



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.**

**Laurea di primo livello in Biologia  
Curriculum di Biologia Marina**

ELABORATO DI LAUREA

**APPLICAZIONE DI INDICI DI QUALITÀ AMBIENTALE  
PER LE BIOCENOSI DI SUBSTRATO DURO NELLA  
LAGUNA DI VENEZIA**

**TUTOR: Dr. Francesca Cima**  
Dipartimento di Biologia

**LAUREANDA: Crivellaro Patrizia**

**ANNO ACCADEMICO 2006-2007**



## INDICE

<b>1. RIASSUNTO</b>	pag. 4
<b>2. INTRODUZIONE</b>	5
2.1 Il “fouling” di substrato duro nella laguna veneta	5
2.2 L’utilizzo di Indici Biologici	9
<b>3. SCOPO DELLA TESI</b>	13
<b>4. MATERIALI E METODI</b>	14
4.1 Le stazioni di campionamento	14
4.2 I pannelli	14
4.3 L’attività di campionamento	15
4.4 Analisi dei dati raccolti: il riconoscimento delle specie	16
4.5 Analisi dei dati raccolti: descrittori di biodiversità e bioindice	17
<b>5. RISULTATI E DISCUSSIONE</b>	18
5.1 L’elaborazione dei dati	18
5.2 Parametri chimico-fisici	19
5.3 Descrittori della biodiversità e bioindice	20
5.4 La stazione 1	20
5.5 La stazione 2	22
<b>6. CONCLUSIONI</b>	24
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b>	26
<b>APPENDICE</b>	29

## 1. RIASSUNTO

Il lavoro svolto in questa tesi è parte di un progetto finanziato dal Consorzio Ricerche Lagunari (Co.Ri.La.) sulla salvaguardia della Laguna di Venezia, con lo scopo di validare il bioindice sviluppato durante la precedente ricerca effettuata durante la campagna di campionamenti del 2004-2005 relativi allo studio della qualità ambientale di due stazioni nel bacino meridionale della Laguna di Venezia valutata attraverso la raccolta di parametri chimico-fisici e biotici.

Sono stati immersi dei pannelli di legno e di acciaio in due stazioni della laguna per un anno, da Marzo 2006 ad Aprile 2007, e la successione ecologica della comunità a “macrofouling” di substrato duro è stata seguita attraverso campionamenti a cadenza mensile. Il mio lavoro si è inserito al termine dei suddetti campionamenti ed è consistito nell’analisi delle foto digitali dei pannelli necessaria per operare il riconoscimento delle specie e per raccogliere i dati dalla cui elaborazione sono stati ottenuti i più comuni descrittori della biodiversità a livello di comunità incrostante: ricchezza in specie, struttura della comunità e indice di copertura-abbondanza (indice di Benninghoff). Questi indici sono stati infine messi in relazione tra loro e con l’andamento dei parametri chimico-fisici per ricavare il “bioindice” che ha permesso di confermare un buono stato di salute delle due stazioni prese in esame in quanto i dati di questa campagna sono comparabili con quelli della campagna precedente (2004-2005), nonostante si siano verificate delle variazioni dovute alle aberrazioni metereologiche del periodo preso in esame.

## 2. INTRODUZIONE

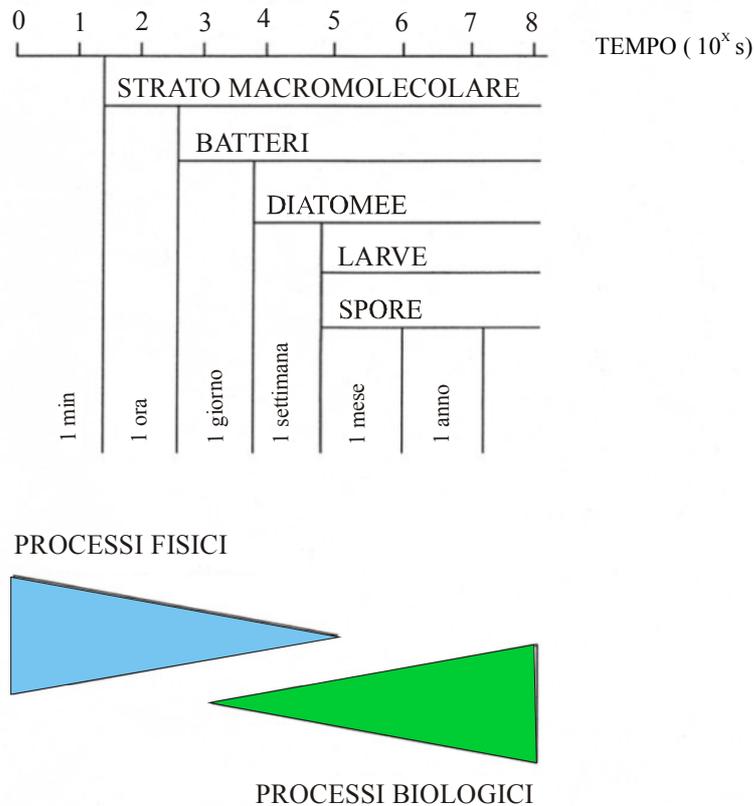
### 2.1 Il “fouling” di substrato duro nella laguna veneta

Lo studio del “fouling” nella laguna di Venezia si è sviluppato da diverse esigenze: da una parte c’è il problema dei danni da incrostazioni su oggetti artificiali sommersi come imbarcazioni, strutture portuali, piattaforme, boe di segnalazione, reti da pesca, tubazioni per le acque di scambio e dall’altra, da un punto di vista naturalistico, lo sviluppo di comunità di macrofouling rappresenta uno strumento per la valutazione della biodiversità nella laguna. Si definisce “fouling” l’insieme dei popolamenti fito- e zoobentonici sessili, in grado di insediarsi su un substrato duro naturale o artificiale. Tale associazione non è definibile dal punto di vista biocenotico come entità univoca e ben distinta, ma varia con il mutare delle molteplici situazioni ambientali (Relini, 1977). Il “fouling” su substrati duri costieri è caratterizzato da una diversità e biomassa di specie superiore rispetto a quello su substrati di mare aperto. Le ragioni del maggior tasso di concentrazione di organismi in ambiente costiero possono essere molteplici: 1) la temperatura più elevata dello strato superficiale della colonna d’acqua che è anche molto produttivo, 2) l’alta concentrazione superficiale di cibo e fattori biogeni che favoriscono la crescita degli organismi, 3) un numero superiore di superfici dure dove è possibile l’insediamento, 4) la densità di comunità bentoniche che rappresentano un’importante sorgente di “biofouling”. Inoltre le aree marine costiere rappresentano habitat instabili nei quali le comunità non raggiungono mai completamente lo stadio di “climax”, perché le loro successioni sono interrotte da diversi fattori, come tempeste, abrasione da frangenti, nonché elevata predazione, per cui le biocenosi ricominciano di nuovo a svilupparsi dai primi stadi di successione caratterizzati dalla presenza di specie a crescita veloce, determinando, così, un tasso totale di crescita delle comunità molto alto (Railkin, 2004a,b).

Nella successione delle comunità che colonizzano i substrati duri si possono riconoscere una *sequenza temporale*, una *stagionale* e una *biotica* o *vera successione*. La *sequenza temporale* è costituita dal succedersi degli stadi di colonizzazione e prevede quattro tappe (Wahl, 1989):

- condizionamento biochimico: assorbimento di macromolecole e ioni disciolti nell'acqua;
- colonizzazione batterica o film batterico;
- colonizzazione da parte di eucarioti unicellulari autotrofi ed eterotrofi o "microfouling";
- colonizzazione da parte di eucarioti pluricellulari autotrofi ed eterotrofi o "macrofouling".

Queste quattro fasi sono regolate da meccanismi fisici e biologici in maniera diversa: il film batterico ha una natura mista biologico-fisica, mentre con il micro- e il macrofouling i fattori biologici cominciano a prevalere su quelli fisici (Fig. 1). Il primo stadio non può essere considerato un vero e proprio processo di colonizzazione, poiché non ne viene coinvolto alcun organismo, ma è comunque una fase importante e indispensabile, perché la deposizione di materiale organico, formato da polisaccaridi e proteine disciolti in acqua e derivanti dalla decomposizione di organismi vegetali e animali, influenza la formazione della pellicola primaria (biofilm), soprattutto nei primi giorni dall'inizio della successione ecologica, selezionando i ceppi batterici capaci di colonizzare quella superficie (Baier, 1972). Il materiale organico disciolto nell'acqua viene adsorbito dalla superficie e la rende così leggermente elettronegativa. Ci sono idee contrastanti tra i vari autori sul fatto che le prime fasi di insediamento influenzino la costituzione finale della comunità: alcuni (Neihof e Loeb, 1970) sostengono che le sostanze adsorbite dalla superficie forniscano il nutrimento e la fonte d'attrazione per i batteri esercitando un ruolo fondamentale sia sulle modificazioni dei substrati sia sull'inizio dell'insediamento; altri (Huvè, 1970), invece, ritengono che le caratteristiche della comunità finale dipendano dai parametri ambientali e soprattutto da quelli climatici. Dopo il condizionamento della superficie si forma fin dai primi giorni il "film primario" o "biofilm", che è costituito da detrito e batteri con cicli di moltiplicazione molto rapidi. I primi colonizzatori delle superfici sommerse sono batteri chemioeterotrofi bastoncellari, che fanno la loro comparsa sul substrato anche dopo una o due ore (Corpe, 1972; Kjelleberg, 1984; Railkin *et al.*, 1993). Sono nanobatteri copiotrofi, capaci di crescere solo ad alte concentrazioni di nutrienti.



**Figura 1** - Cronologia della colonizzazione di superfici dure (modificato da A. I. Railkin, 2004a)

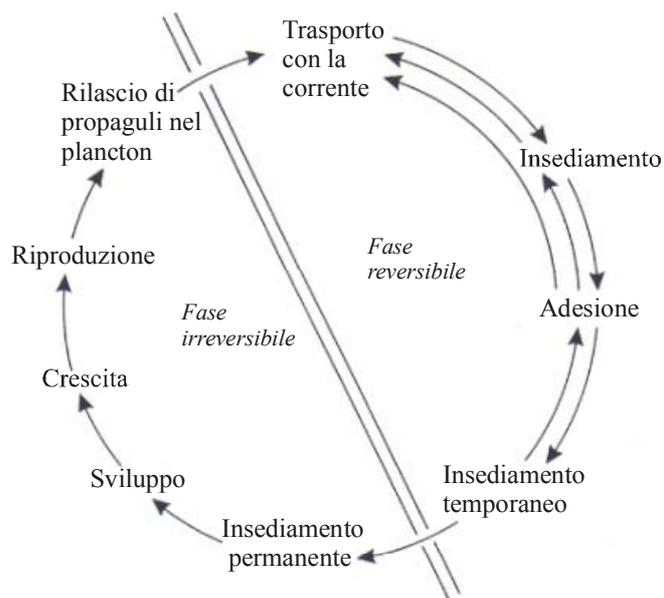
Le condizioni per il loro sviluppo vengono create grazie all'assorbimento di sostanze organiche e inorganiche dalle superfici dure, che dopo poco tempo divengono sature di nutrienti (Baier, 1984; Wahl, 1989). Ad un certo punto, avendo esaurito la riserva di nutrienti, i batteri copiotrofi preparano le condizioni necessarie per lo sviluppo di batteri oligotrofi, che sono attivi metabolicamente a concentrazioni di cibo inferiori. L'attrazione verso la superficie dipende da diversi fenomeni che possono anche manifestarsi contemporaneamente: chemiotassi, interazioni elettrostatiche, effetti idrofobici (Marshall, 1972).

Intorno al quindicesimo giorno comincia ad insediarsi il "microfouling" che comprende, oltre a batteri e detrito, protozoi, diatomee, nematodi e microalghe. Il "microfouling" oltre a precedere cronologicamente, induce e stimola il "macrofouling", che è rappresentato da macroalghe e invertebrati sessili come briozoi, poriferi, idrozoi, antozoi, policheti, molluschi, cirripedi, tunicati. Il "macrofouling" viene suddiviso in due tappe principali: la prima comprende organismi colonizzatori a crescita rapida, molto spesso sono specie coloniali come

idroidi e briozoi, ma possono essere anche specie solitarie come anemoni e policheti; la seconda è rappresentata da organismi a crescita lenta come molluschi, spugne e ascidie (Redfield e Deevy, 1952; Zevina, 1972; Rudyakova, 1981; Chalmer, 1982; Harms e Anger, 1983; Smedes, 1984; Braiko, 1985; Oshurkov, 1985; Hirata, 1987; Khalaman, 1989). La successione del “macrofouling” è un processo completamente naturale e lo stadio finale, o climax, è caratterizzato da una stabile abbondanza e il numero di specie totale è raggiunto in tempi diversi a seconda della zona climatica e della profondità a cui è posto il substrato (Connell and Slatyer, 1977).

La colonizzazione prevede due fasi principali, una reversibile e una irreversibile. La prima fase, quella reversibile, prevede eventi come il trasporto con la corrente, l’insediamento, l’adesione e l’insediamento temporaneo alla superficie. L’adesione rappresenta il processo cruciale di “biofouling” di qualunque substrato duro ed è seguita da diversi meccanismi tra i quali il più importante è la secrezione superficiale di sostanze adesive da parte dell’organismo insediante (Railkin, 2004c). La transizione da fase reversibile a fase irreversibile si verifica con la formazione dell’insediamento permanente, al quale segue lo sviluppo, la crescita, la riproduzione e il rilascio di spore e larve nel plancton (Fig. 2). La sequenza del processo di “biofouling” non è stocastica, ma è direzionale, dal momento che ogni processo coinvolto, attiva quello immediatamente successivo (Railkin, 2004c).

La *sequenza stagionale* è legata ai diversi momenti dell’anno in cui animali e piante si riproducono e si insediano. Nella laguna veneta l’insediamento più intenso si verifica durante i mesi estivi, a partire da Giugno-Luglio fino a Ottobre compreso, e negli strati superficiali. La sequenza biotica comprende i cambiamenti nella struttura e nelle funzioni della comunità, cioè il susseguirsi di specie diverse secondo un certo ordine cronologico fino al raggiungimento dello stadio di equilibrio dinamico o “climax” (Odum, 1995). Lo stadio iniziale viene definito “fouling primario” ed è costituito dalla riunione casuale di specie colonizzatrici e organismi pionieri come batteri, alghe e idrozoi con grandi capacità di colonizzare superfici vergini.



**Figura 2** - Ciclo di colonizzazione delle specie sessili con stadio dispersivo mobile (modificato da Railkin, 2004c)

Il “fouling primario” diventa il substrato biologico idoneo per il “fouling secondario”, che è rappresentato dai mitili, che emergono solo su organismi già esistenti e rappresentano il raggiungimento dello stadio di “climax” (Scheer, 1945).

## 2.2 L'utilizzo di Indici Biologici

Per valutare lo stato ecologico di una laguna si è riscontrato che risulta molto più immediato e rapido l'utilizzo di indici biologici, che riassumono molti dati riguardanti le diverse variabili ambientali, rispetto ai monitoraggi, che risultano lunghi, impegnativi e instabili sia nel registrare i cicli normali, sia nel segnalare il momento delle crisi e i loro effetti nel tempo. L'utilizzo di bioindici si fonda sul principio che la comunità bentonica risponde ai miglioramenti nella qualità dell'habitat con 1) l'aumento dell'abbondanza degli organismi, 2) l'aumento della diversità delle specie quando nuovi taxa sono in grado di sopravvivere, 3) il passaggio delle specie dominanti da tolleranti a sensibili all'inquinamento (Chang *et al.*, 1992). Sulla base di esperienze italiane ed europee è stato recentemente formulato il bioindice “Lesina”, che viene utilizzato negli ambienti lagunari e prevede l'utilizzo dei bivalvi come bioindicatori (Breber *et al.*, 1997). Questi organismi sono considerati un parametro molto importante perché sono presenti

costantemente in laguna e perché sono bentonici, quindi sono costretti a subire tutte le condizioni ambientali presenti nel luogo, senza la possibilità di sottrarsi quando queste diventano sfavorevoli. Le condizioni migliori in laguna per quanto riguarda biodiversità e produttività si ottengono quando il benthos è dominato dai bivalvi, mentre sono meno buone quando prevalgono anellidi e artropodi e sono pessime quando si ha la completa assenza di macrofauna bentonica. I bivalvi vivi nel benthos sono una conferma che le acque sono ben ossigenate anche nello strato profondo dove si verificano più frequentemente fenomeni anossici; i bivalvi sono inoltre la base alimentare di crostacei, pesci e uccelli che dominano nell'ecosistema paralico, trovandosi ad un livello intermedio nella piramide trofica. Il Bioindice "Lesina" formula un giudizio di qualità, dove all'aumento del valore numerico corrisponde un aumento di qualità. Il Bioindice "Lesina" tiene conto della zonazione, della biomassa e del numero di specie della macrofauna bentonica invertebrata degli organismi sessili, fossori e sedentari.

La formula di tale indice è:

$$\ln \left( \sum n_i / N \cdot b_i \cdot S_i \right)$$

dove

$i$  = indice che varia in base alla Zona (I [foce a mare] – VI [mare aperto])

$n_i$  = numero di unità campionarie (u.c.) ricadenti nella zona  $i$

$N$  = numero totale di u.c. del campione

$b_i$  = biomassa media (g peso umido) della zona  $i$

$S_i$  = numero di specie di macrofauna bentonica nella zona  $i$

Il valore dello stato ecologico della laguna è compreso tra 1 e 10.

Il Bioindice "Lesina" si può ritenere un sottoinsieme di un altro indice definito Indice Bentonico di Integrità Biotica (B-IBI) (Weisberg *et al.*, 1997), che viene applicato per gli estuari ed è stato formulato dopo una campagna ventennale di sperimentazione, che rientra nei programmi di monitoraggio e valutazione ambientale dell'Agenzia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti (EPA). L'Indice Bentonico di Integrità Biotica consente di classificare lo stato di salute delle comunità, richiedendo, però, una notevole professionalità nel campo del riconoscimento sistematico. Il Bioindice "Lesina", invece, è applicabile alla realtà italiana, è meno impegnativo dell'B-IBI ed è più alla portata degli operatori degli

enti regionali per l'ambiente. Tuttavia, tale indice si applica alle piccole lagune alla foce di un fiume e ai substrati molli. Pertanto, per quanto riguarda un ecosistema marino costiero particolarmente complesso come la Laguna di Venezia e lo sviluppo del macrofouling di substrato duro è stato recentemente introdotto un nuovo bioindice (Cima *et al.*, 2007). Tale indice consente di effettuare comparazioni qualitative tra le diverse stazioni della laguna veneta e seguirne nel tempo le variazioni stagionali, anche in relazione con eventuali impatti antropici:

$$\text{Log}_{10} ( R \cdot A \cdot I_{\text{pH}} \cdot I_{\text{T}} \cdot I_{\text{S}} )$$

dove:

R = ricchezza in specie, cioè il numero di specie per mese presenti su tutti i pannelli dello stesso tipo

A = area occupata dalla specie per mese (cm<sup>2</sup>)

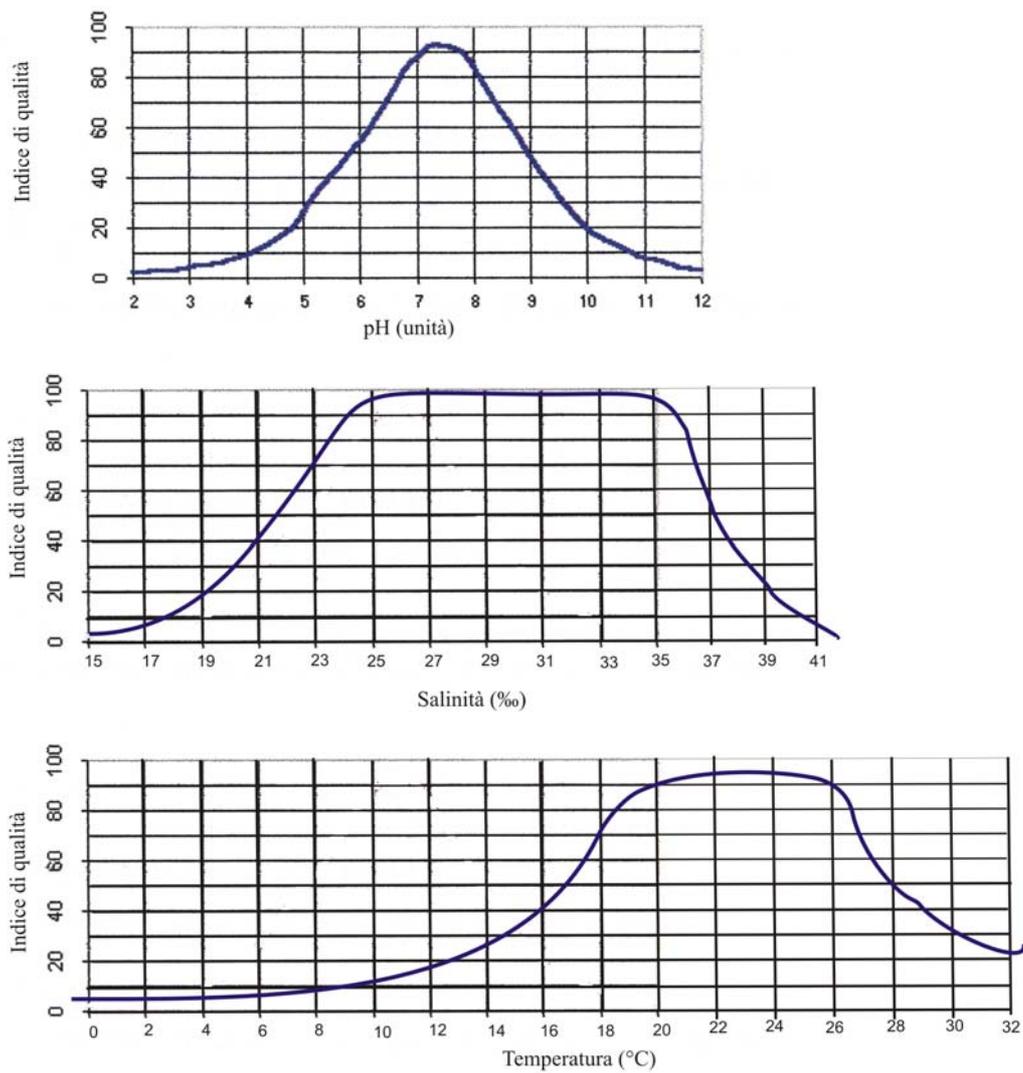
I<sub>pH</sub> = indice di qualità del pH

I<sub>T</sub> = indice di qualità di temperatura

I<sub>S</sub> = indice di qualità di salinità.

Il valore dello stato ecologico della laguna di Venezia secondo questo algoritmo, è compreso tra 1 e 10, similmente all'Indice Lesina.

In particolare, per stabilire gli indici di qualità relativi ai parametri chimico-fisici sono stati utilizzati i seguenti grafici (Fig. 3) che considerano l'optimum e i limiti per la laguna di Venezia.



**Figura 3** - Grafici degli Indici di qualità del pH, della salinità e della temperatura (dati archivio Co.Ri.La.: [www.corila.it](http://www.corila.it))

### 3. SCOPO DELLA TESI

Il lavoro svolto in questa tesi è parte di un progetto finanziato dal Consorzio Ricerche Lagunari (Co.Ri.La) sulla salvaguardia della Laguna di Venezia. Questo ente utilizza i fondi della legge speciale per Venezia per promuovere tale studio che coinvolge quattro aree disciplinari: l'Architettura, le Risorse Umane, il Data Management e i Processi Ambientali. Il Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Padova è coinvolto nella linea di ricerca riguardante "Indicatori ed indici di qualità ambientale per la Laguna di Venezia". In particolare questa ricerca ha come scopo l'effettuare una valutazione della qualità ambientale della Laguna di Venezia sulla base di dati biotici che tengano in considerazione, in ogni caso, alcuni parametri chimico-fisici che sono altamente significativi per l'ambiente lagunare come la temperatura dell'acqua, la salinità e il pH.

Il fine ultimo è quello di convalidare l'indice di qualità ambientale che si è sviluppato durante la ricerca effettuata precedentemente tra il 2004 e il 2005.

Per fare ciò si è voluto simulare una condizione naturale mediante l'immersione costante di pannelli in legno ed acciaio in due stazioni distinte della laguna meridionale (Chioggia). I substrati artificiali sono stati immersi per un anno, da Marzo 2006 ad Aprile 2007, e la successione ecologica è stata seguita attraverso campionamenti a cadenza mensile. I dati raccolti sono stati interpretati ed espressi mediante i più comuni descrittori della biodiversità a livello di comunità incrostante: *ricchezza in specie*, *struttura della comunità* e *indice di copertura-abbondanza*. Questi indici sono stati messi in relazione tra loro e con l'andamento dei parametri chimico-fisici per ricavare gli indici di qualità ambientale, che definiscono lo stato di salute dell'ambiente specifico per le comunità di substrato duro. L'elaborazione di un indice di qualità ambientale in scala logaritmica che riesca a valutare concretamente lo stato di salute dell'ambiente lagunare attribuendogli un valore numerico da 1 a 10 risulta essere molto importante perché oltre al dato immediato consente di effettuare una comparazione qualitativa con altre zone della laguna e di seguire nel tempo le variazioni stagionali anche in relazione con eventuali impatti antropici.

## **4. MATERIALI E METODI**

### **4.1 Le stazioni di campionamento**

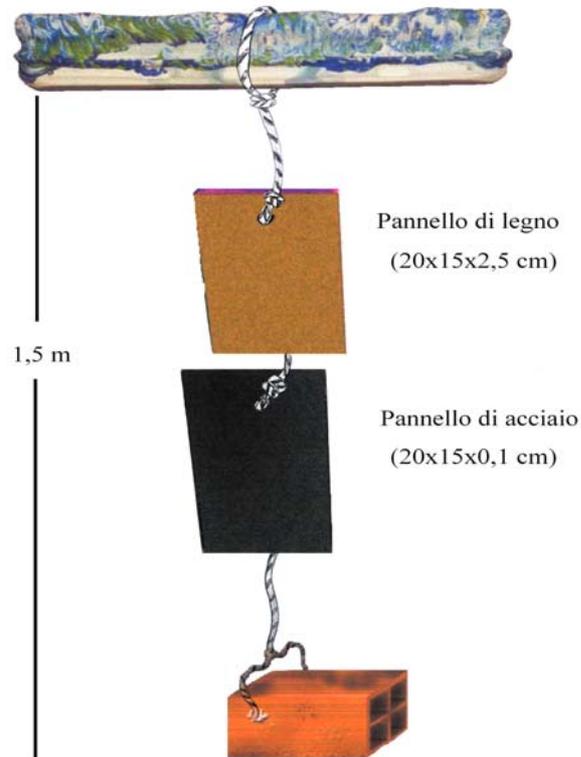
Nella laguna antistante il porto di Chioggia sono state allestite due stazioni di campionamento, la cui scelta ha avuto lo scopo di effettuare osservazioni per un anno in due ambienti diversi per le caratteristiche batimetriche e idrodinamiche, ma allo stesso tempo comprendenti i diversi aspetti della laguna. La stazione 1 (Lat. 45° 15' N, Long. 12° 15' E) era un vecchio allevamento di mitili abbandonato lungo il canale Perognola, di fronte alla bocca di porto in una zona lontana dal centro abitato. La profondità in questo punto era di circa tre metri e il sito era caratterizzato da un modesto moto ondoso provocato soprattutto dal passaggio di natanti. La stazione 2 (Lat. 45° 14' N, Long. 12° 17' E) era posta lungo il canale di Sottomarina in una zona interna rispetto alla bocca di porto. I pannelli sono stati ancorati ad un molo mobile formato da grossi galleggianti di materiale plastico. Questo sito presentava un basso transito di natanti, l'acqua spesso era torbida e la profondità non era superiore a 1-1,5 metri.

### **4.2 I pannelli**

Nelle due stazioni di campionamento è stato installato un sistema di substrati artificiali, rappresentati da pannelli di larice e di acciaio, sui quali potesse aver luogo lo sviluppo spontaneo di una comunità di organismi incrostanti che producesse una successione ecologica tipica di substrati duri. Ogni stazione possedeva cinque unità ciascuna delle quali rappresentate da (Fig. 4):

- una cima in nylon di circa 2 m di lunghezza legata, mediante l'estremità libera, a un supporto fisso come i cavi d'acciaio che sostengono le "reste" di mitili nella stazione 1 o il lato dei galleggianti nella stazione 2;
- un mattone fissato all'estremità inferiore della cima con il compito di stabilizzare e ancorare la struttura una volta immersa in acqua; in tal modo i pannelli immersi anche se fluttuanti mostravano sempre una faccia esposta alla luce (fronte) e una faccia non esposta (retro);
- un pannello in acciaio delle dimensioni di 20 x 15 x 0,1 cm fissato nella parte bassa della corda e un pannello in legno delle dimensioni di 20 x 15 x 2,5 cm fissato nella parte alta della corda; il loro collegamento alla corda avviene

mediante fori del diametro di 1 cm localizzato su uno dei lati corti. I pannelli di legno e acciaio rappresentano i substrati che simulano quelli più comunemente presenti in laguna come bricole in legno, chiglie di imbarcazioni e altri manufatti.



**Figura 4** - Schema di un'unità rappresentata da un sistema di un pannello di legno e uno di acciaio

Le distanze reciproche presenti tra i singoli componenti e la distanza tra il pannello di legno e la superficie dell'acqua sono stati regolati secondo la profondità del fondale e le condizioni di marea di ciascuna stazione, affinché le superfici non potessero mai emergere anche in condizioni di bassa marea. Nella stazione 1 la lunghezza dell'unità era di circa 150 cm e l'immersione dei pannelli superiori era di circa 50 cm, mentre nella stazione 2 la lunghezza era di circa 100 cm ed essendo ancorati ad un molo galleggiante, i pannelli superiori sono stati disposti più vicini alla superficie dell'acqua (30 cm).

### **4.3 L'attività di campionamento**

I pannelli sono stati immersi nelle due stazioni nel mese di marzo 2006; l'attività di campionamento è iniziata nel mese di aprile dello stesso anno e si è conclusa nel mese di Aprile 2007. Nel corso dell'anno i campionamenti si sono svolti con

cadenza mensile mediante l'acquisizione delle fotografie dei pannelli, sia sul lato fronte che sul lato retro, mediante una fotocamera digitale Nikon Coolpix 995. Allo stesso tempo venivano raccolti dei campioni degli organismi insediatisi sulle piastre che venivano immediatamente fissati in formaldeide 4% in acqua di mare. Parallelamente in ogni stazione sono stati raccolti i dati relativi a una serie di parametri chimico-fisici quali temperatura, pH, conduttività elettrica in mS mediante l'uso di una sonda multiparametrica portatile a tenuta stagna Cyber Scan PC300 (Eutech Instruments).

#### **4.4 Analisi dei dati raccolti: il riconoscimento delle specie**

Il mio lavoro di tesi si è inserito nel contesto dei campionamenti, mediante l'elaborazione e l'interpretazione della gran mole di dati precedentemente raccolti, prendendo in considerazione i quattro mesi più significativi nella successione ecologica: Aprile 2006 (inizio insediamento – organismi pionieri), Giugno 2006 (inizio dell'estensione del macrofouling), Settembre 2006 (comparsa organismi dominanti del macrofouling), Dicembre 2006 (stadio finale – comunità stabile). La prima fase mi ha coinvolto nel riconoscimento delle specie insedianti vegetali e animali attraverso l'analisi delle fotografie su computer avvalendomi del programma Corel Photo Paint (versione 11). Le specie sono state identificate attraverso la consultazione di un atlante del “macrofouling” della Dott.ssa Francesca Cima per la cui realizzazione sono stati esaminati manuali sulla fauna e la flora del Mediterraneo (Luther e Fiedler, 1986; Riedl, 1991; Mojetta e Ghisotti, 1994) e siti Internet che hanno fornito immagini degli organismi bentonici di substrato duro e descrizioni di alghe e invertebrati del Nord Adriatico. Sono state inoltre consultate varie pubblicazioni dei diversi taxa appartenenti alla comunità bentonica di substrato duro della laguna di Venezia: antozoi (Birkemeyer, 1996), idrozoi (Morri, 1980), policheti sedentari (Bianchi, 1983), briozoi (Occhipinti Ambrogio e D'Hondt, 1996), bivalvi e gasteropodi (D'Angelo e Gargiullo, 1987), crostacei cirripedi (Rigo, 1942; Relini *et al.*, 1971), anfipodi (Giordani Soika, 1949). L'atlante consta di 127 schede identificative degli organismi vegetali e animali del “macrofouling” della laguna di Venezia, provviste di immagine fotografica e/o disegno, breve descrizione, periodo e luoghi di insediamento ed eventuali associazioni con altri organismi. Sono stati segnalati anche organismi

non appartenenti al “macrofouling”, definiti pascolanti, quali ad esempio i gasteropodi, gli isopodi, i decapodi e gli echinodermi.

#### 4.5 Analisi dei dati raccolti: descrittori della biodiversità e bioindice

Per descrivere la struttura della comunità delle specie che hanno colonizzato i pannelli e la sua evoluzione ecologica e temporale ho utilizzato alcuni descrittori della biodiversità. Il primo è la ricchezza in specie, che tiene conto del numero totale di specie incrostanti ed erranti sui pannelli e viene rappresentata con grafici lineari che ne riportano l’andamento temporale. Il secondo è la struttura della comunità, che esprime la percentuale dei singoli taxa rispetto al totale che compongono la comunità stessa. È stata rappresentata con grafici a torta, in cui ogni fetta rappresenta la frazione di un certo taxon. Il terzo è l’indice di copertura-abbondanza, che fornisce un’analisi quantitativa della capacità di insediamento della singole specie incrostanti di espandere la propria area di colonizzazione vincendo le resistenze poste dall’ambiente e dalle altre specie. È stato ottenuto con la scala degli indici di Benninghoff (Tab.1): ogni fotografia digitale è stata ridimensionata grazie al programma di elaborazione d’immagine Micro-Image e impiegata per il calcolo dell’area di ogni singola specie attraverso il programma Casti-Imaging il quale fornisce automaticamente il valore percentuale di ogni colonizzazione rispetto all’area totale.

<u>INDICI</u>	<u>DESCRIZIONE</u>
R 	Individui rari ricoprenti una porzione molto piccola dell’area campionata.
1 	Individui numerosi, ma ricoprenti meno di 1/20 dell’area campionata o abbondantemente sparsi ma con un elevato valore di copertura.
2 	Con qualche numero di individui ricoprenti tra 1/20 e 1/4 dell’area campionata, o con numerosi individui, ma ricoprenti meno di 1/20 dell’area
3 	Copertura compresa tra 1/4 e 3/4 dell’area campionata
4 	Copertura compresa tra 1/2 e 3/4 dell’area campionata
5 	Copertura più dei 3/4 dell’area campionata

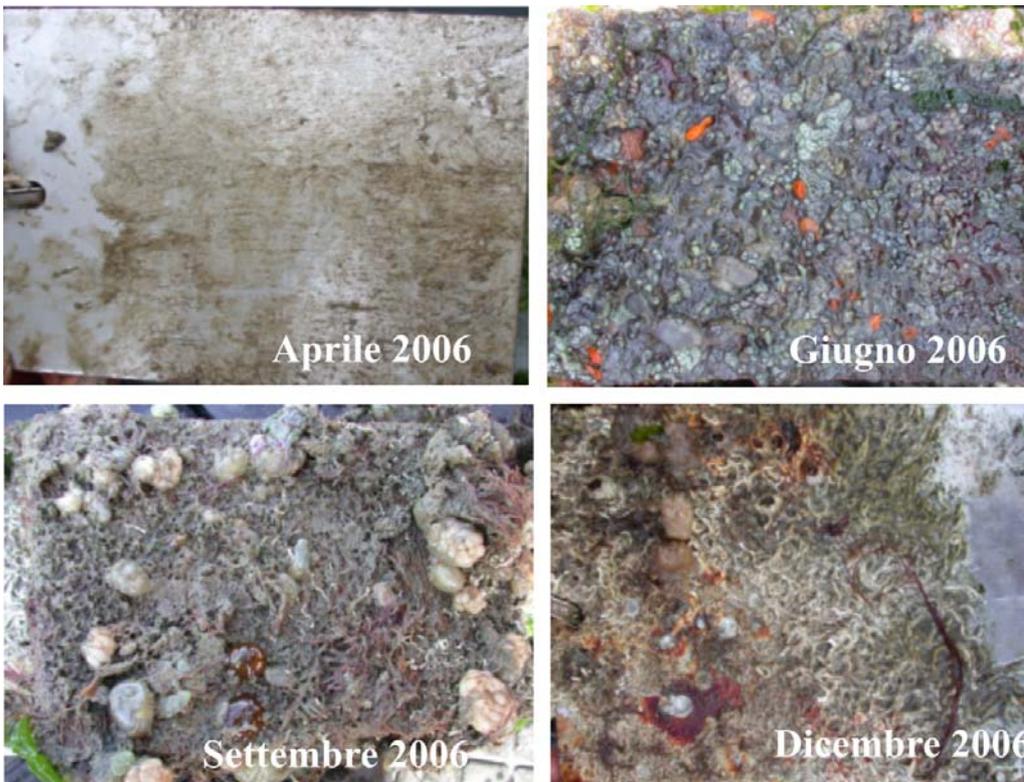
**Tabella 1** Indice di copertura abbondanza secondo Benninghoff

Questi descrittori della biodiversità unitamente ai parametri chimico-fisici hanno fornito le basi per l'applicazione del bioindice riportato in Introduzione il cui andamento nelle due stazioni è stato espresso mediante grafici lineari.

## 5. RISULTATI E DISCUSSIONE

### 5.1 L'elaborazione dei dati

Il mio lavoro ha avuto inizio una volta finiti tutti i campionamenti nelle due stazioni e si è composto da una prima fase in cui ho acquisito le foto dei pannelli, fatte in precedenza, solo dei mesi di Aprile, Giugno, Settembre e Dicembre, perché, come riportato da dati di campionamenti precedenti, questi quattro mesi sono sufficienti per verificare l'andamento della successione ecologica delle comunità di substrato duro (Fig. 5).



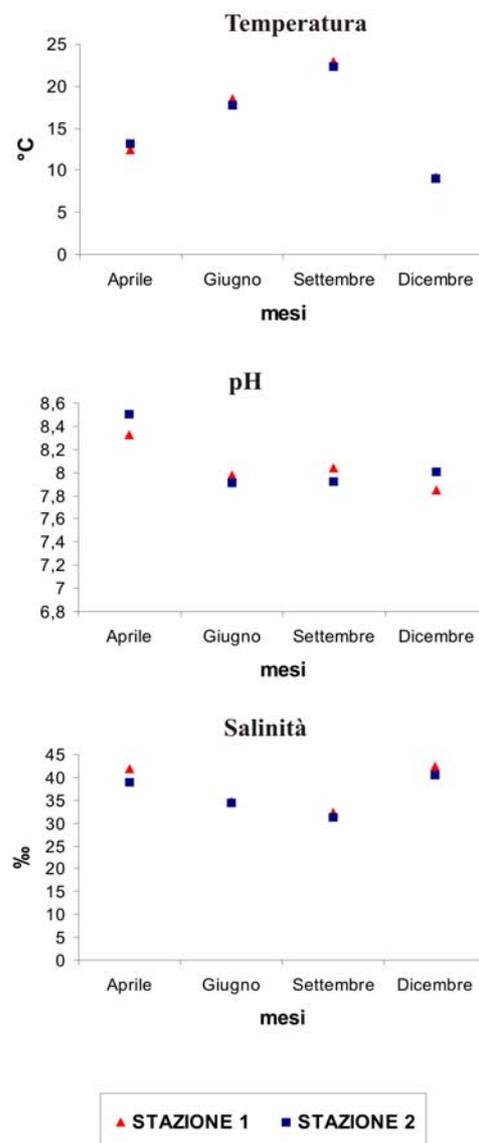
**Figura 5** – In Aprile la copertura è rappresentata da film batterico, in Giugno prevalgono tunicati e briozoi, in Settembre si instaura una situazione di preclimax con tunicati come organismi dominanti, in Dicembre si è raggiunto il climax rappresentato da tunicati, mitili e ostriche.

## 5.2 Parametri chimico-fisici

I dati chimico-fisici raccolti direttamente sul campo con la sonda multiparametrica sono stati da me rappresentati attraverso grafici lineari che descrivono l'andamento nel tempo di temperatura, pH e salinità (Tab. 2). Dai dati di conduttività elettrica e di temperatura dell'acqua è stata calcolata la salinità mediante una formula di conversione che utilizza il rapporto di conduttività ( $R = c_m/c_s$ , dove  $c_m$  è la conduttività misurata sul campo e  $c_s$ , è il valore standard o di riferimento di conduttività dell'acqua di mare a quella temperatura cui corrisponde una salinità del 35‰) (Weyl, 1964).

Il rapporto ottenuto e la temperatura sono stati inseriti nel calcolatore reperibile sul sito Internet [gaea.es.flinders.edu.au/~mattom/Utilities/salinita.html](http://gaea.es.flinders.edu.au/~mattom/Utilities/salinita.html).

Tab. 2 Parametri chimico-fisici



I parametri chimico-fisici hanno giocato un ruolo molto importante in quanto l'autunno-inverno 2006 è stato un periodo abbastanza caldo con scarse precipitazioni che ha portato la salinità a valori piuttosto elevati con un picco anomalo a Dicembre 2006. Il pH nella stazione 1 ha raggiunto i valori minimi (7,85) nel Dicembre 2006 e massimi (8,32) ad Aprile 2006; nella stazione 2, invece, ha raggiunto i valori minimi (7,91) a Giugno 2006 e massimi (8,5) ad Aprile 2006. Tra le due stazioni le temperature sono state sempre molto simili, con differenze inferiori a 1°C, ma nel complesso sono state sempre abbastanza elevate rispetto alle medie stagionali: dai 12,4°-13,2° di Aprile si è passati ai 18,5°-17,7° di Giugno ai 23-22,3° di Settembre ai 9°-9,08° di Dicembre.

### 5.3 Descrittori della biodiversità e bioindice

I dati raccolti ed elaborati per le due stazioni di Chioggia, per tipo di pannello e per tipo di esposizione alla luce (fronte-retro) sono stati espressi graficamente e raccolti nell'Appendice di questa tesi. In particolare la ricchezza in specie è riportata in Tab. 3, la struttura della comunità in Tab. 4, l'indice di copertura-abbondanza (indice di Benninghoff) in Tab. 5 e il bioindice in Tab. 6.

### 5.4 La stazione 1

Dopo un mese d'immersione, ad Aprile, tutti i pannelli sono ancora ricoperti abbondantemente dal biofilm che è presente per oltre l'80% della superficie dei pannelli, sia quelli di legno che quelli di acciaio. A partire dal mese di Giugno, però, l'estensione del film primario già decresce, tanto che solo nei pannelli di acciaio se ne riscontra ancora la presenza, circa del 15% sul fronte, dove sono presenti anche in piccole percentuali specie pioniere quali: tunicati (*Botryllus schlosseri*), policheti serpulidi (*Janua pagenstecheri*) e alcune clorofite come *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha linza* e *Ulva lactuca*; e del 26% sul retro, dove in aggiunta agli organismi già presenti sul fronte, si evidenzia la comparsa di una rodofita, *Ceramium ciliatum*. Nei pannelli di legno si può notare una maggiore diversità in fatto di specie visto che sul fronte del pannello si sono insediati tunicati come *B. schlosseri*, *Botrylloides leachi*, *Molgula socialis*; rodofite come *C. ciliatum*, *Polysiphonia sertularioides*, *Cladophora prolifera*;

clorofite come *U. lactuca*, *Enteromorpha prolifera*, *E. intestinalis*, *E. linza* e policheti come *J. pagenstecheri*; mentre nel retro si riscontra anche la presenza di idrozoi quali *Tubularia crocea*, di poriferi quali *Sycon ciliatum* e di tunicati quali *Styela plicata*, *Aplidium conicum*, *Ascidiella aspersa*, *Ciona intestinalis*, anche se il 77% della superficie è occupata da *B. schlosseri*. Se a Giugno sui pannelli di acciaio, sia sul fronte che sul retro, prevalevano le clorofite come specie dominanti, a Settembre si è registrata la comparsa di un numero più elevato di specie distribuite abbastanza equamente, anche se la maggior parte della superficie, dal 33 al 48%, è stata occupata da policheti serpulidi quali *Hydroides dianthus* e *Serpula vermicularis*, riflettendo una situazione di preclimax: sul fronte del pannello sono comparse ascidie solitarie come *S. plicata*, *C. intestinalis* e coloniali come *Trididemnum cereum*, *B. leachi* e *B. schlosseri*, di briozoi eretti (*Bugula neritina*), di rodofite *Gracilaria verrucosa*, *P. sertularioides* e l'ostrica *Ostrea edulis*; nel retro sono comparsi anche poriferi (*Haliclona cinerea*), briozoi incrostanti (*Schizoporella unicornis*), gasteropodi (*Monodonta mutabilis*) e cirripedi (*Balanus amphitrite communis*).

Sui pannelli di legno nel mese di Settembre si è riscontrata una distribuzione più omogenea delle diverse specie, essendo la superficie del fronte dei pannelli costituita dal 10% di tunicati, quali *C. intestinalis*, *T. cereum*, *S. plicata*, *B. leachi*, *B. schlosseri*, dal 10% di briozoi come *Bugula stolonifera*, *B. neritina*, *B. avicularia*, dal 4,5% di policheti serpulidi come *H. dianthus*, *J. pagenstecheri* e da altre specie presenti in percentuali basse come idrozoi (*T. crocea*), clorofite (*U. lactuca*), rodofite (*G. verrucosa*, *P. sertularioides*) e cirripedi (*B. amphitrite communis*). Sul retro dei pannelli di legno erano presenti sul 17% della superficie i tunicati, sull'8% i policheti serpulidi e sul 3% i briozoi. Singolare è stato anche il rilevamento di un unico esemplare di cnidario antozoo *Anemonia sulcata*.

Nel mese di Dicembre è stato raggiunto il climax della successione ecologica: la ricchezza in specie è rimasta pressoché invariata su tutti i pannelli; si è riscontrato l'insediamento di specie nuove soprattutto sul fronte acciaio come *Crassostrea gigas* tra i molluschi bivalvi, *Balanus improvisus* tra i cirripedi, *Filograna* sp. tra i policheti serpulidi e *Halichondria panicea* tra i poriferi. Anche sul retro dell'acciaio si è insediato *Filograna* sp., ma si sono anche evidenziate sostituzioni ecologiche da parte del briozoo *B. avicularia* al posto di *B. neritina* e *S. unicornis*

e, tra le feofite, di *Ectocarpus siliculosus*, mentre tra i tunicati, scomparsa *C. intestinalis*, sono subentrati *Molgula socialis*, *T. cereum* e *Botrylloides violaceus*. Sia sul fronte che sul retro dei pannelli d'acciaio la maggior parte della superficie, circa il 40%, è stata occupata dai policheti serpulidi, mentre solo il 5% sul fronte e l'8% sul retro è stata occupata dai tunicati.

Sul fronte dei pannelli di legno le specie insediate sono rimaste circa le stesse; si è aggiunto *Mytilus galloprovincialis* tra i molluschi bivalvi e *Haliclona cinerea* e *Mycale contarenii* tra i poriferi, ma, comunque, tutti gli organismi occupavano percentuali intorno all'1% dell'intera superficie del pannello. Nel retro dei pannelli di legno sono comparsi *Asterina gibbosa* tra gli echinodermi, *M. mutabilis* tra i gasteropodi, *E. siliculosus* tra le feofite. *B. improvisus* si è insediato per oltre il 4% della superficie, ma si è stanziato anche *Diplosoma listerianum* tra i tunicati, tra i quali scompaiono invece *C. intestinalis* e *B. schlosseri*. A Dicembre sui pannelli di legno, sia sul fronte che sul retro, è stata riscontrata la presenza di un bivalve, *Teredo navalis*, che ha la caratteristica di perforare il legno scavando lunghe gallerie. Fortunatamente l'insediamento e il danno si sono verificati alla fine del periodo di campionamento, permettendo comunque la raccolta dei dati del mese di Dicembre.

## 5.5 La stazione 2

Nel mese di Aprile, come nella stazione 1, su tutti i pannelli si è insediato il biofilm che sul fronte dei pannelli ha raggiunto un'estensione dell'80-90% dell'intera superficie, mentre sul retro si è limitato al 60-70%. A partire dal mese di Giugno nei pannelli film primario era già scomparso, sostituito da organismi pionieri: sul fronte del pannello d'acciaio si sono insediate rodofite come *P. sertularioides*, *G. verrucosa*, *C. ciliatum* sull'11% della superficie, cnidari idrozoi quali *T. crocea* sul 6% e ascidie coloniali come *B. leachi* e *B. schlosseri*, briozoi (*B. avicularia*), clorofite (*E. intestinalis*) e policheti serpulidi (*J. Pagenstecheri*) in percentuali molto basse. Sul retro del pannello d'acciaio, invece, le rodofite occupavano una superficie di poco superiore al 7%, mentre gli idrozoi del 3,5%; in aggiunta, però, vi erano limitate presenze di molluschi bivalvi (*O. edulis*), di altri briozoi (*B. stolonifera*, *B. neritina*) e di clorofite (*Cladophora pellucida*).

Sul retro dei pannelli di legno gli idrozoi (*T. crocea* e *Obelia dichotoma*) si sono sviluppati per oltre il 5% della superficie, le rodofite per oltre il 3%, i policheti per il 2% ed i briozoi per il 4%. Sul fronte dei pannelli di legno la comunità era maggiormente strutturata, in quanto vi era maggiore varietà di specie: infatti, tra i policheti serpulidi sedentari si sono rilevati anche *H. dianthus* e *Filograna* sp., e *Neanthes succinea* tra quelli erranti; tra gli ascidiacei coloniali si è riscontrato pure *B. violaceus*, *E. prolifera* tra le clorofite e hanno fatto la loro comparsa anche i poriferi (*H. cinerea* e *Halichondria bowerbanki*).

Alla fine dei mesi estivi, a Settembre, il preclimax è stato caratterizzato da un grande cambiamento della comunità che è risultata molto più ricca in quanto a numero di specie, senza tuttavia dominanza di alcune specie su altre. Sul fronte dei pannelli di acciaio si sono insediati briozoi sul 10% della superficie, tunicati sull'8%, idrozoi (*T. crocea*) sul 7%, rodofite sul 5%, policheti sedentari sul 4% e molluschi bivalvi sul 2%; a questi si aggiungevano gasteropodi (*M. mutabilis*), cirripedi (*B. amphitrite*), poriferi (*H. cinerea* e *H. bowerbanki*). Sul retro dei pannelli di acciaio i briozoi hanno raggiunto un'estensione del 15%, le rodofite quasi dell'8%, grazie agli insediamenti di *G. verrucosa* e *P. sertularioides*, i tunicati del 6% e gli idrozoi del 4%.

Il fronte dei pannelli di legno aveva una superficie occupata dal 13% da briozoi, dal 3,5% da idrozoi e dal 2% da tunicati, anche se bisogna comunque evidenziare la presenza di cirripedi, molluschi bivalvi (*O. edulis*) e poriferi (*Sicon ciliatum*). Sul retro degli stessi pannelli la situazione non è variata molto, in quanto gli idrozoi (*T. crocea*) si sono riscontrati sul 10% della superficie, i briozoi (*S. unicornis*, *B. neritina*, *B. avicularia*, *B. stolonifera*) sul 9%, le rodofite (*G. verrucosa*, *P. sertularioides*) sul 3% e i tunicati (*B. leachi*, *B. schlosseri*, *C. intestinalis*, *T. cereum*) sul 4%.

Con il mese di Dicembre si è assistito a un radicale cambiamento nella comunità insediatasi sul fronte dei pannelli di acciaio che ha raggiunto il suo stadio di climax con la dominanza di molluschi bivalvi, quali *O. edulis*, *M. galloprovincialis* e molluschi gasteropodi quali *Patella caerulea*. Bisogna evidenziare che i tunicati e i briozoi erano comunque presenti in quantità considerevoli e inoltre è stata notata la presenza, anche se in quantità modeste, di poriferi (*H. cinerea*, *H. panicea*, *H. bowerbanki*), feofite (*E. siliculosus*),

gasteropodi (*M. mutabilis*), cirripedi (*Balanus trigonus*), idrozoi che, rispetto a Settembre, erano rappresentati da *O. dichotoma*. Sul retro dei pannelli d'acciaio, al posto dei bivalvi dominavano i tunicati con la specie coloniale *B. leachi*, che prevaleva sulle solitarie *A. aspersa*, *C. intestinalis*, *S. plicata* e sui briozoi, formando così una “comunità a botrillidi”.

Sul fronte dei pannelli di legno la struttura della comunità non cambiava molto, perché i briozoi dominavano occupando quasi il 20% della superficie, i tunicati erano presenti sul 10%, mentre i bivalvi solamente sul 2%. Spiccava l'insediamento per quasi il 2% della superficie di feofite *E. siliculosus* e la presenza di varie specie di poriferi quali *S. ciliatum*, *H. bowerbanki*, *H. panicea* e *H. cinerea*. E' stato inoltre riscontrato il polichete errante *N. succinea*.

Sul retro dei pannelli di legno dominavano i briozoi con l'insediamento di una specie di tipo incrostante *Cryptosula pallasiana* oltre a tutte le altre specie erette già osservate nei mesi precedenti. I tunicati e i bivalvi erano presenti appena sull'1-2% della superficie. E' stata rilevato un iniziale insediamento da parte del mollusco perforatore *T. navalis* solo sul retro del pannello di legno. Anche in questa stazione si è registrata la presenza del cnidario antozoo *A. sulcata* sia sul fronte legno che sul retro acciaio.

## 6. CONCLUSIONI

La scelta delle due stazioni è stata operata sulla base delle diverse proprietà batimetriche e idrodinamiche e del diverso impatto antropico: infatti la stazione 1 sul canale Perognola è più profonda e presenta un elevato traffico di natanti che aumentano il moto ondoso, ma è lontana dal centro abitato; mentre la stazione 2 sul porto di Chioggia è meno profonda, con un modesto moto ondoso e un maggior inquinamento.

In generale, rispetto ai campionamenti precedenti (campagna 2004-2005), è stato riscontrato un ritardo nella colonizzazione da parte degli organismi pionieri dovuto a temperature più basse e valori di salinità e pH più elevati.

Nel confronto delle due stazioni si può evidenziare come la stazione 2 presenti una ricchezza in specie sempre superiore rispetto alla stazione 1 in quasi tutti i

mesi e in tutti i pannelli. Ciò appare in stretta relazione con il diverso grado di perturbazione delle stazioni: i maggiori moto ondoso e profondità e il minor apporto di nutrienti in relazione con la lontananza dalle aree abitate nella stazione 1 hanno limitato maggiormente il numero di specie in grado di insediare e colonizzare il substrato. D'altra parte, nella stazione 2, si è verificato un inusuale insediamento massivo e precoce da parte di tunicati e briozoi che ha portato a un aumento progressivo e continuo nella ricchezza in specie e nell'estensione delle aree di copertura dei pannelli. La comunità è apparsa inoltre più strutturata rispetto alla stazione 1 già a partire dal mese di Giugno.

Anche la qualità del substrato sembra avere un'influenza sull'insediamento e la copertura: in entrambe le stazioni i pannelli di legno sono stati colonizzati da un numero superiore di specie rispetto a quelli di acciaio, mentre non si è osservata differenza significativa tra fronte e retro dei pannelli per quanto riguarda la struttura della comunità nelle varie fasi della successione ecologica.

L'indice di qualità ambientale o bioindice utilizzato per lo studio della comunità a macrofouling di substrato duro prende in considerazione la ricchezza in specie e l'area occupata dalle specie stesse, assieme ai valori di qualità attribuiti a parametri chimico-fisici quali temperatura, pH e salinità dell'acqua. Questi ultimi sembrano essere i fattori che maggiormente incidono sullo stato di salute degli ecosistemi acquatici prevalendo sui fattori biotici. In particolare nel periodo preso in considerazione ha influito, in misura maggiore, la salinità che ha subito notevoli escursioni, in particolare durante i periodi di siccità quando ha superato valori del 40‰ in entrambe le stazioni. Nelle due stazioni già ad Aprile c'erano valori di salinità elevati che hanno influenzato l'indice di qualità ambientale abbassandolo sia sul fronte che sul retro di entrambi i tipi di pannelli a valori compresi tra 6,4 e 7. Nei mesi estivi, particolarmente piovosi e freschi, la salinità si è abbassata notevolmente raggiungendo valori simili nelle due stazioni: 34,6-34,5‰ a Giugno e 32,6-31,33‰ a Settembre; come conseguenza di questo abbassamento della salinità, unitamente a un innalzamento limitato delle temperature, si riscontra un livello dell'indice di qualità ambientale molto elevato (il valore minimo che si registra è 8,01 e il massimo è 9,31), prova del raggiungimento di condizioni ecologiche ottimali. Con il mese di Dicembre, scarsamente piovoso, l'indice di qualità ambientale si abbassa nuovamente in

relazione con il peggioramento delle condizioni ambientali, in particolare a causa dell'innalzamento della salinità e dell'abbassamento delle temperature. Come nel mese di Aprile, anche a Dicembre è sempre nella stazione 1 che si riscontrano i valori più bassi dell'indice di qualità ambientale e, in particolare, si può evidenziare come i pannelli di legno presentino valori più bassi, (5,3 il fronte e 5,62 il retro) rispetto a quelli d'acciaio (6,44 il fronte e 6,42 il retro). In generale le due stazioni rivelano nel complesso un buon stato di salute.

Il bioindice utilizzato si è pertanto dimostrato un valido strumento per valutare lo stato di salute del bacino lagunare, in quanto i dati elaborati dai campionamenti della campagna 2006-2007, pur con minime variazioni dovute principalmente alle aberrazioni metereologiche del periodo considerato, sono comparabili con quelli della campagna 2004-2005 confermando il suo possibile utilizzo nell'ambito della laguna di Venezia. Questo bioindice risulta quindi molto utile e importante perché, oltre al dato immediato fornito dal valore numerico in scala logaritmica, consente di seguire nel tempo le variazioni stagionali anche in relazione ad eventuali impatti antropici e permetterà di effettuare una comparazione qualitativa con altre zone della laguna.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- BAIER R.E. (1972) - Influence of the initial surface condition of materials on bioadhesion. *Proc. Third Int. Congr. Mar. Corrosion and Fouling, October 1972, Gaithersburg, Maryland, USA*. pp. 633-639.
- BAIER R. E. (1984) – *Initial events in microbial film formation*. In: “ *Marine biodeterioration: an interdisciplinary study*”. Costlow J.D. and Tipper R.C., Naval Institute Press, Annapolis, MD, pp. 57-74.
- BIANCHI C.N. (1983) - Ecologia e distribuzione dei Policheti Serpuloidei nella Laguna Veneta (Adriatico Settentrionale). *Atti Mus. Civ. St. Nat. Trieste*, **35**: 159-172.
- BIRKEMEYER T. (1996) - Aiptasiide e Diadumenidae (Anthozoa Actinaria) del fouling in laguna di Venezia. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia*, **46**: 63-85.
- BRAIKO V.D. (1985) – *Obrastaine v Chernom more (Fouling in the Black sea)*. Nauk, Dumka, Kiev, pp. 124-147.
- BREBER P., STRADA R.M. (1997) - La ricerca di bioindicatori per uno standard di qualità per le lagune. *Biol. Mar. Medit.*, **2**: 119-120.
- CHALMER P.N. (1982) – Settlement patterns of species in a marine fouling community and some mechanisms of succession. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **58**: 73-85.

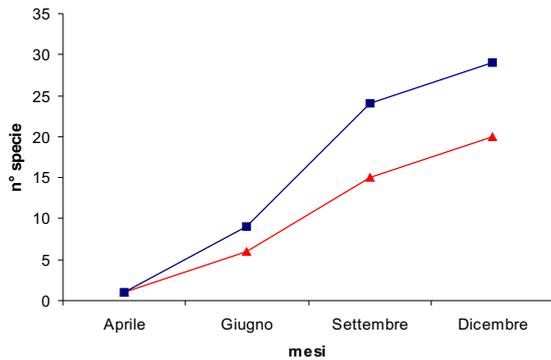
- CHANG S., STEIMLE F. W., REID R.N., FROMM S.A., ZDANOWICZ V.S. PIKANOWSKI R.A. (1992) - Association of benthic macrofauna with habitat types and quality in the New York Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **89**: 237-251.
- CIMA F., BURIGHEL P., BALLARIN L. (2007) – Proposal of a New Environmental Quality Index for the Macrofouling Biocenosis of Hard Substrata in the Lagoon of Venice. In: “Scientific Research and Safeguarding of Venice” – Vol. V, P. Campostrini (Ed) Corila, Venezia, pp. 227-234.
- CONNEL J.H., SLATYER R.O. (1977) – Mechanism of succession in natural communities and their role in community stability and organisation. *Am. Nat.*, **111**: 1119-1144.
- CORPE W.A. (1972) - Microfouling: role of primary film forming marine Bacteria. *Proc. Third Internat. Congr. Mar. Corrosion and Fouling, October 1972, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.*, pp. 598-609.
- D'ANGELO G., GARGIULLO S. (1987) - *Guida alle conchiglie mediterranee: conoscerle, cercarle, collezionarle*. Fabbri Editore, Milano
- GIORDANI-SOIKA A. (1949) - Gli Anfipodi Gammarini della laguna di Venezia. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, **6**: 162-212.
- HARMS J., ANGER K. (1983) – Seasonal, annual and spatial variation in the development of hard bottom communities. *Helgol. Meeresunters.*, **36**: 137-150.
- HIRATA T. (1987) – Succession of sessile organisms on experimental plates immersed in Nabeta Bay, Jzu Peninsula, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **38**: 25-35.
- HUVE' P. (1970) - Recherches sur la genèse de quelques peuplements algaux marins de la roche littorale dans la région de Marseille. Thèse de Doctoral d'état ès Sciences Naturelles, pp. 1-470.
- KHALAMAN V.V. (1989) – *Study of the fouling succession in the White Sea using the information index of species diversity*. In: “*Ekologicheskije issledovaniya belomorskikh organizmov ( Ecological studies of the White sea organisms)*”. Berger V.Ya., Ed., Zoological Institute, Leningrad, pp. 34-58.
- KJELLEBERG S. (1984) – *Adhesion to inanimate surfaces*. In: “*Microbial adhesion and aggregation*”. Dahlem Konferenzen, 1984, Marshall, K.C., Ed., Springer-Verlag, Berlin, pp. 51-76.
- LUTHER W., FIEDLER K. (1986) - *Guida della fauna marina costiera del Mediterraneo*, F. Muzzio Ed., Padova.
- MARSHALL K.C. (1972) - Mechanism of adesion of marine bacteria to surfaces. *Third Internat. Congr. Mar. Corrosion and Fouling, October 1972, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.*, pp. 625-632.
- MOJETTA A., GHISOTTI A. (1994) - Flora e fauna del Mediterraneo. Arnoldo Mondatori Editore, Milano.
- MORRI C. (1980) - Contributo alla conoscenza degli Idrozoi lagunari italiani: idropolipi della laguna veneta settentrionale. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia*, **31**: 85-93.
- NEIHOF R., LOEB G. (1972) - Molecular fouling of surfaces in seawater. *Proc. Third Int. Congr. Mar. Corrosion and Fouling, October 1972, Gaitherburg, Maryland, U.S.A.*, pp. 437-448.
- OCCHIPINTI AMBROGI A., D'HONT J. (1996) - Introduzione di specie alloctone in Laguna di Venezia: *Celleporella carolinensis* Ryland 1979 (Bryozoa: Ascophora). *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia*, **46**: 53-61.

- ODUM E. (1995) - *Foundamentals of Ecology*. Second Ed. W.B. Sanders Company, Philadelphia.
- OSHURKOV V.V. (1985) *Dynamic and structure of some fouling and benthic communities in the White Sea*. In: “*Ekologiya obrastaniya v belom more (Ecology of fouling in the White Sea)*”. Berger V.Ya. and Seravin L.N. Eds., Zoological Institutes, Leningrad, pp. 44-67.
- RAILKIN A.I. (2004a) – *Biofouling as a process. Colonization*. In: “*Marine biofouling: colonization processes and defenses*”. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 25-28.
- RAILKIN A.I. (2004b) – *Biofouling as a process. Primary succession*. In: “*Marine biofouling: colonization processes and defenses*”. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 28-35.
- RAILKIN A.I. (2004c) – *General regularities of biofouling. Causes, mechanisms, and limits of biofouling concentration on hard surfaces*. In: “*Marine biofouling: colonization processes and defenses*”. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 169-174.
- RAILKIN A.I., PAVLENKO G.V., SKUGAROVA M.G. (1993) – Suppression of the adhesion of bacterial pioneers of biofouling in the White Sea. *Mikrobiologia*, **62**: 951-962.
- REDFIELD L.W., DEEVY E.S. (1952) - *Temporal sequences and biotic succession. Marine fouling and its prevention*. Wood Hole Oceanograf. Inst. Ed., Wood Hole, pp. 42-47.
- RELINI G., FRANCESCON A., BARBARO A. (1971-72) - Osservazioni sistematico-ecologiche sulla distribuzione dei Cirripedi toracici nella laguna Veneta. *Atti Ist. Veneto Sci. Lett. Arti*, **130**: 449-459.
- RELINI G. (1977) - Le metodologie per lo studio del fouling nell'indagine di alcuni ecosistemi marini. *Boll. Zool.*, **44**: 97-112.
- RIEDL R. (1991) - Fauna e flora del Mediterraneo. F. Muzzio Ed., Padova.
- RIGO L. (1942) - Ricerche sistematico-ecologiche sulla distribuzione dei Cirripedi della Laguna Veneta. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, **8**: 15-46.
- RUDYAKOVA N.A. (1981) – *Obrastanie v severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Fouling in the North-western Pacific)*. Nauka, Moscow, pp. 68-83.
- SCHEER B.T. (1945) - The development of marine fouling communities. *Biol. Bull.*, **89**: 103-121.
- SMEDES G.W. (1984) – *Seasonal changes and fouling community interactions*. In: “*Marine biodeterioration: an interdisciplinary study*”. Costlow J.D. and Tipper R.C., Naval institute press, Annapolis, MD, pp. 155-174.
- WAHL M. (1989) – Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **58**: 175-189.
- WEIL P.K. (1964) - UNESCO technical papers in marine. *Science*, **44**: 1-53.
- WEISBERG S.B., RANANSINGHE J.A., DAUER D.M., SCHAFFNER L.C., DIAZ R.J., FRITHSEN J.B. (1997) - An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. *Estuaries*, **20**: 149-158.
- ZEVINA G.B. (1972) – *Obrastaniya v moryakh SSSR (Fouling in seas of the URSS)*. Moscow University, Moscow, pp. 215-245.

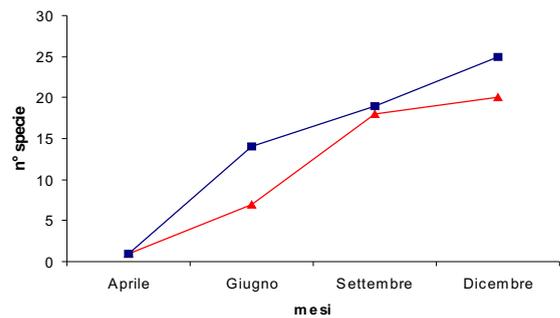
# **APPENDICE**

**Tab. 3 Ricchezza in specie valutata in Aprile, Giugno, Settembre e Dicembre 2006**

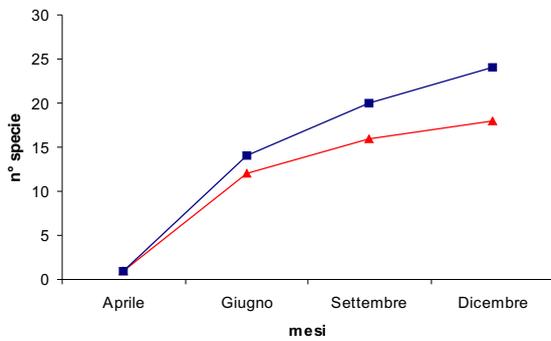
**Fronte dei pannelli in acciaio**



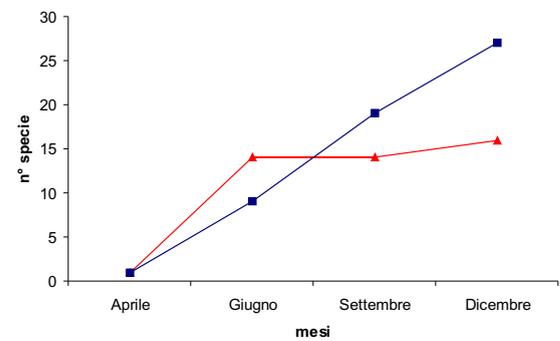
**Retro dei pannelli in acciaio**



**Fronte dei pannelli in legno**



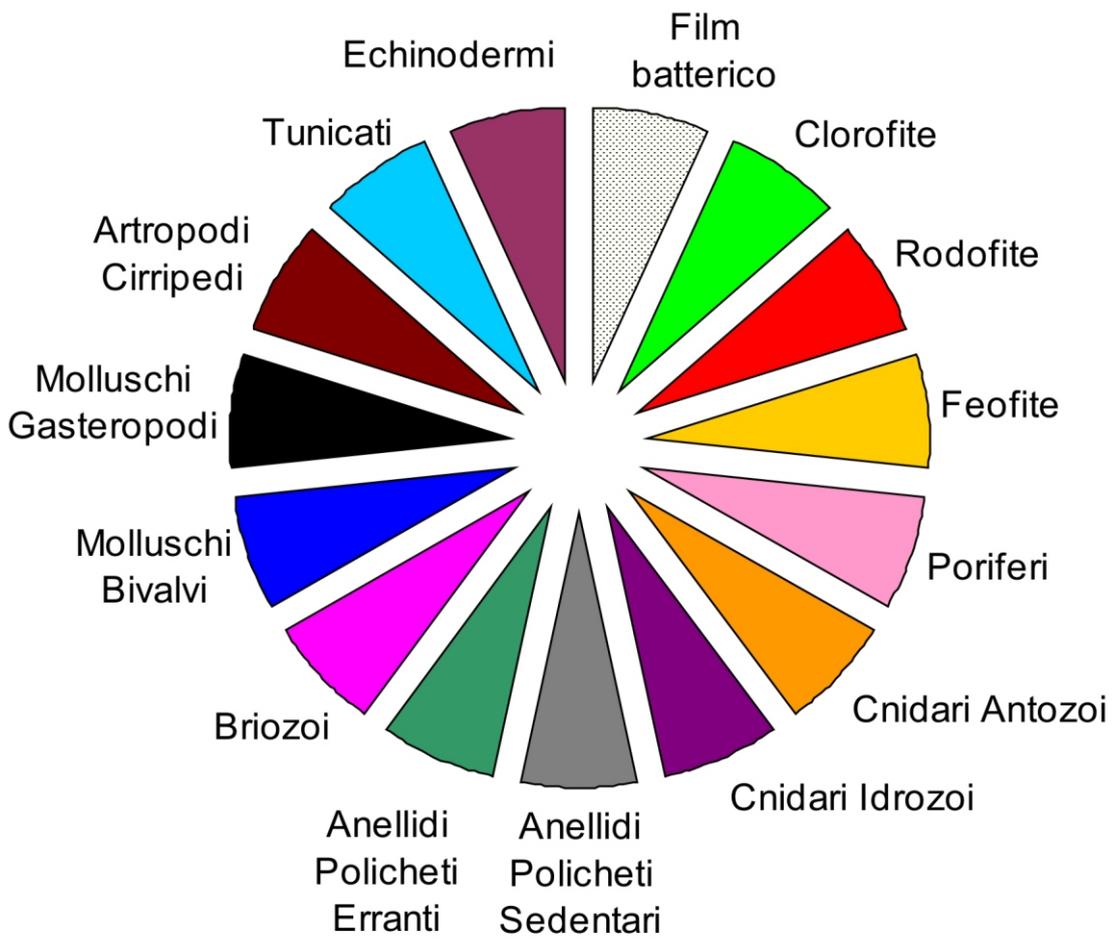
**Retro dei pannelli in legno**



—▲— Stazione 1 —■— Stazione 2

Tab. 4 *Struttura della comunità*

**LEGENDA**

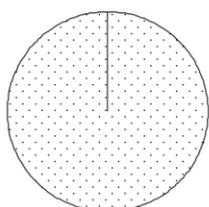


**Tab. 4** *Struttura della comunità*  
 (i numeri sui grafici a torta sono espressi in %)

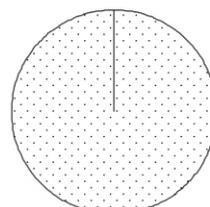
**Fronte dei pannelli di legno**

**STAZIONE 1**

**STAZIONE 2**

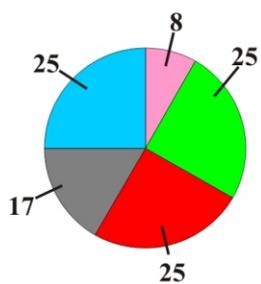


**APRILE**

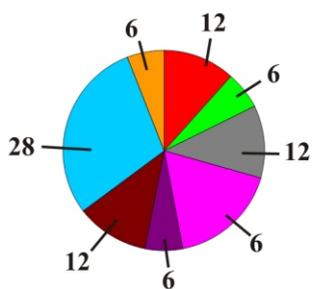
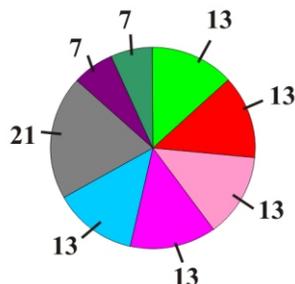


100

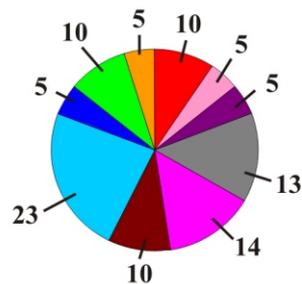
100



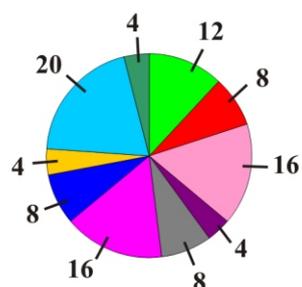
**GIUGNO**



**SETTEMBRE**



**DICEMBRE**

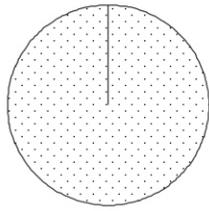


**Tab. 4** *Struttura della comunità (segue)*

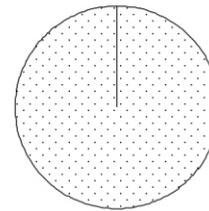
**Retro dei pannelli di legno**

**STAZIONE 1**

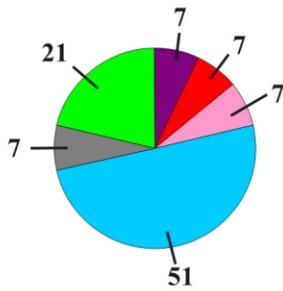
**STAZIONE 2**



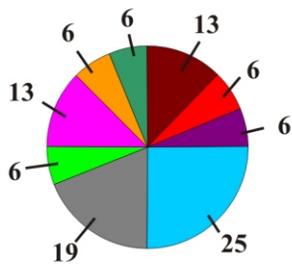
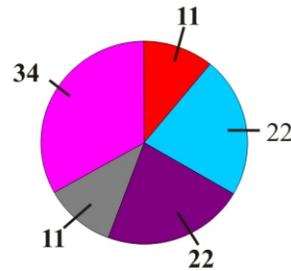
**APRILE**



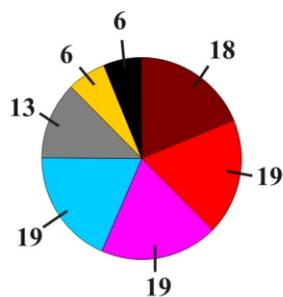
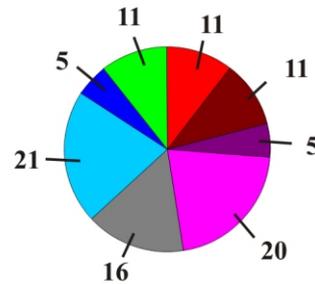
**100**



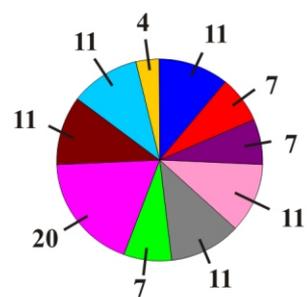
**GIUGNO**



**SETTEMBRE**



**DICEMBRE**

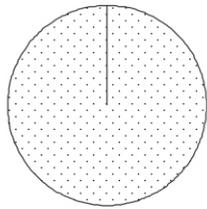


**Tab. 4** *Struttura della comunità (segue)*

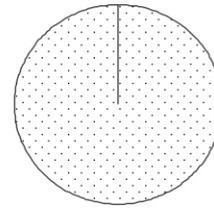
**Fronte dei pannelli di acciaio**

**STAZIONE 1**

**STAZIONE 2**

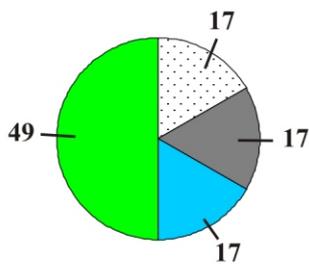


**APRILE**

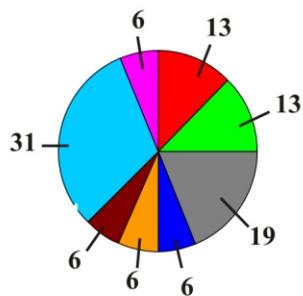
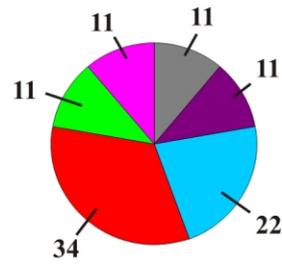


**100**

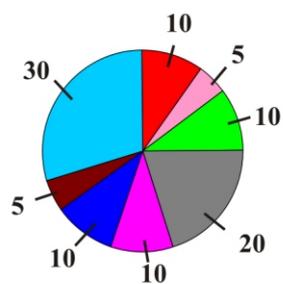
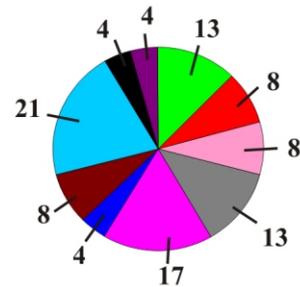
**100**



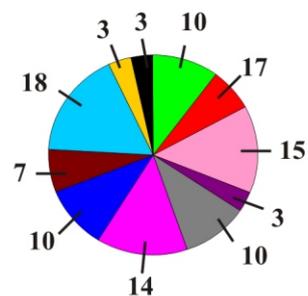
**GIUGNO**



**SETTEMBRE**



**DICEMBRE**

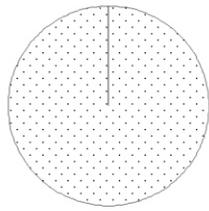


**Tab. 4** *Struttura della comunità (segue)*

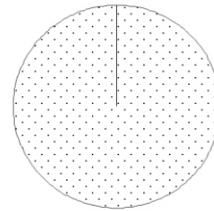
**Retro dei pannelli di acciaio**

**STAZIONE 1**

**STAZIONE 2**

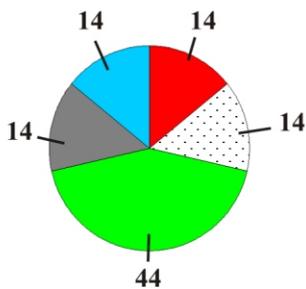


**APRILE**

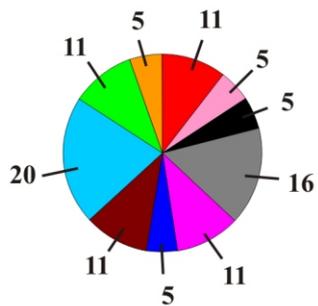
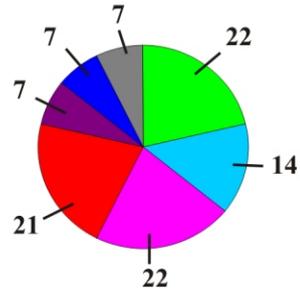


100

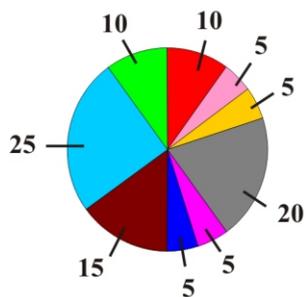
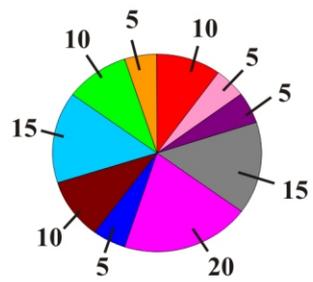
100



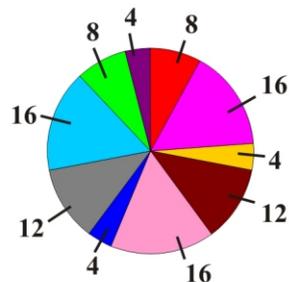
**GIUGNO**



**SETTEMBRE**



**DICEMBRE**



**Tab. 5 *Indice di copertura-abbondanza***

**Fronte dei pannelli di legno**

	APRILE		GIUGNO		SETTEMBRE		DICEMBRE	
	stazione 1	stazione 2						
<b>FILMBATTERICO</b>	5	5						
<b>CLOROFITE</b>			2	1	1	1	1	1
<b>RODOFITE</b>			3	1	1	1	1	1
<b>FEOFITE</b>								1
<b>PORIFERI</b>			1	1		1	1	1
<b>CNIDARI IDROZOI</b>				1	1	1	1	1
<b>ANELLIDI POLICHETI</b>			1	1	1	1	1	1
<b>BRIOZOI</b>				1	2	2	1	2
<b>MOLLUSCHI BIVALVI</b>						1	1	1
<b>ARTROPODI CIRRIPIEDI</b>					1	1	1	
<b>TUNICATI ASCIDIACEI</b>			3	1	2	1	1	2
<b>GASTEROPODI</b>								

<u>INDICI</u>	<u>DESCRIZIONE</u>
R 	Individui rari ricoprenti una porzione molto piccola dell'area campionata.
1 	Individui numerosi, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area campionata o abbondantemente sparsi ma con un elevato valore di copertura.
2 	Con qualche numero di individui ricoprenti tra 1/20 e 1/4 dell'area campionata, o con numerosi individui, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area
3 	Copertura compresa tra 1/4 e 3/4 dell'area campionata
4 	Copertura compresa tra 1/2 e 3/4 dell'area campionata
5 	Copertura più dei 3/4 dell'area campionata

**Tab. 5 *Indice di copertura-abbondanza (segue)***

**Retro dei pannelli di legno**

	APRILE		GIUGNO		SETTEMBRE		DICEMBRE	
	stazione 1	stazione 2						
<b>FILMBATTERICO</b>	5	5						
<b>CLOROFITE</b>			1		1	1		1
<b>RODOFITE</b>			1	2	1	2	1	2
<b>FEOFITE</b>							1	1
<b>PORIFERI</b>			1					1
<b>CNIDARI IDROZOI</b>			1	2	1	2		2
<b>ANELLIDI POLICHETI</b>			1	1	2	2	1	1
<b>BRIOZOI</b>				2	2	2	1	2
<b>MOLLUSCHI BIVALVI</b>						1		1
<b>ARTROPODI CIRRIPIEDI</b>					1	1	2	1
<b>TUNICATI ASCIDIACEI</b>			5	1	2	2	2	1
<b>GASTEROPODI</b>							1	

<u>INDICI</u>	<u>DESCRIZIONE</u>
R 	Individui rari ricoprenti una porzione molto piccola dell'area campionata.
1 	Individui numerosi, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area campionata o abbondantemente sparsi ma con un elevato valore di copertura.
2 	Con qualche numero di individui ricoprenti tra 1/20 e 1/4 dell'area campionata, o con numerosi individui, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area
3 	Copertura compresa tra 1/4 e 3/4 dell'area campionata
4 	Copertura compresa tra 1/2 e 3/4 dell'area campionata
5 	Copertura più dei 3/4 dell'area campionata

Tab. 5 *Indice di copertura-abbondanza (segue)*

Fronte dei pannelli di acciaio

	APRILE		GIUGNO		SETTEMBRE		DICEMBRE	
	stazione 1	stazione 2						
FILM BATTERICO	5	5						
CLOROFITE			2	1	1	1	1	1
RODOFITE			3	1	1	1	1	1
FEOFITE								1
PORIFERI			1	1		1	1	1
CNIDARI IDROZOI				1	1	1	1	1
ANELLIDI POLICHETI			1	1	1	1	1	1
BRIOZOI				1	2	2	1	2
MOLLUSCHI BIVALVI						1	1	1
ARTROPODI CIRRIPIEDI					1	1		
TUNICATI ASCIDIACEI			3	1	2	1	1	2
GASTEROPODI								

<u>INDICI</u>	<u>DESCRIZIONE</u>
R 	Individui rari ricoprenti una porzione molto piccola dell'area campionata.
1 	Individui numerosi, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area campionata o abbondantemente sparsi ma con un elevato valore di copertura.
2 	Con qualche numero di individui ricoprenti tra 1/20 e 1/4 dell'area campionata, o con numerosi individui, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area
3 	Copertura compresa tra 1/4 e 3/4 dell'area campionata
4 	Copertura compresa tra 1/2 e 3/4 dell'area campionata
5 	Copertura più dei 3/4 dell'area campionata

Tab. 5 *Indice di copertura-abbondanza (segue)*

Retro dei pannelli di acciaio

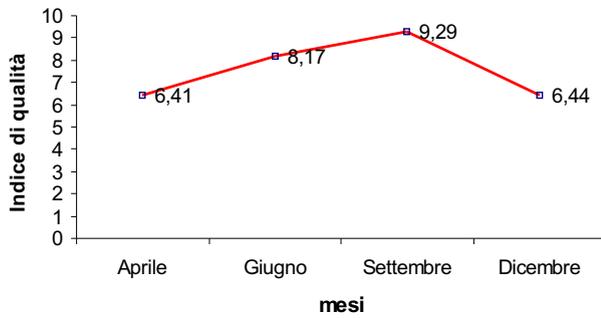
	APRILE		GIUGNO		SETTEMBRE		DICEMBRE	
	stazione 1	stazione 2						
FILMBATTERICO	5	5	4					
CLOROFITE			1	1	R	R	R	1
RODOFITE			2	2	R	2	1	1
FEOFITE							R	R
PORIFERI					R	R	R	1
CNIDARI IDROZOI				1		1		1
ANELLIDI POLICHETI			1	R	3	1	3	R
BRIOZOI				1	R	2	R	2
MOLLUSCHI BIVALVI				R	R	R	R	2
ARTROPODI CIRRIPIEDI					R	R	R	R
TUNICATI ASCIDIACEI			2	R	2	2	2	2
GASTEROPODI					R			

<u>INDICI</u>	<u>DESCRIZIONE</u>
R 	Individui rari ricoprenti una porzione molto piccola dell'area campionata.
1 	Individui numerosi, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area campionata o abbondantemente sparsi ma con un elevato valore di copertura.
2 	Con qualche numero di individui ricoprenti tra 1/20 e 1/4 dell'area campionata, o con numerosi individui, ma ricoprenti meno di 1/20 dell'area
3 	Copertura compresa tra 1/4 e 3/4 dell'area campionata
4 	Copertura compresa tra 1/2 e 3/4 dell'area campionata
5 	Copertura più dei 3/4 dell'area campionata

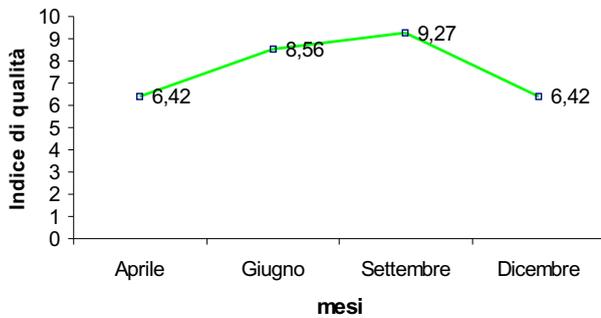
Tab. 6 Bioindice

STAZIONE 1

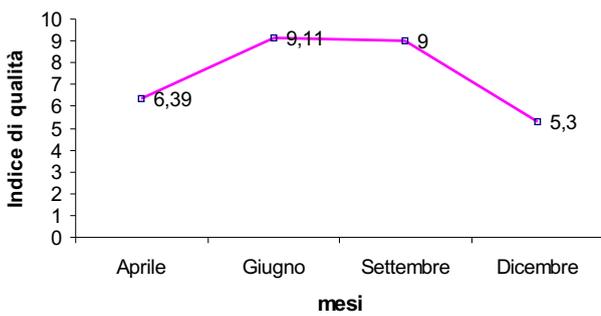
Fronte dei pannelli in acciaio



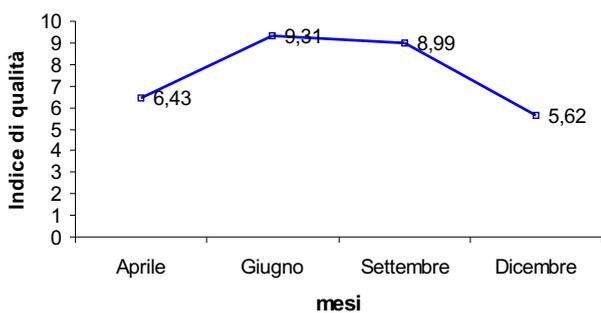
Retro dei pannelli in acciaio



Fronte dei pannelli in legno

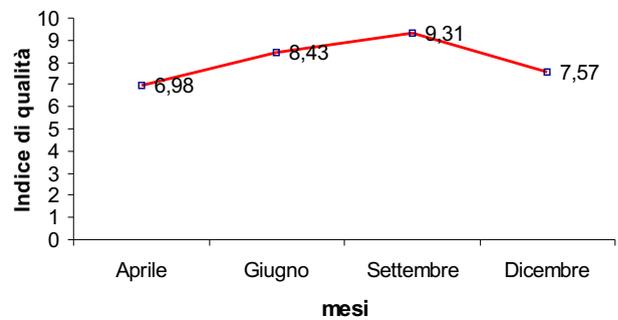


Retro dei pannelli in legno

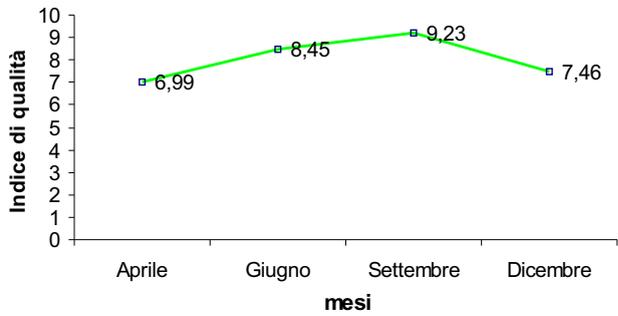


STAZIONE 2

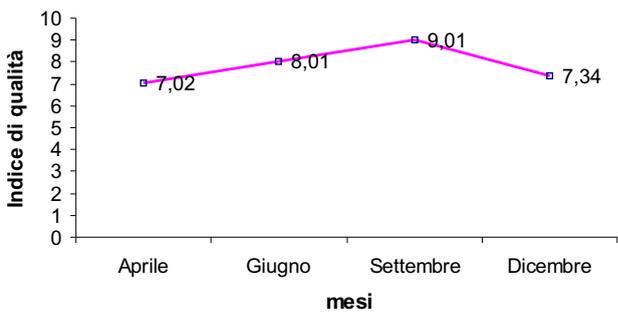
Fronte dei pannelli in acciaio



Retro dei pannelli in acciaio



Fronte dei pannelli in legno



Retro dei pannelli in legno

