'ulteriore pesatura. Le informazioni riferite ad essi sono riportati in tabella 8.

Nome Campione	Peso vaschetta alluminio Mc (g)	Prima pesatura Mc+Ms (g)	Seconda pesatura Mc+Ms (g)	Terza pesatura Mc+Ms (g)
1	22,7	960,9	960,6	960,6
2	22,7	956,6	956,3	956,1
3	22,9	885,1	875	875
4	22,6	960,6	858,4	858,3
5	22,6	887,9	886,8	886,9
6	22,7	1026,2	1026	1025,8
7	22,7	955,2	954,8	954,8
8	22,7	950,1	949,4	949,5
9	22,7	975,1	974,8	975
10	22,5	1052,1	1051,7	1051,8

Nome Campione	Peso vaschetta alluminio Mc (g)	Prima pesatura Mc+Ms (g)	Seconda pesatura Mc+Ms (g)
1.1	22,6	966,4	965
1.2	22,6	1013,1	1011,8
1.3	22,6	1021,2	1020
2.1	22,8	886,6	885

Tabella 8. Pesetti asciutti dei diversi campioni (g).

In entrambe le tabelle si vede la progressiva perdita di peso dovuto alla perdita di acqua dai campioni durante l'asciugatura in stufa. Invece, nella tabella successiva sono presentati i valori di Bulk density ottenuti dividendo il peso del campione asciutto, peso stabile, per il volume noto (Tabella 9).

Nome Campione	Peso secco del campione (g)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )
1	937,9	1,19
2	933,4	1,19
3	852,1	1,08
4	835,7	1,06
5	864,3	1,10
6	1003,1	1,28
7	932,1	1,19
8	926,8	1,18
9	952,3	1,21
10	1029,3	1,31
1.1	942,4	1,20
1.2	989,2	1,26
1.3	997,4	1,27
2.1	862,2	1,10

Tabella 9. Bulk Density espressa in (g/cm<sup>3</sup>) dei campioni di sedimento.

I valori trovati di Bulk Density sono compresi tra 1,06 g/cm<sup>3</sup> e 1,31 g/cm<sup>3</sup>. Non si notano chiare differenze tra transetti. C'è solo una piccola differenza: per i campioni del primo transetto tracciato in un'area in cui *Pinna nobilis* non era presente si trovano valori che vanno da 1,06 a 1,19 g/cm<sup>3</sup>; il valore medio di densità apparente del transetto è 1,12 g/cm<sup>3</sup>; il secondo transetto ha valori leggermente più elevati compresi tra 1,19 e 1,31 g/cm<sup>3</sup>, in questo caso il valore medio è di 1,23 g/cm<sup>3</sup>. I campioni presi nell'area più a sud impiegati come confronto mostrano dei valori più variabili; i primi 3 campioni più vicini alla bocca riportano una densità apparente che varia da 1,20 a 1,27 g/cm<sup>3</sup> mentre il 2.1 situato più lontano restituisce un valore leggermente inferiore; il valore medio dei campioni presi più a sud è di 1,21 g/cm<sup>3</sup>. Il valore medio ottenuto considerando tutti i campioni invece ha un valore di circa 1,19 g/cm<sup>3</sup>.

Di seguito sono rappresentati graficamente gli andamenti della densità apparente secca nei due transetti (Figura 48).

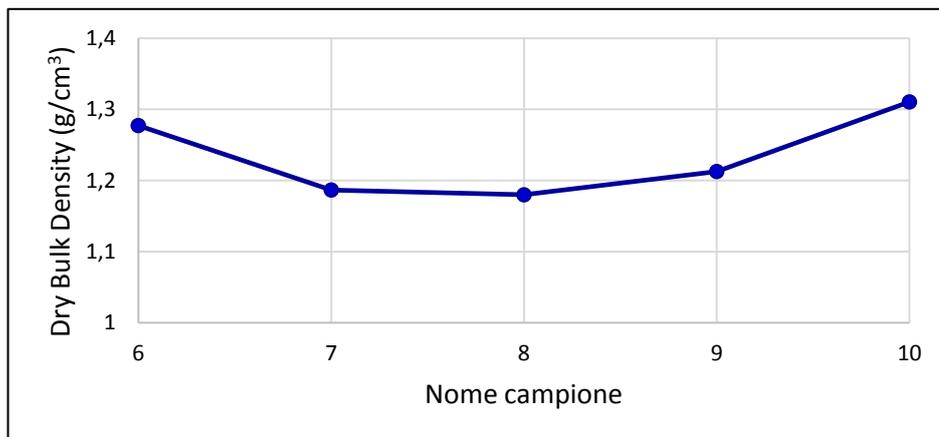
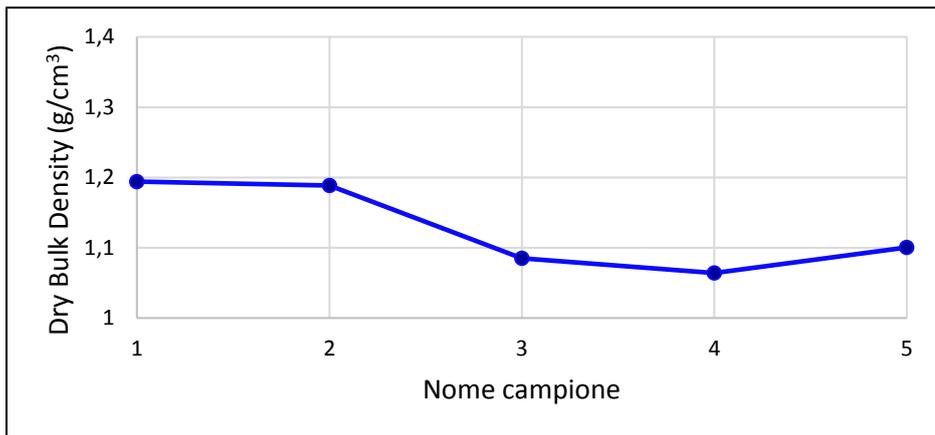


Figura 48. Densità apparente secca dei transetti 1 (in alto) e 2 (in basso).

#### 4.3.2 LOI

Di seguito sono riportati le informazioni ottenute dall'applicazione della metodologia LOI.

In tabella sono riportate sia le informazioni riguardanti la massa del campione considerata, quella del crogiuolo impiegato nell'analisi, ma anche la percentuale di LOI risultante, di cenere rimasta dopo il passaggio in muffola e il carbonio organico; Tabella 10.

Campione		Mcru (g)	Msamp (g)	Mcru + Msamp (g)	Mcru + Mash 450° C (g)	%Ash	%LOI	Corg (%)
Nome	Replica							
1	a	86,2432	5,0233	91,256	90,8856	92,6109	7,3891	4,2860
	b	71,8272	5,0111	76,9709	76,5965	92,7212	7,2788	4,2220
2	a	55,0945	5,0113	60,1046	59,826	94,4392	5,5608	3,2255
	b	55,2879	5,0154	60,3031	60,024	94,4349	5,5651	3,2280
3	a	70,6095	5,005	75,6001	75,1545	91,0712	8,9288	5,1791
	b	66,8321	5,0236	71,8533	71,4215	91,4005	8,5995	4,9881
4	a	83,244	5,0369	88,2784	88,0182	94,8316	5,1684	2,9979
	b	76,699	5,0383	81,7369	81,5048	95,3929	4,6071	2,6723
5	a	55,0953	5,0385	60,1276	59,8067	93,6232	6,3768	3,6988
	b	55,2884	5,0341	60,317	59,9782	93,2625	6,7375	3,9080
6	a	55,0973	5,0332	60,1121	59,8545	94,8632	5,1368	2,9796
	b	54,6763	4,9938	59,669	59,4025	94,6622	5,3378	3,0962
7	a	56,0702	4,9609	61,0306	60,6778	92,8877	7,1123	4,1255
	b	57,5149	5,0065	62,5203	62,1678	92,9576	7,0424	4,0849
8	a	76,68	5,0745	81,7545	81,5019	95,0222	4,9778	2,8874
	b	55,2889	5,0619	60,3504	60,1029	95,1101	4,8899	2,8363
9	a	56,0693	5,0874	61,1538	60,7972	92,9865	7,0135	4,0681
	b	54,676	5,0021	59,6758	59,3191	92,8657	7,1343	4,1382
10	a	57,5144	5,0178	62,5304	62,2659	94,7269	5,2731	3,0587
	b	76,6771	5,0327	81,707	81,4308	94,5088	5,4912	3,1851
1.1	a	54,6756	4,025	58,7006	58,4623	94,0795	5,9205	3,4342
	b	66,8216	4,0252	70,8468	70,5947	93,7370	6,2630	3,6329
1.2	a	57,513	4,0449	61,5579	61,3396	94,6031	5,3969	3,1305
	b	66,7996	4,0227	70,8223	70,5997	94,4664	5,5336	3,2097
1.3	a	56,5132	4,165	60,6782	60,5267	96,3625	3,6375	2,1099
	b	66,7954	4,0864	70,8818	70,7085	95,7591	4,2409	2,4599
2.1	a	56,0686	4,3628	60,4314	60,179	94,2147	5,7853	3,3557
	b	66,8008	4,3204	71,1212	70,8542	93,8200	6,1800	3,5847

Tabella 10. Risultati ottenuti a seguito del passaggio in muffola dei campioni.

Come si nota osservando i dati si hanno percentuali di cenere molto elevate che variano tra il 91% - 96%, questo significa che il contenuto di materia organica effettivamente ossidato e perso nell'arco di 8 ore è molto poco, nel range 4% - 9% (Figura 49), il carbonio organico varia da 2% - 4%. I campioni dopo il periodo trascorso in muffola hanno acquisito una colorazione tendente al rosa rispetto alla precedente grigia.

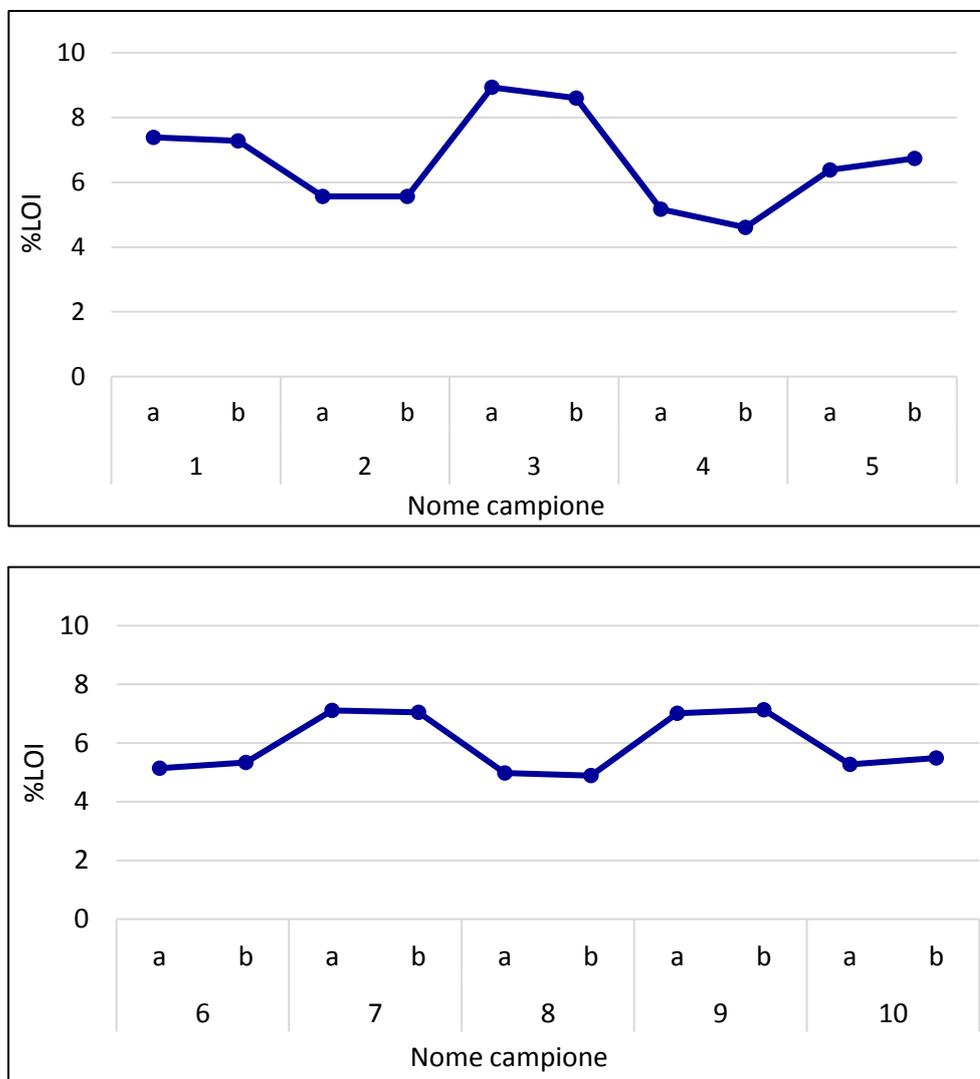


Figura 49. Andamento di LOI nei due diversi transetti e rispettive repliche.

Dai grafici dei campioni non emerge nessuna tendenza specifica per nessuno dei due transetti, entrambi mostrano valori più alti alternati a più bassi.

#### 4.3.3 CHN

In Tabella 11 sono presentati i risultati derivanti dall'analisi dei campioni con analizzatore elementare. Dalla tabella si vede l'ordine di analisi. I campioni nominati con "SS" indicano i camponi analizzati formati da sostanza secca ma senza essere stati sottoposti a nessun altro trattamento, si intendono i campioni originali; quelli indicati con "450" rappresentano le prime repliche dei campioni sottoposti a LOI; mentre quelli nominati con "b\_450" rappresentano le seconde repliche di tutti i campioni analizzate dopo la LOI.

Nome campione	Peso campione (mg)	Azoto (%)	Carbonio (%)	Idrogeno (%)
Vuoto1		0	0	0
BBOT0	2,05	0	0	0
BBOT1	2,32	6,510000229	72,51999664	6,090000153
BBOT2	2,19	6,510000229	72,51999664	6,090000153
BBOT3	2,38	6,510000229	72,51999664	6,090000153
Vuoto2		0	0	0
Soil_Ref1	9,46	0,218338192	2,246180058	0,709958851
1_SS	8,13	0,052626222	7,562842846	0,146916166
2_SS	9,91	0,045494031	7,602777481	0,137133524
3_SS	8,44	0,06075855	7,61825943	0,175496534
4_SS	9,02	0,050585903	7,593565464	0,1536154
5_SS	8,8	0,070655786	8,545758247	0,184436813
6_SS	9,2	0,032749988	7,309120655	0,102567062
7_SS	8,55	0,037724484	7,265071869	0,109916262
8_SS	8,6	0,036500134	7,412134647	0,111021295
9_SS	8,91	0,040168118	7,360771179	0,11594893
10_SS	8,24	0,040862538	6,941432953	0,10335087
1_450	9,23	0,010752823	5,936960697	0,078112476
2_450	9,87	0,010238357	6,414088249	0,058092944
3_450	9,78	0,009949887	5,589844704	0,092319615
4_450	8,3	0,009904158	6,489603043	0,080887541
5_450	8,07	0,010890442	6,173010349	0,070599481
6_450	9,35	0,007591064	6,074254513	0,063480198
7_450	7,91	0,008312622	5,771801949	0,065984368
8_450	8,77	0,008050112	6,281432629	0,067232564
9_450	8,72	0,0076578	5,923929691	0,054092504
10_450	8,47	0,007413341	6,370849133	0,053591292
Soil_Ref2	9,49	0,219475195	2,406728029	0,758195698
1b_450	8,14	0,010260918	5,95265913	0,078831621
2b_450	8,26	0,010150967	6,273890972	0,055228643
3b_450	9,89	0,010018907	5,627098083	0,078426391
4b_450	7,95	0,009022688	6,656974792	0,076588109
5b_450	8,06	0,00850535	6,07956028	0,068004601
6b_450	7,63	0,007311964	5,990325451	0,060554754
7b_450	7,95	0,006048995	5,769128323	0,061168712
8b_450	9,43	0,008440372	6,336818218	0,057789728
9b_450	9,71	0,006740986	5,870139599	0,053167716
10b_450	9,86	0,007919358	6,376506805	0,053625114

Tabella 11. Risultati ottenuti mediante analisi CHN espressi in %.

Come si vede dalla tabella non è stato possibile eseguire le analisi mediante analizzatore elementare degli ultimi campioni.

I sedimenti considerati provenienti dalla Laguna di Venezia derivano direttamente dalla zona alpina, per questo è molto probabile trovare composizione simile e una buona componente di calcite e altre forme inorganiche del carbonio. La maggior parte della calcite  $\text{CaCO}_3$  viene combusta tra i 500 °C e 800 °C e a temperatura anche superiori. Altre forme di carbonato però come  $\text{MgCO}_3$  vengono combuste anche a temperature inferiori provocando un aumento dell'incertezza ed errori nella determinazione (Kristensen *et al.*, 1987).

Come si vede dai dati riportati in tabella si nota che la percentuale di azoto trovata nei campioni è molto inferiore rispetto al contenuto nel campione di riferimento (quello originale senza essere stato sottoposto a LOI) differisce anche di uno o due ordini di grandezza. I nitrati nei campioni sono una minima parte, si tratta di nitrati legati alla fase minerale. Si osserva poi anche una maggiore diminuzione del contenuto di azoto nei campioni sottoposti precedentemente a LOI questo a significare che una parte si è volatilizzata nel metodo.

Osservando i dati ottenuti per il carbonio si nota anche qui un andamento decrescente nei valori passando dall'analisi dei campioni non sottoposti a LOI a quelli sottoposti a LOI, si hanno dei valori espressi in percentuali più alti per i campioni nominati con “\_SS” che quelli “\_450 e \_b 450”.

I campioni analizzati con CHN ma senza aver subito altri trattamenti danno informazioni per quanto riguarda al contenuto di carbonio totale; mentre i campioni precedentemente sottoposti a LOI e in seguito analizzati con CHN riportano informazioni sul contenuto di carbonio inorganico, questi sono stati privati del carbonio organico mediante la perdita a combustione LOI. Il carbonio organico in questo caso è trovato per sottrazione tra i due valori, Tabella 12.

Campione (_SS - _450)	Corg (%)	Campione (_SS - b_450)	Corg (%)
1	1,625882	1	1,610184
2	1,188689	2	1,328887
3	2,028415	3	1,991161
4	1,103962	4	0,936591
5	2,372748	5	2,466198
6	1,234866	6	1,318795
7	1,49327	7	1,495944
8	1,130702	8	1,075316
9	1,436841	9	1,490632
10	0,570584	10	0,564926

Tabella 12. Risultati analisi CHN del contenuto di carbonio organico espresso in percentuale (%).

Si nota come le percentuali di carbonio organico risultanti mediante l'analisi con CHN siano più basse rispetto a quelle trovate con la LOI.

#### 4.4.4 ANALISI GRANULOMETRICA

I risultati delle analisi granulometriche per i tre campioni analizzati sono riportati nella tabella 13.

Per ciascuna tabella sono riportate i pesi per ciascun campione per ogni classe granulometrica considerata, trovata a seguito dell'operazione di setacciatura.

CAMPIONE 4			
Diametro (µm)	Peso (g)	% Peso	% Passante
250	7,14	3,63	96,37
180	31,08	15,80	80,57
150	38,17	19,41	61,16
125	22,68	11,53	49,63
90	24,58	12,50	37,13
63	35,84	18,22	18,91
<63	37,2	18,91	0,00

CAMPIONE 9			
Diametro (µm)	Peso (g)	% Peso	% Passante
250	15,72	7,94	92,06
180	100,92	51,00	41,05
150	45,91	23,20	17,85
125	15,85	8,01	9,84
90	7,38	3,73	6,11
63	3,07	1,55	4,56
<63	9,02	4,56	0,00

CAMPIONE 2.1			
Diametro (µm)	Peso (g)	% Peso	% Passante
250	5,61	2,86	97,14
180	32,68	16,66	80,48
150	82,14	41,87	38,61
125	48,95	24,95	13,65
90	18,15	9,25	4,40
63	4,39	2,24	2,16
< 63	4,24	2,16	0,00

Tabella 13. Risultati analisi granulometriche dei rispettivi campioni.

In tabella 13 sono riportati i pesi delle singole frazioni granulometriche anche espresse in percentuale e la percentuale di campione passante per ogni dimensione considerata. Si nota che i campioni hanno alcune classi granulometriche prevalenti rispetto alle altre.

Partendo dal campione 4 si nota che le classi predominanti si trovano a 180 µm, 150 µm ma anche 63 µm e quella molto fine (<63 µm). Il campione 9 invece mostra una prevalenza di due classi, la 180 µm e 150 µm, nettamente superiori alle masse registrate nelle altre granulometrie. Mentre il campione 2.1 riporta 3 classi

prevalenti sulle altre rispettivamente la 180  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$  e 125  $\mu\text{m}$ . Tutti e tre hanno evidenziato che la frazione superiore ai 250  $\mu\text{m}$  è inferiore al 20%, da una prima analisi visiva erano presenti resti di materiale organico e sabbia grossolana.

Per rendere più esplicito il contenuto della frazione fine e grossolana (> 63  $\mu\text{m}$ ), si sono rappresentati i campioni nei diagrammi a torta, Figura 50.

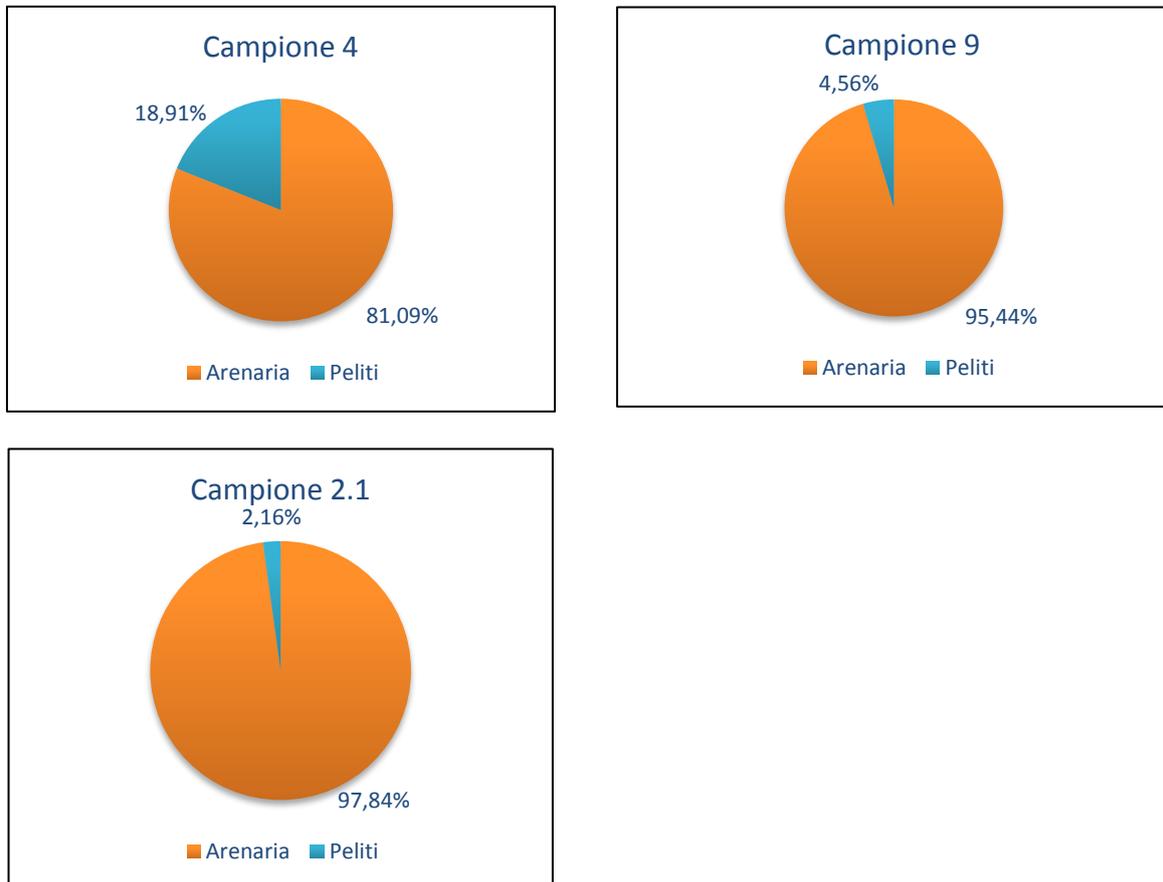


Figura 50. Rappresentazione percentuale delle frazioni grossolana e fine dei rispettivi campioni.

La frazione dominante in tutti i campioni è quella grossolana; però quella fine (<63  $\mu\text{m}$ ) è scarsa nei campioni 2.1 e 9 con un contenuto inferiore al 5% mentre nel 4 raggiunge il 19% circa.

I risultati dell'analisi granulometrica sono rappresentati graficamente di seguito (Figura 51), tra le rappresentazioni più comuni utilizzate per la descrizione delle caratteristiche granulometriche di un sedimento sono da citare l'istogramma e la curva di frequenza. Nell'istogramma viene rappresentato per ogni singola classe granulometrica considerata il peso in grammi misurato per ciascuna di esse dopo la setacciatura. Mentre il secondo grafico rappresenta una curva di frequenza e ogni classe è data dalla somma della percentuale di quella classe con quelle precedenti in modo che la percentuale dell'ultima classe arrivi a 100%.

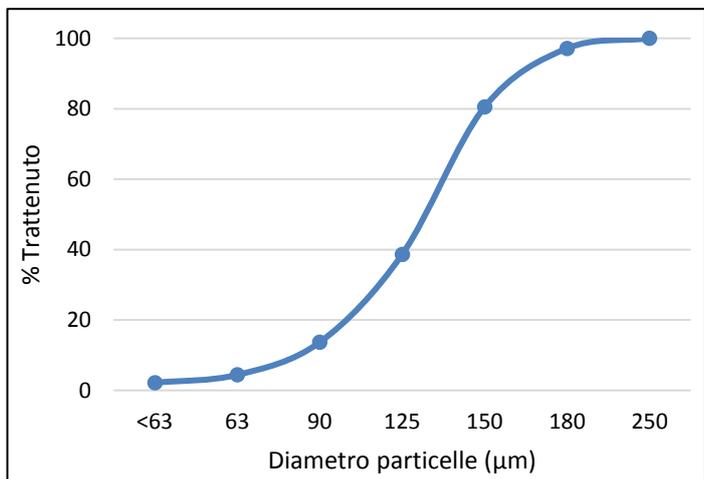
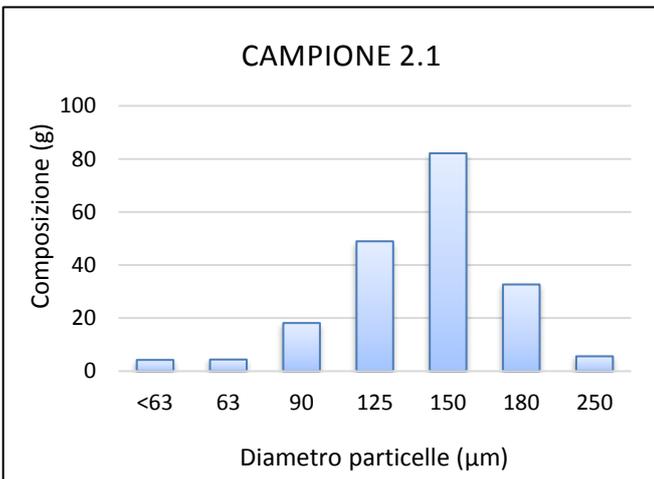
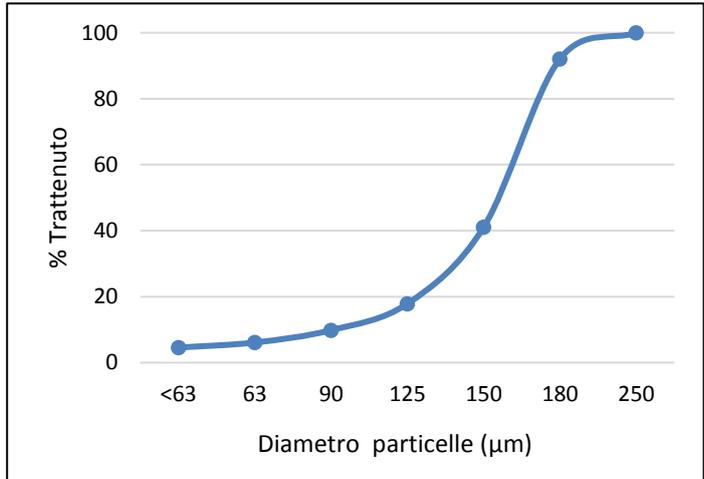
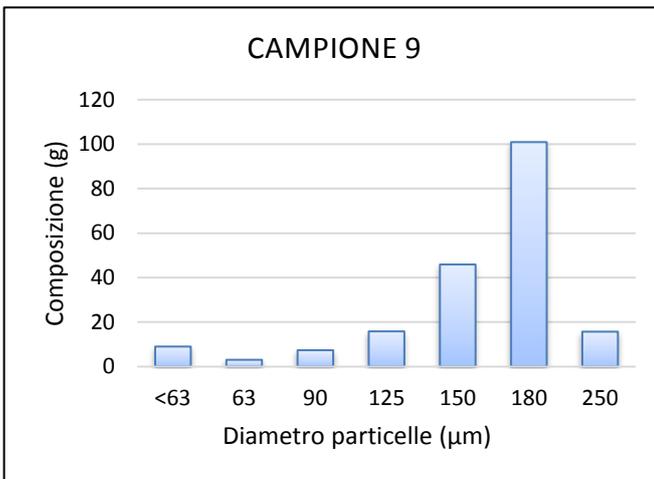
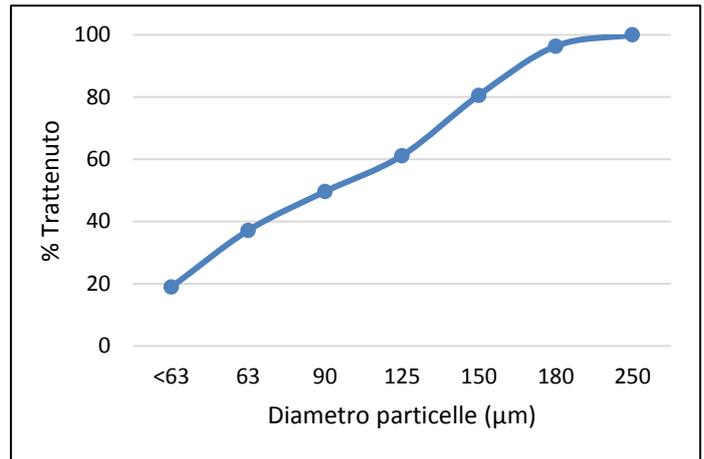
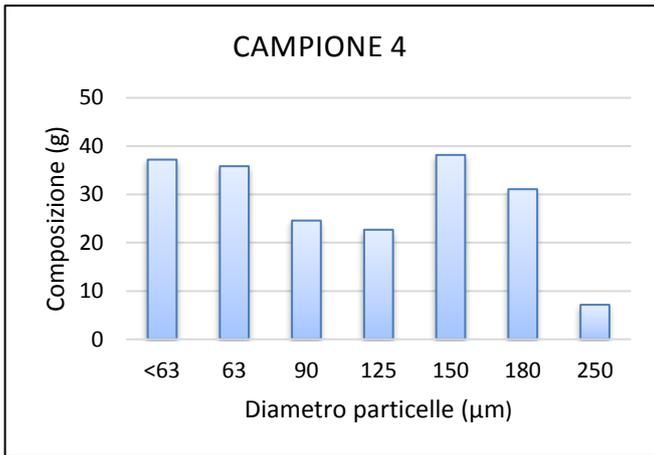


Figura 51. Rappresentazione classi granulometriche dei campioni 4,9 e 2.1.

I campioni presentano sia istogrammi che curve diverse tra di loro come si poteva già osservare dai risultati dell'analisi granulometrica riportati in tabella.

## 5. DISCUSSIONE

La colonizzazione da parte di *Pinna nobilis* delle praterie di fanerogame marine della laguna di Venezia è piuttosto recente ma in realtà questo bivalve era già presente in laguna nel 1600 (Buonanni, 1681); ci sono scritti a testimonianza della sua presenza e vari impieghi. Probabilmente prima della nuova colonizzazione *Pinna nobilis* era scomparso quasi completamente.

Malgrado possa apparire un ambiente tranquillo e ideale per l'insediamento di specie marine, la laguna di Venezia può essere considerata un ambiente estremo per individui bentonici, in quanto in alcune zone lagunari gli organismi devono supportare la totale assenza di acqua nei periodi di bassa marea (Russo, 2012). La laguna di Venezia è soggetta, infatti, a escursioni di marea ben superiori a quelle rilevabili nella gran parte dei litorali mediterranei, durante le quali la fascia intertidale risulta emersa. Ciò accade soprattutto durante il periodo invernale e più precisamente nei mesi da gennaio a febbraio e nei momenti di luna piena e luna nuova, quando si verificano basse maree diurne e di notevole ampiezza.

Il ruolo delle fanerogame nel modificare le dinamiche dei sedimenti e i processi di conformazione del terreno ha catturato l'attenzione della comunità scientifica rispetto alla biogeomorfologia.

Le praterie di fanerogame sono uno degli ambienti più complessi presenti negli ecosistemi litoranei (Duarte, 2002).

Solitamente le praterie di fanerogame si ritrovano in zone litorali dove possono essere esposte a diversi tipi di stress. La loro zonazione è strettamente correlata alle condizioni di illuminazione che definisce il loro limite inferiore, mentre il tempo di emersione sicuramente aiuta a determinare il limite superiore. La struttura spaziale del prato di fanerogame all'interno di questi confini è influenzata da fattori fisici quali l'azione delle onde, la luce e l'apporto di sedimenti. La recente letteratura sull'argomento (Heide *et al.*, 2010) ha dimostrato che la struttura di un prato di fanerogame può essere il risultato di interazioni di feedback tra le stesse piante di fanerogame e l'ambiente circostante migliorando le proprie condizioni di crescita. Le fanerogame marine, infatti, possono migliorare la loro stessa crescita riducendo l'intensità dei fenomeni di idrodinamica locale, risospensione e deposizione dei sedimenti modificando i processi ecosistemici e i paesaggi (Heide *et al.*, 2010).

Oltre a ricoprire un ruolo importante nell'equilibrio fisico delle zone costiere, le praterie di fanerogame marine sono anche un ambiente molto produttivo e fungono da habitat chiave durante le fasi del ciclo di vita di molte specie minacciate da estinzione o dall'azione dell'uomo (Heide *et al.*, 2010).

I risultati trovati di questa tesi mostrano chiaramente la copertura di fanerogame marine, *Cymodocea nodosa*, nell'area di studio e mostrano che la presenza stessa di fanerogame e la densità dei prati sono fortemente correlate alla distribuzione spaziale di *Pinna nobilis*. Questo trova un forte riscontro con quanto si legge in letteratura, infatti le praterie di fanerogame marine sembrano essere l'habitat preferito di *Pinna nobilis* (García-March, 2003; García-March *et al.*, 2007 a). La loro associazione sembra essere maggiore in siti esposti e poco profondi dove le foglie delle fanerogame svolgono un ruolo importante per la protezione

degli organismi, agendo sulla riduzione dello stress idrodinamico provocato dal moto ondoso e nella loro protezione (Hendriks, 2008). La riduzione dello stress idrodinamico dipende tra l'altro dalla densità dei germogli e dalla lunghezza delle foglie (Hendriks, 2011; Manca, 2012). Un altro fattore importante per spiegare l'associazione di habitat con le fanerogame marine potrebbe essere l'elevata concentrazione di materiale organico che si trova in sospensione nelle praterie di fanerogame, che quindi contribuirebbe ad aumentare l'approvvigionamento di cibo degli organismi e svolgerebbe in oltre la funzione di trappola per i sedimenti facilitando la sedimentazione (ISPRA, 2014; Hendriks, 2008).

Già Hendriks (2008) aveva notato che *Pinna nobilis* non solo presenta la caratteristica di insediarsi in aree in cui è presente vegetazione ma tende a colonizzare in particolar modo la fascia di vegetazione più densa. Tuttavia, le nostre osservazioni evidenziano una distribuzione non omogenea all'interno della vegetazione ad alta densità, categoria nella quale sono presenti tutte le classi di densità del mollusco considerate in questo lavoro. Nell'area caratterizzata da vegetazione più densa la presenza di *Pinna nobilis* registra una maggiore densità lungo il bordo che separa le macchie di vegetazione ad alta e bassa densità. In realtà in soli due punti si vede la presenza della classe di alta densità di *Pinna nobilis* nella classe di vegetazione a bassa densità.

Esaminando nel dettaglio la mappa ottenuta dalle elaborazioni dei dati UAV si vede che le aree in cui si è registrato il maggior numero di organismi forma una fascia all'interno della classe di fanerogame ad alta densità, e tale fascia si sviluppa proprio lungo il bordo con classi di densità inferiore verso la zona di maggiore profondità dell'acqua. Un risultato simile è stato registrato anche in altri siti (Coppa, 2013) in cui l'area di studio è situata in una prateria di fanerogame marine, che ospita una popolazione di *Pinna nobilis*, nel Golfo di Oristano (Sardegna); lo studio Coppa (2013) riporta come gli organismi situati lungo il bordo del prato abbiano una maggiore efficienza nell'attività di filtraggio e una buona correlazione con un'idrodinamica soddisfacente per una buona azione filtrante, spiegando una maggiore presenza proprio lungo il bordo.

Nel nostro sito di studio, osservando la linea di emersione della piana di marea si intuisce la direzione di risalita dell'acqua; si ipotizza che, poiché i nutrienti sono portati dalla marea che giunge dal canale, la porzione di piana di marea sommersa è raggiunta più frequentemente da acqua ricca di sostanze nutritive rispetto all'altra, che, come si può vedere, è spesso emersa. La minore frequenza di emersione per periodi più prolungati e un maggiore apporto di nutrienti dalle correnti forniscono condizioni migliori per lo sviluppo della popolazione di *Pinna nobilis*.

Al contrario, spostando l'attenzione verso le aree meno profonde della piana di marea, quelle che nella mappa risultano completamente emerse, sono più lontane dal canale che porta le sostanze nutritive.

In merito alla densità di questi individui si può dire che nella classe di massima densità di *Pinna nobilis* si trovano 2-2,68 individui/m<sup>2</sup>, proseguendo con le classi a minore densità si osservano: 1,4 individui/m<sup>2</sup>, e rispettivamente per le tre classi a densità inferiori si hanno 0,8 individui/m<sup>2</sup>, 0,2 individui/m<sup>2</sup>, <0,2

individui/m<sup>2</sup>. Questi valori sono superiori rispetto a quelli trovati in altre regioni del mare Adriatico come riportato da Siletic (2003), che riporta una variazione tra 0,04 e 0,20 individui/m<sup>2</sup> in Croazia in Malo. In altre parti del Mediterraneo *Pinna nobilis* riporta una densità inferiore a quelle dell'Adriatico come riportato da Combelles *et al.* (1986), in questo caso la densità media è intorno a 0,01 individui/m<sup>2</sup>. Come riportato da Russo (2012) in laguna di Venezia già nel 2006 erano presenti delle aree ad alta densità di *Pinna nobilis* che potevano raggiungere anche i 12-16 individui/m<sup>2</sup>.

Sicuramente le condizioni che la laguna presenta e la densità delle praterie di fanerogame marine possono aver coperto un ruolo molto importante nella colonizzazione dei prati da parte di *Pinna nobilis*.

Come già ricordato, le praterie di fanerogame marine non solo sono in grado di migliorare le proprie condizioni di crescita modificano l'ambiente in cui cresce ma questo può aver avuto una ricaduta anche sul bivalve che si è insediato tra le piante. Infatti, le fanerogame influenzano l'intensità dello stress idrodinamico, la stabilità dei sedimenti, la risospensione, il trasporto e la deposizione dei sedimenti, la torbidità dell'acqua, fattori utili per l'insediamento del bivalve. Queste caratteristiche possono aver contribuito alla reazione di feedback per *Pinna nobilis*. La ricerca bibliografica effettuata per questo studio ha evidenziato come le praterie di fanerogame marine in laguna di Venezia abbiano aumentato la copertura dei bassifondi negli ultimi 20 anni (v. Figura 7). Inoltre, vi è stata una variazione nella composizione delle popolazioni, con progressiva colonizzazione di *Cymodocea nodosa* a scapito di altre specie. Tale comportamento potrebbe essere causato da vari fattori, e in questo studio è stato ad esempio affrontato il tema del contenuto organico del sedimento e della granulometria.

I dieci campioni di sedimento provenienti da due transetti e gli ulteriori quattro campioni provenienti da un'area a sud di Pellestrina sono stati analizzati con l'intento di individuare eventuali differenze nel contenuto di materia organica, carbonio organico e inorganico e nei valori di densità apparente secca.

Le due metodologie impiegate per determinare il contenuto di carbonio organico nei sedimenti, LOI e CHN, riportano percentuali diverse nei risultati. I risultati presentano differenze a causa delle due diverse procedure che possono portare ad una sovrastima o sottostima del carbonio organico in ogni campione. Molto spesso, in letteratura, il carbonio organico è determinato impiegando la LOI. Pertanto, la grande disponibilità di studi in cui si impiega la LOI permette di effettuare confronti più agevoli fra siti di studio differenti (Roner, 2016). I valori di carbonio organico ottenuti mediante le due metodologie, rappresentati in percentuale, presentano differenze di circa due unità percentuali, infatti, dall'analisi con LOI si trova un valore medio di circa 2-5% di Corg mentre con l'analisi CHN emerge solo una percentuale di circa 1-3%. All'interno dell'area di studio non si evidenzia nessuna tendenza rilevante nella distribuzione spaziale del contenuto di carbonio organico. Pertanto, la differenza nel contenuto di carbonio organico pare derivare esclusivamente dalla variabilità dei campioni e delle due tecniche impiegate.

Circa negli anni '90, dopo una ventina di anni in cui il fondale della laguna era stato caratterizzato da una crescita veloce di macroalghe, si è registrata una veloce colonizzazione da parte di *Tapes philippinarum* una specie introdotta in laguna per scopi economici. La raccolta meccanica di *Tapes philippinarum* ha portato a gravi conseguenze sulle caratteristiche della laguna e del sedimento. *Tapes philippinarum* veniva raccolta mediante draghe idrauliche ed altri attrezzi meccanici che hanno un forte impatto sui sedimenti e sulle comunità bentoniche (Libralato, 2002). In quegli anni, l'elevato sforzo di pesca e la mancanza di piani di gestione hanno condotto ad una situazione piuttosto critica per la laguna; le conseguenze rilevate sulla tessitura dei sedimenti, la densità della vegetazione, nutrienti e inquinanti furono drammatiche (Sfriso, 2003). Inizialmente erano impiegate draghe manuali per la pesca, poi trasformate in turbosofianti, tecniche estremamente invasive. Gli strumenti impiegati creavano dei solchi di 10-30 cm di profondità e hanno contribuito in modo importante alla risospensione del sedimento e al danneggiamento della vegetazione presente. Questo ha condotto alla perdita di materiale fine e ha portato ad una omogeneizzazione della granulometria del sedimento superficiale e densità secca (Sfriso, 2005; Sfriso, 2003; Libralato, 2002). Infatti, la frazione fine del sedimento risospeso viene facilmente trasportata dalle correnti in altre aree della laguna oppure direttamente in mare. Gli studi (Sfriso, 2005; Sfriso, 2003) mostrano come nel corso degli anni si sia registrato un aumento della densità secca. I valori di Bulk density trovati nel nostro studio sono in linea con quanto riportato da Sfriso (2003; 2005). I valori di densità apparente secca non presentano delle variazioni o tendenze particolari, hanno valori molto elevati per tutti i campioni analizzati, compresi quelli provenienti all'area a sud di Pellestrina. L'unica variazione riguarda il transetto 2 cioè quello posto più vicino al canale principale, che fa registrare valori più elevati.

Per quanto riguarda l'indagine granulometrica svolta nell'area di studio, si evidenzia che i campioni posizionati vicino alla bocca di Malamocco e al canale principale presentano una frazione grossolana maggiore rispetto al campione situato più in vicinanza della strada, cioè l'area più interna del sito d'indagine e lontano dal canale principale, in quanto la parte sabbiosa tende a sedimentare più velocemente che la frazione argillosa e limosa che possono impiegare giorni (SNPA, 2018).

Il sedimento nell'area indagata presenta la frazione grossolana come frazione dominante. Tutti i campioni presentano una percentuale di materiale sabbioso (>63  $\mu\text{m}$ ) maggiore dell'80%, solo il campione 4, quello situato nell'area più interna, presenta quasi il 20% di frazione fine; gli altri due campioni considerati invece ne contengono solo una frazione minore del 5%. Questa informazione potrebbe essere un fattore importante in quanto *Cymodocea nodosa* cresce prevalentemente in substrati sabbiosi (Sfriso, 2014-2018).

Le praterie di fanerogame marine come altri ambienti tra cui mangrovie e paludi sono in grado di sequestrare CO<sub>2</sub> dall'atmosfera immagazzinando alte quantità di carbonio nella biomassa e nei sedimenti. Lo stoccaggio del carbonio, denominato "Carbonio Blu" a seconda dei diversi tassi di accrescimento è

geograficamente variabile (Mcloud, 2011). Il carbonio organico nelle condizioni ipossiche dei terreni palustri è sepolto e conservato per un lungo periodo di tempo, contribuendo in modo importante al sequestro del carbonio blu. Il carbonio viene sequestrato su scale temporali brevi (decennali) in biomassa, e su scale temporali più lunghe (millenarie) nei sedimenti. Questo tipo di ambiente ha tasso di sepoltura molto più elevato rispetto alle foreste tropicali, il tasso differisce di circa due ordini di grandezza. Quando però questi ambienti sono in qualche modo degradati, il carbonio viene esposto all'ossigeno e rilasciato nella colonna d'acqua ed eventualmente come CO<sub>2</sub> in atmosfera (Mcloud, 2011). Nel nostro studio non è stato possibile misurare anche il tasso di accrescimento ma in generale i sedimenti indagati presentano quantità di carbonio organico piuttosto basse.

Le osservazioni fatte in campo, le analisi di laboratorio, i dati di una sonda multiparametrica situata vicino all'area di studio e una stazione di monitoraggio del Comune di Venezia della rete telemareografica hanno permesso di conoscere diversi fattori ambientali che possono aver influenzato la crescita e le condizioni di salute della popolazione di *Pinna nobilis*.

Esaminando circa 18 anni di dati raccolti dalla sonda multiparametrica situata molto vicino al sito studiato, a circa 2,5 Km di distanza, si sono osservati alcuni cambiamenti nei fattori considerati. Nello specifico abbiamo osservato se vi fossero delle variazioni tra il periodo precedente al 2007/2008, quando *Pinna nobilis* ha ricolonizzato la laguna veneta, ed il periodo successivo, quando il bivalve si è diffuso su vaste aree del bassofondo. Una delle variabili osservate è la temperatura: questa non ha subito forti variazioni, presenta una leggera tendenza in aumento negli anni. La torbidità invece mostra alcune differenze in questo arco temporale. La torbidità massima presenta picchi più alti in primavera rispetto all'autunno e mostra una chiara differenza dopo gli anni 2008/2009, subendo una notevole diminuzione. La torbidità media invece presenta valori bassi in entrambi i periodi, anche se sia in primavera che in autunno presenta dei valori leggermente più alti negli anni 2003-2007 rispetto agli anni successivi.

La clorofilla e i feopigmenti sono stati quantificati nelle acque come stima della biomassa fitoplanctonica e microfitobentonica, fonti primarie di nutrimento per i bivalvi filtratori. Questa non presenta una tendenza chiara, mostra alcuni picchi molto elevati per quanto riguarda la clorofilla massima sia in primavera che in estate. Osservando i valori di clorofilla media invece si nota che nel periodo primaverile dall'anno 2012 hanno subito un leggero aumento ma non in modo costante.

Anche per quanto riguarda i valori dell'ossigeno disciolto non è stato possibile evidenziare una tendenza negli anni, infatti i valori variano da 80% a valori anche sopra il 100%, quindi presentano situazioni di sovrasaturazione.

Da tutte queste considerazioni ed osservando le mappe della distribuzione delle fanerogame negli anni (Fig. 7), possiamo ipotizzare che la diminuzione della torbidità delle acque registrata dalla sonda multiparametrica sia una conseguenza dell'aumento della densità di fanerogame che potrebbero aver

facilitato la colonizzazione da parte di *Pinna nobilis*. Questa ipotesi è rafforzata dal fatto che la velocità del vento media non presenta variazioni nei suoi valori medi o massimi e pertanto non potrebbe spiegare la diminuzione della torbidità. L'unica spiegazione plausibile sembra, quindi, l'aumento areale e probabilmente anche di densità della copertura di fanerogame.

Questa ipotesi dovrebbe comunque essere confermata da altre indagini e analisi per approfondire meglio la dinamica.

Un'ultima osservazione derivante dal nostro lavoro riguarda il volo con sistemi UAV per l'osservazione di popolazioni di *Pinna nobilis* in laguna. Abbiamo infatti potuto evidenziare quanto sia importante la presenza di uno strato di acqua di almeno 30 centimetri sopra il bassofondo colonizzato da fanerogame per ispezionare visivamente l'ortofoto e poter così rilevare la densità della vegetazione e delle conchiglie di *Pinna nobilis*. Nel caso contrario, quando la marea è troppo bassa e la superficie è interamente emersa, le fanerogame marine possono depositarsi sugli organismi rendendo non visibile *Pinna nobilis*.

Le foglie, infatti, si adagiano rendendo impossibile una chiara identificazione di tutti gli organismi e le distanze tra le piante non permettendo di identificare eventuali porzioni occupate da sedimenti senza alcuna copertura.

## 6. CONCLUSIONI

Lo studio si è concentrato in modo particolare sulla popolazione di *Pinna nobilis* localizzata nel bacino centro-meridionale della laguna di Venezia, adiacente l'isola di Pellestrina, con l'obiettivo di studiare e di comprendere i fattori ambientali che possono aver maggiormente contribuito allo sviluppo delle popolazioni in ambiente lagunare.

Da circa 10-15 anni a questa parte si è osservata la ripresa della colonizzazione della laguna di Venezia da parte di *P. nobilis* in diverse aree, di solito si tratta di superfici coperte da praterie di fanerogame marine così come l'area di studio.

Le praterie di fanerogame contribuiscono all'equilibrio fisico delle zone costiere, sono un ambiente molto produttivo e fungono da habitat chiave durante le fasi del ciclo di vita di molte specie.

Svolgono il ruolo importante di ridurre lo stress idrodinamico del moto ondoso. Tale funzione, però, dipende dalla lunghezza delle foglie e dalla densità dei germogli che costituiscono i prati.

A partire degli anni 2000 in laguna di Venezia (v. fig. 7) si è osservato un aumento della copertura dei bassifondi da parte delle fanerogame marine nel bacino centro-meridionale, e in particolar modo da parte di *Cymodocea nodosa*, specie che ha avuto la maggiore espansione.

Dalle osservazioni effettuate direttamente in campo la mattina del campionamento, si nota la diversa morfologia che caratterizza l'area di studio e la direzione di risalita della marea da ovest a est. Già a prima vista, nell'area di studio, si osserva il legame tra la presenza di *Pinna nobilis* e quella di *Cymodocea nodosa*. Sempre dall'osservazione di campo si nota come vi sia una diversa densità della copertura di fanerogame marine così come anche la distribuzione e la densità di *Pinna nobilis* sia non uniforme nell'area di interesse. Queste osservazioni sono state ampiamente confermate dai risultati ottenuti dall'elaborazione delle immagini riprese da sistema UAV. I risultati derivanti dal rilievo evidenziano una forte correlazione tra la densità di *Pinna nobilis* e la presenza di copertura di fanerogame; *Pinna nobilis* predilige come siti di insediamento aree caratterizzate da una copertura di fanerogame marine. I risultati ottenuti portano ad affermare che, così come accade spesso in mare aperto, anche in laguna di Venezia le fanerogame marine siano l'habitat preferito dal mollusco, infatti nelle aree dove non si ha copertura di *Cymodocea nodosa* il mollusco è quasi totalmente assente.

I risultati mostrano come ci siano quattro classi di densità di vegetazione ben distinte tra loro, che hanno permesso di creare dei range di copertura: vegetazione ad alta densità (85% - 100%), a bassa densità (40% - 85%), sparsa (10% - 40%) e sedimento nudo (< 10%). Dalla valutazione della distribuzione spaziale di *Pinna nobilis* si sono evidenziate cinque classi di diversa densità < 5 individui/25 m<sup>2</sup>, 5 - 20 individui/25 m<sup>2</sup>, 20 - 35 individui/25 m<sup>2</sup>, 35 - 50 individui/25 m<sup>2</sup> e > 50 individui/25 m<sup>2</sup>.

La popolazione di *Pinna nobilis* senza dubbio risente della presenza della copertura di *Cymodocea nodosa* (V. fig. 40) ed è influenzata anche dalla sua densità; infatti, nelle aree di sedimento nudo la densità degli

individui è molto bassa. Anche nella classe di copertura sparsa e a bassa densità si nota che la densità degli individui non è molto diversa: si contano organismi con una densità di 0 - 5 organismi/25m<sup>2</sup>, solo raramente di 5 - 20 organismi per 25 m<sup>2</sup>. Nell'area caratterizzata da vegetazione più densa la presenza di *Pinna nobilis* registra una maggiore densità, anche se i risultati delle analisi evidenziano come la distribuzione non sia comunque omogenea: all'interno della vegetazione ad alta densità, infatti, si ritrovano tutte le classi di densità del bivalve considerate, con presenza massima lungo il bordo che separa le macchie di vegetazione ad alta e bassa densità. In soli due punti si nota la presenza della classe di alta densità di *Pinna nobilis* nella classe di vegetazione a bassa densità. Le aree in cui si è registrato il maggior numero di organismi forma una fascia all'interno della classe di fanerogame ad alta densità, e tale fascia si sviluppa proprio lungo il bordo con classi di densità inferiore verso la zona di maggiore profondità dell'acqua. Questa caratteristica è già stata presentata da diversi studi in letteratura e si suppone che una maggiore distribuzione degli organismi lungo il bordo porti ad un maggiore efficienza nell'attività di filtraggio dell'acqua. Dallo studio dell'orientamento di *Pinna nobilis* effettuato su 20 celle in totale della popolazione non si osserva né un orientamento univoco delle valve né un orientamento preferenziale di *Pinna nobilis*, al contrario gli organismi indagati presentano un orientamento che sembra quasi "casuale".

Le analisi di laboratorio dei campioni di sedimento sono rivolte a studiare il contenuto di materia organica, carbonio organico e inorganico e i valori di densità apparente secca. I risultati non evidenziano una distribuzione spaziale nel contenuto di carbonio organico nei campioni dell'area di studio. Il contenuto di carbonio organico indagato nei sedimenti del sito di studio mediante LOI presenta un valore compreso tra il 2-5%, mentre con l'analisi CHN del 1-3%. La differenza nel contenuto di carbonio organico è dovuta alla variabilità degli stessi campioni e delle tecniche impiegate.

I valori di Bulk Density sono compresi tra 1,06 g/cm<sup>3</sup> e 1,31 g/cm<sup>3</sup> anche in questo caso senza evidenziare una variazione spaziale nell'area di interesse.

Dall'indagine granulometrica svolta emerge che i campioni posizionati vicino alla bocca di Malamocco e al canale principale presentano una frazione grossolana maggiore rispetto al campione situato più in vicinanza della strada, cioè l'area più interna del sito d'indagine e lontano dal canale principale. I risultati dei campioni indagati presentano la frazione grossolana (>63 µm) come frazione dominante con una percentuale maggiore dell'80%; solo il campione posizionato nell'area più interna ovvero il campione 4 presenta quasi il 20% di frazione fine.

I dati della sonda multiparametrica (Ve3 - proprietà del Provveditorato Interregionale alle Opere pubbliche del Veneto – Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia), e di una stazione di monitoraggio del Comune di Venezia della rete telemareografica sono stati utilizzati per indagare l'andamento di diversi fattori ambientali che, tra il 2003 e il 2020, possono aver influenzato la crescita e le condizioni di salute di *Pinna nobilis*. Le variabili indagate sono: torbidità, temperatura, ossigeno disciolto, clorofilla e velocità del vento.

La temperatura presenta valori circa costanti nel tempo, con una leggera tendenza all'aumento negli anni.

L'ossigeno disciolto riporta valori dall'80% fin superiori il 100% quindi di sovrasaturazione.

Dai risultati emersi per alcune variabili si è osservato un cambiamento dei valori prima del biennio 2007/2008 e nel periodo successivo.

La torbidità presenta valori massimi più elevati negli anni che precedono il 2007/2008, cioè gli anni di colonizzazione del bassofondo da parte dei primi individui di *Pinna nobilis*. Anche i valori medi di torbidità sono leggermente più elevati nel periodo precedente alla colonizzazione rispetto a quello successivo. Per quanto riguarda la clorofilla, anch'essa mostra un leggero aumento del valore medio nel periodo primaverile a partire dal 2012.

Poiché l'aumento della torbidità potrebbe essere semplicemente legato ad un aumento degli eventi di vento, si sono studiati i dati di velocità del vento. Dall'analisi risulta che il vento presenta una velocità media circa uguale negli anni considerati, senza particolari tendenze. Se il vento non è aumentato negli anni, l'ipotesi più accreditata potrebbe essere che la diminuzione dei valori di torbidità sia una conseguenza dell'espansione delle fanerogame in laguna, e che questa tendenza abbia favorito la colonizzazione da parte di *Pinna nobilis* che predilige acque limpide e quindi senza troppo materiale in sospensione.

L'espansione successiva di *Pinna nobilis* deriva anche dal fatto che è una specie protetta e che la sua detenzione è vietata così come la pesca e altre attività che possano causarne la morte. Inoltre, non è considerato un mollusco edule.

Tutti questi fattori possono aver contribuito all'espansione della popolazione di *Pinna nobilis* in laguna di Venezia, popolazione che attualmente sembra in buono stato.

Le conclusioni del presente lavoro andrebbero ulteriormente approfondite tramite indagini e studi più dettagliati mirati a capire bene la dinamica della colonizzazione.

## AKNOWLEDGEMENTS

A conclusione dell'elaborato vorrei dedicare questo piccolo spazio a chi con pazienza e disponibilità ha contribuito alla realizzazione della tesi.

Mi sento di ringraziare prima di tutto la Relatrice che mi ha seguito, Professoressa Sonia Silvestri, perché con la sua enorme disponibilità mi ha guidato e consigliato fin dalla scelta dell'argomento trattato, guidandomi attraverso suggerimenti, scelte pratiche e ricerche da effettuare.

Ringrazio il correlatore, il Professor Tarolli Paolo, perché senza la sua importante partecipazione non sarebbe stato possibile la realizzazione dell'elaborato.

Grazie, al Prof. Denis Zannoni, per la sua disponibilità, perché durante il periodo di analisi in laboratorio è stata una persona di riferimento molto importante sempre pronta a dare consigli, aiuti e chiarimenti.

Grazie, a Sara Cucchiaro, per la partecipazione al rilievo in laguna di Venezia il 23 giugno 2020, con la sua esperienza nel volo con il drone è stato possibile ottenere una parte fondamentale su cui si basa il progetto.

Grazie a voi ho migliorato le mie conoscenze e le mie competenze in diversi campi.

Dedico questo spazio anche al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle OO.PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia- tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova e Comune di Venezia- Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree perché senza la loro disponibilità e i dati impiegati per le diverse elaborazioni non sarebbe stato possibile arrivare a tale completezza del lavoro.

## BIBLIOGRAFIA

Addis P., Secci M., Brundu G., Manunza A., Corrias S.,

Cau A. 2009. "Density, Size Structure, Shell Orientation and Epibiontic Colonization of the Fan Mussel *Pinna nobilis* L. 1758 (Mollusca: Bivalvia) in Three Contrasting Habitats in an Estuarine Area of Sardinia (W Mediterranean)." *Scientia Marina* 73 (1): 143–52. <https://doi.org/10.3989/scimar.2009.73n1143>.

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto; Osservatorio Alto-Adriatico-Polo regionale del Veneto. 2000-2006. "Progetto MAR-CO2. *Monitoraggio integrato dell'ambiente marino-costiero nella regione veneto (dlgs 152/99 e s.m.i.). novembre 2002-ottobre 2003*. Analisi conclusiva dei dati osservati nel periodo novembre 2002-ottobre 2003".

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto. Servizio Centro Veneto Acque Marine e Lagunari. 2019. "Monitoraggio della Laguna di Venezia ai sensi della Direttiva 2000/60/CE finalizzato alla definizione dello stato ecologico Campagna primaverile – Maggio 2019".

Badalamenti F., Alagna A., D'Anna G., Di Stefano G., Vega Fernández T. 2010. "Biologia, ecologia, metodologie ed esperienze di rispristino delle praterie di *Poseidonia oceanica*". Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituto per l'Ambiente Marino Costiero. Laboratorio di Biologia Marina di Castellammare del Golfo.

Badetti C., Stivanello S., Gurato A. 2007. "Campagna di monitoraggio mensile MAV 2007".

Basso L., Hendriks I. E., Duarte C. M. 2015 a. "Juvenile Pen Shells (*Pinna nobilis*) Tolerate Acidification but Are Vulnerable to Warming." *Estuaries and Coasts* 38 (6): 1976–85. <https://doi.org/10.1007/s12237-015-9948-0>.

Basso L., Hendriks I., Steckbauer A., Duarte C. 2015 b. "Resistance of Juveniles of the Mediterranean Pen Shell, (*Pinna nobilis*) to Hypoxia and Interaction with Warming." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 165: 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.016>.

Basso L., Vázquez-Luis M., García-March J. R., Deudero S., Alvarez E., Vicente N., Carlos M. D., Hendriks I. E. .2015 c. *The Pen Shell, Pinna nobilis: A Review of Population Status and Recommended Research Priorities in the Mediterranean Sea. Advances in Marine Biology*. Vol. 71. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2015.06.002>.

Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D., Greve T.M. 2004. *European Seagrasses : An Introduction to Monitoring and Management. Management*. <http://www.seagrasses.org>.

Buonanni F. 1681. "Ricreatione dell'occhio e della mente nell'osservation' delle chiocciole proposta a' curiosi delle opere della natura". Roma, Varese, 1681.

- Cabanellas-Reboredo M., Blanco A., Deudero S., Tejada S. 2010. "Efectos de La Invasión de La Macroalga Invasora *Lophocladia Lallemandii* En La Dieta y El Trofismo de *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) y Sus Huéspedes *Pontonia Pinnophylax* y *Nepinnotheres Pinnotheres* (Crustacea: Decapoda)." *Scientia Marina* 74 (1): 101–10. <https://doi.org/10.3989/scimar.2010.74n1101>.
- Caniglia G., Borella S., Curiel D., Nascimbeni P., Paloschi A.F., Rismondo A., Scarton F., Tagliapietra D., Zanella L. 1992. "Distribuzione Delle Fanerogame Marine [*Zostera Marina* L., *Zostera Noltii* Hornem, *Cymodocea Nodosa* (Ucria) Asch.] in Laguna Di Venezia." *Lavori - Soc.Ven.Sc.Nat.* 17 (June 2014): 137–50. no.
- Carducci C., A., A. 1771. "*Delle delizie tarantine. Opera postuma di Tommaso Niccolò d'Aquino patrizio della città di Taranto*". Napoli, Stamperia Raimondiana, 1771.
- Consiglio Regionale del Veneto. 2015. "I progetti LIFE in Laguna di Venezia e nell'alto adriatico. Test di nuove politiche per il ripristino dell'ambiente litoraneo".
- Carella F., Aceto S., Pollaro F., Miccio A., Iaria C., Carrasco N., Prado P., De Vico G. 2019. "A Mycobacterial Disease Is Associated with the Silent Mass Mortality of the Pen Shell *Pinna nobilis* along the Tyrrhenian Coastline of Italy." *Scientific Reports* 9 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37217-y>.
- Carella F., Antuofermo E., Farina S., Salati F., Mandas D., Prado P., Panarese R., Marino F., Fiocchi E., Pretto T., De Vico G. 2020. "In the wake of the ongoing mass mortality events: co-occurrence of mycobacterium, Haplosporidium and other pathogens in *Pinna nobilis* collected in Italy and Spain (Mediterranean Sea)". ORIGINAL RESEARCH. doi: 10.3389/fmars.2020.00048
- Catsiki V. A., Katsilieri Ch., and Gialamas V. 1994. "Chromium Distribution in Benthic Species from a Gulf Receiving Tannery Wastes (Gulf of Geras - Lesbos Island, Greece)." *Science of the Total Environment, The* 145 (1–2): 173–85. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90308-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90308-5).
- Cioni L. 2015. "Modelli matematici Ambientali".
- Combelles S., Moreteau J.C., Vincente N. 1986. "Contribution a la connaissance de l'écologie de *Pinna nobilis* L. (Molluque Elaumellibranche)". *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.*, 12: 29-43.
- Coma R., Ribes M., Serrano E., Jiménez E., Jordi S., Pascual J. 2009. "Global Warming-Enhanced Stratification and mass mortality event in the Mediterranean." *PNAS*, April 14, 2009, 6176–6181, vol. 106, no. 15

- Coppa S., Guala I., De Lucia G. A., Massaro G., Bressan M. 2010. "Density and Distribution Patterns of the Endangered Species *Pinna nobilis* within a Posidonia Oceanica Meadow in the Gulf of Oristano (Italy)." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90 (5): 885–94. <https://doi.org/10.1017/S002531540999141X>.
- Coppa S., de Lucia Giuseppe A., Magni P., Domenici P., Antognarelli F., Satta A., Cucco A. 2013. "The Effect of Hydrodynamics on Shell Orientation and Population Density of *Pinna nobilis* in the Gulf of Oristano (Sardinia, Italy)." *Journal of Sea Research* 76: 201–10. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2012.09.007>.
- Coppa S., Quattrocchi G., Cucco A., de Lucia Giuseppe A., Vencato S., Camedda A., Domenici P. 2019. "Self-Organisation in Striped Seagrass Meadows Affects the Distributional Pattern of the Sessile Bivalve *Pinna nobilis*." *Scientific Reports* 9 (1): 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43214-6>.
- Cosentino A., Giacobbe S. 2007. "Aspects of Epizoobiontic Mollusc Assemblages on Pinna Shells. I. Composition and Structure." *Cahiers de Biologie Marine* 48 (2): 187–97.
- Craft C. B., Seneca E. D., Broome S. W. 1991. "Loss on Ignition and Kjeldahl Digestion for Estimating Organic Carbon and Total Nitrogen in Estuarine Marsh Soils: Calibration with Dry Combustion." *Estuaries* 14 (2): 175–79. <https://doi.org/10.2307/1351691>.
- D'Alpaos L. 2010. "L'evoluzione Morfologica Della Laguna Di Venezia Attraverso La Lettura Di Alcune Mappe Storiche e Delle Sue Carte Idrografiche." *Istituto Veneto Di Scienze, Lettere e Arti*, 1–58.
- Davenport J., Ezgeta-Balić D., Peharda M., Skejić S., Ninčević-Gladan Ž., Matijević S. 2011. "Size-Differential Feeding in *Pinna nobilis* L. (Mollusca: Bivalvia): Exploitation of Detritus, Phytoplankton and Zooplankton." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92 (2): 246–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.12.033>.
- De Falco G., Baroli M., Murru E., Piergallini G., Cancemi G. 2006. "Sediment Analysis Evidences Two Different Depositional Phenomena Influencing Seagrass Distribution in the Gulf of Oristano (Sardinia, Western Mediterranean)". *Journal of Coastal Research*, 22-5, 1043-1050.
- De Luca M., Candotto S. 2017. "Distribuzione e Densità Di *Pinna nobilis* L. Nella ZSC / ZPS IT 3330005 " Foce Dell' Isonzo - Isola Della Cona ": Dati Preliminari" 38 (2016).
- Demi M. 2003. "Shells of Mollusca Collected from the Seas of Turkey." *Turkish Journal of Zoology* 27: 101–40.
- Duarte C. M. 2002. "The future of seagrass meadows". *Environmental Conservation* 29 (2): 192-206.
- Duarte C. M., Benavent E., Del Carmen Sánchez M. 1999. "The Microcosm of Particles within Seagrass

Posidonia Oceanica Canopies." *Marine Ecology Progress Series* 181: 289–95.

<https://doi.org/10.3354/meps181289>.

Facca C., Sfriso A. 2007. "Epipelagic Diatom Spatial and Temporal Distribution and Relationship with the Main Environmental Parameters in Coastal Waters." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 75 (1–2): 35–49.

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.03.033>.

Fermo P. 2009. "L'acqua e l'ambiente: una sostanza per la terra, una sostanza per la vita". Università degli studi di Milano- Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali.

Fiorito G., Gherardi F. 1999. "Prey-Handling Behaviour of Octopus Vulgaris (Mollusca, Cephalopoda) on Bivalve Preys." *Behavioural Processes* 46 (1): 75–88. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(99\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(99)00020-0).

García-March J. R., García-Carrascosa A. M., Peña Cantero A. L., Wang Y. G. 2007 a. "Population Structure, Mortality and Growth of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia) at Different Depths in Moraira Bay (Alicante, Western Mediterranean)." *Marine Biology* 150 (5): 861–71.

<https://doi.org/10.1007/s00227-006-0386-1>.

García-March J.R., Márquez-Aliaga A., Carter J. G. 2008. "The duplivincular ligament of recent *Pinna nobilis* L., 1758 : further evidence for pterineid ancestry of the Pinnoidea" *J. Paleont.*, 82 (3): 633–39, The paleontological Society.

García-March J. R., Hernandis S., Vázquez-Luis M., Prado P., Deudero S., Vicente N., Tena-Medialdea J. .2020. "Age and Growth of the Endangered Fan Mussel *Pinna nobilis* in the Western Mediterranean Sea." *Marine Environmental Research* 153 (July). <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104795>.

García-March J. R., Pérez-Rojas L., García-Carrascosa A. M. 2007 b. "Influence of Hydrodynamic Forces on Population Structure of *Pinna nobilis* L., 1758 (Mollusca: Bivalvia): The Critical Combination of Drag Force, Water Depth, Shell Size and Orientation." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 342 (2): 202–12. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.09.007>.

García-March J. R. 2005. "Aportaciones al conocimiento de la biología de *Pinna nobilis* Linneo, 1758 (mollusca bivalvia) en el litoral mediterráneo ibérico". Departamento de zoología, Universitat de Valencia.

García-March J. R. 2003. " Contribution to the knowledge of the status of *Pinna nobilis* (L.) 1758 in Spanish coasts". Marine Biology Laboratory, Department of Zoology, University of Valencia.

García-March J. R., Marquez-Aliaga A., Wang Y. G., Surge D., Kurt Kersting D. 2011. "Study of *Pinna nobilis* Growth from Inner Record: How Biased Are Posterior Adductor Muscle Scars Estimates?" *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 407 (2): 337–44.

<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.07.016>.

García-March J. R., Sanchís Solsona M. Á., García-Carrascosa A. M. 2008. "Shell Gaping Behaviour of *Pinna nobilis* L., 1758: Circadian and Circalunar Rhythms Revealed by in Situ Monitoring." *Marine Biology* 153 (4): 689–98. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0842-6>.

García-March J. R., Vicente N. 2006. "Protocol to study and monitor *Pinna nobilis* populations," no. December: 81.

Giorgi F. 2006. "Climate Change Hot-Spots." *Geophysical Research Letters* 33 (8): 1–4. <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>.

Granata T. C., Serra T., Colomer J., Casamitjana X., Duarte C. M., Gacia E. 2001. "Flow and Particle Distributions in a Nearshore Seagrass Meadow before and after a Storm." *Marine Ecology Progress Series* 218: 95–106. <https://doi.org/10.3354/meps218095>.

Gómez-Alba J. A. S. (1988). Guía de campo de los fósiles de España y de Europa. *Ediciones Omega S. A., Barcelona. 925 pp.*

Green Edmund P., Short Fredrick T. 2004. World Atlas of Seagrass. *Choice Reviews Online*. Vol. 41. <https://doi.org/10.5860/choice.41-3160>.

Heide T.V.D., Buoma T.J., Egbert H.V.N., Johan V.D.K., Marten S., Roelofs J.G.M, Katwijk M.V.K, Smolders A.J.P. 2010. "Spatial self-organized patterning in seagrasses along a depth gradient of an intertidal ecosystem". *Ecology*, 91(2), 2010, pp. 362–369

Hendriks I. E., Cabanellas-Reboredo M., Bouma Tjeerd J., Deudero S., Duarte C. M. 2011. "Seagrass Meadows Modify Drag Forces on the Shell of the Fan Mussel *Pinna nobilis*." *Estuaries and Coasts* 34 (1): 60–67. <https://doi.org/10.1007/s12237-010-9309-y>.

Hendriks I. E., Sintes T., Bouma Tjeerd J., Duarte C. M. 2008. "Experimental Assessment and Modeling Evaluation of the Effects of the Seagrass *Posidonia Oceanica* on Flow and Particle Trapping." *Marine Ecology Progress Series* 356 (June 2014): 163–73. <https://doi.org/10.3354/meps07316>.

Hossain M. F., Chen W., Zhang Yu. 2015. "Bulk Density of Mineral and Organic Soils in the Canada's Arctic and Sub-Arctic." *Information Processing in Agriculture* 2 (3–4): 183–90. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.09.001>.

Istituto Siperiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). 2014. "Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di *Poseidonia oceanica*".

Istituto Siperiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).2018. "Il trapianto di fanerogame

acquatiche come misura per il ripristino della lagune costiere. Risultati del Progetto Life Seresto".

Jabro Jalal D., Stevens William B., Iversen William M. 2020. "Comparing Two Methods for Measuring Soil Bulk Density and Moisture Content." *Open Journal of Soil Science* 10 (06): 233–43.

<https://doi.org/10.4236/ojss.2020.106012>.

Kristensen E., Andersen F. 1987. "Determination of Organic Carbon in Marine Sediments Comparison of Two CHN-Analyzer Methods" 109: 15–23.

Lazzara L. C. 2007. "Metodologie Di Studio Dei Lassativi." *Lassativi*, no. June 2014: 91–94.

[https://doi.org/10.1007/978-88-470-0511-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-88-470-0511-2_9).

Libralato S., Pateres R., Pranovi F., Raicevick S., Granzotto A., Giovanardi O., Torricelli P. 2002. "Comparison between the energy flows networks of two Habitats in the Venice Lagoon". *Marine Ecology* (23) Supplement 1 228.236.

Ligurian T. 2007. "Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats." *Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats*, no. April. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6156-1>.

Magni P., Abe N., Montani S. 2000. "Quantification of Microphytobenthos Biomass in Intertidal Sediments: Layer-Dependent Variation of Chlorophyll a Content Determined by Spectrophotometric and HPLC Methods." *Mer* 38 (2): 57–63.

Magno M. C., Bergamin L., Pierfranceschi G., Venti F., Romano E. 2016. "Metodologie e Strumentazione per l'analisi Granulometrica Dei Sedimenti." *ISPRA, Istituto per La Protezione e La Ricerca Ambientale*. <http://www.isprambiente.gov.it/files/eventi/eventi-2016/analisi-granulometriche/CeliaMagno.pdf>.

Manca E., Cáceres I., Alsina J. M., Stratigaki V., Townend I., Amos C. L. 2012. "Wave Energy and Wave-Induced Flow Reduction by Full-Scale Model Posidonia Oceanica Seagrass." *Continental Shelf Research* 50–51: 100–116. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.10.008>.

Marbà N., Díaz-Almela E., Duarte C. M. 2014. "Mediterranean Seagrass (Posidonia Oceanica) Loss between 1842 and 2009." *Biological Conservation* 176: 183–90. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.024>.

Marbà N., Duarte C. M. 1995. "Coupling of Seagrass ( Cymodocea Nodosa ) Patch Dynamics to Subaqueous Dune Migration Published by : British Ecological Society Stable URL : <Http://Www.Jstor.Org/Stable/2261592>." *Journal of Ecology* 83 (3): 381–89.

Marbà N., Duarte C. M. 2010. "Mediterranean Warming Triggers Seagrass (Posidonia Oceanica) Shoot Mortality." *Global Change Biology* 16 (8): 2366–75. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x>.

- Marin F., and Gilles L. 2005. "Molluscan Biomineralization: The Proteinaceous Shell Constituents of *Pinna nobilis* L." *Materials Science and Engineering C* 25 (2): 105–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2005.01.003>.
- Marrocco V., Sicuro A., Zangaro F., Pinna M.. 2018. "First Record of the Protected Species *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) in the Aquatina Lagoon (NATURA 2000 Site IT9150003, South-East Italian Coastline)." *Nature Conservation* 28: 51–59. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.28.26112>.
- Mcleod E., Chmura G.L., Bouillon S., Salm R., Björk M., Duarte C.M., Lovelock E.C, Schlesinger W, H., Silliman B.R. 2011. "A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>". *Front Ecol Environ* 2011; 9(10): 552–560, doi:10.1890/110004.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. 2012. "Aggiornamento del Piano per il Recupero Morfologico e Ambientale della Laguna di Venezia". Proponente: Magistrato delle Acque. Autorità Procedente: Consorzio Venezia Nuova.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato Interregionale alle OO.PP del Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia - tramite il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova.
- Molin E. 2013. "Presenza di praterie di *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson lungo il litorale del Lido di Venezia: Risultati preliminari".
- Montefalcone M., Chiantore M., Lanzone A., Morri C., Albertelli G., Nike Bianchi C. 2008. "BACI Design Reveals the Decline of the Seagrass *Posidonia Oceanica* Induced by Anchoring." *Marine Pollution Bulletin* 56 (9): 1637–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.05.013>.
- Najdek M., Blažina M., Ezgeta-Balić D., Peharda M. 2013. "Diets of Fan Shells (*Pinna nobilis*) of Different Sizes: Fatty Acid Profiling of Digestive Gland and Adductor Muscle." *Marine Biology* 160 (4): 921–30.  
<https://doi.org/10.1007/s00227-012-2144-x>.
- Nielsen S. Suzanne. 1998. "Pigment Analysis." *Instructor's Manual for Food Analysis: Second Edition* 167: 67–69. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5439-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5439-4_19).
- Piano di Gestione dei Bacini Idrografici delle Alpi Orientali. 2010. 04- Subunità idrografica bacino scolante, Laguna di Venezia e mare antistante.
- Richardson C. A., Kennedy H., Duarte C. M., Kennedy D. P., Proud S. V. 1999. "Age and Growth of the Fan Mussel *Pinna nobilis* from South-East Spanish Mediterranean Seagrass (*Posidonia Oceanica*) Meadows." *Marine Biology* 133 (2): 205–12. <https://doi.org/10.1007/s002270050459>.

- Richardson C. A., Peharda M., Kennedy H., Kennedy P., Onofri V. 2004. "Age, Growth Rate and Season of Recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic Determined from Mg:Ca and Sr:Ca Shell Profiles." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 299 (1): 1–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.08.012>.
- Roner M., D'Alpaos A., Ghinassi M., Marani M., Silvestri S., Franceschinis E., Realdon N. 2016. "Spatial Variation of Salt-Marsh Organic and Inorganic Deposition and Organic Carbon Accumulation: Inferences from the Venice Lagoon, Italy." *Advances in Water Resources* 93: 276–87.  
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.11.011>.
- Russo P. 2012. "Segnalazione di una grande colonia di *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) nella Laguna di Venezia".
- Siletic T., Peharda M. 2003. "Population study of the fan shell *Pinna nobilis* L. in Malo and Velico Jezero of the Mljet National Park (Adriatic Sea)". *Sci. MAR.* (67) 91-98.
- Sfriso A., Facca C., Ceoldo S., Silvestri S., Ghetti P.F. 2003. "Role of macroalgal biomass and clam fishing on spatial and temporal changes in N and P sedimentary pools in the central part of the Venice lagoon". *Oceanologica Acta* 26 (2003) 3–13.
- Sfriso A., Facca C., Marcomini A. 2005. " Sedimentation rates and erosion processes in the lagoon of Venice". *Environment International* 31 (2005) 983 – 992.
- Yong-Sik S., Sang-Ock R., Eun-Sook S. 2009. "Characteristics of Benthic Chlorophyll a and Sediment Properties in the Tidal Flats of Kwangyang Bay, Korea." *Algae* 24 (3): 149–61.  
<https://doi.org/10.4490/algae.2009.24.3.149>.
- Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA). 2018. "Linee guida sulle analisi granulometriche dei sedimenti marini".
- Strickland J.D.H., Parsons T.R. 1972. "A practical handbook of Seawater analysis". Fisheries Research Board of Canada, Ottawa 1972.
- Sureda A., Tejada S., Box A., Deudero S. 2013. "Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Levels and Measures of Oxidative Stress in the Mediterranean Endemic Bivalve *Pinna nobilis* Exposed to the Don Pedro Oil Spill." *Marine Pollution Bulletin* 71 (1–2): 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.033>.
- Trigos, S., García-March J.R., Vicente N., Tena J., Torres J. 2014. "Utilization of Muddy Detritus as Organic Matter Source by the Fan Mussel *Pinna nobilis*." *Mediterranean Marine Science* 15 (3): 667–74.  
<https://doi.org/10.12681/mms.836>.

Vicente N., Moreteau J.C., 1991. Statut de *Pinna nobilis* (Linneaus) en Mediterranee (mollusque eulamellibranche). In: Boudouresque, C.F., Avon M., Gravez V. (Eds.), Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée. Gis Posidonie publ, Marseille, pp. 159–168.

Yonge C.M.1953. "Form and Habitat of *Pinna Carnea* Gmelin". Philosophical transactions of the royal society of London.

Ziegler A.C., Hydrologist, USGS, Kansas L. 2002. "Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment". *Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.*

## SITOGRAFIA

- ARPA Veneto, 2020: <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/acque-di-transizione/laguna-di-venezia>
- Atlante della Laguna, il Geoportale della laguna, del territorio e della zona costiera di Venezia: <http://www.atlantedellalaguna.it/?q=node/134>
- Idronaut S.r.l, 2021 : [www.idronaut.it](http://www.idronaut.it)
- Seapoint Sensor Inc. 2013. "User manual. Seapoint Turbidity Meter": <http://www.seapoint.com/stm.htm>
- Seapoint Sensor Inc. 2000. "User manual. Seapoint Chlorophyll Fluorometer": <http://www.seapoint.com/scf.htm>
- Sfriso A., Boscolo R., Facca C., Buosi A., Bonometto A., Parravicini M. " LIFE12 NAT/IT/000331 SERESTO HABITAT 1150\* (COASTAL LAGOON) RECOVERY BY SEAGRASS RESTORATION. A NEW STRATEGIC APPROACH TO MEET HD & WFD OBJECTIVES, 2014-2018" <http://www.lifenseresto.eu/lifenseresto/download/>
- Comune di Venezia- Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, 2021: <https://www.comune.venezia.it/node/7498>
- SIAP+MICROS,2021: <http://www.siapmicros.com/prodotti/meteorologia-e-idrologia/anemometri/t031-tvv>
- SOLVe: [http://solve.corila.it/layers/?limit=20&offset=0&title\\_icontains=Fan](http://solve.corila.it/layers/?limit=20&offset=0&title_icontains=Fan)
- Earth observatory: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/83394/parting-the-sea-to-save-venice>

## APPENDICE

### LA LAGUNA DI VENEZIA

Le origini della laguna risalgono approssimativamente a circa 6000 anni fa, in concomitanza dell'innalzamento del livello del mare nel periodo post-glaciale del würmiano. L'attuale configurazione è il risultato di un complesso di eventi naturali che ne hanno determinato la formazione e del succedersi di eventi antropici che hanno alterato l'evoluzione naturale (ARPA Veneto, 2020).

Molto tempo fa la zona lagunare più prossima alla conterminazione, la laguna morta, era ricca di barene, tipiche forme lagunari le cui quote sono sufficientemente elevate per essere sommerse dalle acque solamente durante le fasi di alta marea. Tra le barene, solcate da molti piccoli canali, si trovano specchi d'acqua poco profondi creando un tessuto morfologico molto articolato (D'Alpaos 2010).

A causa di alcuni fenomeni naturali come la subsidenza del suolo e l'innalzamento del livello medio del mare, la laguna veneta soffre di una forte riduzione del territorio occupato dalle barene, che conduce all'approfondimento delle velme e delle zone sommerse che sono vicine ai canali. Al giorno d'oggi è molto raro che si scoprano i bassifondi della laguna viva anche durante gli eventi di bassa marea eccezionale. L'evoluzione morfologica della laguna negli ultimi secoli è stata fortemente influenzata dalle opere realizzate dall'uomo sovrapponendosi agli eventi derivanti da fenomeni naturali.

Alcuni studiosi attribuiscono il degrado della laguna alle opere costruite dall'uomo intorno al 1880 e le attività collegate ad esse; altri sostengono che i cambiamenti osservati sono ancora riconducibili all'innalzamento del livello medio del mare e alla subsidenza del suolo in una laguna non più alimentata da consistenti apporti fluviali. Il Comune di Venezia, ha promosso la divulgazione di alcune mappe storiche, attraverso di esse è stato possibile dare al pubblico informazioni sullo stato della laguna partendo dal XIV secolo (D'Alpaos 2010).

La trasformazione della laguna di Venezia è iniziata dal XIV e XV secolo con la realizzazione di alcune opere da parte dell'uomo, la deviazione di importanti corsi d'acqua che sfociavano in laguna come il Brenta o il Piave che interferivano con la laguna in occasione delle piene.

Nel corso del XIV secolo è stata presa la decisione di estromettere dalla laguna il fiume Brenta e Bacchiglione, questo ebbe esiti decisivi per le sorti della laguna, segnò l'inizio dell'inversione di tendenza nella sua evoluzione morfologica. La laguna iniziò a risentire di importanti fenomeni erosivi benché fino a quel momento era dominata dall'apporto di sedimenti fluviali.

Successivamente, la Repubblica di Venezia decise di estromettere tutti i corsi d'acqua che si immettevano in laguna. Le portate del Sile favorivano l'impaludamento degli specchi d'acqua in cui sfociava oltre ad altri problemi di ordine sanitario dovuto ad una eccessiva dolcificazione delle acque. Dalle mappe storiche si osservano delle variazioni rispetto alla laguna cinquecentesca nei rilievi ai limiti della laguna viva di fronte alla bocca di Malamocco, in questi anni l'antico delta che si era formato per apporti solidi di sedimenti fluviali è in fase di grande demolizione. Alte opere antropiche, che hanno condotto all'attuale

conformazione della laguna, sono state la modificazione delle bocche di porto e la costruzione dei Murazzi per la difesa dei litorali (completata nel 1796), la costruzione dei moli foranei per evitare l'interramento delle bocche di porto (1840-1900), lo scavo del canale Vittorio- Emanuele (1925) e nuovo porto di Marghera e il canale Malamocco-Marghera, questi ultimi in modo da favorire il transito di grandi navi e permettere il loro ingresso il laguna (1960-1969) (MATTM, 2012).

Dall'osservazione delle carte idrografiche elaborate dalle carte storiche della laguna, si evidenziano i fenomeni di progressiva erosione caratterizzati peraltro da intensità differenti a seconda del periodo considerato (D'Alpaos, 2010)

Negli ultimi decenni la laguna ha risentito in modo negativo di forti processi erosivi, in particolar modo nella parte centrale del suo bacino, all'interno del perimetro formato dai grandi canali che si dipartono dalle bocche di Lido e di Malamocco e dai canali realizzati dall'uomo nel corso del XX secolo per permettere l'accesso ai porti interni alle navi moderne di maggiore pescaggio. Conseguentemente a tali fenomeni la laguna sta perdendo le caratteristiche che la contraddistinguono; tra cui i fondali poco profondi, innervati da una rete di canali che, penetrando dalle bocche verso l'interno con successive e sempre più minute ramificazioni, giunge fin quasi ai suoi margini, portandovi i benefici del periodico alternarsi delle maree alle bocche di porto e contribuendo in modo decisivo al ricambio delle acque.

I lidi che separano la laguna dal mare mostrano alcuni cambiamenti rispetto alla configurazione cinquecentesca e i sedimenti del Piave condizionano pesantemente l'agibilità dei tre porti della laguna.

I lidi sono troppo distanti tra di loro per consentire alle correnti di marea di contrastare in modo efficace i processi di sedimentazione dovuti al Piave con il conseguente accrescimento della barra di foce davanti alle bocche di porto (D'Alpaos 2010). In tutta la laguna morta gli specchi d'acqua sembravano interclusi tra le barene occupando aree anche di significativa estensione, collegati tra loro da una serie di canali.

Con la carta della laguna realizzata dal capitano napoleonico Augusto Denaix, 1810, si riescono ad ottenere alcune informazioni in modo generale sullo stato dei fondali dei canali che, dipartendosi dalle bocche, incidono i bassifondi e le barene della laguna di Venezia. Le finalità erano militari e le intenzioni erano quelle di ridare importanza al porto di Venezia come nel passato; per questo Denaix dedicò grande cura alla ricognizione dello stato delle bocche di porto e del fondale immediatamente antistante.

Nel 1841 si colloca la seconda carta geolocalizzata realizzata da Antonio Bernardi; proprio in questi anni è stato approvato il nuovo regolamento di Polizia della Laguna nel quale sono riassunte tutti le leggi e le terminazioni emanate dalla Repubblica a difesa della laguna dai danni determinati da opere dell'uomo che ne restringano l'ampiezza e ne diminuiscano la profondità o siano un ostacolo al libero movimento della marea.

Solo con la carta idrografica del 1901 ci è stata fornita una rappresentazione generale della batimetria della laguna che raccoglie i risultati dei rilievi in 18 tavolette in scala 1:15.000 nelle quali sono reperibili dati sufficientemente accurati sulle profondità dei canali della rete principale (Università di Padova-

Dipartimento di ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica). Facendo un confronto con la carta redatta da Augusto Denaix all'inizio del XIX secolo emergono delle importanti differenze per le conseguenze sull'evoluzione della morfologia lagunare. In questo caso si tratta di variazioni riconducibili innanzitutto agli interventi realizzati dall'uomo alle bocche di porto, per adeguarle alle esigenze della moderna navigazione. La prima bocca sulla quale si è intervenuti è stata quella di Malamocco, è protetta dai moli sui due lati che si protendono fino a raggiungere fondali ad una profondità di 10 metri. Le profondità delle zone d'acqua adiacenti ai canali assumono valori modesti. Per la parte di laguna che resta compresa tra le bocche di Malamocco e di Lido e i grandi canali che da esse si dipartono, le profondità sono mediamente di poco inferiori ai 50 cm con riferimento al medio mare. Si tratta di profondità che di fatto confermano l'osservazione di Augusto Dénaix circa l'estensione delle superfici che un tempo venivano a scoprirsi durante le normali fasi di bassa marea in condizioni di sizigie. Per quanto riguarda le superfici occupate dalle barene, una prima osservazione che si può formulare riguarda la loro estensione. All'interno del perimetro della conterminazione definito nel 1792, le aree occupate dalle barene sono di poco variate rispetto alla laguna ottocentesca, essendo valutabili in circa 170 km<sup>2</sup>. Esse si distribuiscono su superfici morfologicamente molto articolate, comprendendo al loro interno specchi d'acqua più o meno estesi. Le aree di barena sono solcate da piccoli canali naturali interconnessi e da numerosi tagli artificiali, facilmente riconoscibili per il loro andamento planimetrico rettilineo.

Dagli anni 20 del secolo scorso sono iniziati i rilievi sistematici all'interno della laguna di tutte le forme presenti, impiegando una scala a grande dettaglio, ottenendo la carta idrografica in scala 1:75000 che sintetizza gli aspetti più importanti dello stato della laguna nel momento in cui stava per essere completata la costruzione dei moli anche alla bocca di Chioggia e altri importanti interventi.

Facendo un confronto con la carta idrografica del 1901 si osservano alcune importanti differenze, alcune di esse dovute ai naturali fenomeni di evoluzione del bacino lagunare dovute alla variazione del livello del mare e alla subsidenza del suolo, in parte anche dalle opere realizzate dall'uomo sia sulle bocche di porto sia all'interno della laguna. Alla bocca di Lido, riconfigurata con la costruzione dei moli da circa 40 anni, dopo la completa rimozione mediante dragaggio della barra di foce (1912), i fondali sembrano aver raggiunto una nuova condizione di sostanziale equilibrio.

Dopo la grande alluvione del novembre 1966, che portò all'attenzione dell'opinione pubblica la vulnerabilità di Venezia e della sua laguna rispetto alla difesa dalle "acque alte", tra le molte iniziative promosse per comprendere le cause di quell'evento disastroso si decise di intraprendere un nuovo rilievo di grande dettaglio del bacino lagunare, adottando la stessa scala di restituzione (1: 5.000).

E' stata ottenuta dall'Ufficio Idrografico dell'ex Magistrato alle Acque, oggi Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle OO.PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia, la carta idrografica, che sintetizza gli aspetti dello stato della laguna in anni cruciali, essendo immediatamente successiva al completamento del canale navigabile Malamocco-Marghera (1964-1968). I

fondali tra le bocche di porto presentano profondità adeguate rispetto alle necessità della navigazione e alle aspettative dei progettisti delle opere, anche se a Lido, diversamente da Malamocco, è necessario procedere periodicamente con qualche operazione di dragaggio per mantenere lungo tutto il canale navigabile i tiranti d'acqua richiesti dalle navi di maggiore pescaggio dirette alla Stazione Marittima e a Porto Marghera. Le profondità, infatti, risultano sicuramente superiori a quelle del rilievo del 1932, testimonianza del fatto che la bocca, a parità di altre condizioni, è interessata da un più intenso scambio di portate con il mare. L'approfondimento non è in alcun modo riconducibile ai soli effetti di subsidenza del suolo e di innalzamento del livello medio del mare; esso è indicativo di processi erosivi intensi e generalizzati, destinati ad aggravarsi negli anni successivi. Quanto alle superfici di barena, la carta conferma l'intensità dei fenomeni erosivi che colpiscono l'intero bacino lagunare, i cui effetti si riflettono anche su queste forme tra le più caratteristiche della laguna di Venezia. La carta idrografica del 2003 è stata costruita utilizzando recenti rilievi batimetrici e topografici disponibili, in modo da permettere un immediato, agevole, confronto con le precedenti carte idrografiche della laguna. Rispetto alla situazione del 1970 le variazioni morfologiche testimoniano un degrado generalizzato preoccupante, se si guarda ai problemi complessi della salvaguardia della morfologia lagunare; oltre alle profondità medie si sono incrementate anche le portate scambiate. Quanto alla bocca di Chioggia, il confronto della situazione attuale con i fondali dei rilievi batimetrici precedenti (1932 e 1970) mette in evidenza una generale tendenza all'approfondimento. Nell'arco di appena un secolo si riscontrano nella laguna centrale incrementi di profondità media di quasi 1 m, di gran lunga superiori agli effetti della subsidenza e dell'eustatismo, che non possono essere considerati l'unica causa del fenomeno.

L'indiscutibile processo erosivo osservato a danno della laguna è stato intensificato dall'opera dell'uomo attraverso i numerosi interventi, tra cui il canale Malamocco-Marghera.

L'insieme delle carte raccolte per illustrare le modificazioni subite dalla laguna di Venezia dopo l'allontanamento dei fiumi sicuramente apre molti punti di domanda sulla futura evoluzione morfologica della laguna.

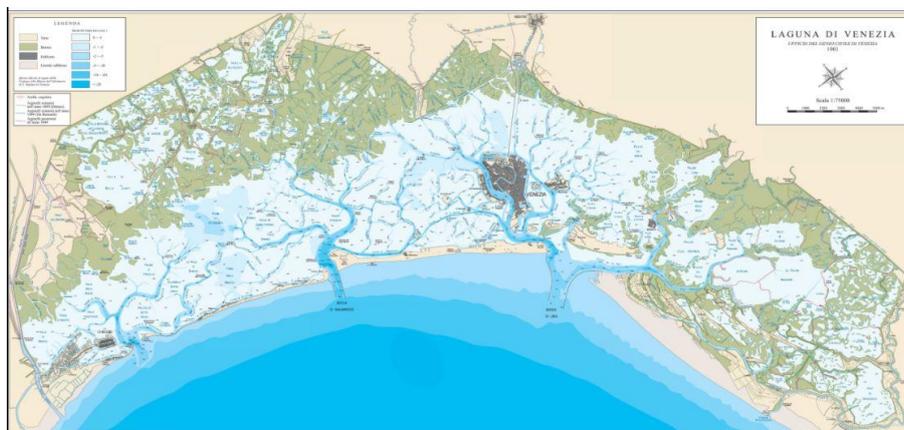
Le mappe storiche, e le carte idrografiche derivanti dai rilievi eseguiti nel corso dell'ultimo secolo, evidenziano due fenomeni importanti, riguardanti la progressiva riduzione delle superfici occupate dalle barene e l'approfondimento dei suoi fondali. Le diverse carte, rappresentavano non solo le superfici coperte da barene, ma evidenziavano l'intensità dell'erosione diversa a seconda del periodo considerato. Fino ai primi del Novecento, il tasso di erosione risulta moderato, circa  $0,34 \text{ km}^2/\text{anno}$ . Nel periodo considerato, si è passati da una superficie complessiva delle barene di circa  $255 \text{ km}^2$ , calcolata all'inizio del 1600, a poco meno di  $170 \text{ km}^2$ , valutati all'inizio del 1900. Si è registrato il cambiamento del tasso di erosione nel Novecento; la loro superficie, calcolata all'interno della conterminazione del 1924, si riduce di oltre  $110 \text{ km}^2$ , con una perdita addirittura di  $94 \text{ km}^2$  nei primi settant'anni del secolo, arrivando a  $64 \text{ km}^2$  del

1970, valori che presentano un tasso di erosione annua quasi quadruplicato rispetto a quello dei tre secoli precedenti. Poiché si possono considerare mediamente costanti gli effetti della sommersione.

Di seguito sono riportate 3 carte idrografiche della laguna di Venezia in tre periodi differenti: 1811, 1901, 2003 (Figura 1).



Carta idrografica della laguna di Venezia di Augusto Denaix, si tratta della prima carta idrografica, redatta con criteri topografici moderni sulla base di rilievi eseguiti sul campo tra il 1809 e il 1811.



Carta idrografica della laguna di Venezia del 1901. La carta è stata ricostruita partendo dai rilievi eseguiti negli anni 1897-1901 a cura del Genio Civile di Venezia. Le tavolette del rilievo originale alla scala 1:15.000 sono state georeferenziate e quindi unite tra loro in modo da fornire una visione d'insieme della laguna all'inizio del XX secolo. All'epoca alcune grandi opere erano state già realizzate, come il confinamento tra moli delle bocche di Malamocco e di Lido.



Carta idrografica della laguna di Venezia nel 2003. La carta è stata realizzata sulla base dei rilievi eseguiti negli anni intorno al 2000 a cura del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti- Provveditorato Interregionale alle OO.PP del Veneto- Trentino Alto Adige- Friuli Venezia Giulia attraverso il Consorzio Venezia Nuova. Il rilievo sfrutta le tecniche più moderne di rilevamento disponibili sia per le parti in acqua sia per le parti a terra.

Come si vede dalle 3 mappe riportate, le superfici occupate da barene hanno subito un forte calo dal 1800 ad oggi; hanno subito dei forti cambiamenti anche le aree edificate le quali mostrano una chiara espansione. La profondità una caratteristica che contraddistingue il territorio lagunare mostra un chiaro aumento.

Figura 1. Carte idrografiche ricostruite da rilievi storici (Atlante della Laguna, 2010).

I confini lagunari verso terra sono marcati da opere umane il cui riferimento principale è la “conterminazione lagunare”. Tale opera è costituita da 129 cippi che segnano il confine tra la laguna e la terraferma. Verso il mare la laguna di Venezia è delimitata da un cordone litoraneo costituito, da sud a nord, dai lidi: Sottomarina, Pellestrina, lido di Venezia e Cavallino, separati tra loro dalle tre bocche di porto di Chioggia, Malamocco e Lido (Figura 2). L’immagine seguente mostra i profili di tre differenti linee di conterminazione della laguna; quella originaria del 1791, l’aggiornamento fatto nel 1924 e la più recente del 1990. La linea di conterminazione delimita i confini del bacino lagunare ovvero l’area di competenza gestionale dell’ex Magistrato alle acque di Venezia oggi Provveditorato interregionale alle opere pubbliche del Triveneto. L’esigenza di tracciare il confine lagunare fu avvertita dalla Repubblica di Venezia sin dal 1600, per definire in modo preciso i limiti territoriali entro i quali far valere le disposizioni e i regolamenti a salvaguardia della Laguna. La linea di conterminazione fu quindi fissata sul campo, attraverso il posizionamento, tra il 1791 e il 1792, di 99 cippi in cotto, che solo successivamente vennero sostituiti, da altrettanti in pietra d’Istria, più resistenti. Il tracciato che li univa, lungo circa 157 km, delimitava così il territorio lagunare. La linea di conterminazione lagunare venne modificata nel 1924 con un nuovo tracciato che ripercorreva essenzialmente quello storico, eccetto nell’area del così detto “Delta del Brenta”,

escludendo dal perimetro lagunare gli antichi dossi di Conche e Fogolana situato nella laguna sud. Nel 1990 è stato aggiornato il tracciato della conterminazione lagunare, per adeguarlo ai cambiamenti morfologici naturali e antropici avvenuti nei due secoli trascorsi. L'attuale confine di conterminazione include così nello specchio lagunare le tre bocche di porto e l'isola di S. Erasmo.

Nell'immagine che segue sono riportate queste conterminazioni sopracitate ma anche la rappresentazione dei cippi, in verde quelli ancora presenti nel territorio mentre quelli in rosso sono stati rimossi (Atlante della laguna, 2014).

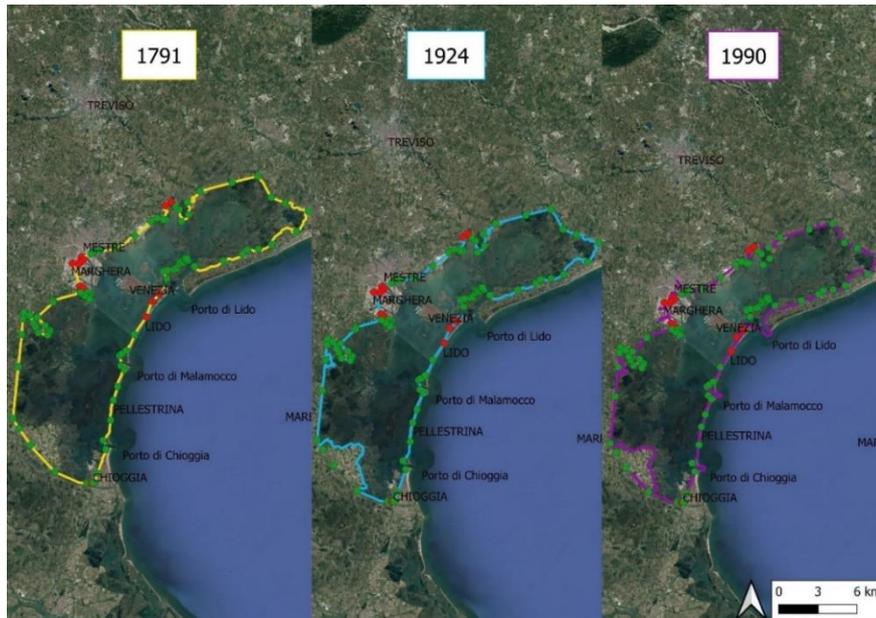


Figura 2. Conterminazione lagunare in tre diversi periodi storici, 1791, 1924 e 1990. Mappa realizzata grazie al Software QGis.