

T.1.3.2 Etude d'impact des activités maritimes et portuaires sur la faune et de la flore de l'île d'Elbe

Oct/2019

Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno
Settentrionale



*Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Settentrionale*



Porti di Livorno, Piombino,
Portoferraio, Rio Marina,
Cavo, Capraia Isola



Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISMAR - Istituto di Scienze Marine
UOS di Bologna
Via P. Gobetti, 101 - 40129 Bologna, Italy
Tel. +39 051 6398991 Fax. +39 051 6398939
segreteria@bo.ismar.cnr.it
C.F. 80054330586 - P.IVA 02118311006



INSTITUTE OF MARINE BIOLOGY AND ECOLOGY

RECOGNISED BY THE MINISTRY OF SCIENTIFIC RESEARCH AND TECHNOLOGY N. 707911DA

RECOGNISED BY THE MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY D.M. 26/10/1999

DIRECTOR: Prof. ROBERTO BEDINI

e-mail: bedini@biomare.it

ÉTUDE DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS MARITIMES ET PORTUAIRES SUR LA FAUNE ET LA FLORE DE L'ÎLE D'ELBE

Table des matières

INTRODUCTION	3
ÉTUDE VISANT À VÉRIFIER L'ÉTAT ACTUEL DE LA FAUNE ET FLORE MARINE DANS LES PORTS INSULAIRES DE PORTOFERRAIO ET CAVO	6
Introduction	7
Matériel et méthodes	7
Risultats de Portoferraio.....	16
Rèultats Cavo	42
Quelques photos des organismes prélevés.....	53
Conclusions	62
Bibliographie.....	68
RELEVÉ GÉOPHYSIQUE MARIN AVEC DRONE AUTONOME DE SURFACE À PORTOFERRAIO ET CAVO (SEPTEMBRE 2019)	74
Table des matières	76
Avant-propos - Objet du travail.....	76
1.0 - Zones objet des relevés et journal des opérations	77
2.0 – Méthodes et instrumentation.....	78
3.0 – Risultats.....	82
4.0 – Conclusions	86
Bibliographie.....	86
ANALYSES GÉOCHIMIQUES XRF PRÉLÈVEMENTS PORTOFERRAIO ET CAVO	87
Methodes	87
Resultats de Portoferraio	91
Conclusions Portoferraio	94
Rèultats Cavo	95
Conclusions Cavo.....	97



*Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Settentrionale*



Porti di Livorno, Piombino,
Portoferraio, Rio Marina,
Cavo, Capraia Isola

INTRODUCTION

Les activités portuaires liées au transport maritime peuvent avoir un impact environnemental élevé sur la qualité de l'air et des eaux côtières, avec des répercussions sur la faune et la flore marine. À ce jour, la plupart des navires circulant en Méditerranée utilisent du fioul lourd (HFO) comme carburant pour la propulsion et les services à bord. Le terme générique fioul lourd (HFO) désigne les carburants à haute viscosité, avec une densité supérieure à 900 kg/m^3 à 15°C . Les fiouls lourds ont une forte teneur en molécules lourdes comme les hydrocarbures à longue chaîne et aromatiques avec des chaînes latérales à ramification longue. Le fioul lourd est l'un des carburants les plus polluants qui a de fortes répercussions sur la qualité de l'air et de l'eau de mer.

Les émissions dans l'atmosphère sont dues à la composition chimique du fioul lourd qui, lors du processus de combustion, produit de grandes quantités de gaz polluants tels que : oxyde de soufre (SOx), oxyde d'azote (NOx), particules (PM) et dioxyde de carbone (CO₂). L'impact des carburants utilisés pour le transport maritime sur la qualité de l'air est bien documenté et il existe désormais plusieurs technologies parvenues à maturité qui permettent de surveiller et de quantifier les émissions de manière satisfaisante, comme les capteurs environnementaux ou les analyseurs de fumée, à même de calculer avec exactitude les typologies et les quantités de polluants émis dans l'atmosphère.

La pollution des eaux marines est à la fois due aux différents produits de la combustion qui finissent inévitablement par se déposer à la surface de la mer, mais aussi aux déversements de carburants et aux eaux de cale huileuses. L'eau de cale est constituée d'infiltrations d'eau salée, d'eau de refroidissement, de fioul et d'huile lubrifiante, de la séparation des liquides dans les cuves de sédimentation et de décantation, des rejets issus de divers processus d'épuration ainsi que de particules de suie et de saletés. Tous ces sous-produits de la décomposition biologique du pétrole sont nocifs pour les poissons et la faune en général, mais aussi pour l'homme en cas d'ingestion. Les effets peuvent ne pas être mortels, mais les organismes sont quoi qu'il en soit affectés par de telles substances. En règle générale, un grand navire de croisière produit 8 tonnes d'eaux de cale huileuses pour 24 heures d'activité. Pour garantir la stabilité du navire et éliminer les conditions potentiellement dangereuses résultant de l'inhalation de ces odeurs, les eaux de cale doivent être régulièrement vidangées et pompées. Toutefois, avant de pouvoir être rejetées dans la mer, et tel que requis par les réglementations émises par l'OMI, elles doivent subir un traitement extrêmement rigoureux qui réduit la teneur résiduelle en carburant à moins de 15 ppm. Si un séparateur, qui est normalement utilisé pour extraire le carburant, est défectueux, le carburant sera rejeté dans la mer, où il pourra nuire à l'environnement : c'est pourquoi la loi interdit les rejets dans la mer, mais celle-ci est souvent enfreinte.

L'utilisation du GNL (gaz naturel liquéfié) comme carburant alternatif pour la propulsion des navires peut contribuer à réduire l'impact environnemental à la fois dans l'atmosphère et sur les écosystèmes marins. Le GNL est un mélange d'hydrocarbures à l'état liquide composé principalement de méthane. Comparé aux carburants maritimes traditionnels, il présente une série d'avantages qui favorisent sa diffusion au niveau mondial. Parmi les différents avantages, les plus intéressants pour les thèmes abordés dans cette étude sont l'absence quasi totale d'oxydes de soufre (SOx) et la réduction de l'impact environnemental sur les écosystèmes marins en cas de déversement.

En ce qui concerne les émissions de polluants dans l'atmosphère, l'utilisation du GNL entraîne, par rapport à l'utilisation des carburants maritimes traditionnels, une réduction de :

- 20 % des émissions de CO₂, avec pour conséquence un impact positif sur le phénomène d'acidification des océans;
- 76 % des émissions d'oxyde d'azote (NOx);
- 97 % des émissions de particules (PM), particulièrement nocives pour la santé en cas d'inhalation;
- Plus de 99 % des émissions d'oxyde de soufre (SOx) qui peuvent entraîner des pluies acides.

De plus, en raison de ses conditions physico-chimiques, le GNL ne peut donner lieu à des déversements en mer ; en effet, sa température étant d'environ -160°C, un éventuel déversement de GNL aurait tendance à s'évaporer en peu de temps revenant à un état gazeux, ne pouvant ainsi se dissoudre dans la mer.

Dans la présente étude, une étude a été effectuée sur la situation actuelle de la faune et flore marine des ports de Portoferraio et Cavo, situés sur l'île d'Elbe. Les activités maritimes des deux ports sont presque exclusivement liées au transport de passagers (ferries rouliers à passagers dits Ro-Ro/Pax), une caractéristique qui les distingue fortement des autres ports gérés par l'autorité, en outre les deux ports sont caractérisés par une absence quasi totale d'activités portuaires industrielles et une faible population (hors mois d'été). Tous ces facteurs contribuent à limiter l'influence sur l'impact environnemental marin au seul transport maritime, permettant ainsi d'évaluer de manière plus tangible les effets des fiouls lourds utilisés dans le transport maritime sur la flore et la faune marine.

Plus précisément, ce sont près de 9 723 000 passagers qui ont transité par les ports de la haute mer Tyrrhénienne en 2018, environ 3 071 000 (33 % du total) qui ont transité par les ports de l'île d'Elbe (Portoferraio, Cavo, Rio Marina). Les deux autres principaux ports, Livourne et Piombino, ont vu transiter respectivement 3 386 000 (35 %) et 3 212 000 (33 %) passagers, soit un nombre presque équivalent de passagers.

La municipalité de Portoferraio compte environ 11 992 habitants, ce qui correspond à environ 40 % de la population totale de l'île. Son port représente la principale escale de l'île d'Elbe et son utilisation principale est liée au trafic régulier de ferries avec Piombino, au trafic des croisières et au trafic de plaisance. Le Darsena Medicea, d'une capacité de 150 places, représente la principale escale des bateaux de plaisance. Calata Depositi et le quai Alto Fondale constituent quant à eux les postes d'amarrage préférés des navires de croisière.

Depuis Calata Italia, au sud de la zone portuaire, partent les embarcadères G. Massimo n°3 et n°1 destinées aux terminaux de ferries reliant l'île au port de

Piombino. Le système portuaire de Portoferraio occupe une superficie totale d'environ 50 000 m² avec environ 1,5 km de quais et des fonds allant de 5 à 10 mètres. Dans le port de Portoferraio, le nombre d'arrivées quotidiennes de navires varie en moyenne entre 20 (en hiver) et 35 en été (haute saison). En 2018, plus de 10 300 navires entrants ont été enregistrés, ce qui représente environ 71 % de toutes les arrivées sur l'île d'Elbe, on estime que la consommation de carburants (diesel et fioul) rattachée à ces activités maritimes varie entre 1400 et 2100 tonnes par an.

Cavo est un hameau de Rio et compte moins de 1000 habitants (620 en 2011). Le Pontile di Cavo est un port de plaisance, avec certaines fonctions commerciales. Le débarcadère de Cavo constitue le poste d'amarrage des hydrofoils de ligne destinés à la liaison Piombino-Cavo-Portoferraio et, en été, le poste d'amarrage des ferries du service régulier Piombino-Cavo. Le débarcadère de Cavo est également caractérisé par le trafic issu de la navigation de plaisance. La jetée à claire-voie d'une longueur totale d'environ 180 mètres avec une rampe opérationnelle pour l'accostage de ferries et un accostage sur le côté opposé pour les bateaux rapides (hydroptères). Cavo est un port de plaisance qui compte un total d'environ 200 places, avec quelques fonctions commerciales, destiné à l'accostage des hydroptères réguliers avec Piombino et des ferries réguliers de la ligne Piombino-Cavo. Dans le port de Cavo, le nombre moyen d'arrivées quotidiennes de navires varie entre 5 en hiver et 9 en été. En 2018, environ 2500 navires entrants ont été enregistrés, ce qui représente environ 18 % de toutes les arrivées sur l'île d'Elbe. La consommation de carburant estimée pour le transport maritime du port de Portoferraio varie entre 360 et 530 tonnes par an.

Pour quantifier les effets des carburants maritimes traditionnels, des échantillons ont été prélevés pour analyser la composante zootechnique et identifier toutes les espèces présentes et leur abondance. En particulier, les prélèvements ont été effectués à la fois sur les fonds mous et sur les parois des môles, identifiant la flore et la faune présentes. Une attention particulière a été accordée à l'étude des herbiers de *Posidonia oceanica*, qui représentent l'un des écosystèmes les plus importants présents en Méditerranée pour plusieurs raisons:

- produisent jusqu'à 20 litres d'oxygène par jour par m² d'herbier;
- servent d'abri et de zone de reproduction à de nombreuses espèces marines;
- consolident les fonds marins près du rivage en contribuant à contrer un transport excessif de sédiments fins depuis les courants côtiers.

Les herbiers de *Posidonia oceanica*, leur étendue et leur densité, représentent d'excellents indicateurs pour évaluer le stress environnemental des sites étudiés, qui sont directement liés au trafic maritime.

INSTITUTE OF MARINE BIOLOGY AND ECOLOGY



RECOGNISED BY THE MINISTRY OF SCIENTIFIC RESEARCH AND TECHNOLOGY N. 707911DA

RECOGNISED BY THE MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY D.M. 26/10/1999

DIRECTOR: Prof. ROBERTO BEDINI

e-mail: bedini@biomare.it

ÉTUDE VISANT À VÉRIFIER L'ÉTAT ACTUEL DE LA FAUNE ET FLORE MARINE DANS LES PORTS INSULAIRES DE PORTOFERRAIO ET CAVO

Introduction

L'étude pour l'analyse de l'état actuel de la faune et flore marine commandée par l'Autorité du système portuaire du nord de la mer Tyrrhénienne a été réalisée au cours des mois d'avril, mai et juin 2019 dans le port de Portoferraio puis, en juin 2019, dans le port de Cavo.

Le rapport produit illustre les résultats des prélèvements effectués pour l'analyse de la composante zoobenthique avec l'identification taxonomique de toutes les espèces remarquables sessiles et nageuses trouvées et leur abondance.

L'étude des biocénoses côtières est nécessaire pour connaître les écosystèmes d'une zone donnée et évaluer la situation en cours. L'analyse de la composante zoobenthique du fond mou fournit des indications valables pour évaluer l'état de stress environnemental en considérant les espèces prélevées comme des indicateurs des caractéristiques environnementales (Crema *et al.*, 1983 ; Bilyard *et al.*, 1987 ; Thomson, 2003). Une attention particulière a été accordée à la détermination d'éventuelles espèces sessiles présentes sur les parois et dans les sédiments du port étudié et d'espèces d'importance écologique et naturaliste significative (par exemple, les espèces protégées telles que *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) et *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758), *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, 1870 etc.) afin d'évaluer la situation environnementale de la zone où se trouvent les structures.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

In Figure 1a si riporta l'area di indagine del porto di Portoferraio con delimitazione di dettaglio delle aree oggetto di intervento:

- Zone Darsena Cosimo de' Medici
- Zone port commercial
- Zone chantiers Esaom Cesa
- site A (pointe Torre del Martello)
- site B (chantiers Esaom Cesa)
- site C (thermes de S. Giovanni - Hotel Airone)
- site D (Magazzini).



Figure 1a - Zone d'étude dans la zone portuaire de Portoferraio

La figure 1b montre la zone d'étude du port de Cavo:

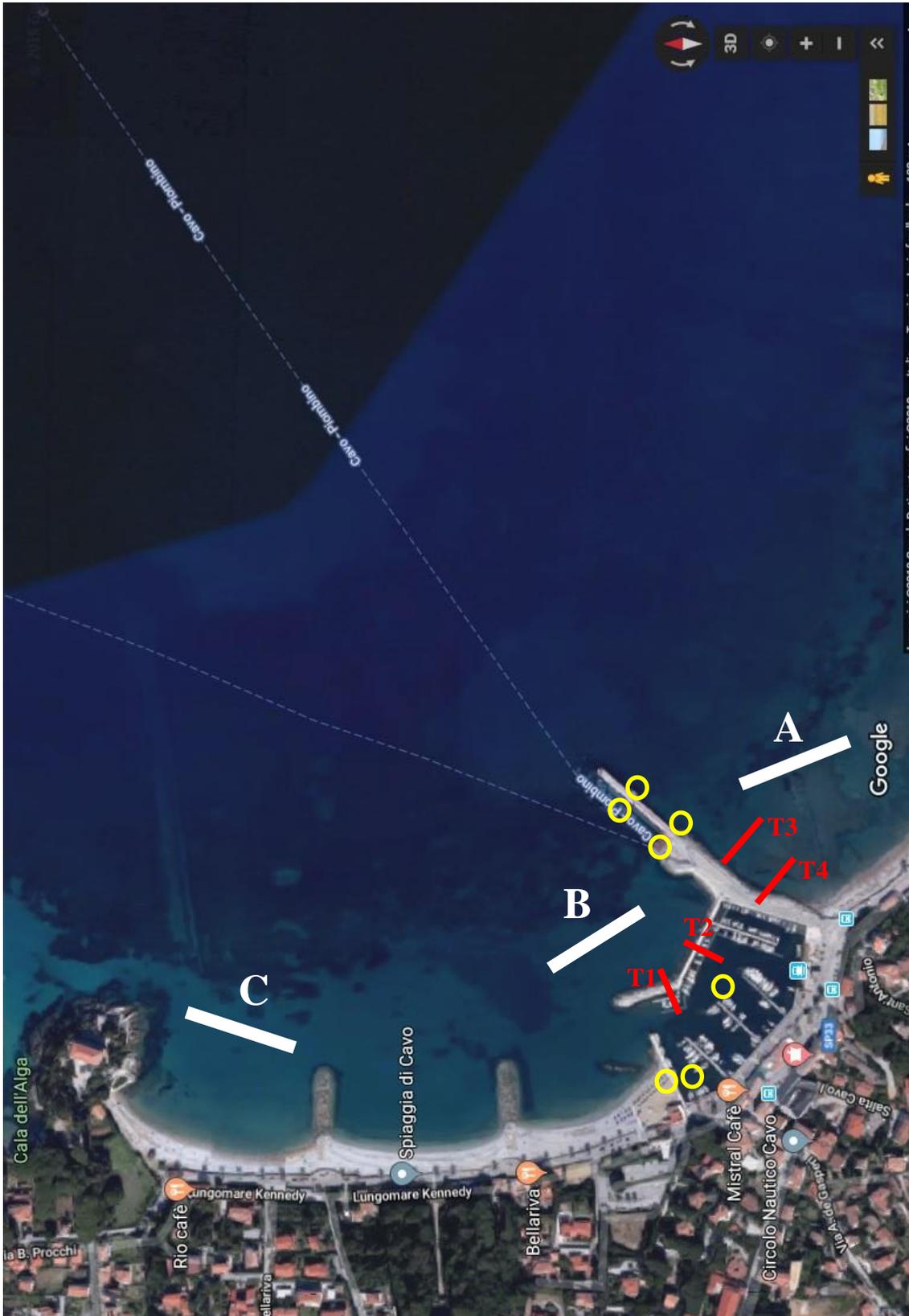


Figure 1b - Zone d'étude dans la zone portuaire de Cavo

Les prélèvements de la composante zoobenthique ont été effectués par des biologistes (dont un membre de l'OTS) en plongée, avec un appareil respiratoire autonome, tandis que la détermination taxonomique des espèces prélevées a été réalisée par des biologistes au sein des laboratoires de l'Institut de biologie et d'écologie marine de Piombino.

Technique du “grattage”

Pour les zones caractérisées par des surfaces dures (quais), il a été procédé au prélèvement des matières de recouvrement par la méthode du grattage (Cinelli *et al.*, 1977; Sara *et al.*, 1978), qui permet de déterminer avec précision les espèces difficiles à identifier « sur le terrain ».

À l'aide d'un marteau et d'un burin, les surfaces ont été enlevées à l'intérieur d'un cadre métallique de 25 cm x 25 cm à une profondeur de -3 m. Pour chaque point, des photographies ont été prises avant (figure 2 a et b respectivement de Portoferraio et Cavo) et après (figure 3 a et b respectivement de Portoferraio et Cavo) le grattage.

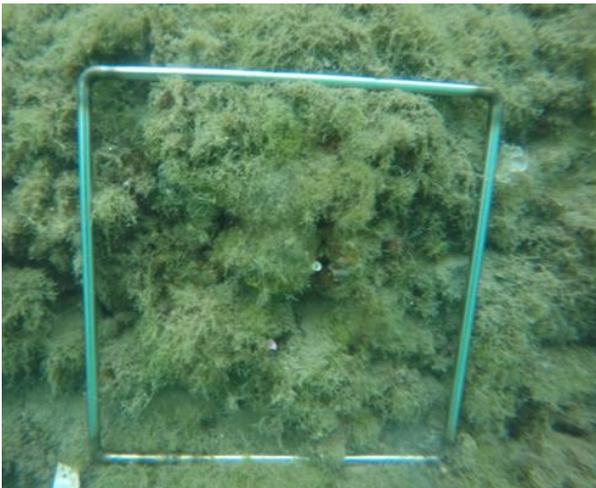


Figure 2a - Carré 25x25 avant le grattage



Figure 3a - Carré 25x25 après le grattage



Figure 4b - Carré 25x25 avant le grattage

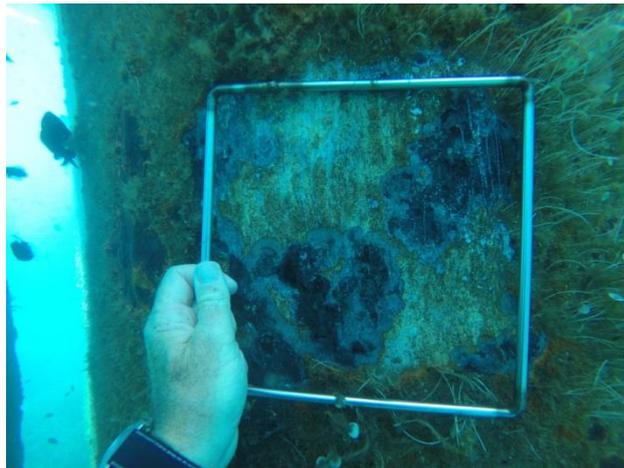


Figure 5b - Carré 25x25 après le grattage

Le matériel a été récupéré à l'intérieur de sacs en polyéthylène fermés avec des élastiques pour éviter la dispersion du contenu, puis transporté dans des sacs isothermes à l'Institut de biologie et d'écologie marine de Piombino pour procéder à la détermination taxonomique des espèces prélevées.

Transects et recensement visuel

À partir des points de grattage sur les quais, en plongée avec un appareil respiratoire autonome, des transects de 30 mètres de long ont été parcourus en utilisant la technique appelée LIT (*Line Intercept Transect*) : le long du profil bathymétrique (Giaccone et Sortino, 1974), il a été possible d'identifier les espèces remarquables sessiles et nageuses, en annotant chaque point correspondant à un changement de la catégorie d'organisme ou de substrat sous le ruban gradué, et enregistrant à l'aide de vidéos et photos la profondeur, les espèces observées et leur abondance (Bianchi *et al.*, 1991, Harmelin-Vivien *et al.*, 1975 ; Balduzzi *et al.*, 1994).

Les transects ont été identifiés et transcrits à l'aide d'un GPS.

Prélèvements de fond mou

Pour chaque transect, 4 prélèvements de sédiments ont été effectués en utilisant un carottier d'un volume connu manœuvré à la main par l'opérateur: 2 échantillons à 15 mètres et 2 à 30 mètres du quai, à droite et à gauche du ruban gradué (figures 4, 5, 6 a et b respectivement de Portoferraio et Cavo).



Figure 4a - Transect. Distance à 15 mètres du quai

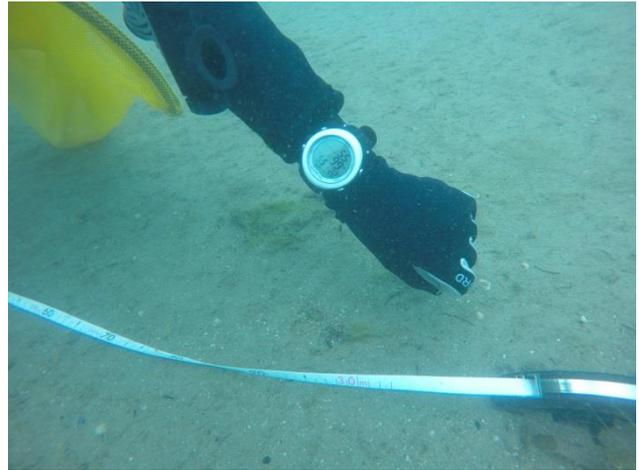


Figure 5a - Transect. Distance à 30 mètres du quai



Figure 6a - Opérateur pendant le prélèvement des sédiments avec un carottier dans la main



Figure 4b - Transect. Distance à 15 mètres du quai



Figure 5b - Transect. Distance à 30 mètres du quai



Figure 6b - Opérateur pendant le prélèvement des sédiments avec un carottier dans la main

Les prélèvements ont été récupérés dans des sacs en polyéthylène (Cinelli *et al.*, 1976 ; Sara *et al.*, 1978 ; Abbiati, 1991) fermés par des élastiques pour empêcher la dispersion du contenu, puis transportés à l'intérieur de sacs isothermes au laboratoire de l'Institut de biologie et d'écologie marine de Piombino.

Une fois arrivés au laboratoire, il a été procédé au tri des espèces présentes dans les échantillons et les animaux trouvés ont ensuite été identifiés en termes d'espèces à l'aide d'un stéréomicroscope.

Analyse des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813

Les zones identifiées pour l'étude sur la présence et l'état de santé de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 ont été analysées avec les méthodologies suivantes:

- comptage du nombre de faisceaux de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813, au niveau de la limite supérieure de l'herbier pour établir l'état actuel de la densité par rapport au nombre de faisceaux par m² (méthode du « quadrat relevé »);
- prélèvement des biocénoses avec des filets à plancton le long de transects de 20 m avec 5 répliques pour chaque site;
- collecte des échantillons dans des sacs en polyéthylène fermés par des élastiques et transportés dans des sacs isothermes aux laboratoires de l'Institut de biologie et d'écologie marine de Piombino pour la détermination taxonomique de toutes les espèces prélevées et de celles photographiées;
- mesure de la distance depuis le rivage de la *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 (limite supérieure).

En ce qui concerne le port de Portoferraio, l'analyse dans la zone « Darsena Cosimo de' Medici » a consisté à prélever des échantillons en utilisant la technique du grattage au niveau de 5 points, tels qu'illustrés en jaune sur la figure 7.



Figure 7 - Prélèvements dans la Darsena Cosimo de' Medici

L'analyse dans la zone du port commercial a consisté à effectuer des prélèvements à l'aide de la technique du grattage sur 13 points indiqués en jaune sur la figure 3 et par le biais de la réalisation de 6 transects indiqués en rouge sur la figure 8.



Figure 8 - Prélèvements dans la zone du port commercial

En ce qui concerne la zone des chantiers Esaom Cesa, l'analyse a consisté à prélever des échantillons en utilisant la technique du grattage au niveau de 4 points, illustrés en jaune sur la figure 9.

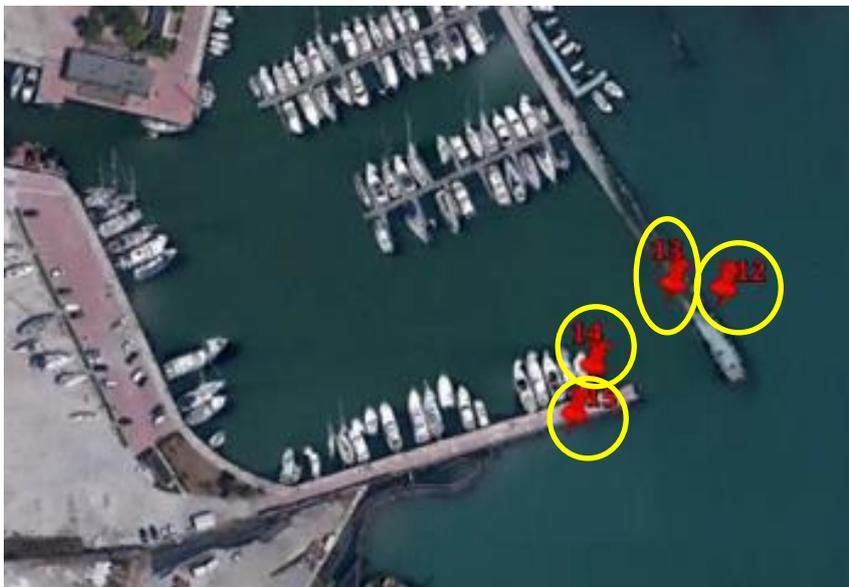


Figure 9 - Prélèvements dans la zone des chantiers Esaom Cesa

Risultati de Portoferraio

Darsena Cosimo de' Medici

Dans cette zone, 5 prélèvements ont été effectués sur du substrat dur (quais) à une profondeur de -3 m en utilisant la méthode du grattage.

Le tableau 1 ci-dessous reporte les coordonnées en WGS84 des points étudiés :

POINT	LAT. N	LONG. E	PROFONDEUR MÈTRES
1	42°48.813'	10°19.727'	3
2	42°48.839'	10°19.761'	3
3	42°48.797'	10°19.888'	3
4	42°48.786'	10°19.872'	3
5	42°48.754'	10°19.827'	3

Tableau 1 - coordonnées en WGS84 des points étudiés dans la Darsena Cosimo de' Medici

Sur les parois verticales des points 1 et 2, on a observé 2 madréporaires appartenant à l'espèce protégée *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1758), figure 10.



Figure 10 - Spécimen de *C. caespitosa* (Linnaeus, 1758) sur la paroi verticale du point 1

Le tableau 2 contient les organismes prélevés dans la zone de la Darsena Cosimo de' Medici.

TAXA	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
ANELLIDI - POLICHETI					
<i>Amphitritides gracilis</i> (Grube, 1860)				1	
<i>Bonellia viridis</i> (Rolando, 1822)				1	
<i>Dodecaceria concharum</i> (Örsted, 1843)	1	1	1		
<i>Eupolymnia nebulosa</i> (Montagu, 1819)				1	
<i>Semivermilia crenata</i> (O. G. Costa, 1861)					1
<i>Serpula vermicularis</i> (Linnaeus, 1767)	2	4	1	3	2
<i>Vermiliopsis infundibulum</i> (Philippi, 1844)		1			
<i>Vermiliopsis striaticeps</i> (Grube, 1862)	1				1
MOLLUSCHI - BIVALVI					
<i>Arca tetragona</i> (Poli, 1795)	1 + 1 juv. ∅ 4 mm	1 + 1 juv. ∅ 3 mm + 1 juv. 5 mm			
<i>Chama gryphoides</i> (Linnaeus, 1758)	1				
<i>Hiatella rugosa</i> (Linnaeus, 1767)		1 + 1 juv. ∅ 4 mm			
<i>Musculus costulatus</i> (Risso, 1826)	1 + 1 juv. ∅ 3 mm				
<i>Rocellaria dubia</i> (Pennant, 1777)		1 + 1 juv. ∅ 3 mm			
MOLLUSCHI - GASTEROPODI					
<i>Alvania lineata</i> (Risso, 1826)				5	
<i>Alvania mamillata</i> (Risso, 1826)					1
<i>Bittium latreillii</i>	2 + 1 juv.	4	4	9	3

(Payraudeau, 1826)					
<i>Bulla striata</i> (Bruguière, 1792)			1		
<i>Elysia viridis</i> (Montagu, 1804)			1 juv.		
<i>Pusia tricolor</i> (Gmelin, 1791)			1 juv. 4 mm		
<i>Rissoa guerinii</i> (Récluz, 1843)			1		
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)				1 juv. 2 mm	
<i>Williamia gussoni</i> (Costa O. G., 1829)					1 juv. \varnothing 2 mm
MOLLUSCHI - POLIPLACOFORI					
<i>Acanthochitona fascicularis</i> (Linnaeus, 1767)	1 + 1 \varnothing 8 mm		1 + 1 \varnothing 9 mm		
CROSTACEI - DECAPODI					
<i>Alpheus dentipes</i> (Guérin, 1832)	1 + 1 juv. 8 mm				
<i>Cestopagurus timidus</i> (Roux, 1830)				3	
<i>Pilumnus hirtellus</i> (Linnaeus, 1761)	1 + 1 juv. \varnothing 3 mm carapace				
<i>Pilumnus minutus</i> (De Haan, 1835)					1 juv. \varnothing 2 mm
ECHINODERMI					
<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard in O.F. Müller, 1789)			1 + 1 juv.		
<i>Ophioderma longicauda</i> (Bruzellius, 1805)			1		
SIPUNCULIDI					
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri</i> (Diesing, 1851)	3	1	1	3	
<i>Golfingia (Golfingia) vulgaris vulgaris</i>					1

(de Blainville, 1827)					
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) agassizii</i> (Keferstein, 1866)					2
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) granulatum</i> (Leuckart, 1828)				4	
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) perlucens</i> (Baird, 1868)	1				
ALGHE					
<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J.V.Lamouroux, 1809	X				
<i>Dictyota implexa</i> (Desfontaines) J.V.Lamouroux, 1809				X	
<i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy, 1960			X		
<i>Acetabularia acetabulum</i> (Linnaeus) P.C.Silva, 1952			X	X	
<i>Botryocladia botryoides</i> (Wulfen) Feldmann, 1941		X			
<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kutzing, 1843	X				
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot, 1889			X		
<i>Dasycladus vermicularis</i> (Scopoli) Krasser, 1898	X	X			X
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin, 1987	X		X	X	X
<i>Halopteris filicina</i> (Grateloup) Kützing, 1843					X
<i>Mesophyllum expansum</i> (Philippi) Cabioch & M.L.Mendoza, 2003		X			
<i>Peyssonnelia squamaria</i> (S.G.Gmelin) Decaisne ex J.Agardh, 1842				X	

Tableau 2 – Espèces prélevées dans les 5 points de grattage, divisées en embranchements

Zone du port commercial et zone des chantiers Esaom Cesa

Dans la zone du port commercial, des prélèvements ont été effectués à l'aide de la technique du grattage sur 13 points et 6 transects ont été parcourus, tandis que dans la zone des chantiers Esaom Cesa, des prélèvements ont été effectués avec la technique du grattage sur 4 points.

Le tableau 3 ci-dessous reporte les coordonnées en WGS84 de tous les points étudiés.

POINT	LAT. N	LONG. E	PROFONDEUR MÈTRES MAX.
6	42°48.813'	10°19.727'	3
7	42°48.839'	10°19.761'	3
8	42°48.797'	10°19.888'	3
9	42°48.786'	10°19.872'	3
10	42°48.813'	10°19.727'	3
11	42°48.644'	10°19.431'	3
12	42°48.696'	10°19.374'	3
13	42°48.645'	10°19.340'	3
14	42°48.787'	10°19.410'	3
15	42°48.811'	10°19.438'	3
16	42°48.722'	10°19.674'	3
17 ESAOM	42°48.550'	10°19.054'	3
18 ESAOM	42°48.551'	10°19.042'	3
19 ESAOM	42°48.537'	10°19.023'	3
20 ESAOM	42°48.529'	10°19.019'	3
21	42°48.728'	10°19.381'	3
22	42°48.668'	10°19.354'	3
T1	42°48.811'	10°19.438'	6
T2	42°48.787'	10°19.410'	6
T3	42°48.728'	10°19.381'	6
T4	42°48.696'	10°19.374'	6,5
T5	42°48.668'	10°19.354'	6
T6	42°48.645'	10°19.340'	6,5

Tableau 3 – Coordonnées en WGS84 des points étudiés dans la zone du port commercial et des chantiers Esaom Cesa

Un spécimen de la madréporaire *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1758) a été observé le long du transect T5 et montré à la figure 11.



Figure 11 - Spécimen de *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1758) le long du transect T5

Le tableau 4 reporte les organismes prélevés dans la zone du port commercial et des chantiers Esaom Cesa à l'aide de la méthode du grattage.

Le tableau 5 répertorie les organismes trouvés dans les prélèvements du fond mou effectués le long des transects dans la zone du port commercial.

TAXONS	POINT 6	POINT 7	POINT 8	POINT 9	POINT 10	POINT 11	POINT 12	POINT 13	POINT 14	POINT 15	POINT 16	POINT 17	POINT 18	POINT 19	POINT 20	POINT 21	POINT 22
ANNÉLIDES - POLYCHÈTES																	
<i>Dodecaceria concharum</i> (Örsted, 1843)															2		
<i>Harmothoe spinifera</i> (Ehlers, 1864)												1					
<i>Mastobranchus trinchessii</i> (Eisig, 1887)															1		
<i>Nicolea zostericola</i> (Örsted, 1844)															1		
<i>Semivermilia crenata</i> (O. G. Costa, 1861)															1		
<i>Serpula concharum</i> (Langerhans, 1880)					1			1						1		2	
<i>Serpula vermicularis</i> (Linnaeus, 1767)		2		3		1		1	2								
<i>Vermiliopsis infundibulum</i> (Philippi, 1844)				1							1						
<i>Vermiliopsis striaticeps</i> (Grube, 1862)		1				1									1		

<i>Vermiliopsis monodiscus</i> (Zibrowius, 1968)															1		
MOLLUSQUES - BIVALVES																	
<i>Anomia ephippium</i> (Linnaeus, 1758)	1	1							1				1		1		
<i>Chama gryphoides</i> (Linnaeus, 1758)		2		1	2			1		1	2		2		1		2
<i>Corbula gibba</i> (Olivi, 1792)									1								
<i>Musculus costulatus</i> (Risso, 1826)													1 (3 mm)				
<i>Rocellaria dubia</i> (Pennant, 1777)													1 (2 mm)				
MOLLUSQUES - GASTÉROPODES																	
<i>Bittium latreillii</i> (Payraudeau, 1826)										2	2 (1 de 5 mm et 1 de 6 mm)			6 (don t 2 de 5 mm)	5 (don t 2 de 6 mm et 2	2 (6 mm et 5 mm)	2 (don t 1 de 6 mm)

CRUSTACÉS - AMPHIPODES																	
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)												1					
<i>Microdeutopus stationis</i> (Della Valle, 1893)												1					
SIPONCLES																	
<i>Aspidosiphon</i> (<i>Aspidosiphon</i>) <i>muelleri</i> <i>muelleri</i> (Diesing, 1851)			2		1	1	1	3			4		3		2	4	
<i>Phascolosoma</i> (<i>Phascolosoma</i>) <i>granulatum</i> (Leuckart, 1828)	1	1						1			2	2				3	
SPONGIAIRES - DÉMOSPONGES																	
<i>Scalarispongia scalaris</i> (Schmidt, 1862)								X						X			
<i>Spirastrella cunctatrix</i> (Schmidt, 1868)												X					
<i>Spongia</i> (<i>Spongia</i>) <i>agaricina</i> (Pallas, 1766)																X	

BRYOZOAIRES																		
<i>Hippoporina pertusa</i> (Esper, 1796)				X														
ALGUES																		
<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J.V.Lamouroux, 1809			X	X							X							
<i>Dictyota implexa</i> (Desfontaines) J.V.Lamouroux, 1809		X									X							
<i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy, 1960	X	X			X			X			X							X
<i>Acetabularia acetabulum</i> (Linnaeus) P.C.Silva, 1952	X		X			X			X		X				X	X		
<i>Botryocladia botryoides</i> (Wulfen) Feldmann, 1941																		
<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kutzing, 1843																		
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot, 1889											X							
<i>Dasycladus vermicularis</i> (Scopoli) Krasser, 1898	X	X			X													
<i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin, 1987	X			X		X			X		X							
<i>Halopteris filicina</i>																		

(Grateloup) Kützing, 1843																	
<i>Mesophyllum expansum</i> (Philippi) Cabioch & M.L.Mendoza, 2003																	
<i>Peyssonnelia squamaria</i> (S.G.Gmelin) Decaisne ex J.Agardh, 1842																	

Tableau 4 – Espèces prélevées dans les 17 points de grattage de la zone commerciale et de la zone des chantiers Esaom Cesa, divisées en embranchements

TAXONS		TRANSECT 1	TRANSECT 2	TRANSECT 3	TRANSECT 4	TRANSECT 5	TRANSECT 6
---------------	--	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

La coopération au cœur de la Méditerranée

	Distance du quai (m)	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
						Sédiments boueux mélangés à du gravier							
ANNÉLIDES - POLYCHÈTES													
<i>Anobothrus gracilis</i> (Malmgren, 1866)													1
<i>Aphrodita aculeata</i> (Linnaeus, 1758)		1											
<i>Aricia</i> sp.			1										
<i>Diplocirrus</i> sp. (Haase, 1915)												1	
<i>Euclymene oerstedii</i> (Claparède, 1863)										1		1	
<i>Glycera unicornis</i> (Lamarck, 1818)										1			
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)			1							1			
<i>Lumbrineris latreilli</i>				1									

(Audouin & Milne Edwards, 1834)													
<i>Macrochaeta clavicornis</i> (M. Sars, 1835)											1		
<i>Macroclymene santanderensis</i> (Rioja, 1917)											1		
<i>Mastobranthus trinchessii</i> (Eisig, 188)											1		
<i>Melinna palmata</i> (Grube, 1870)									1				
<i>Owenia fusiformis</i> (Delle Chiaje, 1844)			1		3		1						
<i>Pherusa plumosa</i> (Müller, 1776)										1			
<i>Scoloplos armiger</i> (Müller, 1776)												1	
<i>Therochaeta flabellata</i> (Sars in Sars, 1872)									1				
NÉMERTES													
<i>Cephalothrix linearis</i>				1									

La coopération au cœur de la Méditerranée

(Rathke, 1799)													
<i>Cephalothrix rufifrons</i> (Johnston, 1837)			1										
<i>Tetrastemma ambiguum</i> (Riches, 1893)					1								
MOLLUSQUES - BIVALVES													
<i>Parvicardium pinnulatum</i> (Conrad, 1831)				1 (ø 2 mm)					1 (ø 2 mm)				
MOLLUSQUES - GASTÉROPODES													
<i>Bittium latreillii</i> (Payraudeau, 1826)		2 (dont 1 de 5 mm)	3 (dont 1 ø 3 mm)	3 (dont 1 ø 6 mm)	4 (dont 1 ø 5 mm, 2 ø 4 mm et 1 ø 2,5 mm)			5	1	6 (dont 1 ø 5 mm, 2 ø 4 mm et 1 ø 6 mm)	2 (dont 1 ø 5 mm)		
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)		4											
<i>Calliopaëa bellula</i> (d'Orbigny, 1837)		1 (ø 3 mm)						1 (ø 2 mm)					

<i>Haminoea navicula</i> (da Costa, 1778)		1 (∅ 6 mm)						1 (∅ 4 mm)					
ECHINODERMI													
<i>Acrocnida brachiata</i> (Montagu, 1804)								1 (∅ 5 mm)					

Tableau 5 – Espèces trouvées dans les prélèvements de fond mou de la zone commerciale, divisées en embranchements

Site A

Le site A étudié afin d'identifier la limite supérieure de l'herbier *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 correspond au promontoire autour de Torre del Martello, derrière la capitainerie du port de Portoferraio.

La zone est particulièrement fréquentée par les navires de commerce et les bateaux de plaisance. L'itinéraire emprunté par les opérateurs scientifiques sous-marins est représenté sur l'image suivante



Figure 12 - Site A. Itinéraire emprunté par les opérateurs pendant la plongée

Les coordonnées des points indiqués sur la figure 12 sont indiquées ci-dessous (tableau 6) :

POINT	LAT. N	LONG. E	PROFONDEUR MÈTRES MAX
TA in	42°48.674'	10°19.908'	16
TA.2	42°48.712'	10°19.871'	3
TA.3	42°48.702'	10°19.809'	3

Tableau 6 - Coordonnées en WGS84 dei punti nel sito A

L'itinéraire mesurait environ 200 mètres de long mais la plante n'a pas été observée sur le substrat. Le fond marin est cependant très abrupt, recouvert d'une couche sédimentaire très fine et peu



Figure 13 - Fond du site A

Site B

Le site B étudié afin d'identifier la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 est situé en dehors de la zone de mer objet d'une concession aux chantiers navals Esaom Cesa.

Comme le montre la figure 14, un transect d'environ 500 mètres a été réalisé à partir du point « inizio T », avec pour coordonnées (système de référence WGS84) : 42°48.470' N 10°19.404' E et situé à 8 mètres de profondeur.



Figure 14 - Site B. Transect réalisé

Tout au long de la plongée effectuée avec un appareil respiratoire autonome, aucune touffe de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 n'a été observée ; le substrat est boueux et présente, à certains endroits, une épaisse couche de feutre algal. Dans certaines zones, il y a également une accumulation (Figure 15).



Figure 15 – Fond du site B

Site C

Le site C étudié afin d'identifier la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 est situé aux thermes de S. Giovanni, en face de l'Hotel Airone.

Ici aussi, il a été impossible d'identifier la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813.

Afin de vérifier avec précision son absence, un transect de 500 mètres a été réalisé dans la direction côte-large (sur la figure 16, la carte du site de prélèvement et l'indication du transect parcouru) à partir du point de départ T indiqué sur la figure avec pour coordonnées (système de référence WGS84) : 42°48.448' N 10°19.442' E.



Figure 16 - Site C face aux thermes de S. Giovanni (Hotel Airone)

Vers le large, le substrat se caractérise par la présence d'un feutre algal avec un sédiment très fin et boueux (figure 17).



Figure 17 – Site C : substrat avec feutre algal

À l'approche de la côte, à environ 250 mètres, le substrat commence à être colonisé par la *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, 1870 (figure 18).

Les coordonnées en WGS84 du point de départ de la *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, 1870 (indiqué sur la figure 16) sont les suivantes : 42° 48.314' N 10° 19.351' E.



Figure 18 – Site C. Substrat colonisé par la *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, 1870

Cet herbier est présent jusqu'à la falaise de protection de l'hôtel Airone ; tout au long du parcours, une seule touffe, isolée, de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 a été identifiée (figure 19).



Figure 19 - Unique touffe de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 trouvée au cours du trajet de 500 mètres

Site D

Le site D étudié afin d'identifier la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 est situé à Magazzini.

La figure 20 montre la carte des prélèvements effectués.



Figure 20 – Site D. Prélèvements à Magazzini

Dans cette zone, la limite supérieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 a été identifiée, et sur celui-ci, des prélèvements ont été effectués avec un filet à plancton le long de 5 transects espacés d'environ 30 mètres les uns des autres.

Pour chaque transect, on a compté le nombre de faisceaux de plantes avec la méthode du « *quadrat relevé* » afin d'établir l'état actuel de densité lié au nombre de faisceaux par m², à raison de 4 répliques par transect.

Di seguito in Tableau 7 sono riportati i numeri di fasci per m² per ogni transetto e ogni replica.

TRANSECT	Coordonnées (système de référence WGS84)	Réplique 1	Réplique 2	Réplique 3	Réplique 4	Moyenne	Remarques
1	42°48.129' N 10°21.515' E	613	619	500	469	550	Fleurs et fruits
2	42°48.136' N 10°21.523' E	556	450	446	419	468	Fleurs et fruits
3	42°48.138' N 10°21.537' E	600	444	450	407	476	Fleurs
4	42°48.137' N 10°21.560' E	594	619	469	513	549	Fleurs et fruits
5	42°48.148' N 10°21.575' E	588	488	388	425	473	Fleurs et fruits

Tableau 7 – Nombre de faisceaux par m²

La moyenne totale du nombre de faisceaux par m² (densité) pour les prélèvements effectués sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 à Magazzini est de 504 faisceaux/m².

Selon la classification de Giraud (1977), l'herbier appartient à la catégorie II : dense.



Figure 21 - Opérateur plongeur qui compte les faisceaux de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813



Figure 22 - Fruits de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 observés lors des prélèvements

Le tableau 8 suivant répertorie les organismes prélevés avec un filet à plancton, à Magazzini.

TAXONS	TRANSECT 1	TRANSECT 2	TRANSECT 3	TRANSECT 4	TRANSECT 5
CRUSTACÉS - DÉCAPODES					
<i>Hippolyte inermis</i> (Leach, 1816)	6	8	16	11	11
MOLLUSQUES - GASTÉROPODES					
<i>Alvania lineata</i> (Risso, 1826)	45	26	36	7	5
<i>Bittium incile</i> (R. B. Watson, 1897)			1		
<i>Bittium latreillii</i> (Payraudeau, 1826)	22	9	28	4	2 + 2 juv.
<i>Jujubinus exasperatus</i> (Pennant, 1777)	1				
<i>Rissoa auriscalpium</i> (Linnaeus, 1758)	24	9	13		13
<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)			1		
<i>Rissoa ventricosa</i> (Desmarest, 1814)				2	2
<i>Smaragdia viridis</i> (Linnaeus, 1758)				1	
<i>Tricolia speciosa</i> (Megerle von Mühlfeld, 1824)	1				

Tableau 8 – Espèces prélevées sur l’herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813, divisées en embranchements

Résultats Cavo

Technique du grattage

11 prélèvements ont été effectués sur du substrat dur en utilisant la technique du grattage, aussi bien dans la partie dédiée à la plaisance que dans la partie commerciale où les ferries et les hydroptères accostent. En plus des 7 stations ponctuelles (désignées de 1 à 7 et identifiées par des cercles jaunes à la figure 1), les stations de départ des 4 transects (désignées T1, T2, T3 et T4) ont également été échantillonnées selon la même méthodologie.

La figure 23 montre les points concernés par la technique du grattage et le tableau 9 ci-dessous indique les coordonnées en WGS84 des points étudiés :



Figure 23 - Points concernés par la technique du grattage, indiqués en jaune.

POINT	LAT. N	LONG. E	PROFONDEUR MÈTRES
1	42°51.618'	10°25.452'	3
2	42°51.611'	10°25.458'	3
3	42°51.631'	10°25.481'	3
4	42°51.635'	10°25.473'	3
5	42°51.613'	10°25.309'	3
6	42°51.606'	10°25.309'	3
7	42°51.590'	10°25.354'	1,5
T1	42°51.603'	10°25.350'	2,4
T2	42°51.591'	10°25.382'	2,3
T3	42°51.596'	10°25.443'	3

T4	42°51.618'	10°25.452'	3
-----------	------------	------------	---

Tableau 9 - coordonnées en WGS84 des points étudiés concernés par la technique du grattage

Il convient d'observer qu'aux points 7, T1 et T2, il a été impossible d'atteindre la profondeur de -3 m pour les prélèvements avec la technique du grattage, à cause du faible fond.

Le tableau 10 reporte les organismes prélevés :

TAXONS	POINT 1	POINT 2	POINT 3	POINT 4	POINT 5	POINT 6	POINT 7	POINT T1	POINT T2	POINT T3	POINT T4
ANNÉLIDES - POLYCHÈTES											
<i>Hilbigneris gracilis</i> (Ehlers, 1868)							1				
<i>Nereis splendida</i> (Grube, 1840)								2			
<i>Perinereis cultrifera</i> (Grube, 1840)						1					
<i>Platynereis coccinea</i> (Delle Chiaje, 1822)		1				1		5			3
<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1833)			1	1							
<i>Semivermilia crenata</i> (O. G. Costa, 1861)						1					
<i>Serpula concharum</i> (Langerhans, 1880)	1										
<i>Spirobranchus polytrema</i> (Philippi, 1844)	1					1					
<i>Syllis variegata</i> (Grube, 1860)				1						1	
<i>Vermiliopsis monodiscus</i> (Zibrowius, 1968)					1						
MOLLUSQUES - BIVALVES											
<i>Musculus costulatus</i> (Risso, 1826)					1 di 3 mm						

MOLLUSQUES - GASTÉROPODES										
<i>Alvania lineata</i> (Risso, 1826)						1				
<i>Bittium latreillii</i> (Payraudeau, 1826)			1		2	1				
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)		1 juv.								
<i>Cerithium vulgatum</i> (Bruguière, 1792)					1					
<i>Gibberula miliaria</i> (Linnaeus, 1758)					1			1 di 2 mm		
<i>Jujubinus exasperatus</i> (Pennant, 1777)							1 (♂ 2 mm)			
<i>Rissoa auriscalpium</i> (Linnaeus, 1758)								1		
<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)								1		
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)				1 di 3 mm				4 di cui 2 di 2 mm e 1 di 3 mm		
CRUSTACÉS - DÉCAPODES										
<i>Macropodia rostrata</i> (Linnaeus, 1761)						1 ♀				
<i>Pilumnus hirtellus</i> (Linnaeus, 1761)			1 (♂ 2 mm)							
CRUSTACÉS - TANAÏDES										
<i>Apseudopsis latreillii</i> (Milne Edwards, 1828)									1	
<i>Chondrochelia savignyi</i> (Kroyer, 1842)	1	3								
CRUSTACÉS - AMPHIPODES										
<i>Bathyporeia lindstromi</i> (Stebbing, 1906)		2								
<i>Lysianassa costae</i> (H. Milne Edwards, 1830)	1									
<i>Lysianassina longicornis</i> (Lucas, 1846)		1								1
<i>Phtisica marina</i> (Slabber, 1769)			1							

SIPONCLES											
<i>Aspidosiphon</i> (<i>Aspidosiphon</i>) <i>muelleri</i> <i>muelleri</i> (Diesing, 1851)					2	3				2	1
<i>Phascolosoma</i> (<i>Phascolosoma</i>) <i>granulatum</i> (Leuckart, 1828)										1	1

Tableau 10 – Espèces prélevées dans les 11 points de grattage, divisées en embranchements

Prélèvements de fond mou

Pour ce qui est des transects et des prélèvements de fond mou correspondants effectués à 15 et 30 mètres du quai, les organismes trouvés ont été reportés au tableau 11 :

TAXONS	Distance du quai (m)	TRANSECT 1		TRANSECT 2		TRANSECT 3		TRANSECT 4	
		15	30	15	30	15	30	15	30
CRUSTACÉS - AMPHIPODES									
<i>Bathyporeia lindstromi</i> (Stebbing, 1906)		1							
<i>Jassa marmorata</i> (Holmes, 1905)						2			
CRUSTACÉS - DÉCAPODES									
<i>Liocarcinus marmoreus</i> (Leach, 1814)					1 (ø 3 mm)				
MOLLUSQUES - BIVALVES									
<i>Diplodonta rotundata</i> (Montagu, 1803)						1 di 3 mm			
<i>Papillicardium papillosum</i> (Poli, 1791)				1 (ø 2 mm)		1 (ø 2 mm)			
SIPONCLES									
<i>Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri</i> (Diesing, 1851)		1		1				2	
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) agassizii</i> (Keferstein, 1866)				1					
<i>Phascolosoma (Phascolosoma) granulatum</i> (Leuckart, 1828)				1					

Tableau 11 – Espèces trouvées dans les échantillons de fond mou, divisées en embranchements

Analyse des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813

Dans les trois sites objet des prélèvements et de l'analyse de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813, la limite supérieure de l'herbier a été identifiée ; dans chaque zone, des prélèvements ont été effectués avec un filet à plancton le long de 5 « transects » espacés d'environ 20 mètres les uns des autres.

Pour chaque site, on a également compté le nombre de plantes avec la méthode du « quadrat relevé » afin d'établir l'état actuel de densité lié au nombre de faisceaux par m², à raison de 4 répliques par site de prélèvement.

SITE	LAT. N	LONG. E	PROFONDEUR METRES
A	42°51.623'	10°25.510'	8
B	42°51.661'	10°25.417'	6,1
C	42°51.821'	10°25.339'	6

Tableau 12 – Coordonnées des sites d'analyse de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813

Le tableau 13 ci-dessous montre les chiffres de la densité de faisceaux par m² pour chaque site et chaque réplique et les moyennes pour chaque site :

SITE	Réplique 1	Réplique 2	Réplique 3	Réplique 4	Moyenn e
A	425	400	519	532	469
B	475	607	744	469	574
C	750	775	669	700	724

Tableau 13 – Densité des faisceaux (nombre de faisceaux par m²) dans les 4 sites

La densité moyenne des faisceaux de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 sur le site A était de 469 faisceaux/m² ; selon la classification de Giraud (1977), ce site présente donc un herbier de type II : dense.

La densité moyenne des faisceaux de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 sur le site B était de 574 faisceaux/m² ; selon la classification de Giraud (1977), ce site présente donc un herbier de type II : dense.

La densité moyenne des faisceaux de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 sur le site C était de 724 faisceaux/m² ; selon la classification de Giraud (1977), ce site présente donc un herbier de type I : très dense.



Figure 23 - Opérateur plongeur qui compte les faisceaux de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813



Figure 24 - Opérateur plongeur qui effectue des prélèvements avec un filet à plancton sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813

Le tableau 14 suivant répertorie les organismes prélevés avec un filet à plancton le long des 5 « transects » du site A appelés A1, A2, A3, A4 et A5.

TAXONS	PRÉLÈVEMENTS				
	A1	A2	A3	A4	A5
CRUSTACÉS - DÉCAPODES					
<i>Hippolyte inermis</i> (Leach, 1816)	2	3	3	8 dont 2 de 5 mm et 3 de 6 mm	7 dont 3 de 5 mm et 2 de 6 mm
CRUSTACÉS - ISOPODES					
<i>Stenosoma appendiculatum</i> (Risso, 1826)			1		
MOLLUSQUES - GASTÉROPODES					
<i>Bittium incile</i> (R. B. Watson, 1897)			1 de 4 mm		
<i>Bittium latreillii</i> (Payraudeau, 1826)		3 dont 1 de 6 mm	1 de 6 mm	1 de 3 mm	
<i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)		1 de 3 mm			
<i>Rissoa ventricosa</i> (Desmarest, 1814)					1
<i>Rissoa violacea</i> (Desmarest, 1814)	3	6 dont 3 de 3 mm et 2 de 4 mm		3 dont 1 de 4 mm et 2 de 6 mm	6 dont 2 de 3 mm et 4 de 2 mm
<i>Tricolia speciosa</i> (Megerle von Mühlfeld, 1824)	1				

Tableau 14 – Site A. Espèces prélevées sur l’herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813, divisées en embranchements.

Le tableau 15 répertorie les organismes prélevés avec un filet à plancton le long des 5 « transects » du site B appelés B1, B2, B3, B4 et B5.

TAXONS	PRÉLÈVEMENTS				
	B1	B2	B3	B4	B5
CRUSTACÉS - DÉCAPODES					
<i>Hippolyte inermis</i> (Leach, 1816)	10 dont 2 de 5 mm, 4 de 6 mm, 2 de 7 mm	6 dont 1 de 5 mm, 1 de 7 mm, 1 de 8 mm	15 dont 2 de 5 mm, 3 de 6 mm, 1 de 9 mm, 1 d'1,1 cm, 5 d'1,4 cm, 2 d'1,2 cm	8 dont 1 de 5 mm, 3 de 6 mm et 3 de 7 mm	14 dont 3 de 5 mm, 2 de 8 mm, 3 de 9 mm, 3 d'1,1 cm, 1 d'1,4 cm et 1 d'1,8 cm
MOLLUSQUES - GASTÉROPODES					
<i>Barleeia unifasciata</i> (Montagu, 1803)			2		
<i>Bittium incile</i> (R. B. Watson, 1897)	1				
<i>Mitrella gervillii</i> (Payraudeau, 1826)			1		
<i>Rissoa auriscalpium</i> (Linnaeus, 1758)	6 dont 3 de 6 mm et 3 de 7 mm	5 dont 2 de 6 mm et 3 de 7 mm	9 dont 2 de 4 mm, 3 de 6 mm et 4 de 8 mm	5 dont 1 de 6 mm et 1 de 7 mm	13 dont 3 de 5 mm et 6 de 6 mm
<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)	2 dont 1 de 5 mm			1	2
<i>Rissoa monodonta</i> (Philippi, 1836)				1	
<i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)		1			
<i>Rissoa violacea</i> (Desmarest, 1814)	5 dont 2 de 2 mm et 3 de 3 mm	5 dont 2 de 2 mm et 3 de 3 mm	1		1 de 5 mm
<i>Smaragdia viridis</i> (Linnaeus, 1758)					1
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)			1	2 dont 1 de 3 mm et 1 de 6 mm	
<i>Tricolia speciosa</i> (Megerle von Mühlfeld, 1824)	1	1			

PESCI					
<i>Apletodon dentatus</i> (Facciola, 1887)		1 de 8 mm			

Tableau 15 – Site B. Espèces prélevées sur l’herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813, divisées en embranchements.

Le tableau 16 répertorie les organismes prélevés avec un filet à plancton le long des 5 « transects » du site C appelés C1, C2, C3, C4 et C5.

TAXONS	prélèvements				
	C1	C2	C3	C4	C5
CRUSTACÉS - DÉCAPODES					
<i>Hippolyte inermis</i> (Leach, 1816)	3 dont 1 de 4 mm, 1 de 6 mm, 1 d’1,6 cm		10 dont 3 de 6 mm, 2 de 7 mm, 4 de 9 mm	9 dont 3 de 5 mm, 3 de 6 mm	9 dont 2 de 5 mm et 3 de 6 mm
MOLLUSQUES - GASTÉROPODES					
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)		1			
<i>Rissoa auriscalpium</i> (Linnaeus, 1758)	8 dont 2 de 5 mm et 1 de 6 mm	5 dont 2 de 6 mm	6	5 dont 2 de 6 mm	8 dont 2 de 5 mm et 1 de 6 mm
<i>Rissoa guerinii</i> (Récluz, 1843)	2	1			2
<i>Rissoa monodonta</i> (Philippi, 1836)		5 dont 1 de 3 mm et 3 de 4 mm			
<i>Rissoa ventricosa</i> (Desmarest, 1814)		1		1	
<i>Rissoa violacea</i> (Desmarest, 1814)	5 dont 2 de 2 mm et 3 de 3 mm	5 dont 2 de 2 mm et 3 de 3 mm	1 de 2 mm		5 dont 2 de 2 mm et 3 de 3 mm
<i>Smaragdia viridis</i> (Linnaeus, 1758)		1			
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)		1 de 3 mm			

<i>Tricolia speciosa</i> (Megerle von Mühlfeld, 1824)			1		

Tableau 16 – Site C. Espèces prélevées sur l’herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813, divisées en embranchements.

Quelques photos des organismes prélevés

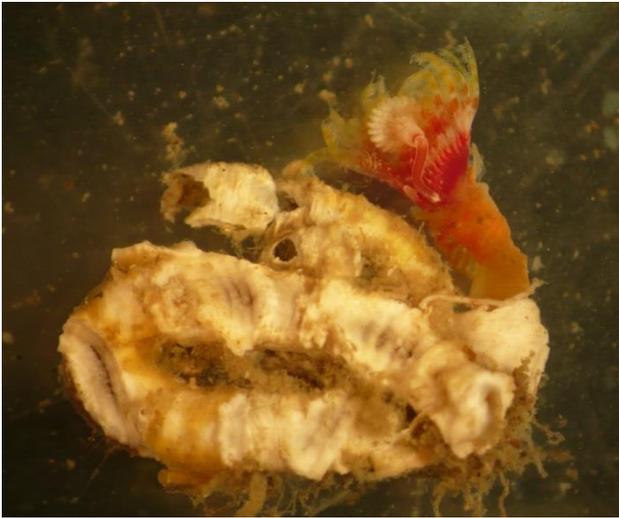


Figure 25 - *Serpula concharum* (Langerhans, 1880) à gauche et *Mastobranthus trinchessii* (Eisig, 1887) à droite



Figure 26 - *Vermiliopsis monodiscus* (Zibrowius 1968) à gauche et *Aphrodita aculeata* (Linnaeus, 1758) à droite



Figure 27 - *Euclymene oerstedii* (Claparède, 1863) à gauche et *Owenia fusiformis* (Delle Chiaje, 1844) à droite



Figure 28 - *Therochaeta flabellata* (Sars in Sars, 1872) à gauche et *Harmothoe spinifera* (Ehlers, 1864) à droite



Figure 29 - *Macrochaeta clavicornis* (M. Sars, 1835)



Figure 30 - *Chama gryphoides* (Linnaeus, 1758) à gauche et *Corbula gibba* (Olivi, 1792) à droite



Figure 31 - *Musculus costulatus* (Risso, 1826) à gauche et *Rocellaria dubia* (Pennant, 1777) à droite



Figure 32 - *Diodora graeca* (Linnaeus, 1758) à gauche et *Haminoea navicula* (da Costa, 1778) à droite



Figure 33 - *Calliopaea bellula* (d'Orbigny, 1837) à gauche et *Alvania lineata* (Risso, 1826) à droite



Figure 34 - *Bittium latreilli* (Payraudeau, 1826) à gauche et *Pusia tricolor* (Gmelin, 1791) à droite



Figure 35 - *Tricolia pullus* (Linnaeus, 1758) à gauche et *Macropodia linaresi* (Forest & Zariquiey-Alvarez, 1964)



Figure 36 - *Alpheus dentipes* (Guérin, 1832) à gauche et *Pilumnus hirtellus* (Linnaeus, 1761) à droite



Figure 37 - *Cestopagurus timidus* (Roux, 1830) à gauche et *Anthura gracilis* (Montagu, 1808) à droite



Figure 38 - *Dexamine spinosa* (Montagu, 1813) à gauche et *Microdeutopus stationis* (Della Valle, 1893) à droite



Figure 39 - *Ophiothrix fragilis* (Abildgaard in O.F. Müller, 1789) à gauche et *Acrocnida brachiata* (Montagu, 1804) à droite



Figure 40 - *Aspidosiphon (Aspidosiphon) muelleri muelleri* (Diesing, 1851) à gauche et *Phascolosoma (Phascolosoma) agassizii* (Keferstein, 1866) à droite

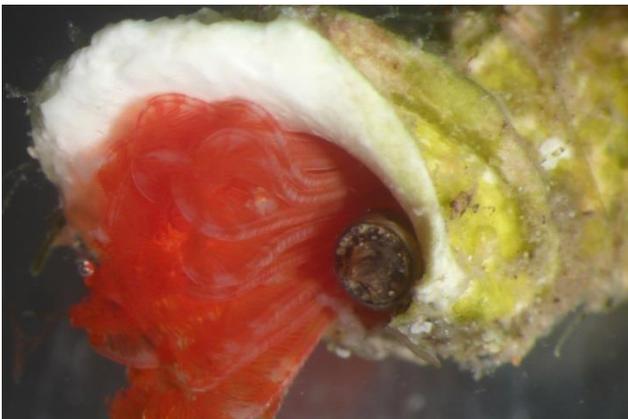


Figure 41 - *Semivermilia crenata* (O. G. Costa, 1861) à gauche et *Bonellia viridis* (Rolando, 1822) à droite



Figure 42 - *Serpula vermicularis* (Linnaeus, 1767) à gauche et *Dodecaceria concharum* (Orsted, 1843) à droite

Voici quelques photos des organismes prélevés sur l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 sur le site D :



Figure 43 - *Bittium incile* (R. B. Watson, 1897) à gauche et *Hippolyte inermis* (Leach, 1816) à droite



Figure 44 - *Jujubinus exasperatus* (Pennant, 1777) à gauche et *Rissoa auriscalpium* (Linnaeus, 1758) à droite



Figure 45 - *Rissoa ventricosa* (Desmarest, 1814) à gauche, *Smaragdia viridis* (Linnaeus, 1758) au centre et *Tricolia speciosa* (Megerle von Muhlfield, 1824) à droite

Conclusions

Les prélèvements effectués dans toute la zone du port de Portoferraio ont montré une bonne situation environnementale, avec la présence de nombreuses espèces juvéniles et d'espèces protégées dans les grattages des quais, tandis que les prélèvements de fond mou ont indiqué une situation environnementale altérée. Les herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 se trouvent loin du rivage, compte tenu du trafic intense des navires et des eaux troubles qui en résultent près du rivage, au-delà des mouillages. Dans la zone de Magazzini, l'herbier présente un bon état, tant pour la présence d'espèces que pour la présence de fleurs et de fruits et une densité qui varie en moyenne entre 470 et 550 faisceaux par m², donc de type II selon Giraud (1977), c'est-à-dire dense. Malgré cela, la comparaison avec une recherche effectuée en 2003 (*Epiphytic communities on Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves along the North Tyrrhenian Coasts (N.W. Mediterranean Sea, Italy) ; Bedini R., Canali M. G. and Bertuccelli M. ; Mediterranean Marine Science Vol. 4/2, 2003, 99-114) fait ressortir que l'herbier de *Posidonia oceanica* recule dans toute la zone du port commercial et dans celle à l'avant des chantiers navals Esaom Cesa, avec une diminution du nombre d'espèces sessiles et errantes le long des parois des quais, tandis que la situation des espèces capturées avec un filet à plancton sur et entre les feuilles de *Posidonia oceanica* est globalement similaire par rapport au nombre de prélèvements effectués.

L'étude effectuée dans la zone marine du port de Cavo a montré une bonne situation générale. Dans les prélèvements de fond mou, la présence d'espèces est faible tandis que le nombre d'espèces capturées avec la technique du grattage rentre dans la norme. Dans les herbiers de Posidonie, les espèces prélevées avec le filet à plancton étaient nombreuses. Le comptage des faisceaux a conduit à qualifier l'état de l'herbier de dense à très dense, d'après la classification de Giraud (1977). La situation environnementale est similaire à celle documentée dans l'étude réalisée pour la rénovation de la digue en 2011 et les contrôles ultérieurs. Le nombre d'espèces animales sessiles et sédentaires présentes est identique à celui des études précédentes, ce qui indique un état écologique normal.

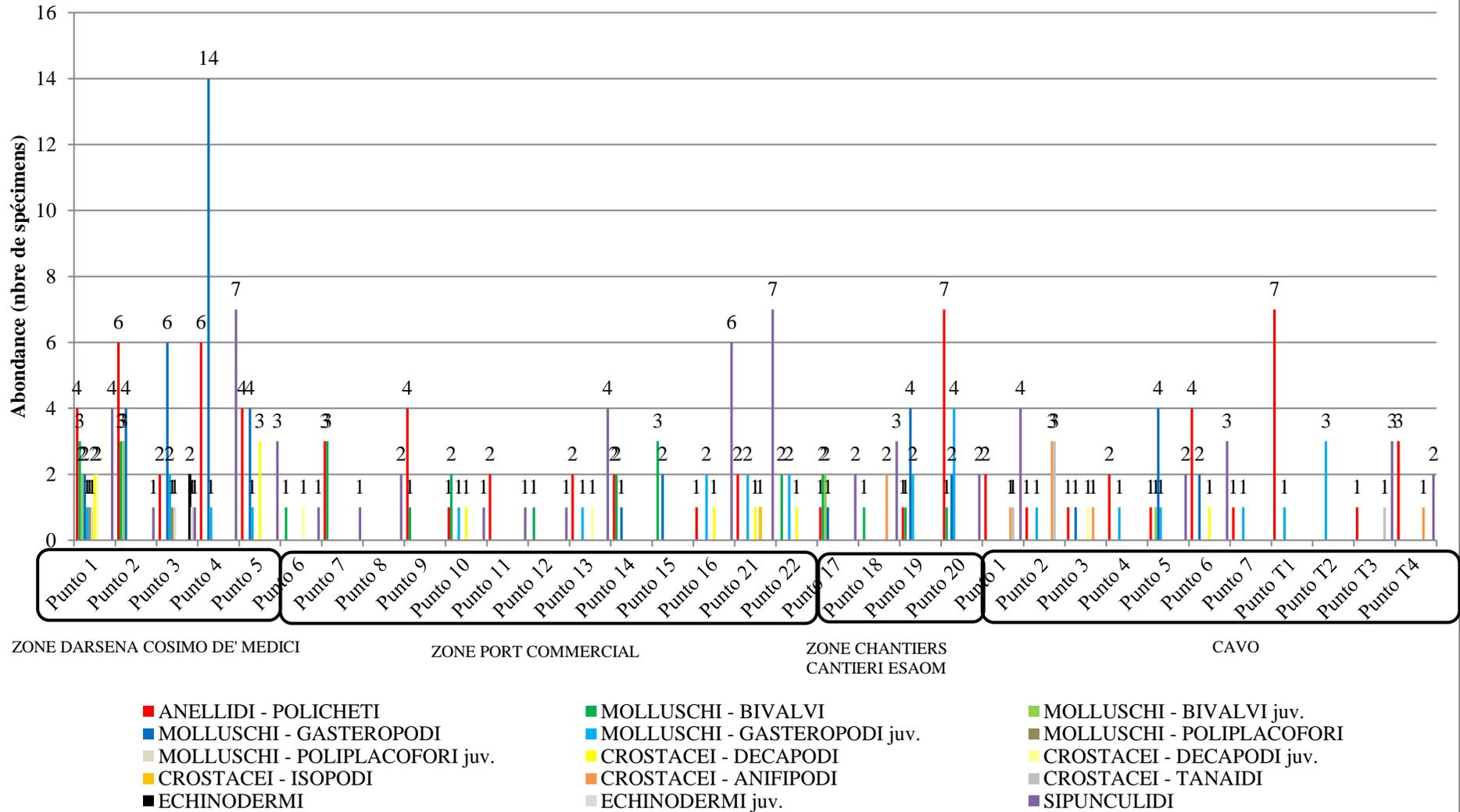
Le recul des herbiers de *Posidonia oceanica* a également des effets négatifs sur d'autres écosystèmes, il suffit de penser que la perte d'un seul mètre linéaire d'herbier peut entraîner la disparition de plusieurs mètres de la plage qui se trouve devant. De plus, le recul des herbiers entraîne une perte de la biodiversité et une dégradation de la qualité de l'eau. Il existe plusieurs causes au recul des herbiers de *Posidonia oceanica* ; parmi les plus importantes, citons les facteurs liés au chalutage, au raclage des ancres sur le fond marin et à la pollution résultant des activités maritimes des navires en transit.

En comparant l'état des herbiers de *Posidonia oceanica* avec ceux de Portoferraio, il est apparu que dans le port de Cavo la densité varie en moyenne entre 470 et 720 faisceaux de posidonie par m², atteignant ainsi un niveau très dense. Dans le port de Cavo, l'état de santé et la densité des herbiers de Posidonie sont donc nettement meilleurs que ceux du port de Portoferraio. Cette différence est due au nombre réduit de navires transitant par le port de Cavo par rapport à Portoferraio, avec pour conséquence une réduction des émissions de polluants émis par les navires lors des activités maritimes.

L'utilisation du GNL comme carburant alternatif pour la propulsion des navires peut contribuer à réduire l'impact environnemental à la fois dans l'atmosphère et sur les écosystèmes marins. En effet,

chimique du GNL contient de faibles quantités de polluants par rapport au fioul maritime. De plus, en raison de ses conditions physico-chimiques, le GNL ne peut donner lieu à des déversements en mer ; en effet, sa température étant d'environ -160°C , un éventuel déversement de GNL aurait tendance à s'évaporer en peu de temps revenant à un état gazeux, ne pouvant ainsi se dissoudre dans la mer.

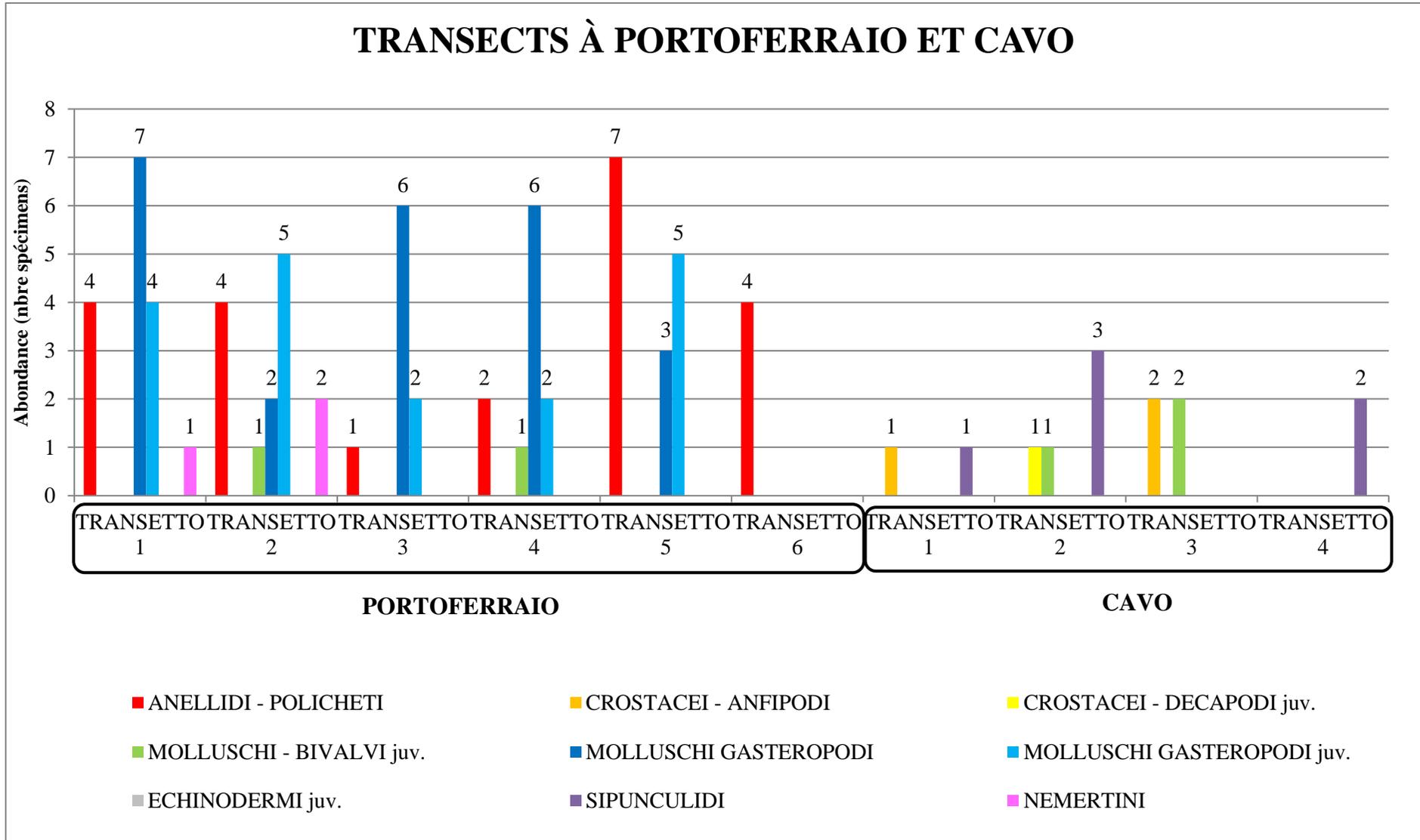
TRANSECTS À PORTOFERRAIO ET CAVO

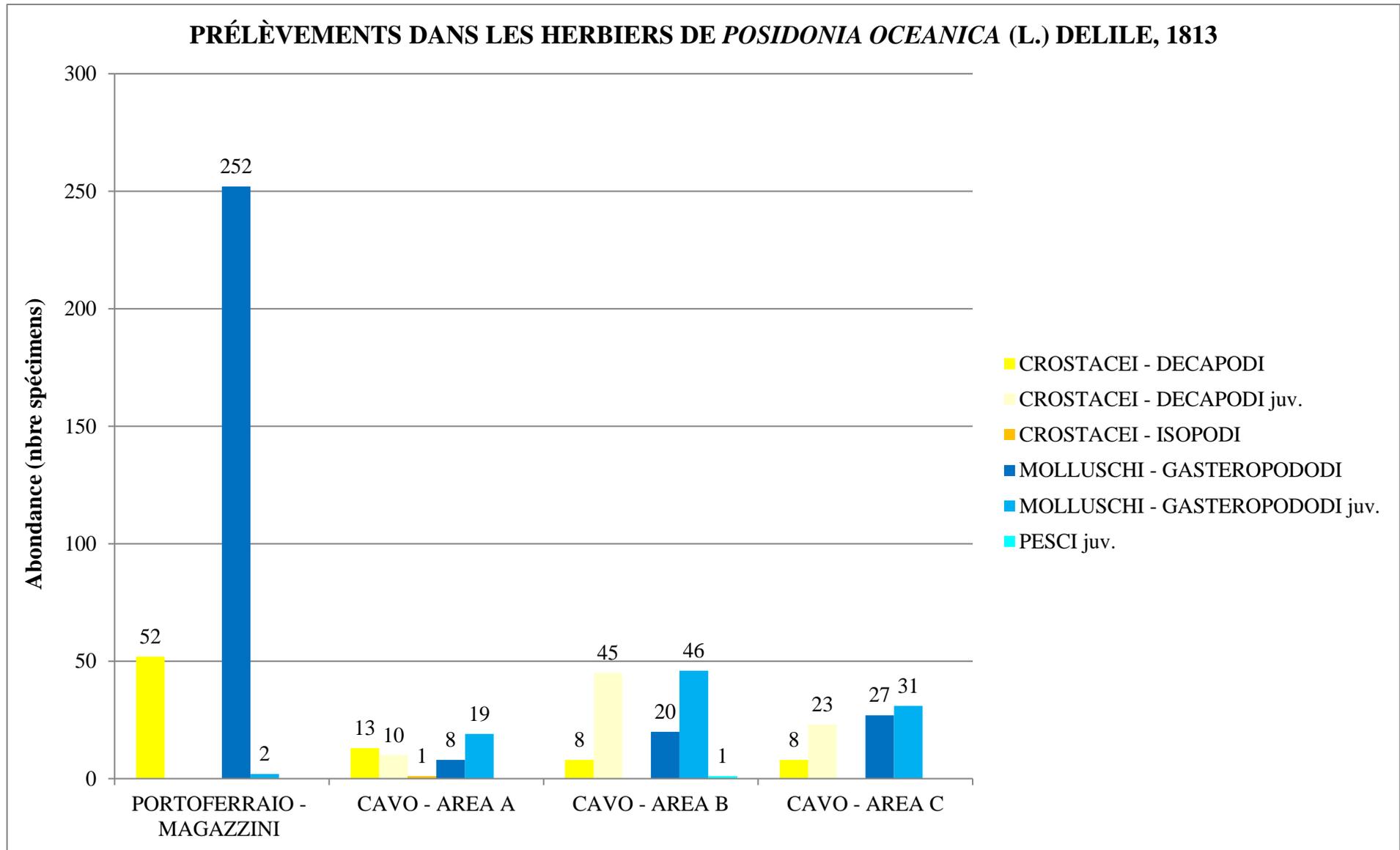


ANNÉLIDES-POLYCHÈTES
MOLLUSQUES-GASTÉROPODES
MOLLUSQUES-POLYPLACOPHORES juv.
CRUSTACÉS – ISOPODES
ÉCHINODERMES

MOLLUSQUES-BIVALVES
MOLLUSQUES-GASTÉROPODES juv.
CRUSTACÉS - DÉCAPODES
CRUSTACÉS-AMPHIPODES
ÉCHINODERMES juv.

MOLLUSQUES – BIVALVES juv.
MOLLUSQUES – POLYPLACOPHORES
CRUSTACÉS – DÉCAPODES juv
CRUSTACÉS – TANAÏDES
SIPONCLES





Bibliographie

Abbiati M. 1991. Metodi di campionamento biologico subacqueo. In: *Lezioni del Corso Formativo per Ricercatore Scientifico Subacqueo*. Pisa, I.S.S.D.: 67-83.

Balduzzi A., Bianchi C. N., Cattaneo-Vietti R., Cerrano C., Cocito S., Cotta S., Diviacco G., Degli'Innocenti F., Morgigni M., Morri C., Pansini M., Salvatori L., Senes L., Sgorbini S., Tunesi L. 1994. Primi lineamenti di bionomia bentica dell'isola Gallinara (Mar Ligure). *Atti X Congr. A.I.O.L.*: 603-617.

Bedini R., 1995. L'ecosistema a *Posidonia oceanica* (L.) Delile come bioindicatore della qualità delle acque". *Atti "Lo stato dell'Ambiente in Toscana"* Edizioni Regione Toscana. Vol 4.: 27 – 42.

Bedini R., Canali M. G., Bertuccelli M. 2003. Epiphytic communities on *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves along the North Tyrrhenian coasts (N.W. Mediterranean Sea, Italy). Congresso "oceanographical aspects for a sustainable Mediterranean", Atene 27/29 Settembre 2002. *Mediterranean Marine Sciences* 4/2: 83-97.

Bedini R., Nannelli A., Giachini F., Maestrini M., Bocia B. 2006. Indagine preliminare sulle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813 antistanti Ansedonia e Talamone (Grosseto). *Codice Armonico – Primo Congresso di scienze naturali della Regione Toscana*. Zadig Roma. 141 – 144.

Bedini R., Canali M. G., Bertuccelli M. 2008. Spatio-temporal and colour distribution of *Hippolyte inermis* Leach, 1815 (Crustacea, Decapoda, Hippolytidae) related to five *Posidonia oceanica* (L.) delile, 1813 meadows in the North Tyrrhenian Sea (Italy). *IX Colloquium Crustacea Mediterranea*, Torino September 2-6. 17-29.

Bedini R., Pertusati M., Batistini F., Piazzini L. 2011. Spatial and temporal variation of motile macro-invertebrate assemblages associated with *Posidonia oceanica* meadows. *Acta adriatica*. Vol 52 (2): 201-214.

Bianchi C. N., Cocito S., Morri C., Sgorbini S. 1991. Rilevamento bionomico subacqueo. In: *Lezioni del Corso Formativo per Ricercatore Scientifico Subacqueo*. Pisa, I.S.S.D.: 67-83.

Bilyard G. R. 1987. The value of benthic in fauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Poll. Bull.*, **18**: 581-585.

Cinelli F., Fresi E., Mazzella L. 1976. Ricerche sui popolamenti bentonici di substrato duro nel Porto di Ischia. Infralitorale fotofilo (Macrofite e Isopodi liberi). *Arch. Oceanogr. Limnol.* **18**(3): 169-188.

Cinelli F., Fresi E., Mazzella L., Pansini M., Pronzato R., Svoboda A. 1977. Distribution of phyto and zoocenosis along a light gradient in a superficial marine cave. In: B. F. Keagan, P. O'Ceidig, P. S. S. Boaden (Eds.): *Biology of benthic organisms*, Pergamon Press, Oxford: 173-183.

Crema R., Bonvicini Pagliai A. M., Cognetti Variale A. M., Morselli I., Zunarelli Vandini R. 1983. Ruolo della comunità macrozoobentoniche nel monitoraggio biologico dell'ambiente marino costiero. In: *Eutrofizzazione dell'Adriatico. Ricerche e linee di intervento*. Regione Emilia Romagna: 379-384.

Giaccone G., Sortino M., Pizzi-Longo L. 1974. Zonazione della vegetazione marina delle isole Egadi. *Lav. Ist. Bot. E Giard. Col. Palermo*, **25**: 166-183.

Giraud G. 1977. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. *Bot.Mar.*, 20: 487-491.

Harmelin-Vivien M. L., Harmelin J. G. 1975. Présentation d'une méthode d'évaluation in situ de la faune ichtyologique. *Trav. Sci. Parc Nation. Port Cros*, **1**: 47-52.

Sarà M., Balduzzi A., Boero F., Pansini M., Pessani D., Pronzato R. 1978. Analisi di un popolamento bentonico di Falesia del Promontorio di Portofino: dati preliminari. *Bul. Mus. Ist. Biol. Univ.*, 46.

Thomson B. W., Riddle M. J., Stark J. S. 2003. Cost-efficient methods for marine pollution monitoring at Casey Station, East Antarctica: the choice of sieve mesh-size and taxonomic resolution. *Mar. Poll. Bull.*, **46**: 232-243.

Per la determinazione degli organismi marini trovati nei campionamenti:

Textes génériques

R. Bedini, 2003 – Gli Animali delle Praterie a *Posidonia oceanica*: dai Macroinvertebrati ai Pesci. Atlante per il riconoscimento e l'identificazione delle specie. Ed. Bandecchi e Vivaldi.

R. Riedel, 1991 - Fauna e Flora del Mediterraneo. Ed. Muzzo.

F. Costa, M. Costa, L. Salpietro, F. Turano, 2002 – Enciclopedia illustrata degli invertebrati marini. Arborio Editori.

Textes spécialisés

Algues

G. Bressan, L. Babbini, 2003 – Biodiversità marina delle coste italiane: Corallinales del Mar Mediterraneo: guida alla determinazione. Vol. 10 (suppl. 2). S.I.B.M.

G. Bressan e M. Fabris, 1992 – Guida alla determinazione di microalghe bentoniche presenti in aree portuali. ENEA.

J. Ribier et J. C. Godineau, 1984 –Les Algues. Ed. La Maison Rustique. Flammarion.

Briozoi

J. S. Ryland, P. J. Hayward, 1977 – British Anascan Bryozoans. Synopses of the British fauna No. 10. Ed. Brill, Backhuys.

M. Prenant et G. Bobin, 1956 – Faune de France 60 – Bryozoaires (premiere partie). Ed. Paul Lecherahier.

M. Prenant et G. Bobin, 1966 – Faune de France 68 – Bryozoaires (deuxième partie). Fédération française des sociétés des sciences naturelles.

M. Zabala & P. Maluquer, 1988 – Illustrated keys for the classification of Mediterranean Bryozoa. Numero 4. Ajuntament de Barcelona Treballs del Museu de Zoologia.

P. J. Hayward, 1985 – Ctenostome Bryozoans. Synopses of the British fauna No. 33. Ed. D. M. Kermack and R. S. K. Barnes

P. J. Hayward and J. S. Ryland, , 1979 – British Ascophoran Bryozoans. Synopses of the British fauna No. 14. Ed. Brill, Backhuys.

P. J. Hayward and J. S. Ryland, 1985 - Cyclostome Bryozoans. Synopses of the British fauna No. 34. Ed. Brill, Backhuys.

P. J. Hayward and J. S. Ryland, 1999 – Cheilostomatous Bryozoa. Part 2. Hippothooidea – Celleporoidea. Synopses of the British fauna No. 14 (second edition). Ed. R. S. K. Barnes and J. H. Crothers.

Poriferi

Sarà, M., 1971/1972 – Guida ai Poriferi della Fauna italiana. In: Quaderni della Civica Stazione Idrobiologia di Milano (pag. 53-63).

Nemertini

R. Gibson, 1982 - British Nemerteans. Synopses of the British fauna (New Series) No. 24. Cambridge University Press.

Molluschi

A. Graham, F.R.S., 1988 – Molluscs: Prosobranch and Pyramidellid Gastropods. Keys and notes for the identification of the species. Synopses of the British fauna (New Series) No. 2. Ed. E. J. Brill, Dr W. Backhuys.

A. M. Jones and J. M. Baxter, 1987 – Molluscs: Caudofoveata Solenogastres, Polyplacophora and Scaphopoda. Synopses of the British fauna (New Series) No. 37. Ed. E. J. Brill, Dr W. Backhuys.

B. Sabelli, 1984 – Atti del Simposio: Sistematica dei Prosobranchi del Mediterraneo. Società Italiana Malacologia. Ed. FALT Milano.

C. Cachia, C. Mifsud & P. M. Sammut, 1996 – The Marine Mollusca of the Maltese Islands. Part two. Neotaenioglossa. Brachhuys Publishers.

C. Cachia, C. Mifsud & P. M. Sammut, 2001 – The Marine Mollusca of the Maltese Islands. Part three. Sub- class Prosobranchia to sub-class Pulmonata. Brachhuys Publishers.

N. Tebble, 1976 – British Bivalve Seashells. A handbook for identification. Second Edition. Her Majesty's stationery office.

T.E. Thompson, 1988 - Molluscs: Benthic Opisthobranchs. Keys and notes for the identification of the species. Synopses of the British fauna (New Series) No. 8. Ed. E. J. Brill, Dr W. Backhuys.

Anellidi

C. N. Bianchi, 1981 – Policheti serpuloidi. Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque lagunari e costiere italiane – AQ/1/96. 5. C.N.R. Ed. Monotipia erredi – Genova.

F. Pleijel and R. P. Dales, 1991 – Polychaetes: British Phyllodoceideans, Typhloscolecoideans and Tomopteroideans. Synopses of the British fauna (New Series) No. 45. Ed. D. M. Kermack and R. S. K. Barnes.

J. D. George, G. Hartmann-Schröder, 1985 – Polychaetes: British Amphinomida, Spintherida and Eunicida. Synopses of the British fauna (New Series) No. 32. Ed. E. J. Brill, Dr W. Backhuys.

P. Fauvel, 1975 - Faune de France 5: Polychetes errantes. Kraus Reprint.

P. Fauvel, 1977 - Faune de France 16: Polychetes sedentaires. Kraus Reprint.

S. J. Chambers and A. I. Muir, 1997 – Polychaetes: British Chrysopetaloidea, Pisionoidea and Aphroditoidea. Synopses of the British fauna (New Series) No. 54. Ed. R. S. K. Barnes and J . H. Crothers.

Crostacei

D. Bellan-Santini, G. Karaman, 1982 - The Amphipoda of the Mediterranean parte I. Ruffo.

D. Bellan-Santini, G. Karaman, 1989 - The Amphipoda of the Mediterranean parte II. Ruffo.

D. Bellan-Santini, G. Karaman, 1993 - The Amphipoda of the Mediterranean parte III. Ruffo.

D. M. Holdich and J. A. Jones, 1983 – Tanaids. Ed. D. M. Kermack and R. S. K. Barnes.

E. Naylor, 1972 – British Marine Isopods. Synopses of the British fauna No. 3. Academic Press London and New York.

L. Falciai, R. Minervini, 1992 - Guida dei Crostacei Decapodi d'Europa. Ed. Muzzio.

M. Cottiglia, 1983 – Crostacei Decapodi Lagunari. Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque lagunari e costiere italiane – AQ/1/225. 10. Ed. Monotipia erredi – Genova.

R. W. Ingle, 1980 – British Crabs. Oxford University Press, Inc., New York.

R. W. Ingle, 1996 – Shallow – water Crabs. Synopses of the British fauna No. 25 (second edition). Ed. R. S. K. Barnes and J. H. Crothers.

R. W. Ingle and M. E. Christiansen, 2004 – Lobster, Mud Shrimps and Anomuran Crabs. Synopses of the British fauna No. 55. Ed. J. H. Crothers and P. J. Hayward.

R. Zariquiey Alvarez, 1968 - Crustáceos Decápodos Ibéricos. Imprenta Juvenil

Z. Kabata 2003 – Copepods Parasitic on Fishes. Ed. J. H. Crothers and P. J. Hayward.

Echinodermi

E. C. Southward, A. C. Campbell, 2006 – Echinoderms. Synopses of the British fauna No. 56. Ed. Field Studies Council Shrewsbury.

E. Tortonese, 1965 – Fauna d'Italia. Vol VI. Echinodermata. Ed. Calderini Bologna.

Sipunculidi

P. E. Gibbs, 1977 – British Sipunculans. Synopses of the British fauna No. 12. Ed. Academic Press London, New York, San Francisco.

Piombino, 21/11/2019

Institut de biologie et d'écologie marine de Piombino
Le Directeur
Prof. Roberto Bedini



Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISMAR - Istituto di Scienze Marine

UOS di Bologna

Via P. Gobetti, 101 - 40129 Bologna, Italy

Tel +39 051 6398891 Fax +39 051 6398939

segreteria@bo.ismar.cnr.it

C.F. 80054330586 - P.IVA 02118311006



RELEVÉ GÉOPHYSIQUE MARIN AVEC DRONE AUTONOME DE SURFACE À PORTOFERRAIO ET CAVO (SEPTEMBRE 2019)



septembre 2019

SEDE ISTITUTO Castello 2737/f 30122 Venezia Tel. +39 041 2404711 Fax +39 041 5204126 segreteria@ismar.cnr.it	Ancona Largo Fiera della Pesca 1 60125 AN Tel +39 071 207881 Fax +39 071 55313 segreteria@ismar.cnr.it	Genova Via De Marini, 6 16149 GE Tel +39 010 64751 Fax +39 010 6475400 segreteria@ge.ismar.cnr.it	Lesina Via Pola, 4 71010 FG Tel +39 0882 992702 Fax +39 0882 991352 segreteria@fg.ismar.cnr.it	Pozzuolo di Lerici Forte Santa Teresa 19032 SP Tel +39 0187 978300 Fax +39 0187 970585 segreteria@sp.ismar.cnr.it	Trieste Francesco Vercelli Viale Romolo Gessi, 2 34123 TS Tel +39 040 305312 Fax +39 040 308941 segreteria@ts.ismar.cnr.it
--	--	---	--	---	--

Relevé géophysique marin avec drone de surface autonome à Portoferraio et Cavo, île d'Elbe
(septembre 2019)

Auteurs :

Luca Gasperini, Giuseppe Stanghellini, Alessandra Mercorella, Andrea Gallerani

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR)

10 octobre 2019, Bologne

Responsable scientifique :

Luca Gasperini



Table des matières

Avant-propos - Objet du travail

- 1- Zones objet des relevés
- 2- Méthodes et instrumentation
- 3- Résultats
- 4- Conclusions

Bibliographie

Avant-propos - Objet du travail

Le relevé géophysique effectué sur l'île d'Elbe en septembre 2019 au moyen d'un drone de surface autonome constitue une première étude pilote pour vérifier les potentialités d'un système automatique d'acquisition de données dans une zone particulièrement difficile comme l'intérieur d'un port ou une bande côtière aux eaux peu profondes, caractérisée par la présence d'obstacles anthropiques et naturels.

Une technologie d'acquisition a été testée au moyen de passages le long des lignes du projet avec un instrument de type sondeur multifaisceaux (MBES) pour surveiller l'état du fond marin (images sonar à balayage latéral) et l'altitude de l'interface eau-sédiment (bathymétrie).

Il s'est agi du premier relevé visant à vérifier les potentialités de la méthode et à fournir un support cartographique à l'équipe de spécialistes qui s'occupait en même temps d'études environnementales.

Les données acquises ont été traitées avec des techniques innovantes pour compiler des cartes thématiques, qui incluent un modèle numérique du fond et une mosaïque d'images de la rétrodiffusion, semblables à des prises de vue aériennes, pour la détermination du type d'habitat marin (fond rocheux, sablonneux, boueux, végétalisé, etc.).

Ce rapport entend décrire les données acquises et leur traitement, ainsi que le format des données distribuées.

1.0 - Zones objet des relevés et journal des opérations

Deux zones côtières de l'île d'Elbe ont fait l'objet de relevés, et notamment Portoferraio et Porto Cavo (**Figure 1**).



Figure 1 – Zones d'acquisition des données

Le relevé a été réalisé grâce à l'exécution d'une seule trace qui a permis de « couvrir » une bande d'environ 100 m de large dans le fond marin. Cette opération, à une vitesse d'environ 2 nœuds, a nécessité environ 1 jour de travail (y compris mobilisation/démobilisation) pour chaque zone. Cependant, étant donné l'extrême précision qui devait être atteinte en termes de qualité des données, il a été nécessaire d'effectuer certains tests pour la calibration des instruments.

Contrairement ce à quoi l'on s'attendait, pendant presque tous les jours du relevé, les conditions météorologiques n'ont pas été particulièrement favorables, avec un vent constant des quadrants NO et des vagues atteignant 10 à 20 cm de haut. Cela a considérablement limité les performances de l'instrument, qui sont donc loin d'être les meilleures possibles. Les traitements effectués après l'acquisition des données ont toutefois considérablement amélioré la qualité des données qui doit être considérée comme plus qu'acceptable, en termes absolus et pour les objectifs du projet.

Le relevé a mobilisé le personnel suivant :

- Alessandra Mercorella, Istituto di Scienze Marine, CNR, UOS Bologna
- Giuseppe Stanghellini, Istituto di Scienze Marine, CNR, UOS Bologna
- Andrea Gallerani, Istituto di Scienze Marine, CNR, UOS Bologna

Le responsable scientifique de l'activité de recherche a été Luca Gasperini, de l'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Les opérations ont commencé le 10/09/2019 et se sont terminées le 11/09/2019.

2.0 – Méthodes et instrumentation

2.1 2.1 Le drone SWAP

Le relevé a été entièrement effectué à l'aide d'un drone de surface autonome de la classe SWAP (**Figure 2**), réalisé dans le cadre du projet NAIADI (Gasperini et al., 2012), avec à bord le sondeur multifaisceaux interférométrique Klein HC3500 (**Figure 3**).



Figure 2 - Le véhicule autonome de la classe SWAP utilisé pour le relevé

SWAP est un catamaran en ABS d'1,2 x 1 mètre, d'un poids dans l'air de 70 kg, équipé de 4 moteurs électriques de drones sous-marins télécommandés Bluerobotics et remplit les fonctions d'un drone autonome de surface, c'est-à-dire qu'il est capable d'effectuer des trajets prédéterminés avec une précision d'environ 30 cm sur la précision du trajet dans des conditions météorologiques optimales, et peut être équipé d'une MRU (Motion Reference Unit), d'un système GPS-RTK et d'une charge utile modulaire d'instruments géophysiques, océanographiques ou géochimiques.

Le drone a été « lancé » depuis la terre, mais il a été jugé nécessaire de mettre à disposition un petit bateau d'assistance pour intervenir en cas d'urgence ou de dysfonctionnement et pour mesurer les propriétés physico-chimiques de la colonne d'eau. Les mesures relatives à la colonne d'eau ont été effectuées au moyen d'une sonde EXO multi-paramètres à auto-enregistrement (**Figure 4**) mise à l'eau avec une corde en nylon.



Figure 3 – Le sondeur multifaisceaux interférométrique Klein Hydrochart 3500



Figure 4 – La sonde EXO multi-paramètres

2.2 L’HydroChart 3500

L’*HydroChart 3500* est un sonar bathymétrique professionnel conforme aux normes sur les mesures hydrographiques de l’OHI pour les opérations en eaux peu profondes, qui intègre les caractéristiques d’un sonar à balayage latéral à celles d’un sondeur multifaisceaux interférométrique. Il s’agit d’un système portable qui comprend une unité MRU (*motion reference unit*), un capteur de cap et un capteur de la vitesse du son situé dans la tête du sonar. Le sonar *HydroChart 3500* permet de générer simultanément des MNT bathymétriques et des images géoréférencées à balayage latéral, ainsi qu’un fichier de métadonnées pour chaque impulsion sonore d’insonification qui incluent l’incertitude sur l’estimation de la profondeur et des angles des faisceaux utilisés pour le *raytracing*. Le modèle d’incertitude de propagation du sonar est ainsi intégré au flux de traitement des données pour fournir des estimations d’incertitude pour chacune des mesures de profondeur qui peuvent être utilisées sans problème avec le post-traitement bathymétrique de tiers.

Les caractéristiques de l’instrument sont indiquées ci-dessous :

- Couverture bathymétrique à large bande jusqu’à 12 fois la profondeur ou l’altitude de l’eau
- Imagerie co-enregistrée, à balayage latéral haute résolution
- Prend en charge les précisions de l’ordre spécial de la norme sP-44 de l’OHI
- Angle de vue supérieur à 200°, configuration Dual Array
- Couverture au nadir et suppression des trajets multiples
- Meilleure résolution spatiale que MBES
- Solution portable et clé en main
- Options de montage polyvalentes
- Fichier de calibration intégré
- Post-traitement rapide

Les fréquences centrales auxquelles le système SSS peut fonctionner sont 445 kHz et 900 kHz, et celle du système MBI 445 kHz. Les résolutions transversales (1,5 cm) et longitudinales (0,21 degré) du système SSS raisonnablement réalisables en fonctionnant à la fréquence la plus élevée de 900 kHz sont également expliquées. On en déduit que les résolutions transversales et longitudinales du système SSS, fonctionnant à la fréquence de 445 kHz, devraient s'élever à plus de 3,0 cm et environ 0,42deg, respectivement (chiffres qui se rapprochent des résolutions transversales et longitudinales de 5,0 cm et 0,4 degrés déclarées pour le système MBI fonctionnant à 445 kHz).

Après avoir pris connaissance des caractéristiques de l'instrument et de la configuration du système d'acquisition basé sur le logiciel SonarPro®, il a été possible de concevoir un système intégré d'acquisition à installer sur un drone autonome à même d'intégrer, en plus de l'acquisition des données du sonar, toutes les informations sur l'assiette de navigation (*cap, roulis, tangage, soulèvement*). Le drone SWAP (*Shallow Water Prospector*) utilise les mêmes informations pour la navigation, et notamment pour effectuer des relevés répétés avec une meilleure précision de +/- 20 cm dans des conditions météomarine optimales.

Les données de l'assiette sont acquises au moyen d'une MRU, à même de fournir les informations au moyen d'accéléromètres et d'un système GPS-RTK à double antenne. Les mêmes informations sont envoyées en temps réel vers un ordinateur d'acquisition (avec le système d'exploitation Windows™) sur lequel SonarPro® est installé.

Les données mises à disposition par Klein pour le HC3500 via le logiciel SonarPro® sont stockées dans des fichiers au format SDF. Il s'agit d'un format propriétaire qui, bien que très fonctionnel pour l'acquisition des datagrammes contenant le modèle numérique de terrain et les images du sonar à balayage latéral, ne permet pas de manipuler le signal ultrasonore reçu par l'instrument à la résolution théorique maximale.

Afin de résoudre ce problème et fournir au groupe de l'École polytechnique de Milan les données de sortie directe provenant du sonar, une solution ad hoc a dû être utilisée.

Chaque fichier SDF contient les données brutes de chaque array récepteur, mais ne les rend pas immédiatement disponibles pour les opérations de traitement, car la plupart des logiciels nécessitent simplement le « nuage » de points géoréférencés, après avoir appliqué les corrections appropriées à la vitesse de propagation du son dans l'eau.

Dans notre cas, il a fallu obtenir la série numérisée des échogrammes sans les passages intermédiaires de SonarPro®, et pour cela il a fallu consulter Klein, qui a fourni les spécifications du fichier et l'architecture matérielle de l'instrument, et effectuer une opération d'« ingénierie inversée » sur les données.

Le programme de conversion développé au sein des laboratoires ISMAR-CNR au cours de cette activité est utilisé pour convertir le format SDF en un fichier ASCII structuré en groupes de lignes (7 lignes pour chaque impulsion sonore), séparées par CR et LF, avec des champs délimités par des

Ligne1:

numéro impulsion sonore; jour; mois; année; heures; minutes; secondes; centièmes; cap; pas; roulis; lat. long.;

Lignes 2-7 :

Données des transducteurs sous forme de tableaux, un pour chaque ligne.

Ces sept lignes se répètent pour chaque impulsion sonore jusqu'à la fin du fichier.

Le programme a été écrit en MatLab et Python et a été fourni à ENI pour le distribuer au groupe de l'École polytechnique de Milan, avec un premier ensemble de données décodées afin de mettre au point les procédures de traitement en vue du relevé dans la zone de Capo Colonna.

De cette façon, une chaîne d'acquisition et de traitement des données est établie :

- 1) Les données morphobathymétriques acquises au moyen d'un sonar Klein HC3500 à bord du drone autonome SWAP (*Shallow-Water Prospector*) au format SDF au moyen du logiciel SonarPro®; simultanément avec la position et *motion reference unit* (MRU).
- 2) Le logiciel de décryptage fournit au groupe de traitement des « images » acoustiques du fond les données et tous les paramètres utilisables pour les corrections géométriques après l'acquisition.

2.3 Le système de positionnement

Pour obtenir le positionnement précis du drone, un récepteur GPS TRIMBLE SPS461 HP/XP à double antenne a été monté à bord avec correction différentielle des données au moyen d'un système VRTK via le réseau GSM. Les données reçues des stations à terre (service SPINN - Service de positionnement interrégional GNSS) ont fourni une précision horizontale centimétrique.

3.0 – Risultats

Le relevé a été effectué le long de tracés prédéfinis qui comprenaient les sites d'échantillonnage d'IBEM dans la zone considérée de Portoferraio et Cavo. Les résultats sont affichés sous forme de carte, mais une version numérique est disponible dans un format à convenir.

Les figures 5a/b montrent les cartes bathymétriques du secteur étudié à Portoferraio et Cavo respectivement, les figures 6a/b montrent les cartes du secteur analysé avec le sonar à balayage latéral respectivement à Portoferraio et Cavo.

Ces documents sont disponibles sous format PDF haute résolution sous forme de pièces jointes.



Figure 5a - Morphobathymétrie zone de Portoferraio

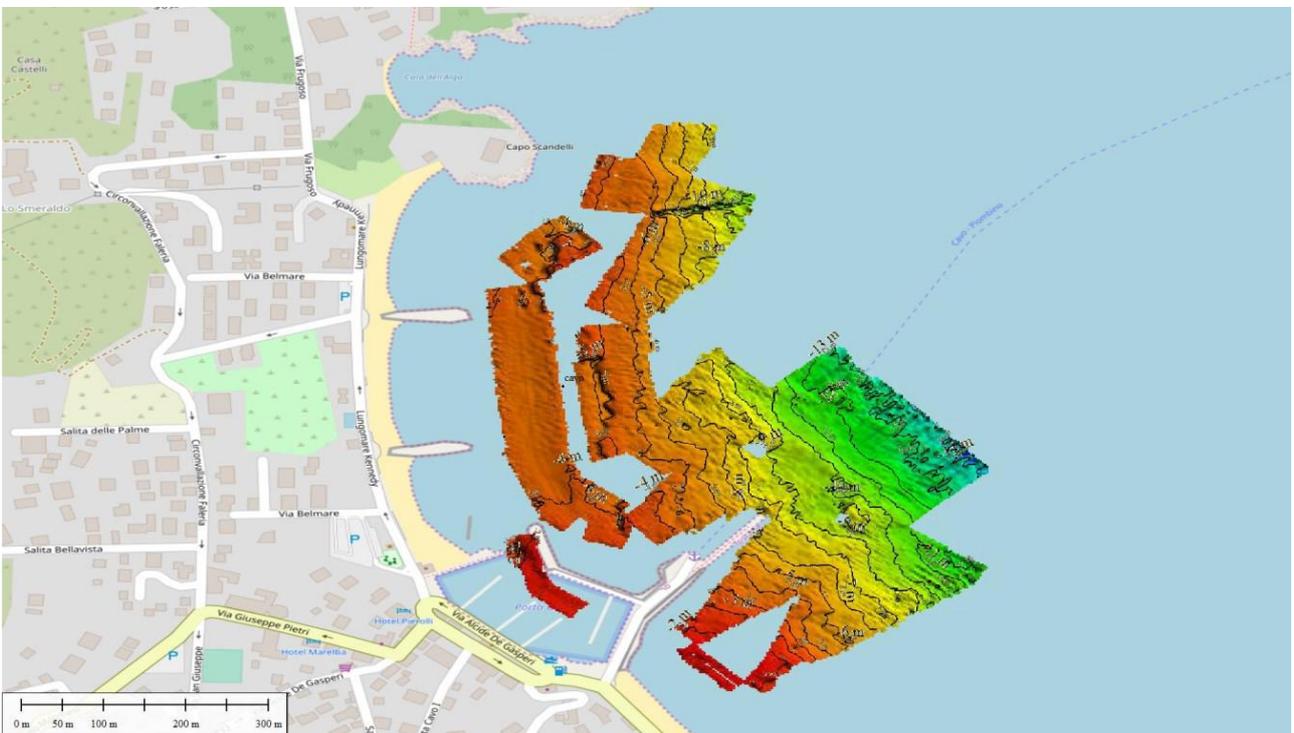


Figure 5b - Morphobathymétrie zone Cavo



Figure 6a – Carte sonar à balayage latéral de la zone de Portoferraio



Figure 6b – Carte sonar à balayage latéral de la zone Cavo

3.1 Morphobathymétrie

Les données de morphobathymétrie ont été enregistrées dans un fichier au format *sdf* du programme SonarPro.

9 mises à l'eau CTD ont été effectuées à l'aide d'une sonde YSI EXO2 multi-paramètres. En particulier, les valeurs de température, salinité, pression et profondeur ont été mesurées à des intervalles d'1 seconde. Les valeurs mesurées ont ensuite été traitées en utilisant la formule de Chen et Millero (1977) pour obtenir la vitesse de propagation du son dans l'eau utilisée pour corriger les données bathymétriques.

Le traitement des données a été effectué à Bologne à l'aide du logiciel CARIS HIPS & SIPS.

Les données ont été converties au format interne de CARIS et la séquence de traitement appliquée a été la suivante :

- 1) *Sound Velocity Correction* : pour une reconstitution plus précise des mesures bathymétriques, les profils de vitesse du son acquis dans les différentes zones ont été appliqués aux données.
- 2) *Tide Correction* : pour une reconstitution plus précise des mesures bathymétriques, les fluctuations du niveau moyen de la mer au cours de la période des relevés ont également été prises en compte. Sur le site web du réseau Rete Mareografica Nazionale (www.mareografico.it), ont été téléchargées les données relatives aux variations du niveau de l'eau de la station marégraphique de Crotona, située au port et équipée d'un nouveau capteur radar appelé SIAP+MICROS TLR d'une précision millimétrique, pour tenir compte des fluctuations quotidiennes du niveau moyen de la mer.
- 3) *Navigation Editing* : filtrage des pics dus à des mesures GPS incorrectes, lissage des itinéraires et élimination des changements de cap.
- 4) *QC préliminaire* : des grilles préliminaires ont été créées pour effectuer un contrôle de qualité des données et mettre en évidence les erreurs au niveau des faisceaux centraux et externes.
- 5) *Editing des faisceaux centraux et latéraux* : une fois le type de bruit identifié, des filtres automatiques ont été appliqués par plage de profondeur et azimuth.
- 6) *Editing manuel des pics*. Dans cette phase, les pics dus au bruit aléatoire ont été supprimés manuellement.
- 7) Exportation d'une grille bathymétrique régulière (0,25 m pour la zone 1 et 0,50 m pour la zone 2) au format ASCII xyz.

3.2 Sonar à balayage latéral

Les données du sonar à balayage latéral ont été affichées sans aucun type de traitement et ont été exportées au format texte ASCII contenant la latitude, la longitude et l'intensité (dB) du signal rétrodiffusé.

L'ensemble de données a été utilisé pour obtenir une mosaïque, qui servira de base pour la cartographie des milieux.

Avant cela, les données avaient été extraites des originaux SDF pour obtenir uniquement le signal du sonar à balayage latéral et enregistrées au format XTF (Triton Elics) à l'aide du logiciel Sonarpro.

4.0 – Conclusions

Un relevé géophysique marin a été réalisé au large de Portoferraio sur l'île d'Elbe au moyen d'un drone autonome de surface, dans le cadre d'un projet en collaboration avec IBEM Piombino pour la mise en œuvre de technologies innovantes pour l'acquisition de données sur les fonds marins à des fins de protection de l'environnement.

Les données acquises, même après un traitement préliminaire, ont montré d'excellentes potentialités aux fins du projet, qui consistent à enregistrer une image des fonds marins contrôlable dans le temps. Chacune des zones étudiées a fait l'objet d'un passage.

Il s'est agi de la première étude pilote qui pourra se répéter dans les mêmes zones avec des couvertures différentes ou dans d'autres zones portuaires soumises à un contrôle régulier.

Bibliographie

Chen C.T and F.J. Millero, Speed of sound in seawater at high pressures (1977) J. Acoust. Soc. Am. 62(5) pp 1129-1135 Chen e Millero, 1977.

Gasperini L., Del Bianco F., Stanghellini G., Priore F., 2014. Acquisition of geophysical data in shallow water environments using autonomous vehicles: state of the art, perspectives and case histories 2014/11. Atti del 33 Convegno del GNGTS.



Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISMAR - Istituto di Scienze Marine

UOS di Bologna

Via P. Gobetti, 101 - 40129 Bologna, Italy

Tel +39 051 6398891 Fax +39 051 6398939

segreteria@bo.ismar.cnr.it

C.F. 80054330586 - P.IVA 02118311006



ANALYSES GÉOCHIMIQUES XRF PRÉLÈVEMENTS PORTOFERRAIO ET CAVO

Les analyses géochimiques XRF ont été réalisées à l'aide de l'analyseur TRACER5 de la marque BRUKER.

Ce type d'analyse vise à évaluer l'état des écosystèmes côtiers dans les sédiments du fond marin et à commencer à comprendre combien et quels processus géochimiques, naturels et même anthropiques

Methodes

Un analyseur XRF portable permet d'effectuer des analyses géochimiques élémentaires non destructives sur site et en laboratoire grâce à l'analyse du rayonnement de fluorescence émis par les atomes de l'échantillon, suite à l'incidence d'un faisceau de rayons X.

Le faisceau primaire de rayons X est émis par l'analyseur. Si le faisceau primaire a une énergie supérieure à l'énergie de liaison des atomes, son incidence sur le prélèvement génère un état instable, provoquant l'éjection d'un électron des orbitales internes vers l'orbitale la plus externe. Pour combler cette lacune, un électron situé dans une orbitale d'énergie supérieure quitte sa position pour occuper celle laissée vide, libérant de l'énergie pendant la transition. Le rayonnement émis est le résultat de la différence d'énergie qui caractérise les deux orbitales engagées dans la transition des électrons, à son tour liée à la distance entre les orbitales, qui est une caractéristique fixe de chaque élément. L'énergie émise dépend du numéro atomique de chaque élément chimique analysé, chaque élément correspond donc à une émission d'énergie différente. Cette énergie est détectée par le détecteur installé sur l'instrument. Grâce à cette méthode, il est possible d'identifier les éléments du Mg à l'U.

Pendant la phase de pré-acquisition, il est possible de définir une série de paramètres (tension, courant, éventuels filtres et temps d'acquisition) conformément à l'objectif de l'étude ; de plus, l'instrument peut être calibré en analysant des échantillons d'une composition connue.

Lors de la phase d'acquisition, l'instrument affiche sur l'écran intégré les données qualitatives brutes. Il est également possible de visualiser les données pendant la phase d'acquisition puis, de procéder à leur traitement (au format .pdz) via le logiciel Artax.

Le logiciel affiche également les paramètres sélectionnés au moment de l'acquisition (Figure 7).

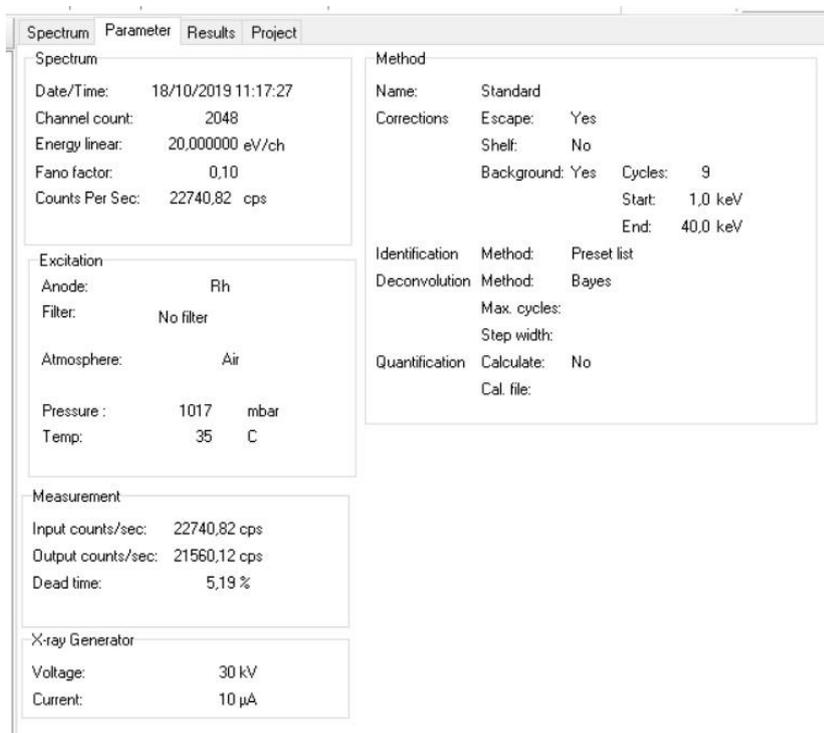


Figure 7 - Paramètres de l'instrument au moment de l'acquisition.

Dans la fenêtre d'exécution, il est possible d'accéder directement aux données brutes sous forme de spectre dans un système de référence énergie*comptages (Figure 8).

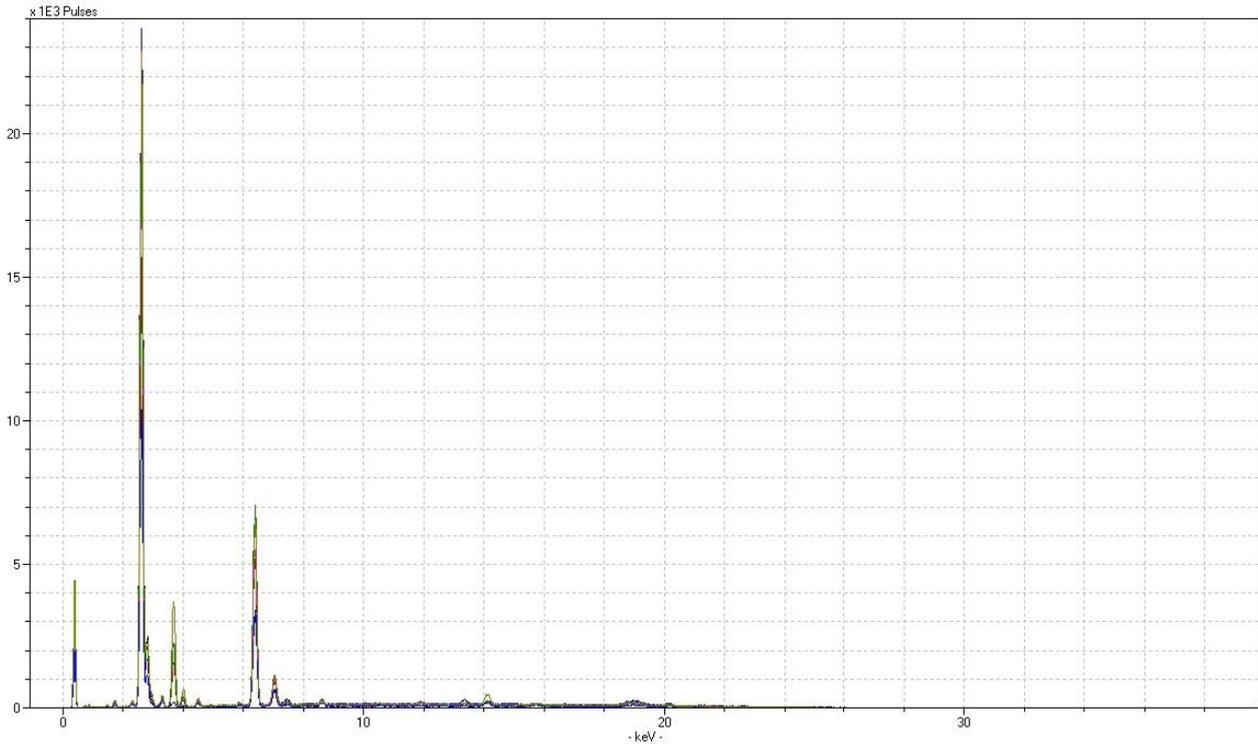


Figure 8 - Spectres superposés des échantillons analysés

L'analyse élémentaire permet d'obtenir une donnée qualitative qui peut être utilisée pour définir la composition de la matière. Cela est possible même dans le cas d'échantillons non homogènes, pour lesquels il est impossible d'effectuer une calibration précise de l'instrument avant l'analyse. En effet, une approche qualitative (ou semi-quantitative, par le biais d'opérations sur les spectres) convient particulièrement à l'analyse d'échantillons de roches et sédiments, qui présentent souvent une texture et une structure irrégulières, une stratification, des inclusions et une altération de la surface.

Les données qualitatives fournies sous forme de spectre peuvent être traitées pour obtenir des résultats semi-quantitatifs en effectuant le rapport des zones concernées par les pics des éléments d'intérêt, en fonction de la valeur des comptages. Les comptages ne sont pas directement proportionnels à la valeur de concentration d'un élément donné au sein d'un échantillon mais, en comparant les valeurs (en comptages) de chaque élément au sein des différents échantillons, il est possible, à partir du spectre, d'obtenir un rapport proportionnel au rapport entre les concentrations d'un élément. Le logarithme du rapport d'intensité entre deux éléments est effectivement proportionnel au logarithme du rapport des concentrations.

Le logiciel Artax permet d'attribuer un élément chimique à chaque pic du spectre au moyen d'un tableau périodique intégré (Figure 9).

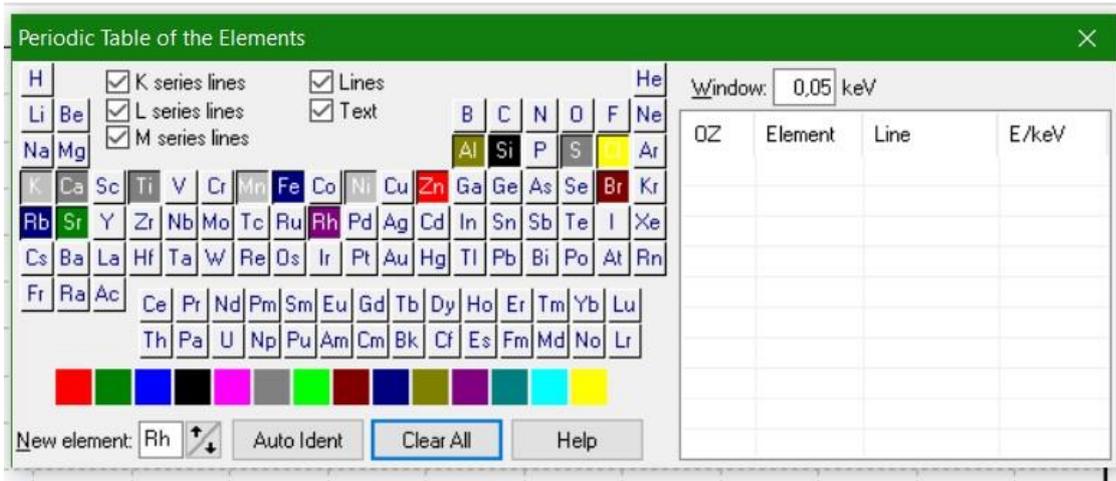


Figure 9 - Tableau périodique des éléments, intégré au logiciel (les éléments d'intérêt sont mis en évidence)

Pour chaque élément du tableau périodique, les positions (keV) des pics principaux et secondaires sont affichées. Cette opération peut être effectuée automatiquement, à l'aide de la fonction *Auto identification*, ou manuellement (Figures 10 et 11).

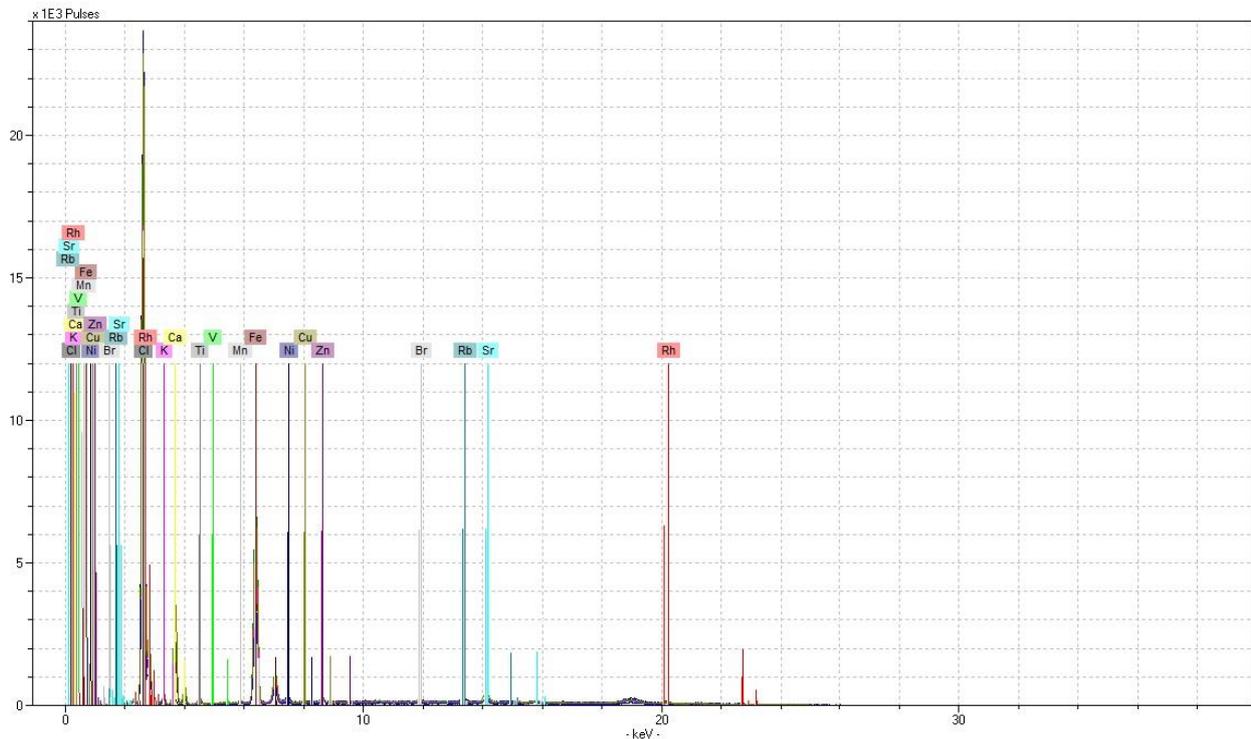


Figure 10 - Interprétation des pics à l'aide de la fonction automatique.

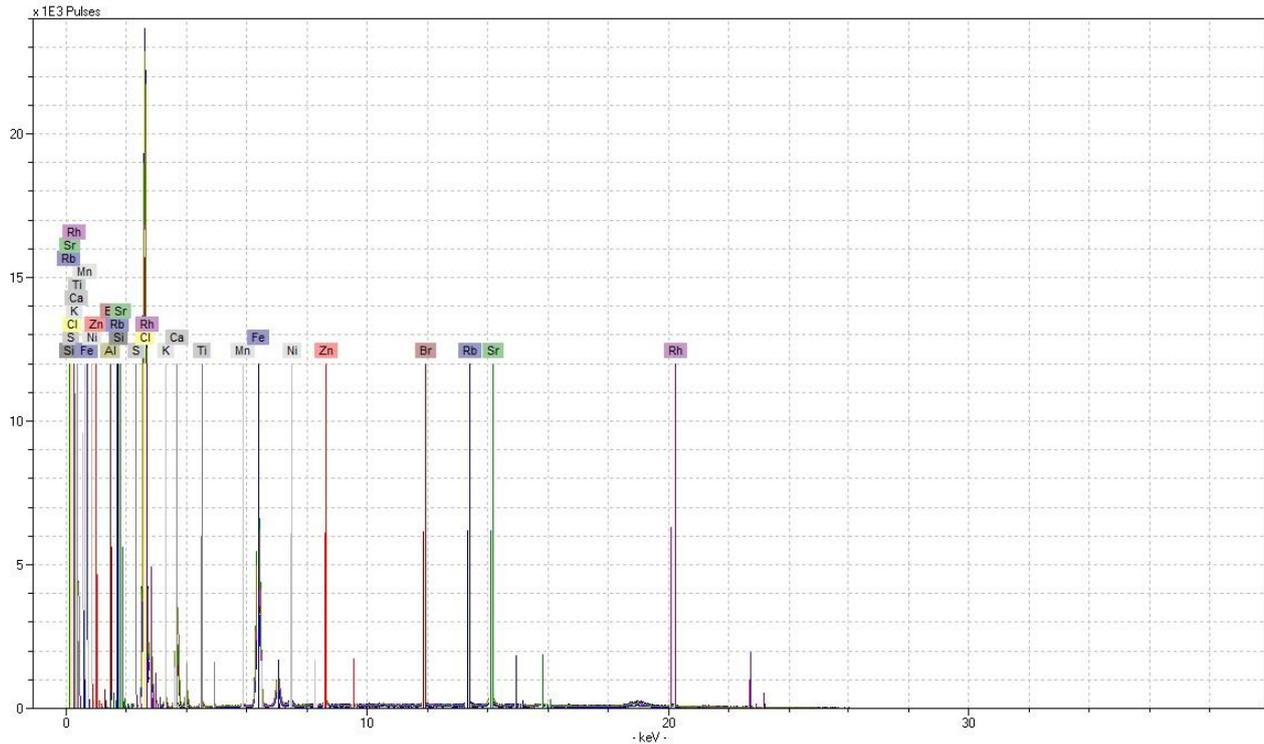


Figure 11 - Interprétation manuelle des pics à l'aide du tableau périodique intégré

Resultats de Portoferraio

Les spectres obtenus montrent un pic d'une intensité plus élevée, attribuable au chlore ; les autres pics principaux correspondent aux éléments calcium et fer ; parmi les éléments secondaires, figurent principalement Sr et Ti (Figure 12).

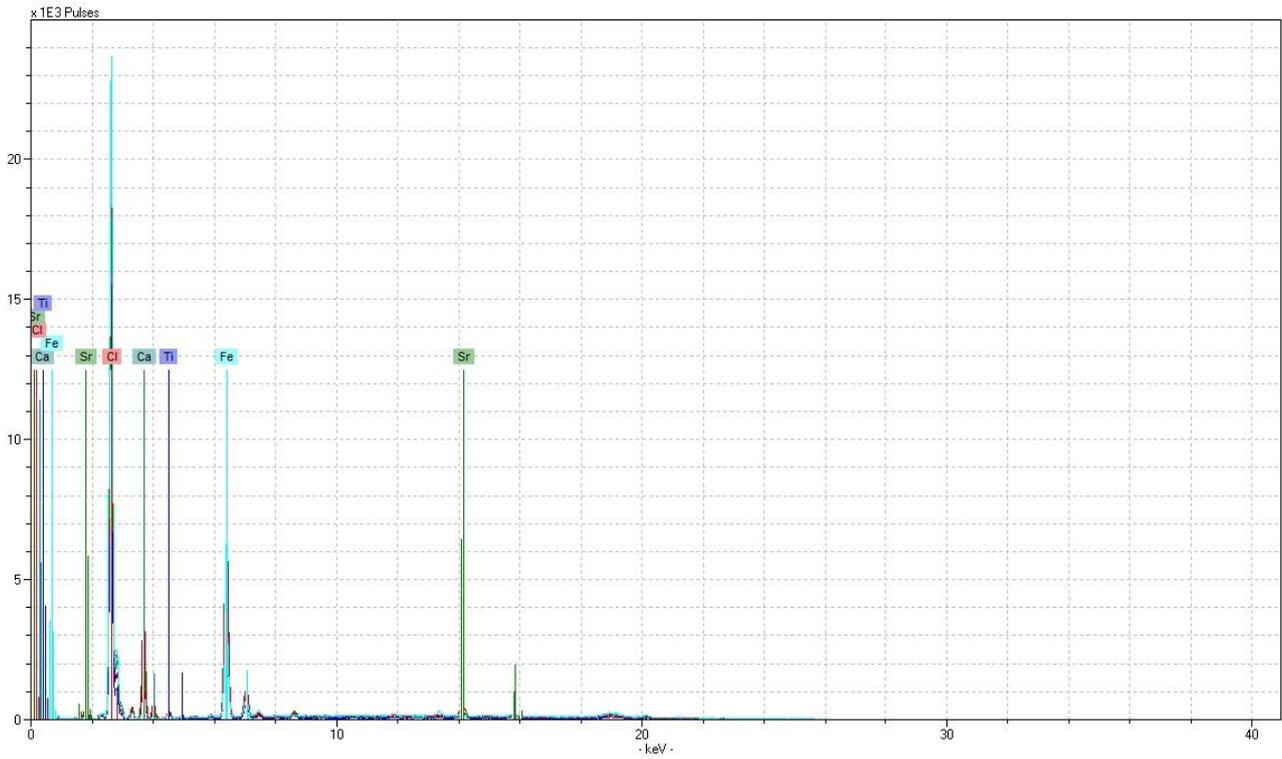


Figure 12 - Éléments correspondant aux pics d'intensité plus élevée

En important les valeurs d'intensité sur une feuille de calcul Excel, il est possible d'observer de manière plus détaillée la variation de l'intensité d'un même élément dans les différents échantillons

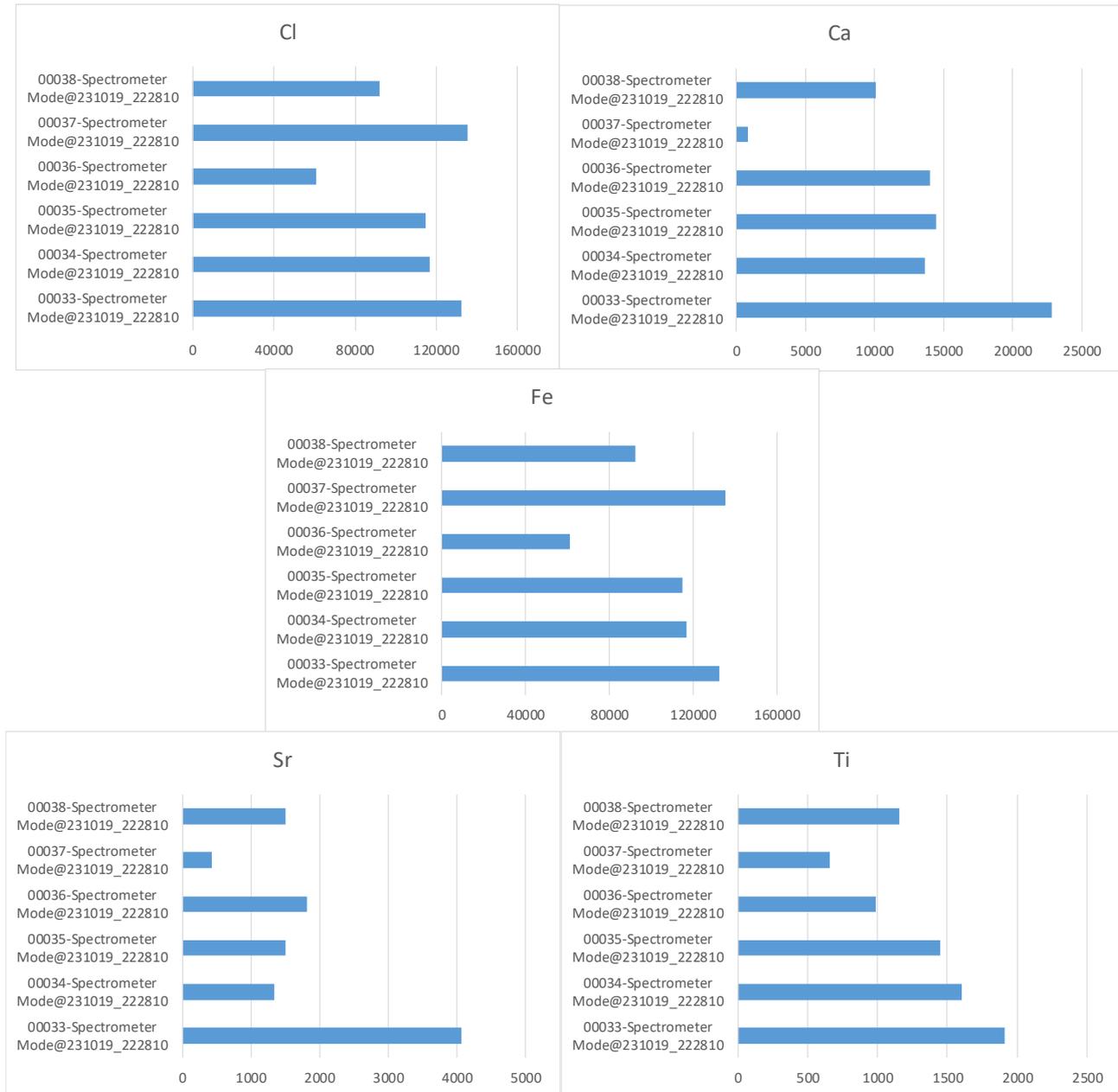


Figure 13 - Variations d'intensité (valeurs en comptages) des principaux éléments identifiés avec l'analyse du spectre.

Le tableau ci-dessous indique les correspondances entre le numéro d'échantillon analysé par l'instrument et le point d'échantillonnage.

Point d'échantillonnage (Portoferraio)	Sigle analyse XRF
Point 1	00034
Point 2	00036
Point 3	00038
Point 4	00037
Point 5	00035
Point 6	00033

Conclusions Portoferraio

Une première interprétation des données qualitatives mises à disposition par l'analyse avec un analyseur XRF portable a permis d'identifier les principaux éléments contenus dans les sédiments analysés et l'ampleur de leur variation dans différents échantillons. Il conviendra plus tard d'effectuer des analyses qualitatives plus approfondies des spectres afin de définir de manière plus précise les éléments secondaires. Si nécessaire, des analyses semi-quantitatives seront également.

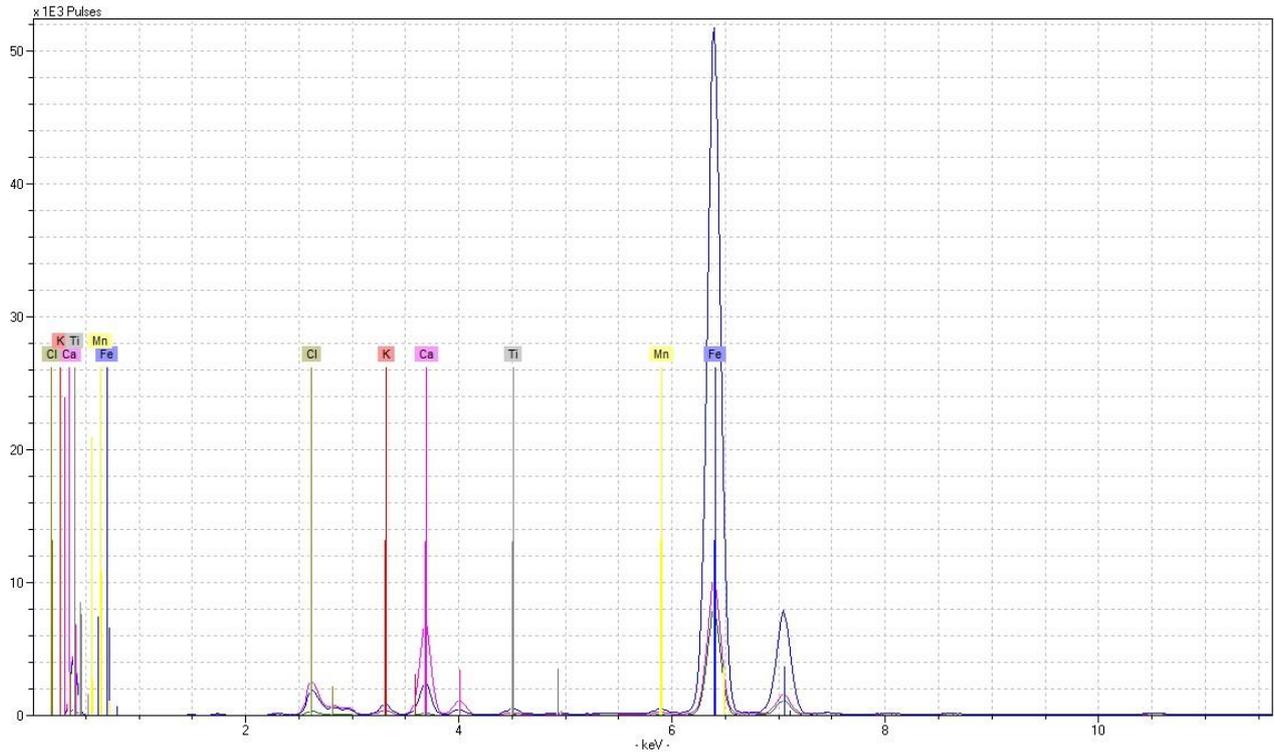


Figure 15 – Graphique montrant les principaux éléments détectés et leurs pics d'intensité.

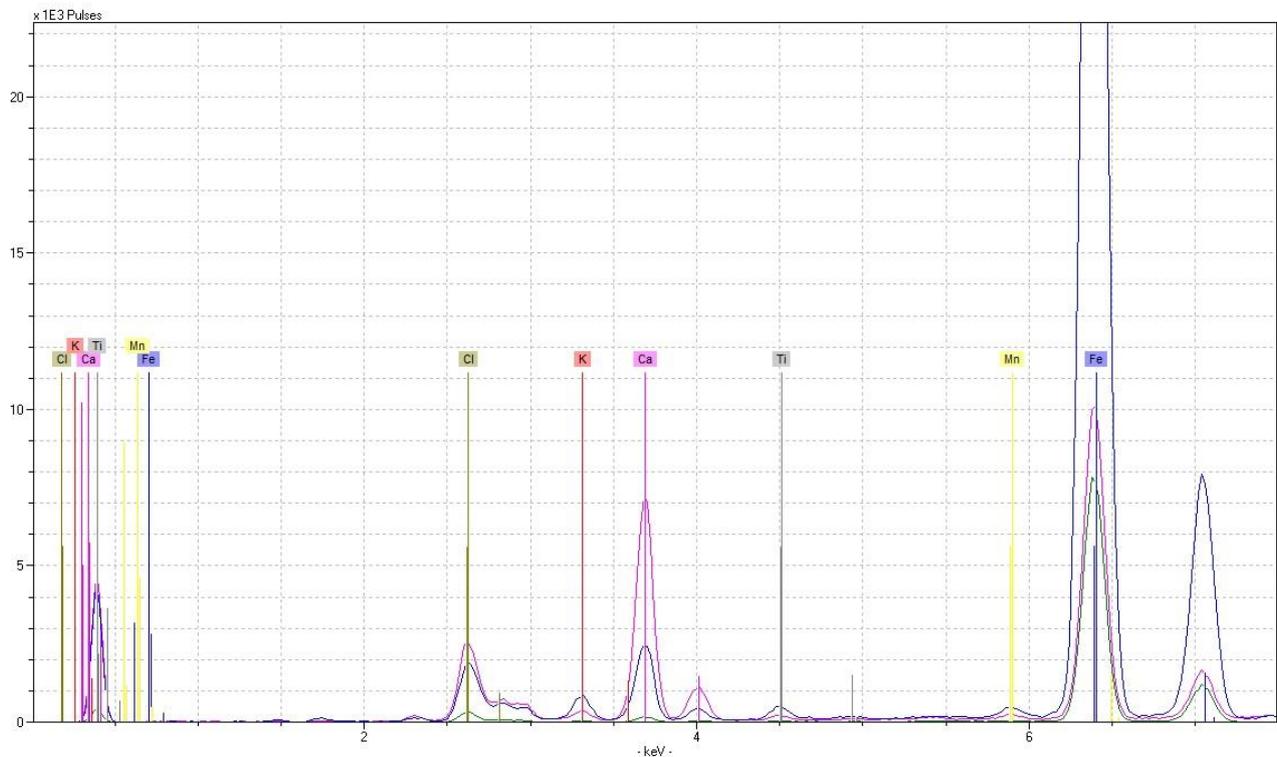


Figure 16 – Zoom du graphique montrant les principaux éléments détectés et leurs pics d'intensité.

Les spectres obtenus montrent un pic d'une intensité plus élevée, attribuable au chlore ; les autres pics principaux correspondent aux éléments calcium, chlore et titane.

En important les valeurs d'intensité sur une feuille de calcul Excel, il est possible d'observer de manière plus détaillée la variation de l'intensité d'un même élément dans les différents échantillons (Figure 17).

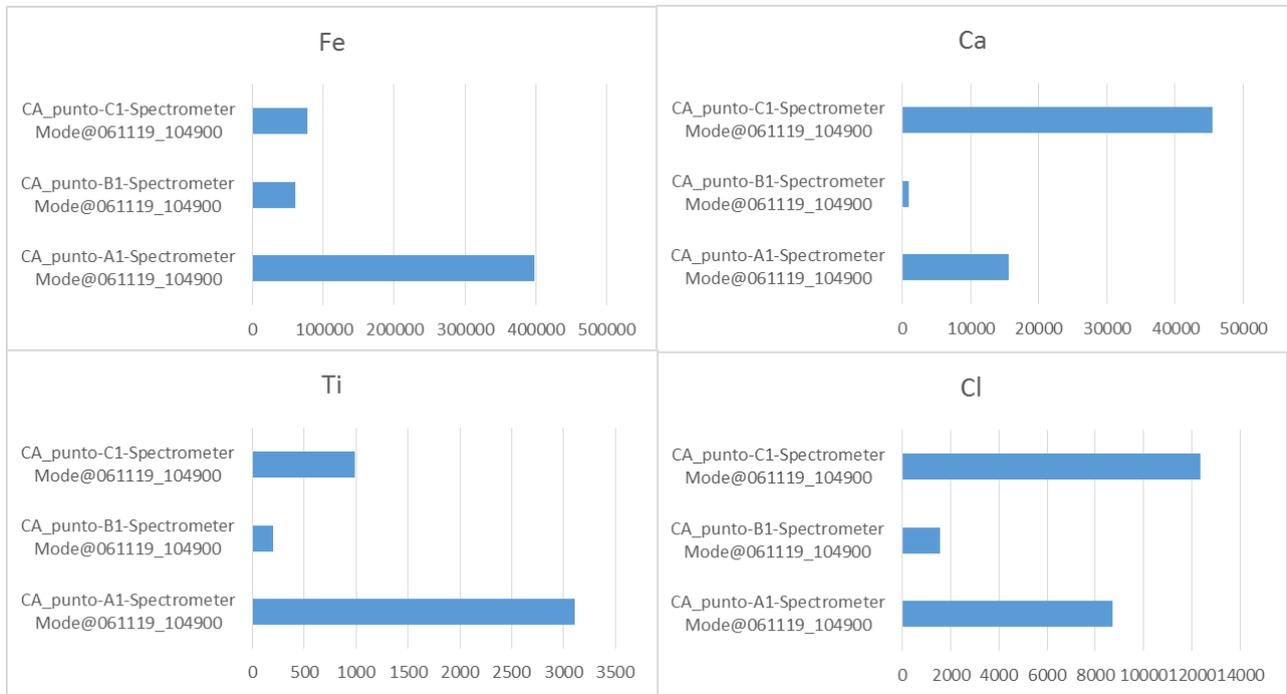


Figure 17 - Variations d'intensité (valeurs en comptages) des principaux éléments identifiés avec l'analyse du spectre.

Conclusions Cavo

Une première interprétation des données qualitatives mises à disposition par l'analyse avec un analyseur XRF portable a permis d'identifier les principaux éléments contenus dans les sédiments analysés et l'ampleur de leur variation dans différents échantillons.

Il convient de noter qu'une analyse qualitative générale a été effectuée pour le temps et les ressources actuellement disponibles et qu'il a été possible d'utiliser uniquement des échantillons caractérisés par une matrice boueuse plus homogène et plus fine. En raison de la nature très hétérogène du sédiment, il conviendra plus tard d'effectuer des analyses qualitatives plus approfondies des spectres afin de définir de manière plus précise les éléments secondaires. Si nécessaire, des analyses semi-quantitatives seront également effectuées.