



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**



Università degli Studi di Cagliari  
DOTTORATO DI RICERCA in  
Biologia e Biochimica dell'Uomo e dell'Ambiente  
Ciclo XXVIII

*Marine litter* in Sardegna: Valutazione dello stato dei  
rifiuti bentonici come contributo alla *Marine Strategy*  
*Framework Directory*

**BIO/07**

Dottorando: Andrea Alvito

Coordinatore Dottorato: Emanuele Sanna

Tutor: Prof. Angelo Cau

Esame finale Anno Accademico 2014 – 2015

La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in Biologia e Biochimica dell'Uomo e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2013/2014 – XXVII ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 - Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività I.3.1 “Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell’ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell'energia e dello sviluppo sostenibile, dell'agroalimentare e dei materiali tradizionali”.

*A Romolo e a Silvestro*

# Sommario

1. Abstract	1
2. Introduzione	3
3. Area di studio e protocollo di categorizzazione	15
3.1 Area di studio	15
3.2 Protocolli e categorie di rifiuti	18
4. Indagine tramite reti a strascico	23
4.1 Introduzione	23
4.2 Materiali e Metodi	28
4.2.1 Campagne MEDITS	28
4.2.2 Campagna PSP15	32
4.2.3 Rapporto tra pescatori e marine litter	33
4.3 Risultati	34
4.3.1 Campagne MEDITS	34
4.3.2 Campagna PSP15	56
4.3.3 Rapporto tra pescatori e marine litter	59
4.4 Discussione	61
5. Indagine attraverso ROV	69
5.1 Introduzione	69
5.2 Materiali e Metodi	76
5.3 Risultati	81
5.3.1 Risultati a livello globale	81
5.3.2 Canyon	91
5.3.3 Pinnacle	96
5.4 Discussione	100
6. Conclusioni	108
7. Bibliografia	116
8. Allegati	129
8.1 Allegato 1	129
8.1.1 Tabelle	129
8.2 Allegato 2	135
8.2.1 Interazione tra fauna ittica e marine litter	135
9. Ringraziamenti	137



## Lista delle figure

Figura 2.1 Numero di pubblicazioni scientifiche riguardanti il tema del <i>marine litter</i> negli anni (www.sciencedirect.com).....	8
Figura 2.2. Punti oceanici di maggior accumulo di rifiuti solidi galleggianti. Sono evidenti le Garbage Patch. (www.MarineDebris.noaa.gov) .....	10
Figura 3.1 L'area di indagine, costituita dalle acque circostanti la Sardegna, contestualizzata a livello del Mar Mediterraneo. ....	17
Figura 3.2 Protocollo ICES di categorizzazione del <i>marine litter</i> utilizzato nel Mare del Nord. ....	20
Figura 4.1 Stato dell'arte delle indagini effettuate in Mar Mediterraneo sul <i>marine litter</i> tramite reti a strascico. ....	25
Figura 4.2 Posizionamento delle stazioni per l'indagine MEDITS attorno le acque della Sardegna. Sono mostrati gli strati batimetrici e le 7 zone geografiche. ....	30
Figura 4.3 Il grafico mostra i valori medi per i tre anni di <i>occurrence %</i> per tutte e 9 le categorie di rifiuti, più l' <i>occurrence</i> totale. Le barre sono indicatori di errore standard.....	34
Figura 4.4. Composizione numerica di <i>marine litter</i> stimata per i mari circondanti la Sardegna dai 0-800 m. ....	36
Figura 4.5 Densità del <i>marine litter</i> nei cinque strati batimetrici con barre di errore standard. ....	37
Figura 4.6. Per ciascuno dei 5 strati batimetrici è rappresentata la composizione% delle 9 categorie di <i>marine litter</i> .....	39
Figura 4.7 Risultati dell'analisi canonica delle coordinate principali (CAP).....	40
Figura 4.8 Variazione nei valori di densità ( $\text{No} \cdot \text{Km}^{-2}$ ) con barre di errore standard nelle 7 differenti zone delle acque sarde.....	42
Figura 4.9 Per ciascuna delle 7 zone geografiche è rappresentata la composizione% delle 9 categorie di <i>marine litter</i> .....	43
Figura 4.10 Risultati dell'Analisi delle Componenti Principali.....	44
Figura 4.11 Rappresentazione tramite <i>Bubble plot</i> della totalità di rifiuti per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine. ....	46
Figura 4.12 Rappresentazione tramite <i>Bubble plot</i> della densità della plastica (L1) per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine .....	47
Figura 4.13 Rappresentazione tramite <i>Bubble plot</i> della densità del vetro (L4) per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine. ....	48
Figura 4.14 Rappresentazione tramite <i>Bubble plot</i> della densità della categoria "altro" (L8) per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine. ....	49
Figura 4.15 Analisi della componente peso di ciascuna categoria di rifiuti.....	51
Figura 4.16 Variazione nei valori di abbondanza ( $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$ ) con barre di errore standard nei cinque strati batimetrici investigati. ....	52

Figura 4.17 Variazione dei valori di abbondanza tra le 7 zone geografiche con barre di errore standard. ....	54
Figura 4.18 Composizione percentuale delle subcategorie della plastica osservate durante le campagne MEDITS. ....	56
Figura 4.19 Valori percentuali delle categorie di rifiuti rinvenute e dettaglio delle componenti della plastica .....	57
Figura 4.20 Relazione tra la profondità e il quantitativo di rifiuti per le 10 stazioni investigate.....	58
Figura 4.21 Confronto grafico tra i valori di No di rifiuti/h per le nove categorie più il totale. ....	59
Figura 4.22 Rappresentazione della circolazione delle masse d'acqua di interesse per l'accumulo di <i>marine litter</i> . Le frecce grigie indicano la Western Sardinian Current (WSC), il cerchio tratteggiato rappresenta il punto di maggiore energia cinetica del flusso di corrente (modificato da Olita et al., 2015). ....	65
Figura 5.1. Rappresentazione geografica dei 29 dive utilizzati per l'analisi del <i>marine litter</i> tramite ROV durante la campagna ASTREA 2013. ....	77
Figura 5.2. Valori di densità espresse in numero di rifiuti*m <sup>-2</sup> per ciascuna categoria con barre di errore standard.....	84
Figura 5.3. Regressioni lineari tra i i valori di densità totale, impact % e la densità di ciascuna categoria di <i>marine litter</i> osservata con l'aumentare della profondità. ....	86
Figura 5.4 Percentuali dei rifiuti originati dalla pesca professionale e dei rifiuti di altra origine .....	87
Figura 5.5 Livello di impatto per ciascuna specie di cnidari rinvenuta a contatto con oggetti di derivazione antropica. Si fa riferimento al valore percentuale di ogni specie sul numero totale di oggetti che è risultato trovarsi adeso sulle di cnidari. ....	88
Figura 5.6 Esempio di <i>P. elephas</i> catturato da un tramaglio incagliato sul fondale. ....	89
Figura 5.7 Rappresentazione a torta della composizione dei rifiuti in base al livello di <i>biofouling</i> . ....	90
Figura 5.8 Variazioni delle componenti del <i>marine litter</i> nelle tre categorie di canyon ottenute in base distanza dalla costa. Sono riportati nei grafici i valori medi per ciascun fattore ± errore standard .....	93
Figura 5.9. Rappresentazione grafica delle distribuzioni di similarità tramite CAP. ....	94
Figura 5.10 Composizione del <i>marine litter</i> nei canyon suddivisi per i tre diversi livelli di vicinanza dalla costa.....	96
Figura 5.11 Variazioni delle componenti del <i>marine litter</i> nelle due categorie di <i>pinnacle</i> ottenute in base distanza dalla costa. Sono riportati nei grafici i valori medi per ciascun fattore ± errore standard. ....	98
Figura 5.12 Rappresentazione grafica delle distribuzioni di similarità tramite CAP. ....	99
Figura 5.13. Impatto dei rifiuti da pesca sull'ambiente dei fondali investigati in questo studio. (A) Una fune da pesca poggia su una <i>C. verticillata</i> . <i>H. hirsuta</i> a contatto con una lenza fortemente incrostata da epibionti. (C) Un palamito fortemente incrostato si estende attorno alle colonie di <i>C. rubrum</i> e <i>P. clavata</i> . (D) <i>E. cavolini</i> risulta la specie maggiormente impattata dai rifiuti, in questa foto la troviamo estendersi al di sopra di una cima. (E) Gorgonie di <i>P. clavata</i> vengono attraversate da un palamito incrostato da <i>Filograna</i>	

<i>implexa</i> . (F) Una parte di rete fortemente deteriorata circonda una colonia di <i>C. rubrum</i> . (G) Il corallo nero <i>L. glaberrima</i> avvolto da lenze su cui sono cresciuti idroidi. (H) <i>H. hirsuta</i> fortemente lacerata nella parte basale da una lenza di nylon. Su di essa si nota la colonizzazione da parte di epibionti. (I) Colonia di <i>D. cornigera</i> sofferente, attraversata da una lenza di nylon. ....	107
Figura 8.1 <i>Phycis phycis</i> che utilizza un barile di metallo come rifugio.....	135
Figura 8.2 Esemplare <i>Polyprion americanus</i> che si aggira tra le reti di un tramaglio dismesso sul fondale sabbioso.....	135
Figura 8.3 <i>Murena helena</i> a stretto contatto con una lenza di nylon fortemente incrostata. ....	136
Figura 8.4 Due esemplari di <i>Helicolenus dactylopterus</i> nelle vicinanze di una busta di plastica depositata sul fondale.....	136

## Lista delle tabelle

Tabella 4.1 Valori di <i>frequency of occurrence</i> (numero di cale positive alla presenza di <i>marine litter</i> ) e di <i>frequency of occurrence %</i> per ciascuno dei tre anni di indagine MEDITS. ....	35
Tabella 4.2. Per ciascuna categoria di <i>marine litter</i> sono mostrati di seguito i valori numerici complessivi ottenuti dai tre anni di indagini MEDITS e la densità (No. oggetti*km <sup>-2</sup> ). ES=errore standard. ....	35
Tabella 4.3 Valori di densità del <i>marine litter</i> nei cinque strati batimetrici investigati. ES=Errore Standard .....	37
Tabella 4.4 Risultati del Mann Whitney tra i valori di densità totale dei 5 strati batimetrici investigati durante le campagne MEDITS. E' messa in evidenza nelle celle grigie la significatività delle differenze dello strato E con gli strati B e C. ....	38
Tabella 4.5 Risultato della PERMANOVA. L'unico valore di significatività riscontrato è quello dato dalla variazione dei valori di densità tra lo strato C e lo strato E (evidenziato in grigio), investigata con la comparazione di Pair-Wise. ....	39
Tabella 4.6 Densità del <i>marine litter</i> osservato nelle 7 zone geografiche durante le campagne MEDITS. ES=Errore standard. ....	41
Tabella 4.7 Per ciascuna categoria di <i>marine litter</i> sono mostrati di seguito i kg complessivi ottenuti dai tre anni di indagini MEDITS e l'abbondanza (Kg*Km <sup>-2</sup> ). ES=errore standard. ....	50
Tabella 4.8 Abbondanza del <i>marine litter</i> nei cinque strati batimetrici investigati. ES=Errore Standard. ....	51
Tabella 4.9 Risultati del Mann Whitney tra i valori di densità totale dei 5 strati batimetrici investigati durante le campagne MEDITS. E' messa in evidenza nelle celle grigie la significatività delle differenze dello strato E con gli strati B e C. ....	52
Tabella 4.10 Abbondanza del <i>marine litter</i> rinvenuto nelle 7 zone geografiche durante le campagne MEDITS. ES=Errore standard. ....	53
Tabella 4.11 Le diverse tipologie di oggetti di plastica rinvenuti con valori numerici e di densità. ES=errore standard.....	55
Tabella 4.12 Valori delle categorie di rifiuti rinvenuti durante la campagna PSP15 espressi come numero di rifiuti e numero di rifiuti l'ora. ES= errore standard .....	56
Tabella 4.13 Confronto nei valori di No/h rinvenuti durante le due campagne di pesca. ES=errore standard. ....	59
Tabella 5.1 Caratterizzazione di ciascuno dei 17 siti investigati in termini di numero di dive (No. Dive), geomorfologia, profondità, superficie (m <sup>2</sup> ), numero di fotogrammi totale, numero di rifiuti rinvenuti e percentuale dei <i>frames</i> presentanti <i>marine litter</i> sul totale. ....	82
Tabella 5.2 Per ciascuna categoria di <i>marine litter</i> sono mostrati di seguito i valori numerici complessivi e la densità media (No. oggetti / m <sup>-2</sup> ). ES=errore standard. ....	83
Tabella 5.3 Per ciascuna delle variabili sono indicati i valori di R <sup>2</sup> dell'equazione lineare, R di Pearson, p value e la significatività statistica della correlazione tra il variare della profondità e dei valori di densità. ....	85
Tabella 5.4 Caratterizzazione di ciascun canyon investigato con i valori di densità per le categorie di <i>marine litter</i> . No=numero di dive; Prof=profondità, Impact %= No. fotogrammi impattati/Fotogrammi totali*100. ....	91

Tabella 5.5 Risultati dell'analisi univariata della PERMANOVA per le differenze tra i canyon e tra i pinnacle sulla base della loro distanza dalla costa. Ns= non significativo; C= <i>close</i> ; I= <i>intermediate</i> ; F= <i>far</i> .....	92
Tabella 5.6. Risultati dell'analisi SIMPER sulla composizione del <i>litter</i> tra i tre tipi di canyon. ....	95
Tabella 5.7 Caratterizzazione di ciascun <i>pinnacle</i> in base al numero di dive, profondità, densità totale (No per m <sup>-2</sup> ), Impact % (Fotogrammi impattati/Fotogrammi totali*100) e densità di ciascuna categoria di rifiuto (No per m <sup>-2</sup> ) .....	96
Tabella 8.1 Elenco delle stazioni investigate durante i 3 anni MEDITS. Ogni stazione è caratterizzata dal codice alfanumerico, dalla zona geografica, dallo strato batimetrico e dal quantitativo numerico di rifiuti rinvenuti complessivamente nei tre anni messi assieme..	129
Tabella 8.2 Elenco delle stazioni investigate durante i 3 anni MEDITS. Ogni stazione è caratterizzata dal codice alfanumerico, dalla zona geografica, dallo strato batimetrico e dal valore di densità medio (No*Km <sup>-2</sup> ) tra i tre anni.....	132

# 1. *Abstract*

---

Anthropogenic debris are known to be present in all marine habitats, from coasts to the most remote points of the planet like deep sea floors and poles. In spite of the growing interest from the political and scientific community regarding this spreading threat, the knowledges on marine litter status still remain fragmentary. Most of studies have been carried out on the sea surface and on coastal habitats, whereas there are few information available about the assessment of anthropogenic debris on the sea bottoms. This PhD thesis aims to evaluate the state of benthic marine litter in terms of composition, density and abundance along the continental shelf and continental slope of FAO Geographical Sub Area 11: Sardinia Island (NW Mediterranean Sea) according to Marine Strategy Framework Directive. Soft bottoms and rocky habitats have been investigated separately by mean of two different sampling methods (trawling and ROV video transect). Trawl surveys are defined as the most appropriate way to collect litter on sandy and muddy seafloors. Within the MEDITS (International Mediterranean Trawls Survey) framework, three years repeated survey permitted the acquisition of a marine debris data in a wide bathymetric range. Uni and multivariate analyses were used to test differences between \inshore and offshore habitats and between geographical zones in terms of litter amount. Results highlighted that, among the 302 investigated stations, plastic resulted by far the main component in terms of occurrence, density and abundance. Concentration of debris derived from land-

based activities tends to decrease as we move farther from the coastline. Anthropogenic Marine-based activities are supposed to be the main cause of the sudden increased values of debris observed in the deep habitats, which was investigated through the Deep Sea Cruise PSP15 on a bathymetric range comprise between 800-1600 m. The behaviour of fishermen observed and recorded emphasizes the necessity of a change in the management policy for the conservation of the environment.

Investigation on rocky habitats have been carried out through the non-invasive technique of ROV footage. All canyons and pinnacles surveyed, showed the presence of anthropic pressure in terms of marine litter. Discarded fishing gears are the main components of all litter observed. Distance from coastline do not cause significant difference of the variation of debris density. In the rocky bottom investigated 26.5% of marine litter damaged the benthonic coral community, indeed urgently needing special protection measures.

Our results constitute an important and needed set of information regarding the treat of marine litter in an high ecological value area such as the Mediterranean basin. As a result these information are useful for future spatio-temporal comparisons, as well for a collaboration to create a unique dataset as required by the MSFD, considered a fundamental tool for the development of proper conservation measures.

## 2. Introduzione

---

### 2.1.1.1 Interesse da parte della comunità

Il tema dell'inquinamento da immissione di rifiuti all'interno dell'ambiente marino ha acquisito negli anni recenti una notevole rilevanza a livello mondiale. Sebbene a partire dalla "Convenzione di Londra sulla prevenzione dell'inquinamento marino causato dallo scarico di rifiuti ed altre materie" del 1975 sia stato vietato l'abbandono di qualunque oggetto solido in mare, la *Food and Agricultural Organization of the United Nation* (FAO) assieme alla *National Oceanic and Astronomic Organization* (NOAA), stimano che la quantità di materiale solido di origine antropica riversato nell'ambiente marino superi le 6,4 milioni di tonnellate (UNEP, 2009), con 62 milioni di oggetti galleggianti all'interno del solo bacino del Mar Mediterraneo (Suaria and Aliani, 2014). In vista di ciò, l'Europa attraverso la Comunità Europea ha emesso la *Marine Strategy Framework Directive* (MSFD, EU Directive 2008/56/EC), una direttiva finalizzata alla tutela degli ambienti marini e volta a un loro sfruttamento sostenibile. Con questa direttiva si stabilisce una finestra di lavoro per la quale gli stati membri sono obbligati a mobilitarsi al fine di ottenere, o mantenere laddove già vi sia, un buono stato dell'ambiente (*Good Environmental Status*, GES) entro il 2020. All'interno della direttiva si fa particolare riferimento alla gestione delle attività umane, in quanto l'ottenimento del buono stato ambientale deriva anche da queste. Nell'allegato 1, il descrittore 10 (D10) tratta il tema dei rifiuti marini recitando:

<<Le proprietà e le quantità di *marine litter* che non provochi danni all'ambiente costiero e marino.>>

Cosa rientra a far parte precisamente del *marine litter*? La sua definizione comunemente accettata arriva per la prima volta proprio all'interno della direttiva *Marine Strategy* dove viene definito come “qualsiasi materiale solido processato o lavorato che venga abbandonato, deposto o gettato nell'ambiente marino e costiero” (Hanke et al., 2013).

### 2.1.1.2 *L'origine dei rifiuti in mare*

I rifiuti che si trovano in mare hanno un'origine molteplice e, a seconda della fonte di provenienza, possono essere suddivisi in due principali categorie (Ahmet et al., 2014): rifiuti provenienti dalla terra ferma e rifiuti provenienti da attività legate al mare stesso.

Attività turistiche, agricole, industriali e domestiche sono le principali fonti di provenienza di rifiuti dalla terraferma (Stefatos et al., 1999; Galgani et al., 2000; Moore and Allen, 2000; Katsanevakis and Katsarou, 2004), mentre il traffico navale ricreativo, quello commerciale e quello professionale, gli impianti di acquacoltura e la produzione energetica vanno a costituire le fonti di origine associate ad attività legate al mare (Dixon and Dixon, 1981, 1983; Horsman, 1982; Hess et al., 1999; Stefatos et al., 1999; Galgani et al., 2000; Moore and Allen, 2000; Somerville et al., 2003; Ryan et al., 2009; Ramirez-Llodra et al., 2011).

Anche i fiumi sono considerati dei trasportatori e immissari di rifiuti nel mare (Hanke et al., 2013; Lechner et al., 2014; Rech et al., 2014). Durante il loro percorso sulla terra infatti, raccolgono ogni genere di scarto umano in grado di essere trasportato dalla corrente e attraverso la foce lo riversano in mare alla fine del loro corso. A questo punto gli agenti climatici atmosferici e naturali come tempeste, vento, il moto delle onde e le correnti ne causano la proliferazione, l'ulteriore trasporto e infine l'accumulo sul fondale marino (Ryan et al. 2009).

### ***2.1.1.3 Distribuzione sulla colonna d'acqua***

Una volta raggiunto l'ambiente marino i rifiuti possono essere categorizzati a seconda della posizione occupata all'interno della colonna d'acqua. Se per il principio di Archimede i corpi con una più bassa densità corporea del fluido in cui sono immessi galleggeranno su quel fluido, gli oggetti con densità minore rispetto all'acqua di mare risultano dunque esserne più leggeri, andandosi a comportare come dei corpi galleggianti e sospesi al di sopra della superficie: vengono definiti *rifiuti sospesi o galleggianti*. Questi rifiuti possono essere trasportati dai venti e dalle correnti, percorrendo talvolta notevoli distanze. Durante il loro viaggio può capitare di finire spiaggiati lungo le coste, di deteriorarsi a causa delle radiazioni solari e di subire dei cambiamenti a livello chimico e meccanico che spesso si traducono nel loro ingresso all'interno della colonna d'acqua fino, in alcuni casi, al raggiungimento del fondale marino. (Andrady 2015).

I rifiuti di dimensioni molto piccole, in balia delle correnti marine si comportano come corpi planctonici e, assieme ai rifiuti con una densità pari a quella dell'acqua di mare, vengono trasportati e rinvenuti all'interno della colonna dalle correnti. E' possibile che questi rifiuti si trovino a metà di essa solo come fase di transizione, infatti è noto che i polimeri della plastica, o per degradazione dovuta ai raggi ultravioletti, o per aumento di peso dovuto alle bioincrostazioni (Galgani et al., 2015), passino dalla superficie al fondo con un processo graduale, durante il quale la colonna viene attraversata per intero prima del raggiungimento del fondale e dell'accumulo.

Infine i rifiuti più pesanti e con maggiore densità si trovano generalmente adesi al substrato. Tuttavia, se oggetti con elevato peso specifico (corpi di vetro o metallo) presumibilmente attraversano longitudinalmente la colonna d'acqua andandosi a posare sul fondo immediatamente dopo essere entrati nell'ambiente marino, altri con un peso e una densità inferiore (ma comunque superiore a quello dell'acqua di mare), possono essere in grado di percorrere lunghe distanze e subire dei cambiamenti di forma, dimensione e densità prima di raggiungere il substrato (Barnes et al., 2009; Pham et al., 2014).

#### **2.1.1.4 Storia dell'indagine sui rifiuti**

Al giorno d'oggi le conoscenze che si hanno sul reale stato dell'inquinamento da rifiuti solidi nell'ambiente marino sono ancora frazionarie e difficili da

confrontare (Pham et al., 2014). Studi e documenti sulla presenza di rifiuti in mare fanno parte della letteratura scientifica recente.

Anche se nel 1870 Jules Vernes dedicò alla descrizione dei rifiuti presenti nelle acque del Mar di Sargassi un capitolo della celebre novella “Ventimila leghe sotto i mari”, i primi lavori scientifici sull’argomento risalgono alla seconda metà del ventesimo secolo. La presenza di derivati delle attività umane in forma solida all’interno degli ambienti marini è infatti legata principalmente alla produzione di plastica. Della plastica fanno parte un diverso numero di polimeri sintetici derivati del petrolio la cui produzione ha avuto inizio nel XIX secolo, ma ha conosciuto la divulgazione a livello globale solo a partire dagli anni cinquanta del Novecento. La sua resistenza, i costi relativamente bassi di produzione, l’elevato numero di funzioni a cui può essere adibita, hanno reso la plastica il materiale ideale per imballaggi e per la costruzione di manufatti di ogni genere. Al giorno d’oggi vista la sua indispensabilità, la plastica continua ad essere prodotta massicciamente fino ad aver raggiunto nel 2013 la quota stimata di 288 milioni di tonnellate l’anno (PlasticEurope 2013), con un incremento produttivo annuo del 4%. Tuttavia la sua capacità di perdurare nel tempo senza deteriorarsi è anche la causa della sua pericolosità per l’ambiente. A partire dalla fine degli anni 60 iniziano a essere pubblicati lavori sui rapporti tra gli animali marini e gli oggetti di plastica persistenti in mare. Keynon and Kridler nel 1969 documentano per primi l’ingestione di plastica da parte degli Albatros delle isole Hawaii, portando l’attenzione scientifica sulla problematica. Da questo studio in poi, gli effetti dannosi della plastica presente in mare sono stati resi noti per altre specie di organismi superiori: uccelli, rettili e

mammiferi marini, tutti accomunati dall'abituale ingestione di rifiuti dovuta a errori di valutazione. (Harper and Fowler, 1987; Berland 1971; Cornelius 1975; Balazs 1985; Cawthorn 1985). Arrivando ai giorni nostri si osserva come la produzione scientifica abbia visto negli anni recenti un considerevole incremento (Figura 2.1), in particolare a partire dal 2008 probabilmente incentivato anche dall'emissione nello stesso anno della MSFD.

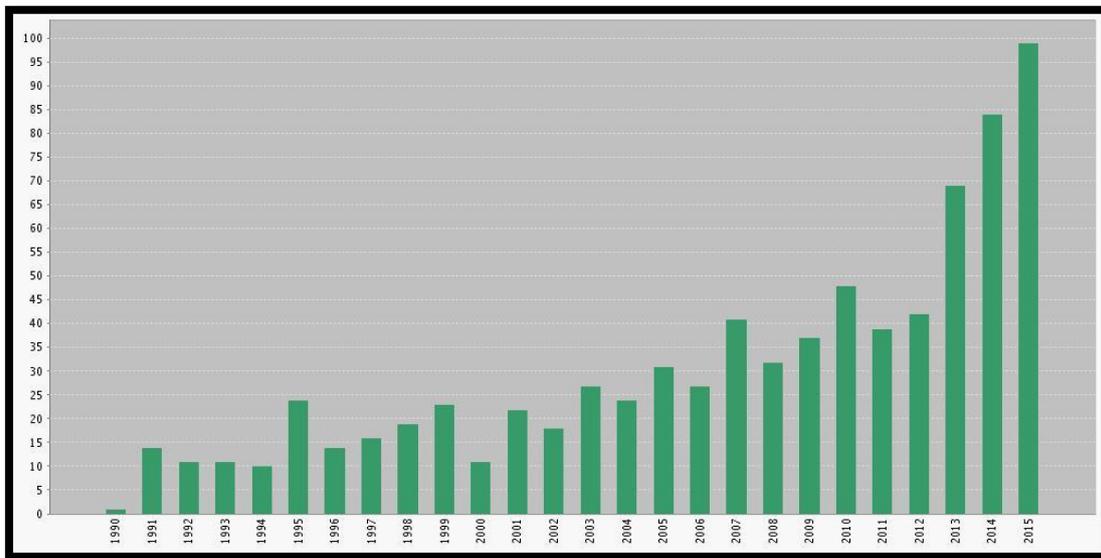


Figura 2.1 Numero di pubblicazioni scientifiche riguardanti il tema del *marine litter* negli anni (www.sciencedirect.com)

### 2.1.1.5 Destino del *marine litter*

Gli oggetti degradabili sono quelli in grado di essere ridotti in piccole dimensioni dagli agenti naturali. In natura i materiali solidi vengono solitamente disgregati ad opera di microrganismi, solitamente batteri e funghi: questo processo, mediato per l'appunto da organismi viventi prende il nome di biodegradazione. I materiali e gli oggetti solidi di origine naturale, sono generalmente ben più rapidi ad

essere biodegradati rispetto a quelli sintetici. Se il vetro impiega milioni di anni prima di biodegradarsi (Seco Pon et al., 2012), gli anni stimati per la deteriorazione della plastica sono dell'ordine di grandezza di alcune migliaia (Arthur et al., 2009; Barnes et al., 2009; Derraik, 2002). In mare inoltre, i polimeri della plastica necessitano di tempi maggiori per degradarsi in quanto un ruolo fondamentale nel processo è svolto dai raggi ultravioletti (UV, Andrady 2003) in un processo chiamato fotodegradazione. Negli ambienti profondi in particolare, gli UV sono assorbiti dall'acqua rendendo la degradazione dei polimeri più lenta rispetto alle zone costiere (Gregory 1987; Goldberg 1997). Vetro, plastica, metallo e gomma sono detti rifiuti persistenti, in quanto non si decompongono con facilità e rimangono nell'ambiente per un periodo prolungato, accumulandosi. A oggi non è ancora stata effettuata una mappatura completa della distribuzione di ogni categoria di rifiuti sul fondale, ma si iniziano ad avere delle stime precise per quanto riguarda tutte quelle categorie di rifiuti galleggianti (UNEP, 2009). Questa parte sospesa del *marine litter* si ritiene costituisca solamente il 15% del totale di rifiuti presente nell'ambiente marino, la rimanente invece risulta trovarsi depositata sul fondale. Attività di monitoraggio effettuate tramite campagne oceanografiche condotte nelle zone centrali degli oceani, rivelano la formazione di vere e proprie isole galleggianti di rifiuti (*Garbage Patch*). Questi punti di accumulo sono causati dall'azione delle correnti marine che, convergendo in punti precisi degli oceani, permettono di osservare concentrazioni di rifiuti pari fino a 100.000 oggetti\*km<sup>-2</sup> (Figura 2.2) (UNEP, 2009).

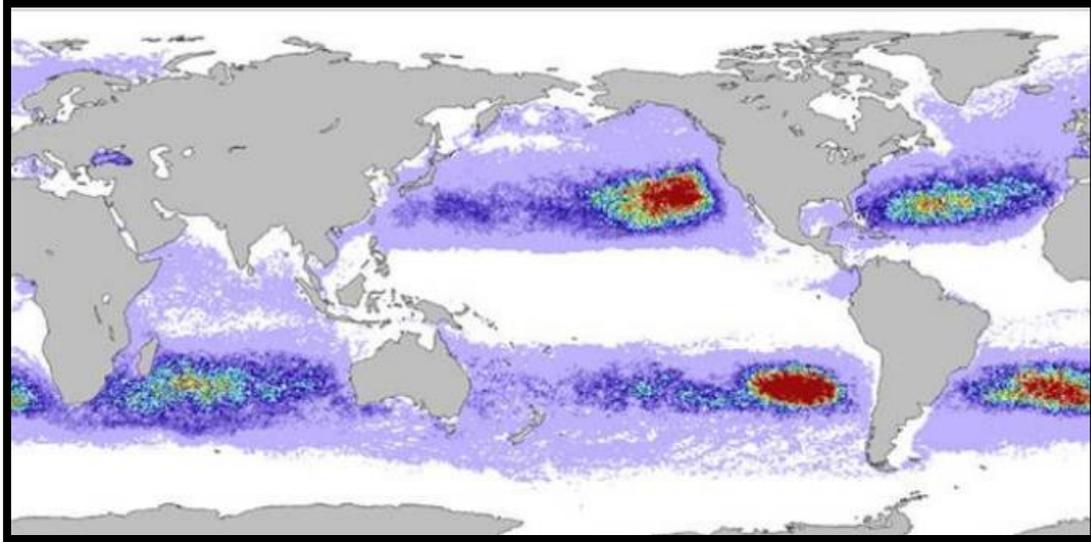


Figura 2.2. Punti oceanici di maggior accumulo di rifiuti solidi galleggianti. Sono evidenti le Garbage Patch. ([www.MarineDebris.noaa.gov](http://www.MarineDebris.noaa.gov))

#### 2.1.1.6 *La pericolosità della plastica*

Se prima si era convinti che la biodegradazione della plastica fosse un processo completo che si andava a concludere con il totale assorbimento di quest'ultima dall'ambiente circostante (Scott 1972), oggi siamo al corrente di una realtà differente. La permanenza di oggetti di plastica nell'ambiente marino causa un tipo di degradazione che ha come risultato la frammentazione in piccole particelle chiamate "microplastiche" (Ryan e Moloney, 1990). Queste sono risultate essere ubiquitarie nei mari dell'intero pianeta (Thompson et al., 2004), venendo rinvenute dalle zone superficiali fino ai sedimenti degli ambienti profondi (van Cauwenberghe et al., 2013; Woodall et al., 2014). La definizione di microplastica non è tuttavia una sola nella bibliografia contemporanea, alcuni autori infatti ne parlano riferendosi a particelle di plastica con un diametro inferiore ai 5 mm (Arthur et al., 2009), altri invece non considerano microplastica corpuscoli superiori ai 500

µm (Cole et al 2011). Quale che sia la loro dimensione, il danno principale causato dalla frammentazione in micro particelle della plastica è l'ingresso all'interno delle catene trofiche dei così detti POPs (Persistent Organic Pollutants) (Ivar do Sul and Costa 2014), additivi organici utilizzati in fase produttiva per modificare le proprietà fisiche dei derivati del petrolio. Questi composti chimici hanno potenziali effetti negativi sulla riproduzione e sullo sviluppo degli organismi all'interno dei quali sono penetrati (Meeker et al., 2009). Se come già detto l'ingestione e l'assunzione della plastica è stata abbondantemente documentata per quanto riguarda gli organismi superiori come i grandi mammiferi marini, i rettili e gli uccelli (Katsanevakis, 2008; Gregory, 2009; Galgani et al., 2014; Camedda et al., 2015), è stato osservato come anche invertebrati detrittivori e filtratori possono essere consumatori e accumulatori di micro particelle di plastica (Thompson et al. 2004). Proprio perché questi animali si trovano alla base delle reti trofiche, al loro ingerimento di particelle di plastica consegue una propagazione dei POPs ai livelli superiori della catena alimentare in grado di danneggiare gli ecosistemi fino a diventare una minaccia per la salute umana (Farrell and Nelson, 2013; De Witte et al., 2014; Van Cauwenberghe and Janssen, 2014)

#### **2.1.1.7 Il problema socioeconomico**

Oltre al danno ambientale ed ecologico, la presenza di *marine litter* ha ripercussioni negative dal punto di vista anche economico e sociale. Sfortunatamente, a causa della scarsità di documenti ufficiali sull'argomento, non

esistono dati certi sull'ammontare dei costi derivati dai rifiuti marini, ma le informazioni che abbiamo, seppur frazionarie e difficilmente comparabili tra loro, ci dicono che laddove vi siano maggiori quantità di rifiuti, vi sono anche maggiori costi di gestione e maggiori spese da affrontare. Una spiaggia impattata non è solo un problema per il biota locale, è anche causa di un danno economico ed estetico alla comunità umana ad essa associata. Basti pensare non solo ai costi delle operazioni di pulizia e smaltimento, ma anche alla perdita di immagine e dunque di ingressi economici del settore terziario nati come conseguenza della presenza di rifiuti sul litorale (Hall, 2000; UNEP, 2009). Ripercussioni negative si trovano sul settore della pesca a strascico dove l'efficienza della rete può essere ridotta dalla presenza di rifiuti voluminosi o dove addirittura si possono verificare la perdita degli attrezzi di pesca (nel caso di afferrature) e dell'intero pescato (Ahmet et al., 2014).

#### **2.1.1.8 *Scopo e struttura della tesi***

Le iniziative attuate nel corso degli anni per fronteggiare la problematica del *marine litter* sono state numerose, tra queste vanno ricordate le Bandiere Blu, *Fishing for Litter*, *International Coastal Cleanups*, assieme all'istituzione di strutture ricettive per i rifiuti in alcuni porti. Tuttavia non si è ancora stati in grado di raggiungere un sufficiente livello conoscitivo della situazione odierna in termini di quantità di rifiuti presenti nel Mar Mediterraneo (Galgani et al., 2013). Visto l'appello da parte della MSFD ai membri della Comunità Europea per incentivare la produzione di informazioni a riguardo, questo lavoro di tesi di dottorato si prepone

di fornire un'analisi approfondita sullo stato attuale della porzione di *marine litter* costituita dai rifiuti bentonici, in un'area geografica non ancora studiata in tal proposito. La zona di mare in questione è rappresentata dai fondali marini, sia molli che duri, delle acque circostanti la Sardegna. Questi ambienti sono stati investigati attraverso l'unione di differenti metodologie di indagine e di acquisizione dati che hanno permesso, per la prima volta in quest'importante zona del bacino Mediterraneo, l'ottenimento di un *data set* completo.

Dopo aver definito l'area di studio e la scelta dei protocolli per la caratterizzazione dei rifiuti (Capitolo 3), il presente lavoro di tesi si dividerà fondamentalmente in due sezioni:

La prima parte sarà dedicata alle indagini svoltesi sui fondali sabbiosi e fangosi della platea e della scarpata continentale attraverso l'utilizzo di reti a strascico (Capitolo 4). Qui saranno descritte le metodologie utilizzate per investigare, attraverso un campionamento stratificato, la totalità delle acque circostanti la Sardegna, coprendo un range batimetrico compreso tra i 0-1600 m per la valutazione dello stato di accumulo del *marine litter*.

La seconda parte descriverà l'analisi tramite *ROV imaging*, attraverso un'indagine non invasiva negli ambienti rocciosi a elevata complessità geomorfologica (Capitolo 5). Attraverso l'investigazione di Canyon e *pinnacle* sottomarini sarà valutato l'impatto antropico da *marine litter* in questi habitat dall'elevato valore ecologico.

Oltre a rappresentare una solida base per comparazioni future, le informazioni fornite da questo studio, sono anche uno strumento utile e fondamentale per l'istituzione di appropriate misure gestionali. Infine costituiscono un nuovo set di conoscenze sullo stato del *marine litter* nei mari di interesse della Comunità Europea, ottemperando quanto indicato all'interno della direttiva *Marine Strategy*

## **3. Area di studio e protocollo di categorizzazione**

---

### **3.1 AREA DI STUDIO**

L'area di studio delle indagini di questo lavoro di tesi è rappresentata dalle acque circostanti la Sardegna (Mar Mediterraneo Centro Occidentale), definita dalla FAO come Geographical Sub-Area 1 (GSA 11, Figura 3.1). Il Mediterraneo è un mare chiuso costituito da due bacini separati dallo stretto di Sicilia a una profondità di 400 m, che raggiunge la profondità massima di 5121 m e che è aperto all'Oceano Atlantico dallo stretto di Gibilterra (Tyler, 2003). L'ampia zona di mare della GSA 11 è situata tra il bacino alghero-provenzale, il bacino tirrenico e il canale di Sardegna. Il mare che circonda la Sardegna è caratterizzato da zone potenzialmente sfruttabili per la pesca particolarmente estese (Cau et al., 1994). La geomorfologia del fondale è fortemente eterogenea (Ulzega, 1988) così come l'idrodinamica (Olita et al, 2015). I fondali circostanti l'isola e che possono essere sfruttati per l'attività di pesca, nell'intervallo batimetrico 0-800 metri, si stimano raggiungere i 27000 km<sup>2</sup>. Per la particolare geomorfologia le superfici poste a Sud-Ovest ed Ovest dell'isola sono di gran lunga più estese di quelle orientali. Nella parte orientale del golfo di Cagliari e lungo quasi tutta la costa orientale sarda, la piattaforma e la scarpata continentale rappresentano la continuazione della particolare conformazione orografica dell'entroterra: strette insenature, intervallate da alte e ripide montagne corrispondono, ad eccezione di alcuni tratti, ad una platea continentale pressoché

inesistente e a fondi irregolari intervallati nella scarpata da numerosi canyon. La platea continentale termina con ripidi pendii fra 50 e 100 metri di profondità. Dal punto di vista sedimentologico è di natura ghiaiosa, il precoralligeno è ben rappresentato ed il detritico costiero ha una tendenza marcata verso il coralligeno. Nella costa Occidentale e nella parte Sud Occidentale della Sardegna, la platea termina fra i 150 e i 200 metri, con un pendio poco marcato al quale segue la scarpata continentale leggermente inclinata. Il particolare interesse dei fondi strascicabili della platea continentale, oltre alla loro notevole estensione, è dato dalla scarsità dei fondi costituiti da melme e l'abbondanza di fondi a sabbia grossolana. Le principali masse d'acqua che influenzano la nostra area di studio sono rappresentate dalla Modified Atlantic Water (MAW), formata da l'afflusso di acque dell'Atlantico da Gibilterra, Intermediate Levantine Water (LIW) proveniente dal Mediterraneo orientale (Palmas et al., 2015) e la Western Sardinian Current (WSC), che percorre le acque occidentali dell'isola dal Nord a Sud e che trova il suo massimo punto di energia cinetica a sudovest di quest'ultima (Olita et al., 2015).

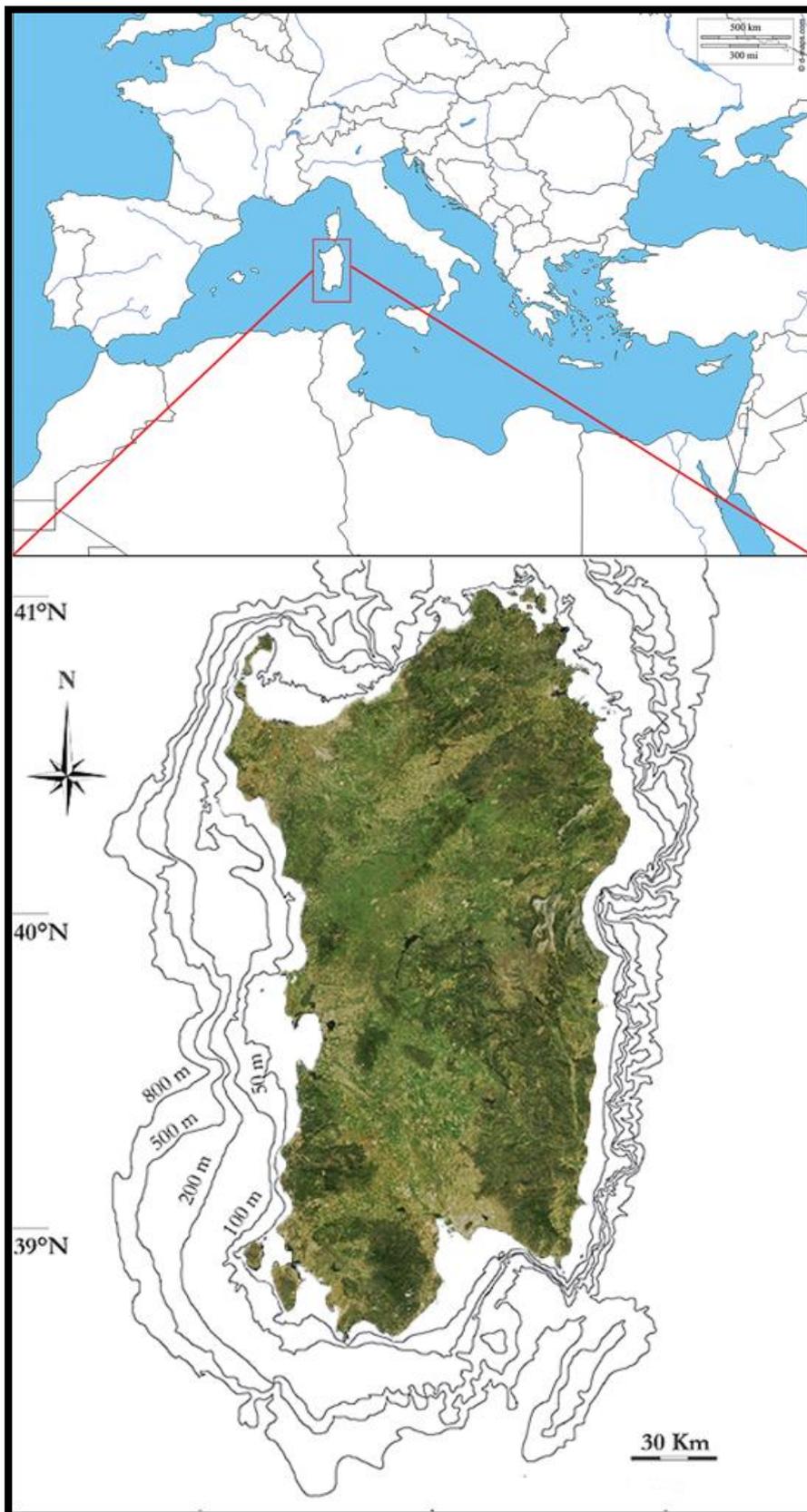


Figura 3.1 L'area di indagine, costituita dalle acque circostanti la Sardegna, contestualizzata a livello del Mar Mediterraneo.

## 3.2 PROTOCOLLI E CATEGORIE DI RIFIUTI

Lo stato dei rifiuti sul fondale marino risulta di gran lunga meno investigato rispetto alla superficie e alle zone di mare costiere (Galvani et al. 2015). I fondali, specialmente quelli più profondi, possono essere studiati solo con un grande dispendio energetico ed economico, motivo per cui sono ancora probabilmente le aree meno conosciute dell'intero pianeta. Pertanto, qualunque campionamento che permetta di ampliare le conoscenze sullo stato del *marine litter* in queste zone di mare, risulta di notevole utilità e di grande valore (Pham et al., 2014). Al giorno d'oggi non esistono protocolli standardizzati ufficialmente riconosciuti a livello scientifico per l'acquisizione dei dati sui rifiuti marini. La *Marine Strategy Framework Directory* indica come *mandatory*, dunque come obbligatorio, fornire un dato sul quantitativo di *litter* che sia numerico piuttosto che relativo al peso. Sebbene siano presenti alcuni lavori effettuati tramite rete a strascico che utilizzano esclusivamente i kg di rifiuti rapportati a un km<sup>2</sup> di superficie (Misfud et al., 2013), la maggior parte della bibliografia si trova concorde nell'effettuare un'analisi basata sul dato numerico, utilizzando il peso dei rifiuti come informazione di supporto. Tuttavia, anche lavorando su un database standardizzato ad un'unità di misura comune, la comparazione tra un lavoro e l'altro risulta spesso difficile a causa delle ulteriori differenze dovute all'attrezzo di campionamento. Il Technical Sub Group for *marine litter* (Hanke et al., 2013) indica l'utilizzo di reti a strascico come la strategia raccomandata per la raccolta del dato. Per l'investigazione dei rifiuti sul fondale infatti, la tecnica di acquisizione per i valori di abbondanza, densità e composizione è analoga a quella utilizzata per le specie bentoniche e demersali. In questo modo si

ha la possibilità di affiancare a progetti già avviati per il monitoraggio delle suddette specie, anche la raccolta del dato *marine litter*.

I rifiuti, a differenza delle specie ittiche, non possiedono delle proprietà intrinseche che permettano di predirne la distribuzione e l'andamento demografico a partire da fattori ambientali, antropici, geografici e climatici noti. La loro enorme variabilità spaziale e temporale è determinata da elementi molteplici di tipo idrologico e geomorfologico, ma anche da tutte le attività umane sia terrestri che marine che si riflettono sull'ambiente circostante. Il primo importante passo per una conoscenza approfondita del *marine litter* è riuscire a studiarne la composizione e la distribuzione odierna sui fondali marini (Galvani et al., 2015).

Tutto il *marine litter* processato in questo studio, anche se ottenuto con metodologie diverse, che saranno approfondite nei capitoli successivi, è stato sempre classificato con il medesimo protocollo di categorizzazione. Per questo motivo, tra i vari metodi osservati in bibliografia per l'ottenimento di un *dataset* che risultasse dettagliato dal punto di vista delle informazioni acquisite e comparabile con gli altri lavori, si è scelto di utilizzare il protocollo MEDITS (Mediterranean International Trawl Survey) nella sua parte relativa alla categorizzazione dei rifiuti (Medits 2013 handbook ver 7). Il Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari, all'interno del quale è stato svolto questo dottorato, è coinvolto nel progetto MEDITS dal 1994. La raccolta dei rifiuti all'interno della campagna di pesca a strascico è diventata *mandatory* solamente a partire dal 2013 e da allora ha previsto la suddivisione degli oggetti rinvenuti durante i campionamenti delle specie demersali, in 9 macro categorie e in ulteriori 25

subcategorie. Da queste è possibile, attraverso l'acquisizione dei dati numerici e di peso, l'ottenimento una stima della densità e dell'abbondanza di ciascuna categoria. La scelta tra il protocollo in questione e quello proposto dall'*International Council for the Exploration of the Sea* (ICES, Figura 3.2), utilizzato nei Paesi del Mare del Nord nell'ambito dell'*International Bottom Trawl Surveys programme* (IBTS), ha visto scartare quest'ultimo in quanto è risultato da una parte meno dettagliato dal punto di vista generale, suddividendo i rifiuti in sole 7 categorie principali, dall'altra troppo specifico per quanto riguarda le subcategorie, arrivando a costituirne addirittura 45.

Litter overview			
<b>A: Plastic</b>	<b>B: Sanitary waste</b>	<b>C: Metals</b>	<b>Related size category</b>
A1. Bottle	B1. diapers	C1. Cans (food)	A: <5*5 cm= 25 cm <sup>2</sup>
A2. Sheet	B2. cotton buds	C2. Cans (beverage)	B: <10*10 cm= 100 cm <sup>2</sup>
A3. Bag	B3. cigarette butts	C3. Fishing related	C: <20*20 cm= 400 cm <sup>2</sup>
A4. Caps/ lids	B4. condoms	C4. Drums	D: <50*50 cm= 2500 cm <sup>2</sup>
A5. Fishing line (monofilamen	B5. syringes	C5. appliances	E: <100*100 cm= 10000 cm <sup>2</sup> = 1 m <sup>2</sup>
A6. Fishing line (entangled)	B6. sanitary towels/ tampon	C6. car parts	F: >100*100 cm = 10000 cm <sup>2</sup> = 1 m <sup>2</sup>
A7. Synthetic rope	B7. other	C7. cables	
A8. Fishing net		C8. other	
A9. Cable ties			
A10. Strapping band			
A11. crates and containers			
A12. other			
<b>D: Rubber</b>	<b>E: Glass/ Ceramics</b>	<b>F: Natural products</b>	<b>G: Miscellaneous</b>
D1. Boots	E1. Jar	F1. Wood (processed)	G1. Clothing/ rags
D2. Balloons	E2. Bottle	F2. Rope	G2. Shoes
D3. bobbins (fishing)	E3. piece	F3. Paper/ cardboard	G3. other
D4. tyre	E4. other	F4. pallets	
D5. glove		F5. other	
D6. other			

Figura 3.2 Protocollo ICES di categorizzazione del *marine litter* utilizzato nel Mare del Nord.

Di seguito sono mostrate le categorie nelle quali il *marine litter* è stato suddiviso:

• Plastica (L1)
○ Buste
○ Bottiglie
○ Incarti di cibo
○ Fogli
○ Oggetti di plastica dura
○ Reti da pesca
○ Palamiti
○ Altre cose legate alla pesca
○ Cime
• Gomma (L2)
○ Copertoni
○ Altro
• Metallo (L3)
○ Lattine di bibite
○ Altri contenitori
○ Contenitori di medie dimensioni (tinte, solventi)
○ Oggetti metallici grandi (Barili, pezzi di macchinari)
○ Cavi
○ Metallo legato alla pesca
• Vetro (L4)
○ Bottiglie
○ Pezzi di vetro
○ Barattoli di ceramica
○ Oggetti grandi
• Tessuti naturali (L5)
○ Vestiti
○ Pezzi grandi
○ Corde naturali
○ Sanitari
• Legno lavorato (L6)
• Carta e cartone (L7)
• Altro (L8)
• Rifiuti non identificati (L9)



Figura 3.3. Le principali categorie di rifiuti rinvenute. (a) Buste di plastica (L1), (b) un pallone di gomma (L2), (c) una lattina di metallo (L3), (d) una bottiglia di vetro (L4), (e) un maglione assieme a un foglio di alluminio (L5, L3); (f) dei pezzi di staccionata di legno (L6); (g) una sedia di metallo e gommapiuma con sopra delle bottiglie (L8, L3, L4); (h) un oggetto non definito ricoperto da epibionti (L9).

## 4. *Indagine tramite reti a strascico*

---

### 4.1 INTRODUZIONE

Il danno ambientale, ecologico e sociale causato dall'accumulo dei rifiuti negli ambienti marini, costieri e nelle zone di mare superficiali, viene indagato da decenni senza presentare particolari problemi logistici (Angela Spengler, Monica F. Costa, 2008). Vista l'accessibilità di questi luoghi, il *marine litter* può essere quantificato tramite campionamenti facilmente conducibili attraverso lo snorkeling o lo scuba diving (Backhurst and Cole, 2000; Revill and Dunlin, 2003; Katsanevakis and Katsarou, 2004; Katsanevakis et al., 2007). Quando invece si tratta delle aree di mare più profonde e di difficile accesso, quali sono le modalità più efficaci per compiere un'indagine? Ogni strategia di raccolta possiede i suoi vantaggi e svantaggi. Abbiamo detto che il Technical Subgroup per il *marine litter* della *Marine Strategy* (Hanke et al., 2013) cita lo strascico come il più efficiente tra i metodi di raccolta per i rifiuti bentonici. Attraverso questo tipo di indagine infatti, si superano i limiti di profondità, pressione e temperatura che vincolano i campionamenti effettuati con lo snorkeling e le bombole (Chiappone et al., 2005). Con le reti a strascico si possono coprire ampie superfici di fondale, per un'analisi standardizzabile e replicabile. Tuttavia c'è il rischio che possa verificarsi una sottostima del dato, dovuta alla perdita dei campioni di piccole dimensioni e di quelli costituiti da un unico filamento (Watters et al., 2010). In alcuni casi, al contrario, le fibre della rete utilizzata, sono risultate essere loro stesse dei

contaminanti del campione di *marine litter* (Murray e Cowie, 2011). Lo strascico inoltre, ha il limite di essere una metodologia di indagine estremamente invasiva ed il cui uso è vincolato ai fondali fangosi o melmosi, escludendo dall'indagine gli ambienti rocciosi e a geomorfologia complessa. Per quest'ultimo tipo di ambienti, l'utilizzo di robot filoguidati ad operatore remoto (ROV) risulta sicuramente lo strumento più adatto (Bo et al., 2014; Pham et al., 2014; Oliveira et al., 2015). L'investigazione dei fondali attraverso ROV, pur attraverso una modalità di indagine non invasiva e che offre in più rispetto all'utilizzo di reti a strascico la localizzazione precisa del punto in cui ogni rifiuto viene rinvenuto, non permette l'ottenimento di campioni. Questo fattore è utile al fine di avere un dato che sia anche di abbondanza oltre che di densità. La rete a strascico, nonostante l'invasività del proprio meccanismo di azione e i limiti nei substrati ispezionabili, garantisce l'acquisizione di campioni manipolabili e consente di indagare grandi superfici per un'indagine standardizzabile e replicabile.

Per lo studio del *marine litter* sul fondale, il Mar Mediterraneo è già stato investigato in diverse zone del suo bacino attraverso le reti a strascico. Se alcuni dei lavori scientifici a riguardo, risalgono a decenni passati (Galgani et al., 1995; Galil et al., 1995), è probabile invece che la gran parte di quelli più recenti sia una conseguenza dell'emissione della *Marine Strategy Framework Directory* (2011) (Koutsodendris et al., 2008; Stefatos et al., 1999; Misfud et al., 2013; Strafella et al., 2015; Neves et al., 2015).

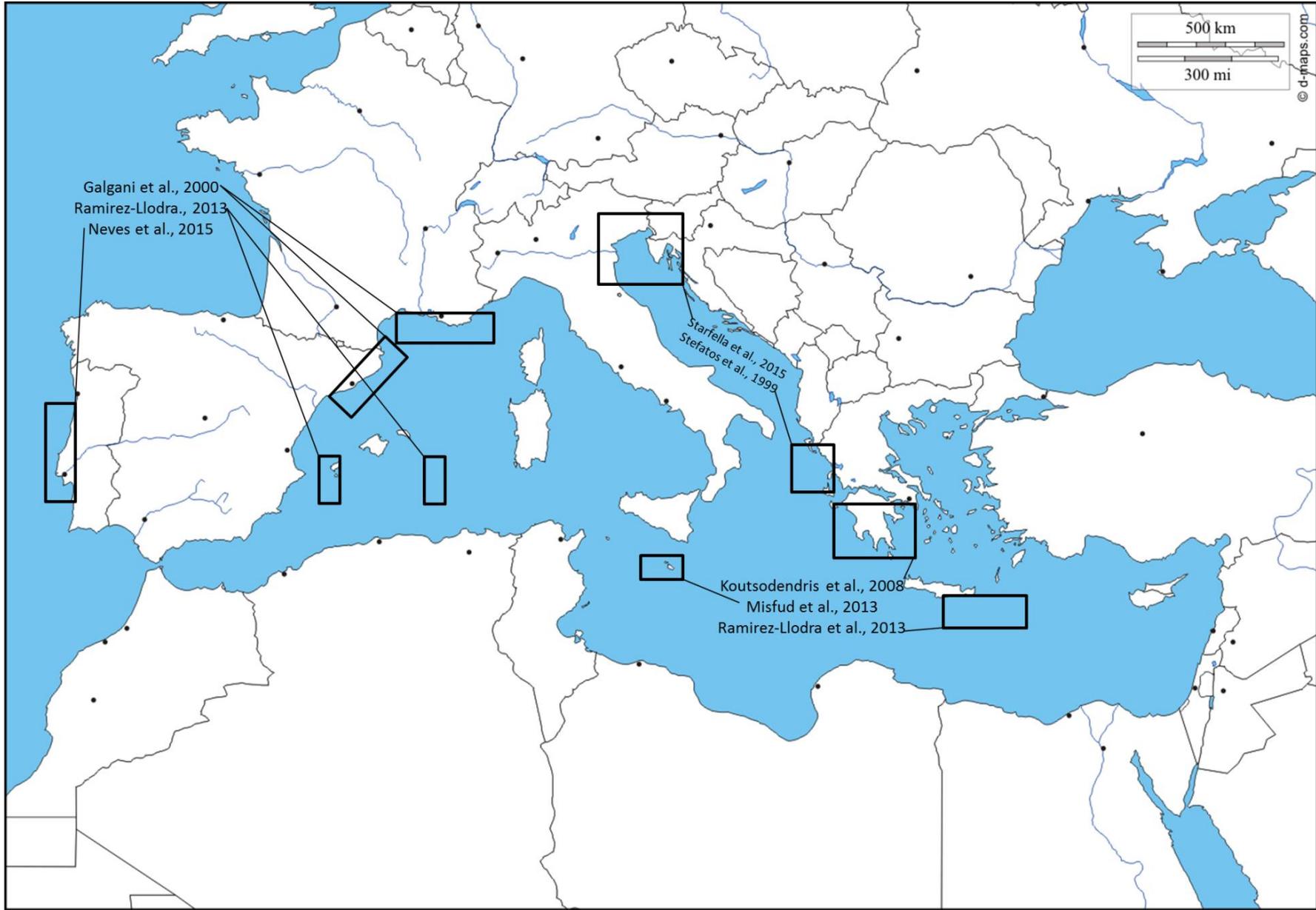


Figura 4.1 Stato dell'arte delle indagini effettuate in Mar Mediterraneo sul *marine litter* tramite reti a strascico.

Con questa direttiva, che nel suo descrittore 10 dell'allegato 3 tratta il tema del quantitativo di *marine litter* nell'ambiente marino, gli stati membri della Comunità Europea si muovono con azioni comunitarie per incentivare la produzione di informazioni sullo stato odierno dei rifiuti. Quello che è emerso fino ad oggi è che la grande variabilità, nella quantità e nella composizione dei rifiuti da un luogo all'altro, sia influenzata da differenti fattori. Si osservano generalmente concentrazioni di *litter* maggiori negli ambienti costieri, in corrispondenza dei centri abitati ad elevata densità di popolazione (Hess et al., 1999; Mordecai et al., 2011;). Gli sbocchi fluviali sono altro esempio di punti di accumulo, così come i canyon sottomarini (Schluning et al., 2013). Tuttavia un ruolo fondamentale nel trasporto e nel deposito di rifiuti è giocato dalle correnti marine. Queste sono in grado di trasportare la componente più leggera del *marine litter* per lunghe distanze, rendendo difficile conoscere la provenienza degli oggetti e facendoli arrivare fino ai punti più remoti degli ambienti marini (Barnes et al., 2009).

Il Mar Mediterraneo ha coste densamente abitate e le sue acque sono state utilizzate per millenni per il trasporto di merci e di persone, come zone di pesca e di esplorazione per l'estrazione di risorse (Ramirez-Llodra et al., 2013). Queste sue caratteristiche sono fattori chiave per spiegare la presenza di rifiuti nei suoi fondali, dai più superficiali ai più profondi.

In questa parte del lavoro, si è voluto indagare sulla componente *marine litter* presente sui fondi molli della Sardegna. In quest'area del Mediterraneo centro-occidentale manca ancora una valutazione per lo stato dei rifiuti bentonici. Infatti, le uniche stime dell'impatto umano recentemente documentate, sono state ottenute per quanto riguarda gli ambienti rocciosi caratterizzati dalla presenza di

comunità coralligene (Angiolillo et al., 2015; Cau et al. 2015). Con questo studio si vuole contribuire alla MSFD in più modi: 1) con la caratterizzazione delle tipologie, della densità e dell'abbondanza del *marine litter* presente nella GSA 11, utilizzando entrambi i valori di numero e peso, ma focalizzando l'attenzione particolarmente sul dato numerico. 2) Attraverso una comparazione tra il dato relativo alla platea continentale e quello ottenuto nei fondali profondi della scarpata oltre gli 800 m. 3) Fornendo informazioni necessarie alla valutazione dello stato della problematica dell'inquinamento da rifiuti che siano utili per comparazioni future e per intraprendere iniziative di tutela ambientale. 4) Andando a valutare se esista un contributo della comunità degli operatori del settore pesca alla rimozione dei rifiuti dal fondale attraverso l'attività professionale.

## 4.2 MATERIALI E METODI

I dati relativi al *marine litter* sui fondali molli che sono stati utilizzati, derivano in parte dalle campagne di pesca a strascico sperimentale MEDITS (*Mediterranean International Bottom Trawl Survey*) (Bertrand et al., 2002) e in parte dalla campagna di pesca profonda PSP15. I dati dei due diversi campionamenti sono stati dapprima analizzati separatamente e successivamente uniformati e confrontati.

### 4.2.1 Campagne MEDITS

L'indagine MEDITS è stata effettuata sui fondi sabbiosi e fangosi delle acque sarde durante le estati del 2013, 2014 e 2015. Il *range* batimetrico investigato è andato dai 0 agli 800 m. Lo scopo originale del progetto è quello di ottenere informazioni sulle risorse demersali che siano utili per un'attività di pesca sostenibile, attraverso il monitoraggio della distribuzione e della demografia di particolari specie bersaglio (Relini et al., 2008). Dal 2012 si è aggiunto al protocollo, in via sperimentale, la stima della componente *marine litter*. Questa è diventata *mandatory* a partire dal 2013, permettendo attraverso l'indagine a strascico l'acquisizione di informazioni relative alla pressione antropica, in termini di *marine litter*, per i fondali marini investigati. Durante le campagne MEDITS, il motopeschereccio Gisella, appartenente al Compartimento Marittimo di Cagliari (matricola 00CA03892), con lunghezza di 29.3 m, stazza lorda di 168 tonnellate, è stato equipaggiato con una rete a strascico sperimentale (GOC73) avente maglia di 20 mm e apertura verticale con *range* tra i 2.4 m e i 2.9 m (Fiorentini et al 1999). Le acque circondanti la GSA 11 sono state suddivise in base alla profondità in 5 strati batimetrici (A: 0-50 m; B: 51-100 m; C: 101-200 m; D: 201-500 m; E: 501-800 m) e in

base alla scala geografica in 7 zone (Figura 4.2). Per i tre anni di indagine sono state investigate complessivamente 302 stazioni, a ciascuna di esse è stato fatto corrispondere un codice alfanumerico composto dalla zona geografica di appartenenza, dallo strato batimetrico e dal numero di cala all'interno della zona (Allegato 1, Tabella 8.1). Nei tre anni le cale con le stesse coordinate geografiche, hanno avuto lo stesso codice alfanumerico. Una volta a bordo, i rifiuti contenuti in ciascuna saccata, sono stati separati dal resto del pescato e dagli altri elementi naturali, fotografati, contati e pesati. Il *marine litter* è stato poi suddiviso nelle categorie previste del protocollo MEDITS (Capitolo 3.2). Il numero e il peso di ogni singola categoria è stato standardizzato a 1 km<sup>2</sup> in modo tale da ottenere i valori di abbondanza (No\*km<sup>-2</sup>) e densità (kg\*km<sup>-2</sup>) rispettivamente.

La superficie investigata è stata ottenuta attraverso il sistema acustico SCANMAR, che per ciascuna cala ha permesso l'acquisizione del dato relativo all'apertura orizzontale della rete. I valori medi di densità e di abbondanza ( $\pm$  Errore Standard, ES) sono stati ottenuti per ciascuno strato batimetrico. Lo stesso è stato fatto per le sette zone geografiche, raggruppando assieme le cale appartenenti a ciascuna zona per ottenerne i relativi valori di abbondanza e densità ( $\pm$  ES).

L'*occurrence* percentuale (Foc=No di cale positive alla presenza di rifiuti/No di cale totali\*100) è stata ottenuta per ciascuna categoria di rifiuti dal punto di vista totale per i tre anni.

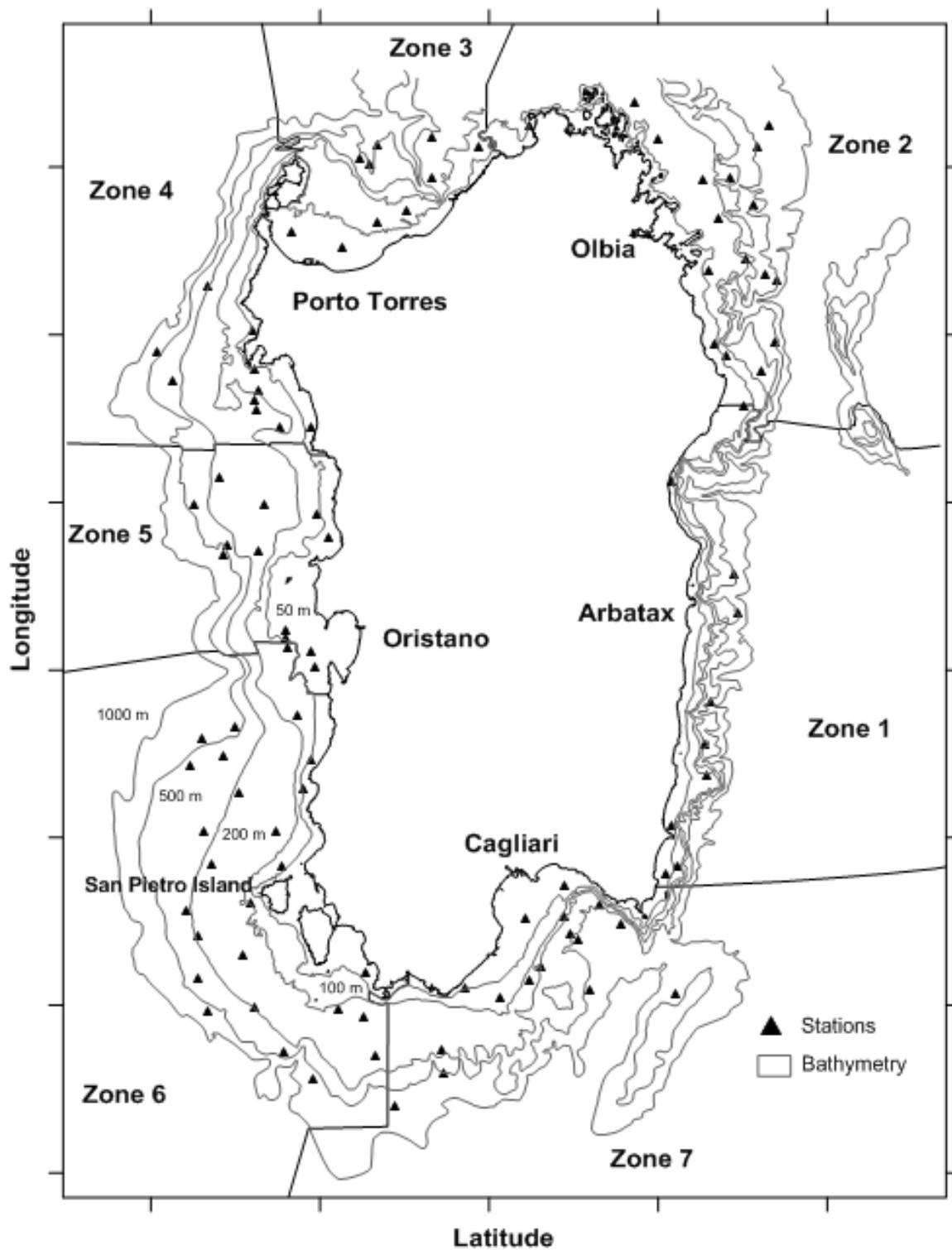


Figura 4.2 Posizionamento delle stazioni per l'indagine MEDITS attorno le acque della Sardegna. Sono mostrati gli strati batimetrici e le 7 zone geografiche.

Attraverso il software Surfer 12 (Golden Software Inc.) si sono create delle mappe spaziali per la rappresentazione grafica dei valori di densità delle principali categorie di rifiuti rinvenute.

Una volta utilizzato il software PAST 2.17 (Hammer et al. 2001) per testare la normalità dei dati (Anderson Darling test;  $p < 0.001$ ), sono state valutate le differenze nei valori di densità e abbondanza tra le sette zone e tra i cinque strati attraverso il test non parametrico di analisi univariata Mann Whitney ( $p < 0.05$ ). Si è scelto poi di utilizzare una matrice basata sulla distanza euclidea dei dati di densità media fra i tre anni per ciascuna stazione, su cui è stata effettuata l'analisi multivariata della varianza permutazionale (PERMANOVA) attraverso il software Primer 6+ (Plymouth Marine Laboratory). L'analisi multivariata ha preso in considerazione tutte e nove le categorie di rifiuti per due disegni sperimentali basati l'uno sugli strati batimetrici, l'altro sulle zone geografiche. La PERMANOVA è stata utilizzata anche per l'analisi univariata su ciascuna categoria di rifiuti per valutarne la significatività nelle differenze dei valori tra strati e tra zone.

La stessa matrice di distanza euclidea con i valori di densità media di ciascuna stazione è stata utilizzata per rappresentare graficamente l'analisi canonica delle coordinate principali (CAP) al fine di osservare anche su una rappresentazione 2D, le differenze tra i cinque strati batimetrici e tra le sette zone geografiche.

## 4.2.2 Campagna PSP15

Un altro *dataset* è stato ottenuto attraverso la campagna di pesca profonda PSP15, coordinata dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente e che ha avuto luogo nell'estate del 2015. La campagna PSP15, è consistita in un campionamento effettuato attraverso le reti a strascico commerciali, con lo scopo di indagare per la prima volta i fondali profondi del piano batiale della Sardegna settentrionale. L'indagine è stata svolta attraverso 10 cale a una batimetria compresa tra gli 800 m e i 1600 m. Poiché, a differenza della campagna MEDITS, non è stato possibile equipaggiare il motopeschereccio con il sensore SCANMAR per l'acquisizione del dato relativo all'apertura orizzontale della rete, il numero di oggetti rinvenuti è stato rapportato al numero di ore per ciascuna cala, ottenendo una matrice standardizzata ed espressa come numero di oggetti/ora (No/h). Si è proseguito investigando la relazione tra l'aumentare della profondità e il variare del quantitativo di rifiuti per ciascuna categoria attraverso regressione lineare, previa trasformazione logaritmica del dato, ottenendo il valore dell'R dalla correlazione di Pearson tra la profondità e il numero di rifiuti. Per confrontare i risultati della PSP15 (800 – 1600 m) con la componente *marine litter* ottenuta attraverso la MEDITS (0 – 800 m), anche quest'ultima è stata trasformata in numero di oggetti/ora strascicata. E' stata infine indagata la significatività nelle differenze dei valori tra le stazioni investigate durante le due diverse campagne per il totale dei rifiuti e per ciascuna categoria attraverso il test non parametrico del Kruskal Wallis. I risultati sono stati rappresentati graficamente.

### 4.2.3 Rapporto tra pescatori e *marine litter*

Infine, si è indagato sul *modus operandi* degli operatori del settore pesca nei confronti dei rifiuti marini per valutare se la categoria dei pescatori costituisca, attraverso la propria attività di pesca professionale, un fattore contribuente alla pulizia del fondale. Sono stati sottoposti 16 armatori di pescherecci ad un questionario relativo al loro abituale atteggiamento nei confronti della spazzatura rinvenuta nelle reti durante la pesca. Il questionario anonimo è consistito in due domande:

1. *Quale è generalmente l'atteggiamento di fronte al rinvenimento di rifiuti nella rete, una volta issata quest'ultima a bordo dell'imbarcazione?*
2. *Quali sono per voi le eventuali motivazioni per cui i rifiuti non vengo portati e smaltiti a terra ma ributtati in mare?*

## 4.3 RISULTATI

### 4.3.1 Campagne MEDITS

#### 4.3.1.1 Occurrence

In totale 18.4 km<sup>2</sup> di superficie sono stati investigati durante i tre anni di campagne MEDITS (6.3 km<sup>2</sup> nel 2013, 5.7 km<sup>2</sup> nel 2014 e 6.4 km<sup>2</sup> nel 2015). Delle 302 stazioni campionate, il 73.8% ha manifestato la presenza di *marine litter* (223 stazioni), il rimanente 26.2% è risultato essere privo di qualunque rifiuto antropico (76 stazioni). La plastica ha rappresentato la categoria principale per tutti e tre gli anni (Tabella 4.1), con un valore di *occurrence %* pari al 59.4 % (Figura 4.3). Il dato più basso invece, è stato osservato per la categoria della carta, che complessivamente ha mostrato un valore dell'1%.

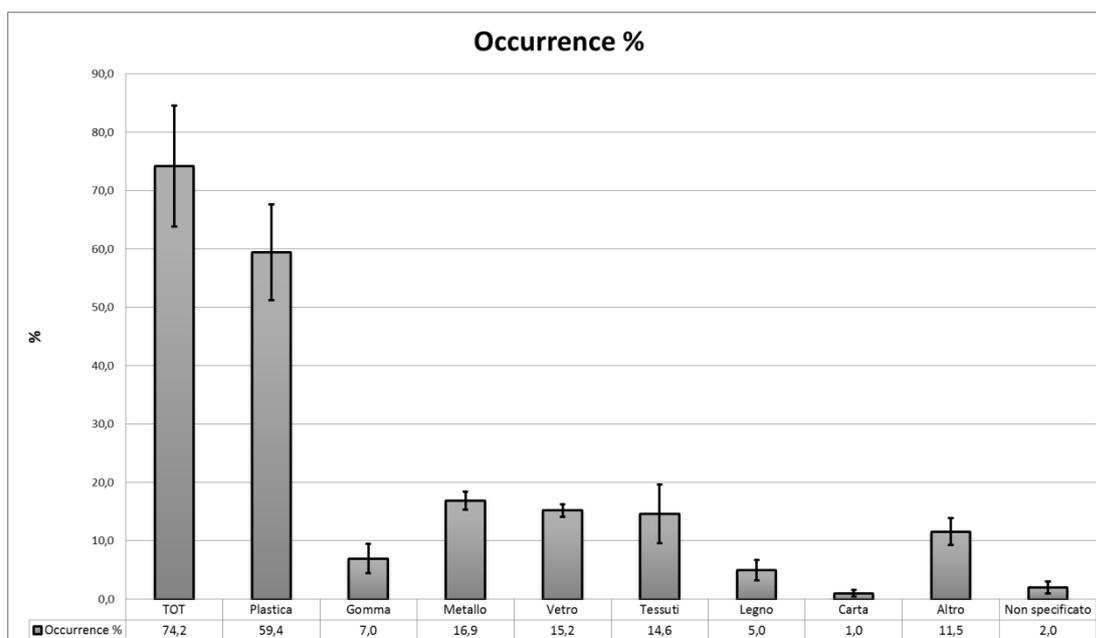


Figura 4.3 Il grafico mostra i valori medi per i tre anni di *occurrence %* per tutte e 9 le categorie di rifiuti, più l'*occurrence* totale. Le barre sono indicatori di errore standard.

**Tabella 4.1 Valori di *frequency of occurrence* (numero di cale positive alla presenza di *marine litter*) e di *frequency of occurrence* % per ciascuno dei tre anni di indagine MEDITS.**

	2013		2014		2015	
No. Cale	102		101		99	
	Foc	Foc %	Foc	Foc %	Foc	Foc %
Totale	64	63,4	65	64,4	94	94,9
Plastica	53	52,0	51	50,5	75	75,8
Gomma	10	9,8	2	2,0	9	9,1
Metallo	15	14,7	20	19,8	16	16,2
Vetro	17	16,7	16	15,8	13	13,1
Tessuti	15	14,7	6	5,9	23	23,2
Legno lavorato	2	2,0	5	5,0	8	8,1
Carta	0	0,0	1	1,0	2	2,0
Altro	15	14,7	13	12,9	7	7,1
Non specificato	1	1,0	1	1,0	4	4,0

#### 4.3.1.2 *Densità delle categorie di marine litter*

**Tabella 4.2. Per ciascuna categoria di *marine litter* sono mostrati di seguito i valori numerici complessivi ottenuti dai tre anni di indagini MEDITS e la densità (No. oggetti\*km<sup>-2</sup>). ES=errore standard.**

	No. Tot	Densità (No*Km <sup>-2</sup> )	ES
Plastica	552	35,1	3,9
Gomma	22	1,6	0,4
Metallo	82	5,6	1,0
Vetro	91	6,0	1,5
Tessuti	60	4,0	0,8
Legno lavorato	33	1,7	0,6
Carta	5	0,3	0,2
Altro	66	3,8	0,9
Non specificato	7	0,5	0,2
<b>Totale</b>	<b>918</b>	<b>58,6</b>	<b>5,7</b>

In totale sono stati raccolti 918 rifiuti (265 nel 2013; 274 nel 2014; 379 nel 2015) con una media di 58.6 ( $\pm$  5.7 ES) oggetti\*km<sup>-2</sup> (Tabella 4.2). La plastica dal punto di vista numerico è risultata la categoria più rappresentativa (552 oggetti; 60% del numero totale) seguita del vetro (91 oggetti; 10% del numero totale) e dalle categorie metallo e “altro” (rispettivamente 82 oggetti; 9% del numero totale e 66

oggetti; 7% del numero totale). Le restati categorie hanno rappresentato ciascuna meno del 6% sul numero totale di rifiuti (Figura 4.4).

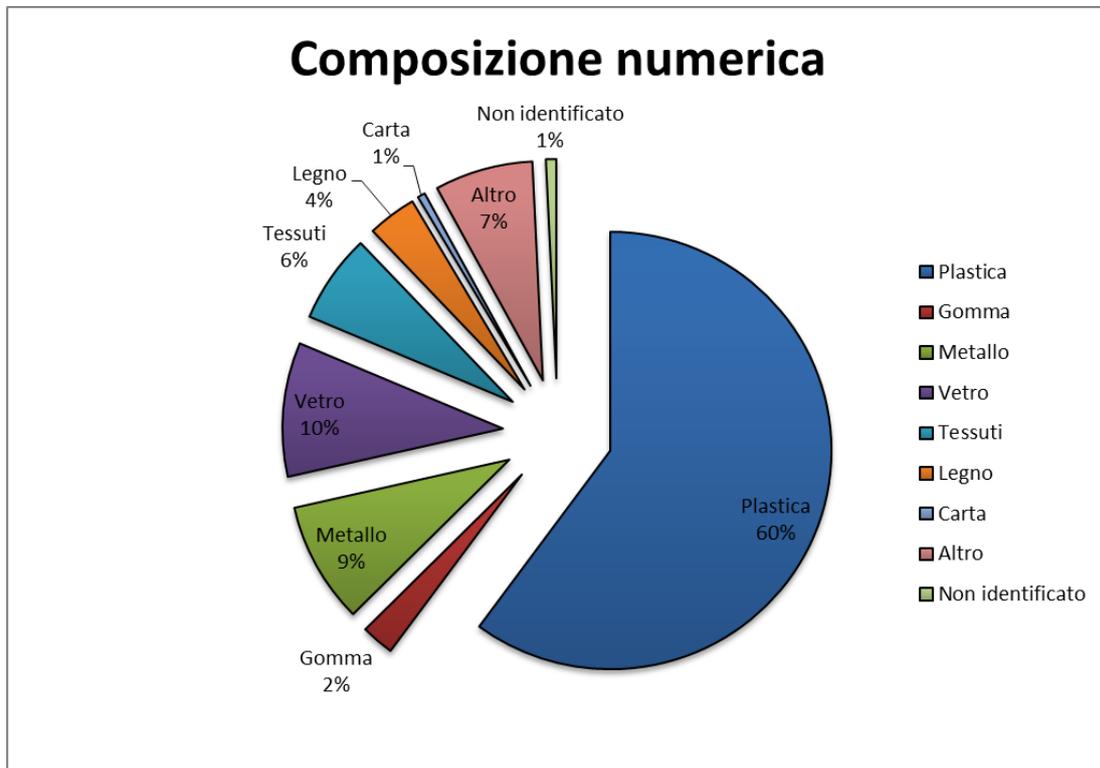


Figura 4.4. Composizione numerica di *marine litter* stimata per i mari circondanti la Sardegna dai 0-800 m.

### 4.3.1.3 Densità per strati

Tabella 4.3 Valori di densità del *marine litter* nei cinque strati batimetrici investigati. ES=Errore Standard

Strata	No. Cale	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Densità (No*Km <sup>-2</sup> )	ES
A (0 – 50 m)	59	2,23	56,90	11,87
B (50 - 100 m)	56	2,35	94,03	22,91
C (100 – 200 m)	72	3,27	66,82	10,56
D (200 – 500 m)	58	5,24	42,30	5,08
E (500 – 800 m)	57	5,26	31,99	5,29

L'analisi per strati batimetrici ha messo in evidenza come gli strati più profondi (D, E), mostrino i valori di densità più bassi (rispettivamente  $42.30 \pm 5.08$  e  $31.99 \pm 5.29$  No\*km<sup>-2</sup>). I valori intermedi sono risultati essere quelli degli strati A e C ( $56.9 \pm 11.87$  No\*km<sup>-2</sup> e  $66.82 \pm 10.56$  No\*km<sup>-2</sup>), mentre il valore più alto si è osservato nello strato B ( $94.03 \pm 22.91$  No\*km<sup>-2</sup>) (Tabella 4.3; Figura 4.5).

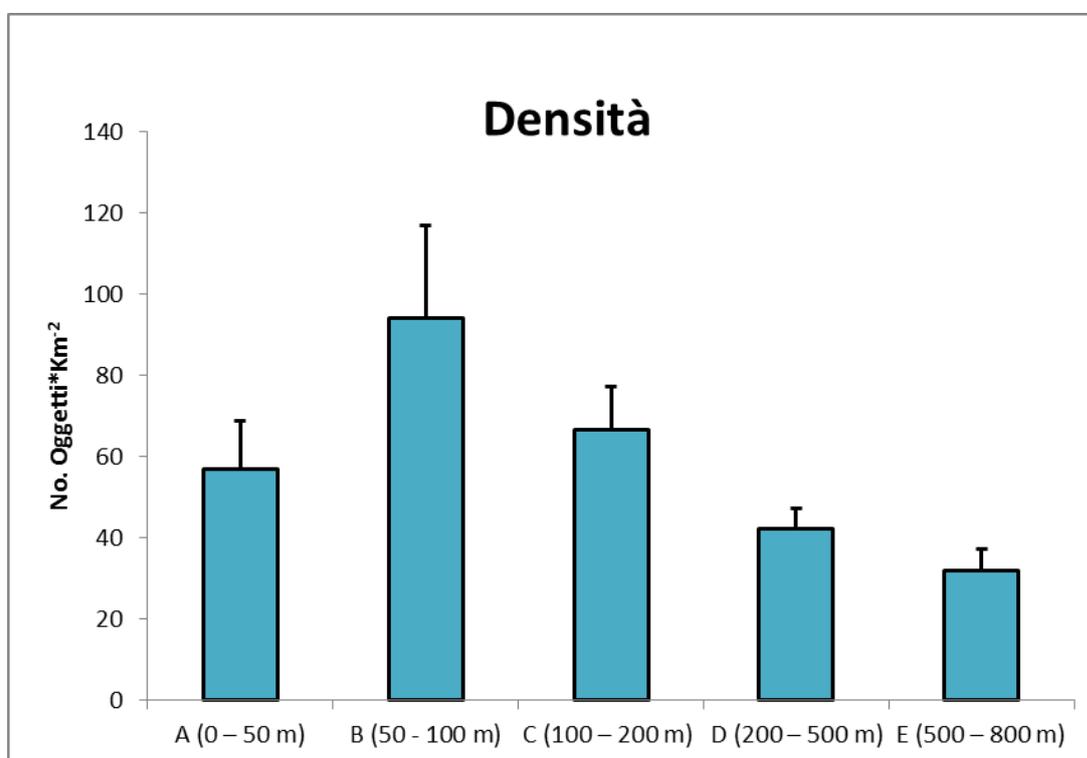


Figura 4.5 Densità del *marine litter* nei cinque strati batimetrici con barre di errore standard.

La comparazione del Mann-Whitney tra le cinque batimetrie ha rivelato che lo strato E (500 – 800 m), caratterizzato dalla profondità maggiore e dalla minore densità di rifiuti, presenta delle differenze significative rispettivamente con gli strati B (50-100 m) e C (100-200 m), caratterizzati al contrario dall'essere quelli con maggiori valori di densità (Tabella 4.4).

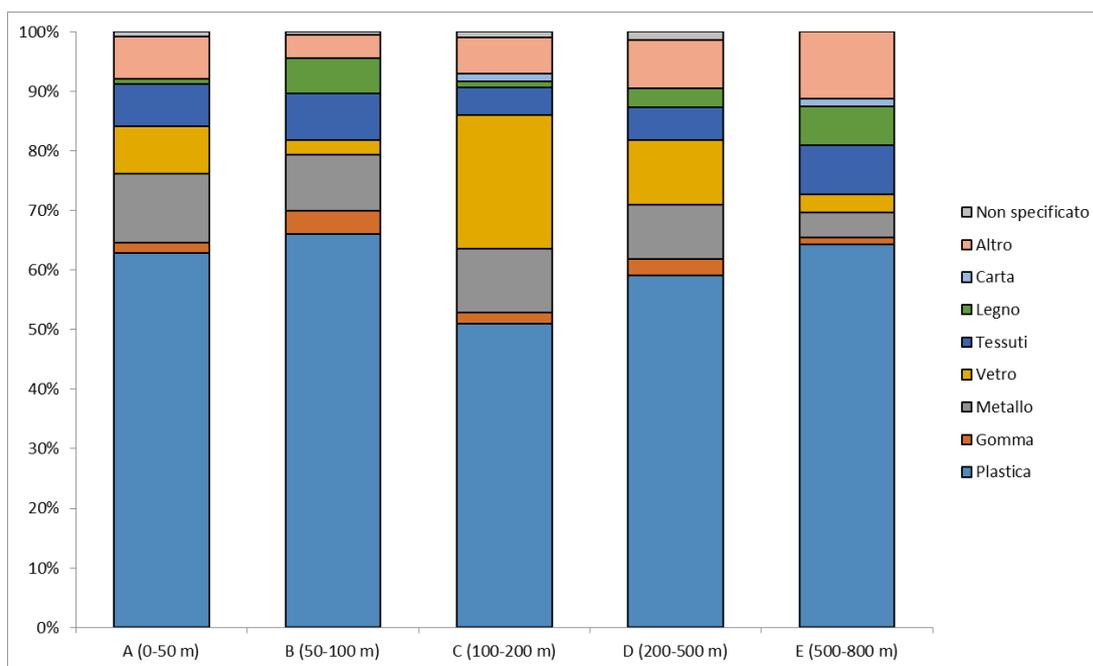
**Tabella 4.4 Risultati del Mann Whitney tra i valori di densità totale dei 5 strati batimetrici investigati durante le campagne MEDITS. E' messa in evidenza nelle celle grigie la significatività delle differenze dello strato E con gli strati B e C.**

Mann Whitney					
	A (0-50m)	B (50-100m)	C (100-200m)	D (200-500m)	E (500-800m)
A (0-50m)		0,1775	0,1912	0,3015	0,6889
B (50-100m)	1		0,8028	0,5059	0,03078
C (100-200m)	1	1		0,5637	0,02276
D (200-500)	1	1	1		0,053
E (500-800)	1	0,3078	0,2276	0,53	

L'analisi multivariata della PERMANOVA, a livello globale, non ha mostrato differenze statisticamente significative ( $p > 0.05$ ) (Tabella 4.5). La PERMANOVA univariata, prendendo in considerazione singolarmente ciascuna delle 9 categorie di *marine litter*, ha riportato che le variazioni nei valori di densità tra uno strato e l'altro non sono state significative in nessun caso. Tuttavia, forzando l'analisi con la comparazione di Pair-Wise, viene messo in evidenza come la categoria del vetro (L4) mostri delle differenze appena al di sotto del limite della significatività 0.05 in un confronto tra lo strato C (100-200 m) e lo strato E (500-800 m). Questa differenza è visibile anche dal grafico in figura (4.6). Le restanti categorie non hanno mostrato differenze significative tra uno strato e l'altro. La plastica è risultata essere la componente principale, indistintamente dalla profondità di indagine.

**Tabella 4.5 Risultato della PERMANOVA. L'unico valore di significatività riscontrato è quello dato dalla variazione dei valori di densità tra lo strato C e lo strato E (evidenziato in grigio), investigata con la comparazione di Pair-Wise.**

	Source	df	MS	Pseudo-F	P(MC)		Pair wise
Multivariata	St	5	10,587	1,062	0,392	ns	
Plastica	St	4	1,5437	1,5791	0,209	ns	
Gomma	St	4	2,1929	2,3064	0,078	ns	
Metallo	St	4	0,74097	0,73314	0,574	ns	
Vetro	St	4	2,3252	2,4596	0,056	ns	C - E
Tessuti	St	4	1,1269	1,1329	0,35	ns	
Legno lavorato	St	4	1,6215	1,6642	0,163	ns	
Carta	St	4	1,2155	1,2265	0,307	ns	
Altro	St	4	1,78E-02	1,71E-02	1	ns	
Non specificato	St	4	0,52385	0,51376	0,725	ns	



**Figura 4.6. Per ciascuno dei 5 strati batimetrici è rappresentata la composizione% delle 9 categorie di marine litter.**

Quanto descritto finora sulla densità dei rifiuti all'interno degli strati, viene avvalorato dall'analisi delle componenti principali (Figura 4.7). L'analisi multivariata della CAP, ottenuta da una matrice basata sui valori di densità media tra i tre anni per ciascuna stazione, ha confermato dal punto di vista grafico la grande eterogeneità della componente *marine litter* alle diverse profondità. La vasta variabilità del dato è tradotta nella mancanza di *pattern* molto evidenti di similitudine tra diverse batimetrie. Tuttavia gli strati B e C, riflettono le loro differenze con gli altri attraverso la parziale segregazione delle cale che li caratterizzano rispetto alle restanti. L'analisi canonica delle coordinate principali mostra che le componenti di plastica (L1) e metallo (L3) possono considerarsi le principali costituenti dei rifiuti dello strato B, mentre il vetro (L4) e i rifiuti non identificati (L9) caratterizzano maggiormente lo strato C.

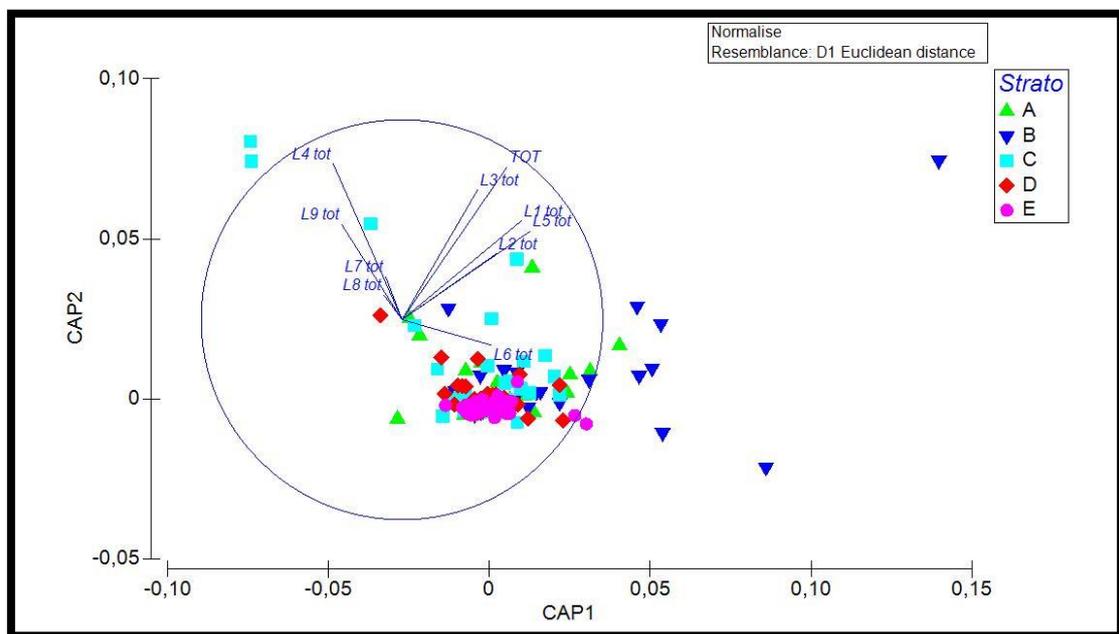


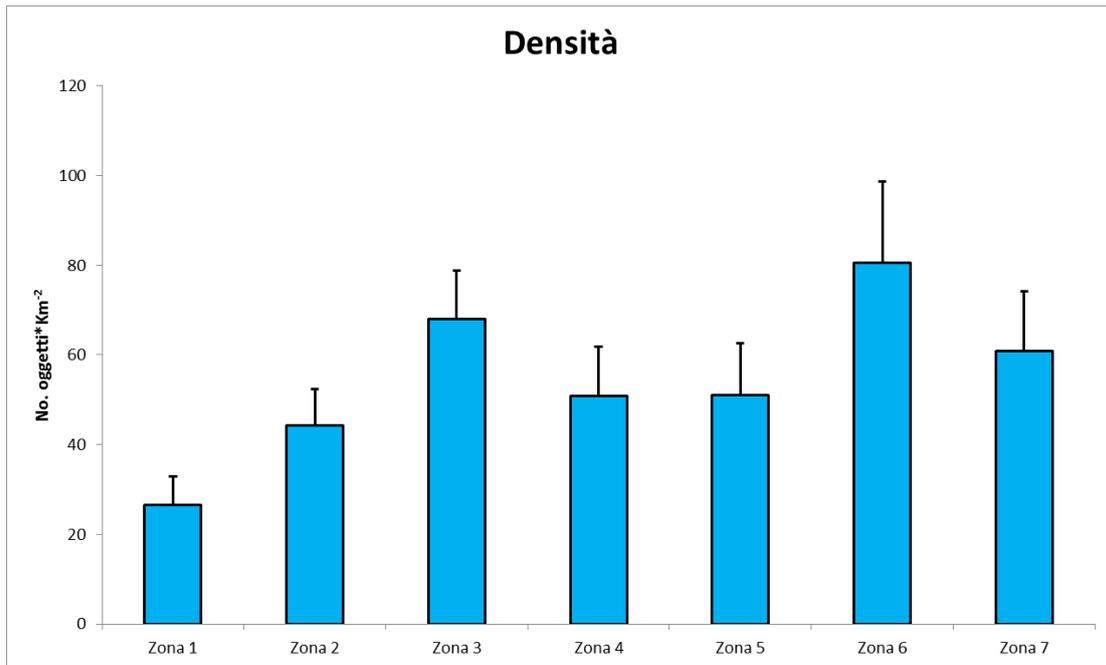
Figura 4.7 Risultati dell'analisi canonica delle coordinate principali (CAP).

#### 4.3.1.4 Densità per zone

Nella tabella 4(6) sono mostrati i valori di densità totale di *marine litter* per le diverse zone geografiche. Questi valori, graficamente rappresentati nella figura 4.8, mostrano la zona 6 come quella maggiormente impattata ( $80.59 \pm 18.08$  oggetti per  $\text{km}^{-2}$ ), seguita dalla zona 3, ( $68.06 \pm 10.79$  No\* $\text{km}^{-2}$ ). Per quanto la zona 1 ( $26.48 \pm 6.49$  No\* $\text{km}^{-2}$ ) abbia un livello di densità totale inferiore rispetto alle altre, il test di Mann Whitney, non ha messo in evidenza significatività statistica dal confronto tra le zone ( $p > 0.05$ ).

**Tabella 4.6 Densità del *marine litter* osservato nelle 7 zone geografiche durante le campagne MEDITS. ES=Errore standard.**

Zona	No. Cale	Superficie	No. Tot	Densità	ES
1 (Ovest)	27	1,68	35	26,48	6,49
2 (Nord-Ovest)	51	3,17	134	44,24	8,09
3 (Nord)	33	1,67	106	68,06	10,79
4 (Nord-Est)	30	1,70	72	50,82	11,04
5 (Est)	36	1,89	95	51,08	11,42
6 (Sud-Est)	77	4,80	305	80,59	18,08
7 (Sud)	48	3,45	171	60,94	13,16



**Figura 4.8** Variazione nei valori di densità (No\*km<sup>-2</sup>) con barre di errore standard nelle 7 differenti zone delle acque sarde.

La composizione percentuale di ciascuna componente del *marine litter* tra le sette zone geografiche (figura 4.9), mostra i valori della plastica come i più alti. Indistintamente da dove ci si trovi attorno al perimetro della Sardegna, questa categoria rimane la componente più importante tra le altre. L'analisi multivariata della PERMANOVA, che ha preso in considerazione tutte le variabili assieme, non ha evidenziato differenze statisticamente significative tra le sette zone ( $p > 0.05$ ). La stessa mancanza di significatività si è verificata nelle differenze tra le zone per ciascuna delle 9 categorie di rifiuti investigate singolarmente attraverso PERMANOVA univariata.

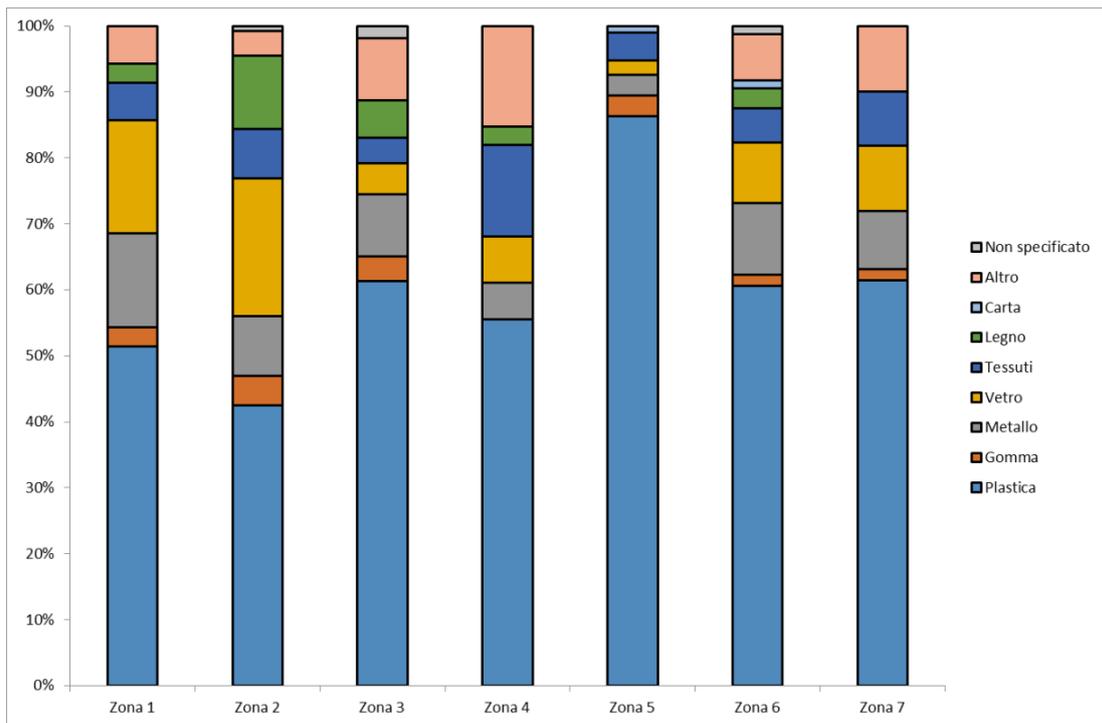


Figura 4.9 Per ciascuna delle 7 zone geografiche è rappresentata la composizione% delle 9 categorie di *marine litter*.

La CAP (figura 4.10) non mostra nessun trend e nessun pattern ben definito tra le cale ripartite per zona. L'eterogeneità dei rifiuti tra le sette zone investigate è tale da tradursi nella mancanza di significatività per quanto riguarda ciascuna categoria. Dalla figura si osservano due isolati valori rappresentati dalla cala 5C2 e 4A2 (Materiali supplementari). Il primo caso è dovuto al ritrovamento nella specifica stazione di 5C2 di 2 oggetti di carta sui 5 totali (Allegato 1, Tabella 8.1), rendendo la cala differente da tutte le altre vista la rarità della categoria della carta (L7) e isolandola graficamente. Nel caso della cala 4A2 invece abbiamo l'unico caso in cui si ritrovano 6 oggetti della categoria "altro" (L8). Questi due isolati casi non sono tuttavia sufficienti a dare una differenza significativa tra le cale appartenenti a una zona piuttosto che a un'altra.

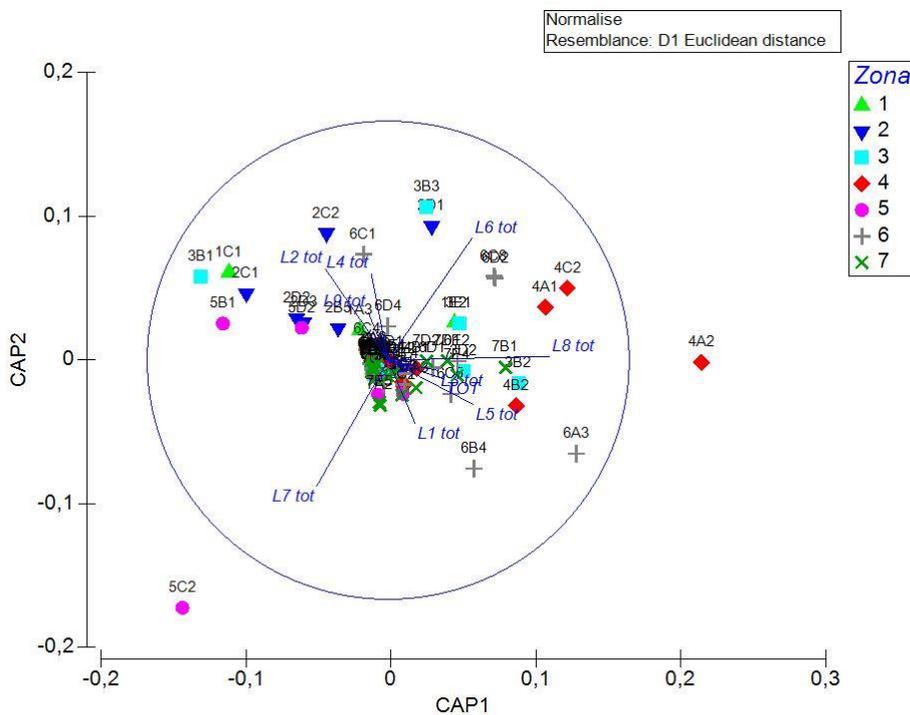


Figura 4.10 Risultati dell'Analisi delle Componenti Principali

La rappresentazione grafica spaziale tramite *bubble plots* rivela, dal punto di vista della densità totale, le stazioni a largo dell'isola di San Pietro come le maggiormente impattate dalla presenza di rifiuti (Figura 4.11). Si osservano bolle di dimensioni considerevoli anche all'interno del golfo di Cagliari (Zona 7) e nelle acque del golfo dell'Asinara a largo di Porto Torres. La plastica (L1), essendo la componente principale sul totale dei rifiuti, è l'unica categoria a mostrare un andamento analogo alla densità dei rifiuti totale, rivelando a sua volta valori più elevati nelle zone 6 e 7 (Figura 4.12). Il vetro (L4) e la categoria altro (L8), ovvero le rimanenti categorie più rappresentative, non hanno mostrato alcun trend di distribuzione, risultando debolmente ma uniformemente ripartite attorno all'intera isola, come si osserva graficamente dai *bubble* (Figure 4.13, 4.14).

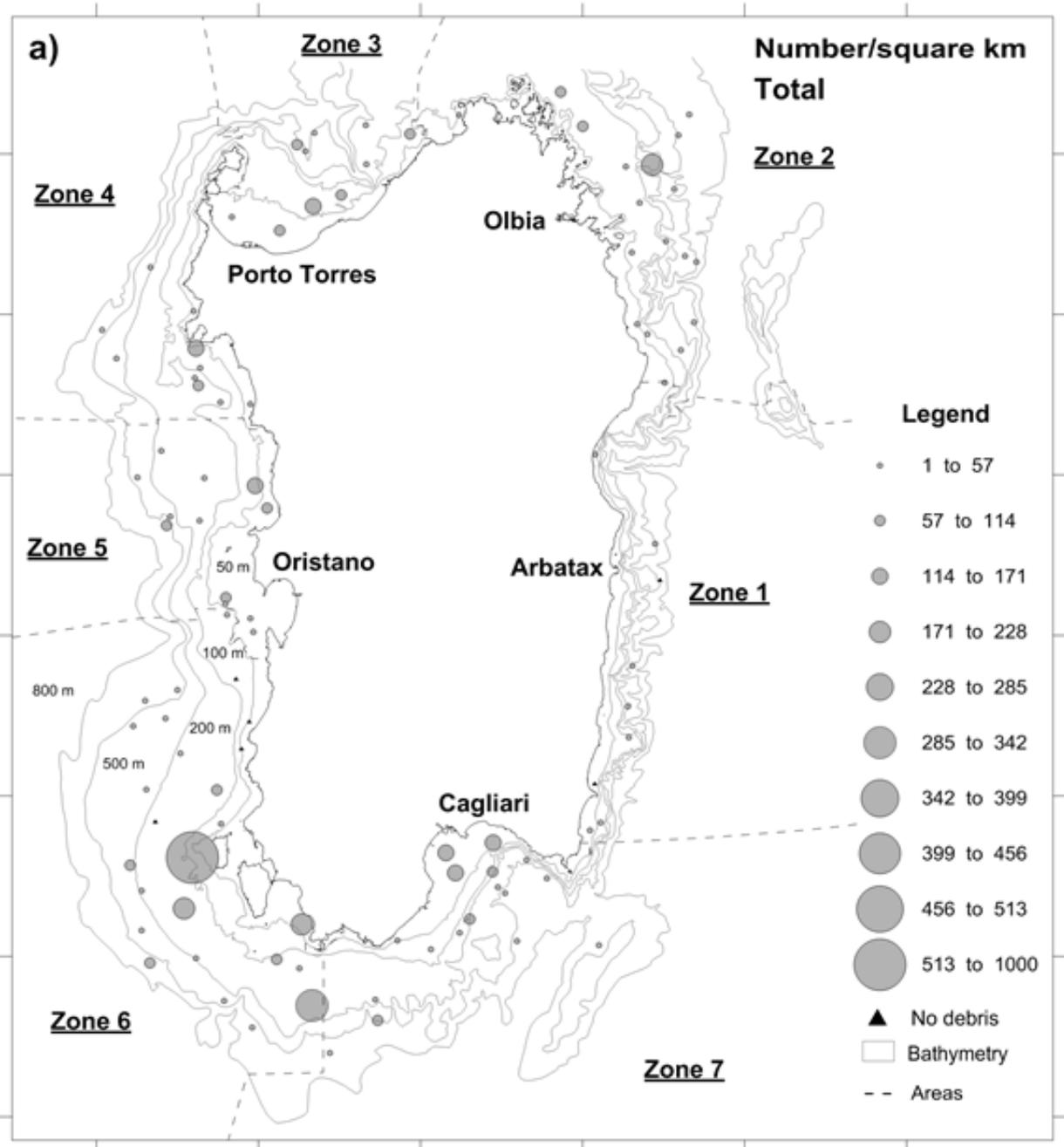


Figura 4.11 Rappresentazione tramite *Bubble plot* della totalità di rifiuti per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine.

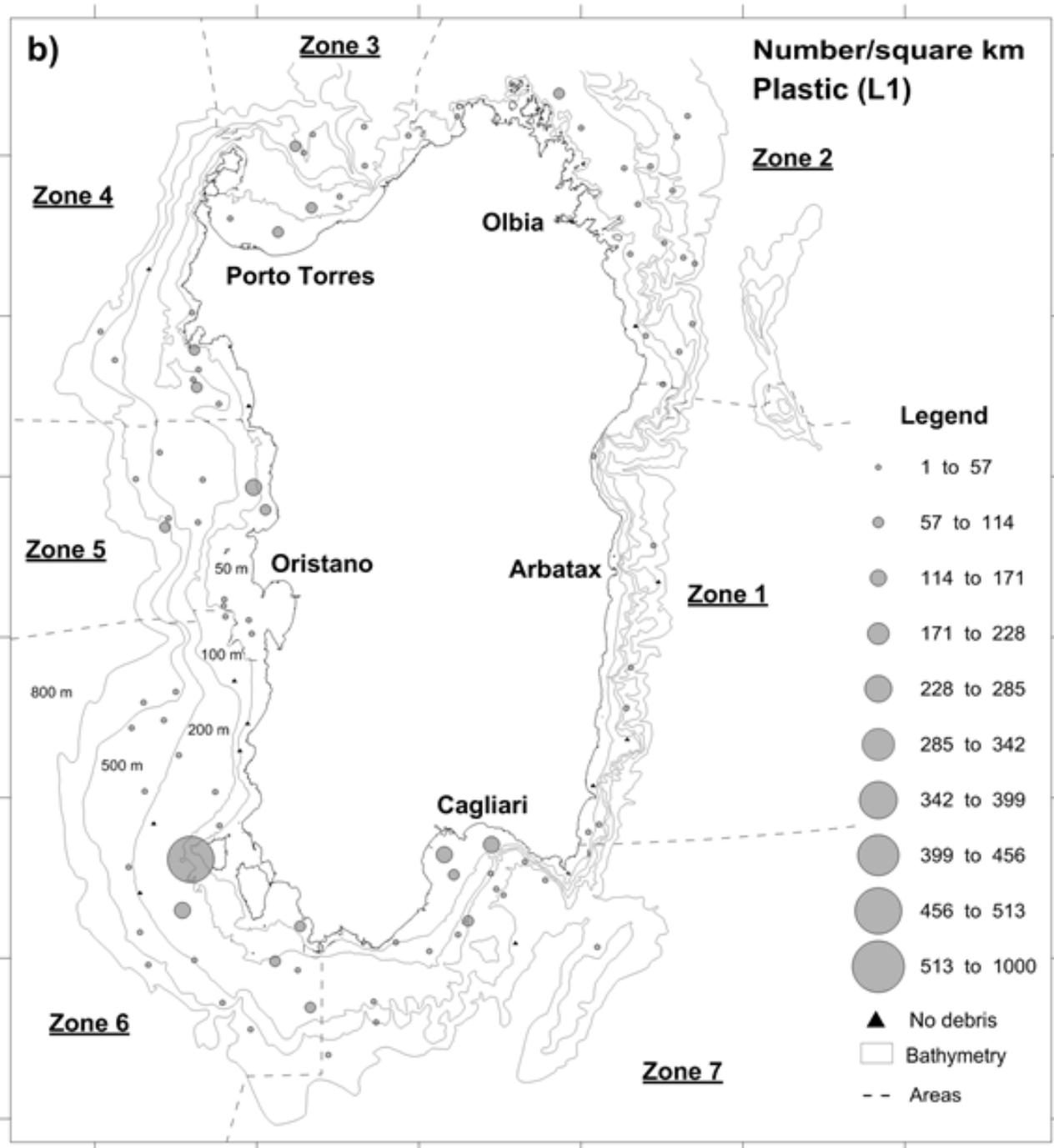


Figura 4.12 Rappresentazione tramite *Bubble plot* della densità della plastica (L1) per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine

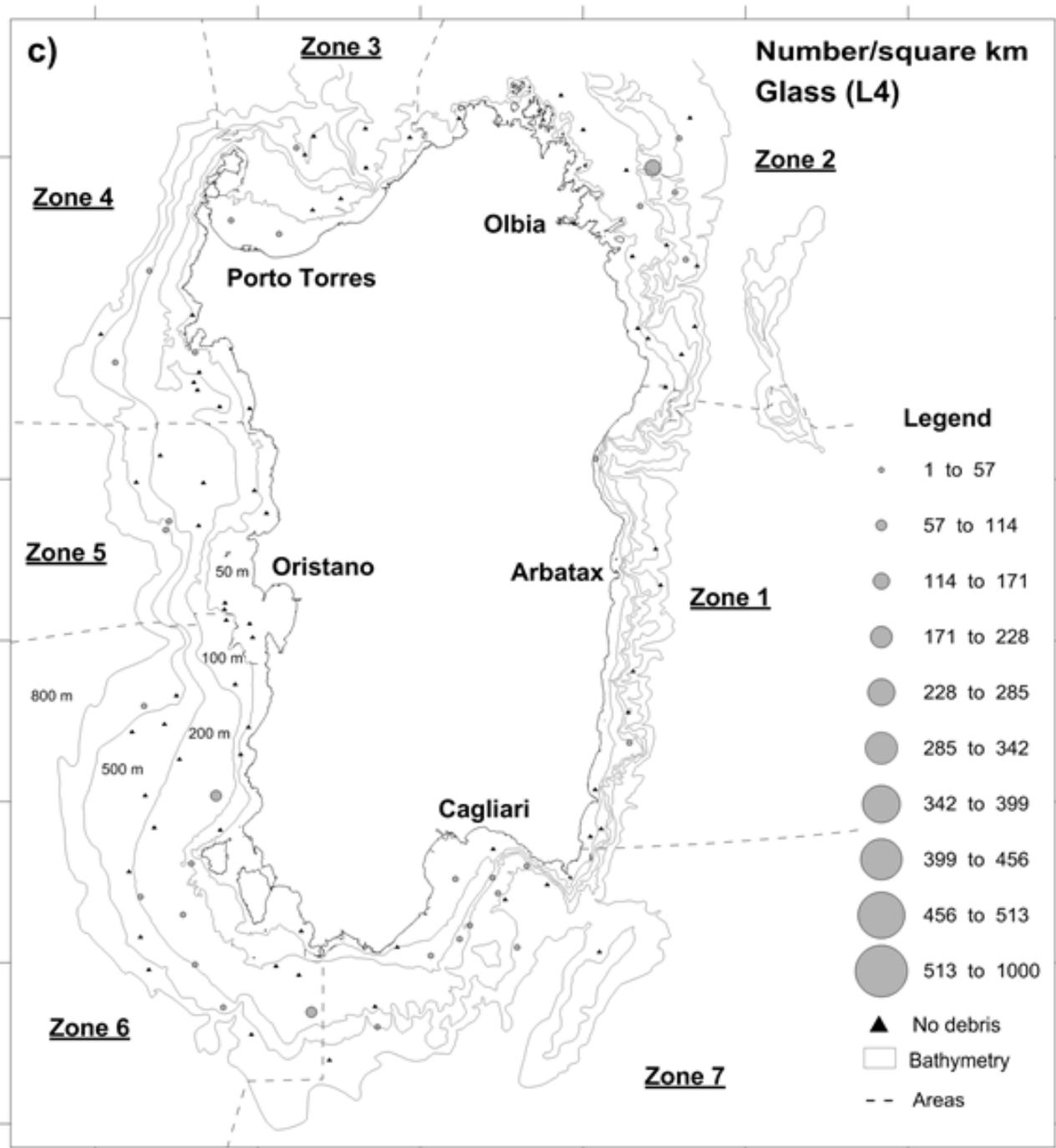


Figura 4.13 Rappresentazione tramite *Bubble plot* della densità del vetro (L4) per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine.

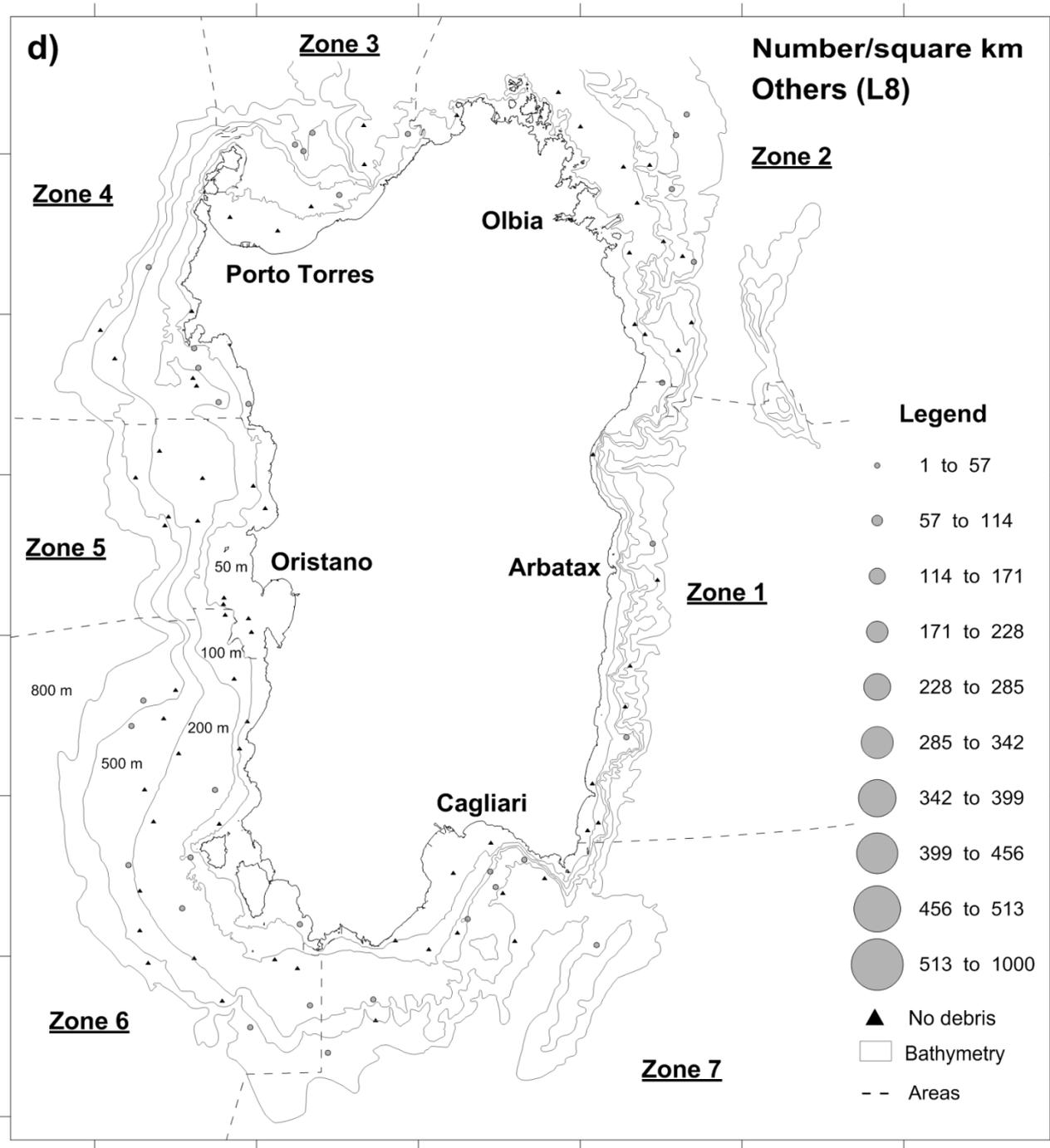


Figura 4.14 Rappresentazione tramite Bubble plot della densità della categoria “altro” (L8) per ciascuna delle stazioni investigate durante le campagne MEDITS. Per ogni stazione è rappresentato il valore di densità medio tra i tre anni di indagine.

”

#### 4.3.1.5 *Abbondanza del marine litter*

**Tabella 4.7** Per ciascuna categoria di *marine litter* sono mostrati di seguito i kg complessivi ottenuti dai tre anni di indagini MEDITS e l'abbondanza ( $\text{Kg} \cdot \text{Km}^{-2}$ ). ES=errore standard.

	Peso (kg)	$\text{Kg} \cdot \text{Km}^{-2}$	ES
Plastica	92,0	7,35	2,37
Gomma	21,4	1,53	1,16
Metallo	25,3	1,76	0,81
Vetro	45,8	2,77	1,28
Tessuti	13,8	1,01	0,35
Legno lavorato	7,3	0,36	0,17
Carta	0,4	0,03	0,02
Altro	32,7	2,27	0,96
Non specificato	2,0	0,15	0,11
<b>Totale</b>	<b>240,6</b>	<b>17,1</b>	<b>3,4</b>

Durante le due campagne sono stati raccolti complessivamente 240.6 kg di rifiuti su 18.4 km investigati (Tabella 4.7), con un'abbondanza media di 17.1 ( $\pm 3.4$  ES)  $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$  (64.9 kg nel 2013; 63.2 kg nel 2014; 112.3 kg nel 2015). In termini di percentuale peso sul totale, la plastica è risultata ancora la categoria principale (38%), seguita dal vetro (19%) e dalla categoria "altro" (14%). Ciascuno dei valori delle altre categorie è risultato essere inferiore o uguale al 10% del peso totale (Gomma 9%; metallo 10%; tessuti 6%; legno 3%; carta <1 %; non specificato < 1%; Figura 4.15).

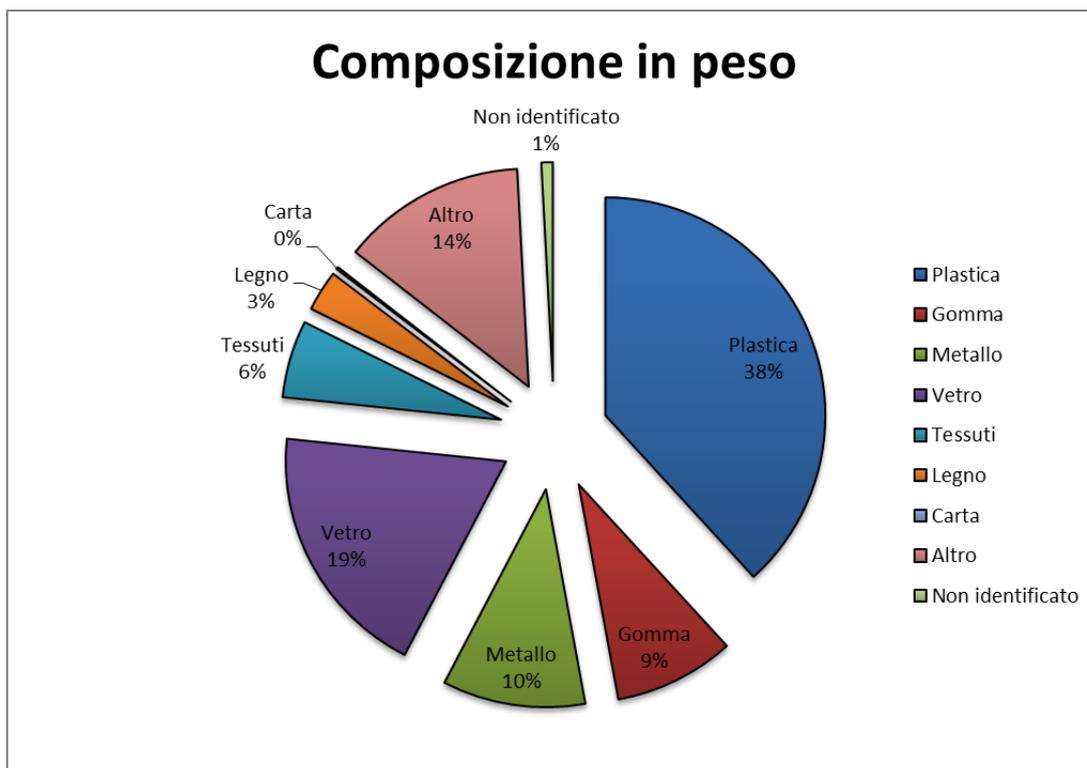


Figura 4.15 Analisi della componente peso di ciascuna categoria di rifiuti.

#### 4.3.1.6 *Abbondanza per strati batimetrici*

Tabella 4.8 *Abbondanza del marine litter nei cinque strati batimetrici investigati. ES=Errore Standard.*

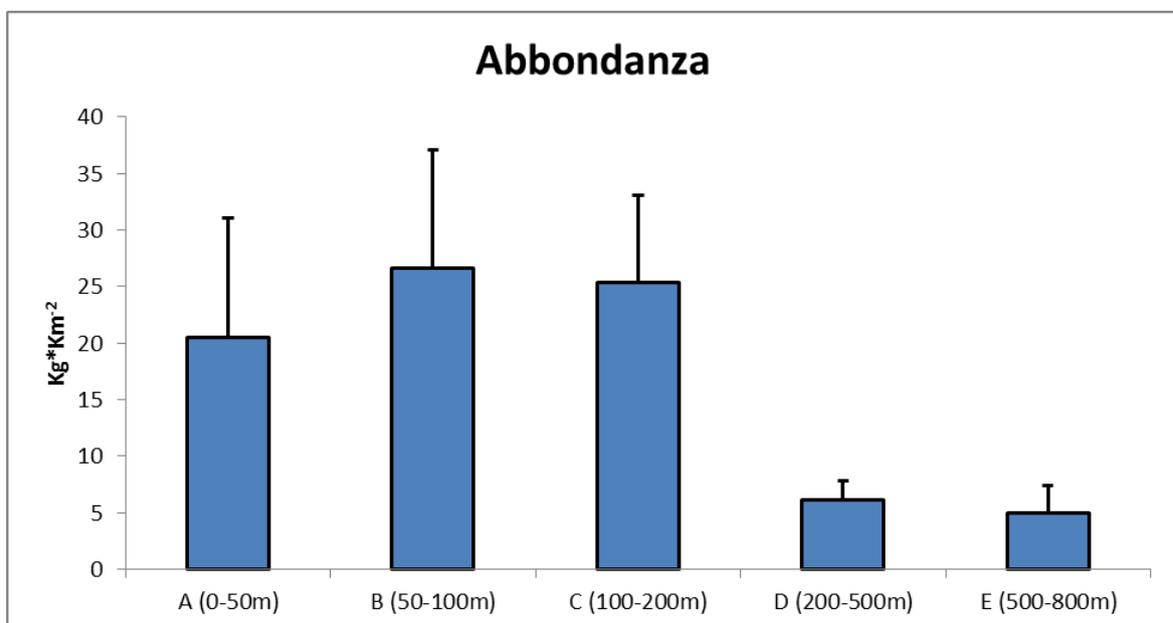
Strato	No. Cale	Km <sup>2</sup>	Kg*Km <sup>-2</sup>	ES
A (0 – 50 m)	59	1,49	20,48	10,58
B (50 - 100 m)	56	1,48	26,61	10,48
C (100 – 200 m)	72	2,05	25,34	7,72
D (200 – 500 m)	58	3,31	6,11	1,72
E (500 – 800 m)	57	3,65	4,92	2,44

Lo strato batimetrico B (50-100m) ha mostrato il livello di abbondanza più alto con 26.61 kg\*km<sup>-2</sup> (± 10.48 ES), mentre il valore minore si ha nello strato più profondo: E (500-800 m): 4.92 kg\*km<sup>-2</sup> (± 2.44 ES) Tabella (4.9). La comparazione di Mann Whitney ha messo in evidenza come la significatività nelle differenze si verifici in un confronto tra lo strato batimetrico più profondo (E 500-800 m) e gli

strati B (50-100 m) e C (100 – 200 m). Lo strato E infatti, è lo strato con il più basso livello di abbondanza, mentre gli strati B e C sono rispettivamente il primo e il secondo strato dal punto di vista dei kg di oggetti su km<sup>2</sup>. Questo risultato trova ulteriore spiegazione grafica negli istogrammi presenti in figura (14.16), dove gli strati più profondi mostrano la significativa diminuzione dei valori di abbondanza da quelli più superficiali.

**Tabella 4.9 Risultati del Mann Whitney tra i valori di densità totale dei 5 strati batimetrici investigati durante le campagne MEDITS. E' messa in evidenza nelle celle grigie la significatività delle differenze dello strato E con gli strati B e C.**

Mann Whitney					
	A (0-50m)	B (50-100m)	C (100-200m)	D (200-500m)	E (500-800m)
A (0-50m)		0,8609	0,6466	0,3459	0,0688
B (50-100m)	1		0,8443	0,2316	0,04399
C (100-200m)	1	1		0,1356	0,01372
D (200-500)	1	1	1		0,2703
E (500-800)	0,688	0,4399	0,1372	1	



**Figura 4.16 Variazione nei valori di abbondanza (kg\*km<sup>-2</sup>) con barre di errore standard nei cinque strati batimetrici investigati.**

### 4.3.1.7 *Abbondanza per zone geografiche*

I valori di abbondanza hanno mostrato un andamento differente rispetto a quelli di densità osservati per le sette zone (Tabella 4.10). Alle zone con un il maggiore quantitativo di rifiuti in termini numerici (Zona 6, Zona 3), non è corrisposto il più alto valore in termini di peso. Le acque occidentali della Sardegna (Zona 1), quelle con il più basso valore di densità, risultano essere al secondo posto dal punto di vista dell'impatto antropico espresso come kg di rifiuti per km<sup>-2</sup>.

**Tabella 4.10** *Abbondanza del marine litter rinvenuto nelle 7 zone geografiche durante le campagne MEDITS. ES=Errore standard.*

Zona	No. Cale	Superficie	Kg	Abbondanza	ES
1 (Ovest)	27	1,68	30,28	24,96	15,63
2 (Nord-Ovest)	51	3,17	33,19	12,57	5,55
3 (Nord)	33	1,67	16,52	10,13	2,59
4 (Nord-Est)	30	1,70	24,76	20,45	15,56
5 (Est)	36	1,89	45,58	31,06	16,42
6 (Sud-Est)	77	4,80	52,19	14,78	5,72
7 (Sud)	48	3,45	35,42	13,31	5,53

Il grafico in figura (4.17) mostra le variazioni nei valori di abbondanza tra le sette zone. Le barre di errore standard molto elevate, sono dovute alla grande variabilità dei valori di  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  all'interno della matrice tra una cala e l'altra. I dati, una volta testata la loro non normalità, sono stati indagati con il test non parametrico di Mann Whitney, non risultando differenti tra una zona e l'altra in maniera significativa dal punto di vista statistico ( $p>0.05$ ).

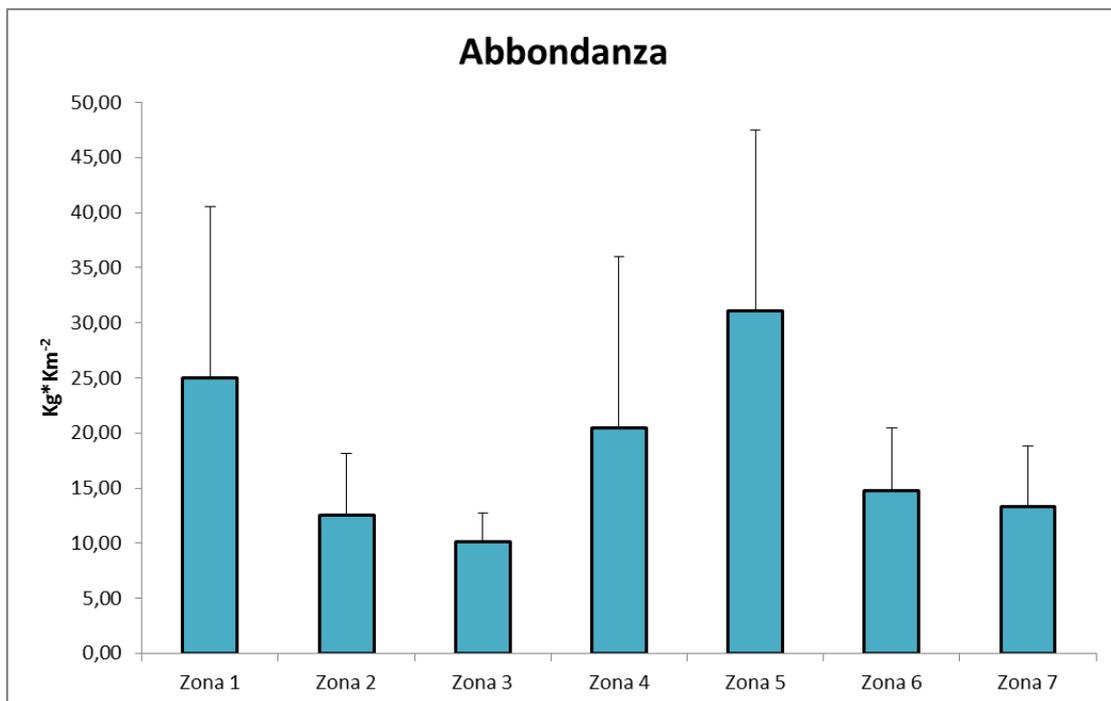


Figura 4.17 Variazione dei valori di abbondanza tra le 7 zone geografiche con barre di errore standard.

### 4.3.1.8 *Plastica*

**Tabella 4.11** Le diverse tipologie di oggetti di plastica rinvenuti con valori numerici e di densità. ES=errore standard.

	No.	No*Km <sup>-2</sup>	ES
Buste	175	10,5	1,4
Plastica dura	93	5,5	1,0
Incarti di cibo	103	5,4	1,0
Bottiglie	111	4,1	0,8
Altri attrezzi di pesca	9	5,4	1,8
Funi	15	0,9	0,3
Lenze	14	0,9	0,3
Reti	14	1,4	0,3
Fogli	18	1,1	0,3
Totale	552	35,1	3,9

La plastica è risultata la principale componente del *marine litter* per ognuno dei parametri investigati: *occurrence*, densità e abbondanza. Nel 2013 su un totale di 101 cale è stata rinvenuta in 51 (*occurrence*=50.5%), nel 2014 su 102 cale è stata rinvenuta in 75 (*occurrence*=75.8) e nel 2015 su 99 cale è stata rinvenuta in 75 (*occurrence*=75.8%) (Tabella 4.1). La plastica è la categoria più presente in ciascuno dei cinque strati batimetrici e delle sette zone geografiche. La sua distribuzione spaziale ha un andamento simile a quella dei rifiuti totali, costituendone la maggior parte, e manifesta valori più alti nella zona 6 (*Bubble plot* in figura 4.12). Dall'analisi della sua composizione si evince come la maggior parte della plastica sia stata rinvenuta sotto forma di buste, contenitori per il cibo e bottiglie, tutte categorie di rifiuti leggeri e di tipo ricreativo. Il totale della sua componente costituita da attrezzi di pesca (Funi, lenze, reti) invece, mostra complessivamente il valore del 13% sulla totalità (Figura 4.18).

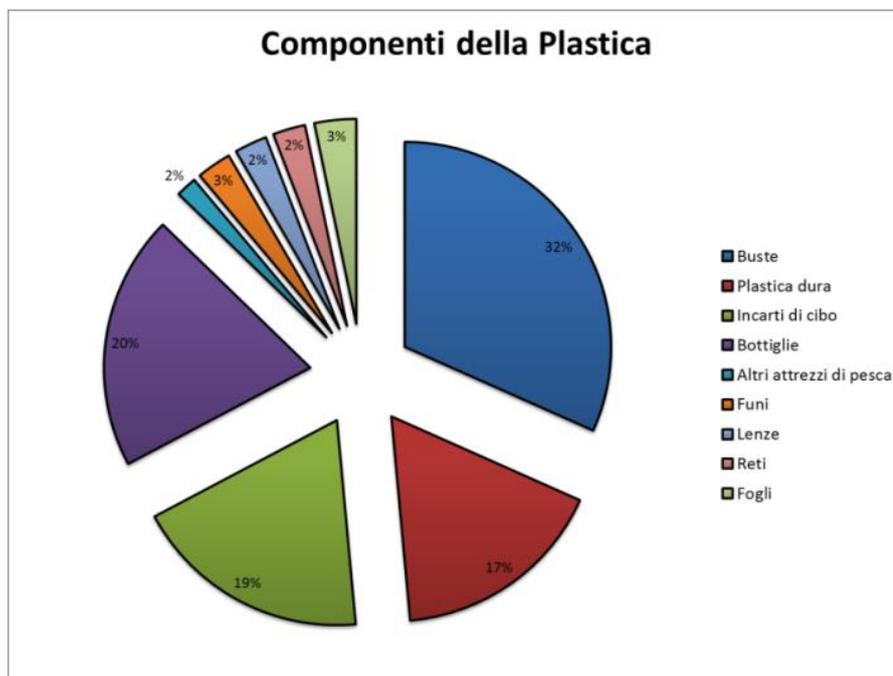


Figura 4.18 Composizione percentuale delle subcategorie della plastica osservate durante le campagne MEDITS.

### 4.3.2 Campagna PSP15

Tabella 4.12 Valori delle categorie di rifiuti rinvenuti durante la campagna PSP15 espressi come numero di rifiuti e numero di rifiuti l'ora. ES= errore standard

	No	No/h	ES
Plastica	144	6,21	2,26
Gomma	4	0,18	0,10
Metallo	34	1,46	0,35
Vetro	106	4,23	1,64
Tessuti	11	0,52	0,16
Altro	1	0,03	0,03
TOT	300	12,63	3,18

Dalle 10 cale di pesca profonda sono stati osservati 300 oggetti solidi di origine antropica (Tabella 4.12). Si è strascicato per un totale di circa 22 ore, a una batimetria compresa tra gli 800 e i 1600 m, ottenendo un valore medio di 12.63 ( $\pm$  3.17 ES) oggetti/h. La composizione del *marine litter* non si discosta particolarmente

da quella rinvenuta nelle acque meno profonde durante l'indagine MEDITS. Le percentuali di ciascuna categoria possono essere osservate in figura (4.19) e mostrano anche in questo caso la plastica come la componente preponderante, seguita dal vetro e dal metallo. La plastica in questo caso, vede la sua componente costituita da oggetti leggeri come buste e incarti di cibo raggiungere il 94% sul totale, mentre i rifiuti derivati da attività di pesca occupano soltanto il 4%.

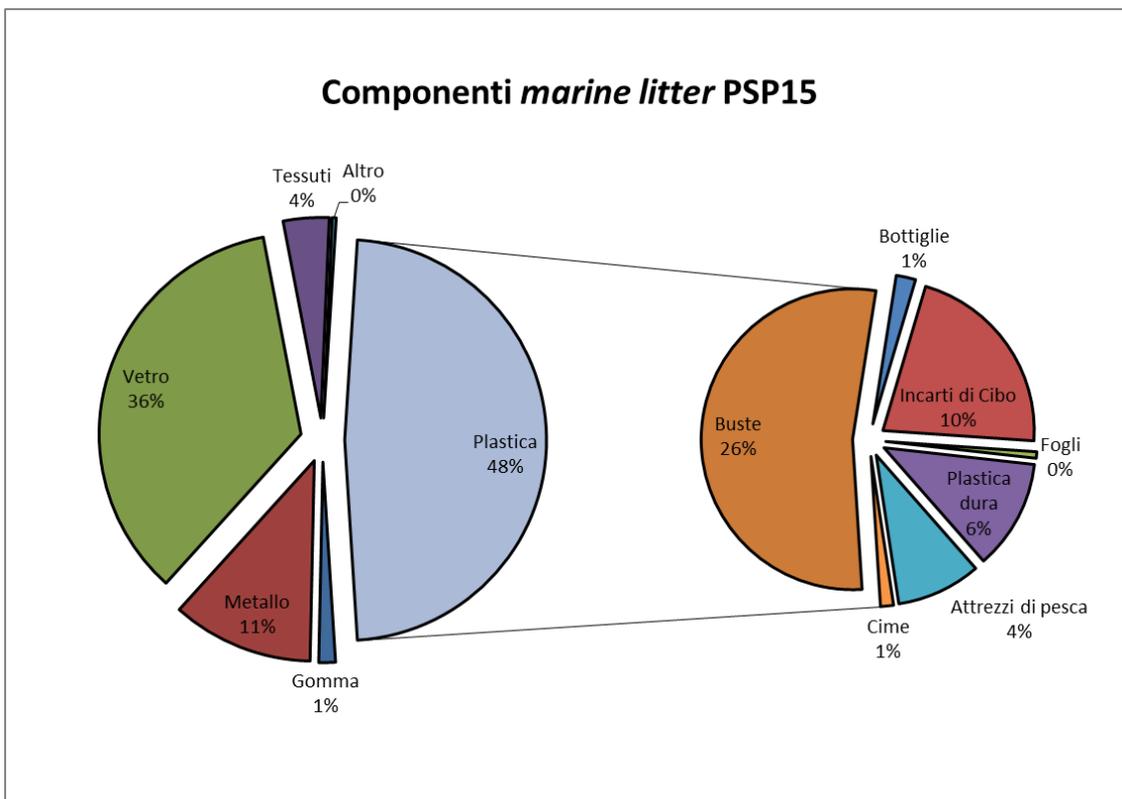


Figura 4.19 Valori percentuali delle categorie di rifiuti rinvenute e dettaglio delle componenti della plastica

L'indagine sul rapporto tra l'aumento della profondità e il variare dei valori del *marine litter* è stata effettuata attraverso regressione lineare. Dal grafico in figura (4.20) si osserva un decrescere dei valori di rifiuti/h con il crescere della profondità a partire dagli 800 m. Questo cambiamento tuttavia, non risulta significativo se osservato con la correlazione di Pearson ( $R=-0.47$ ;  $p=0.17$ )

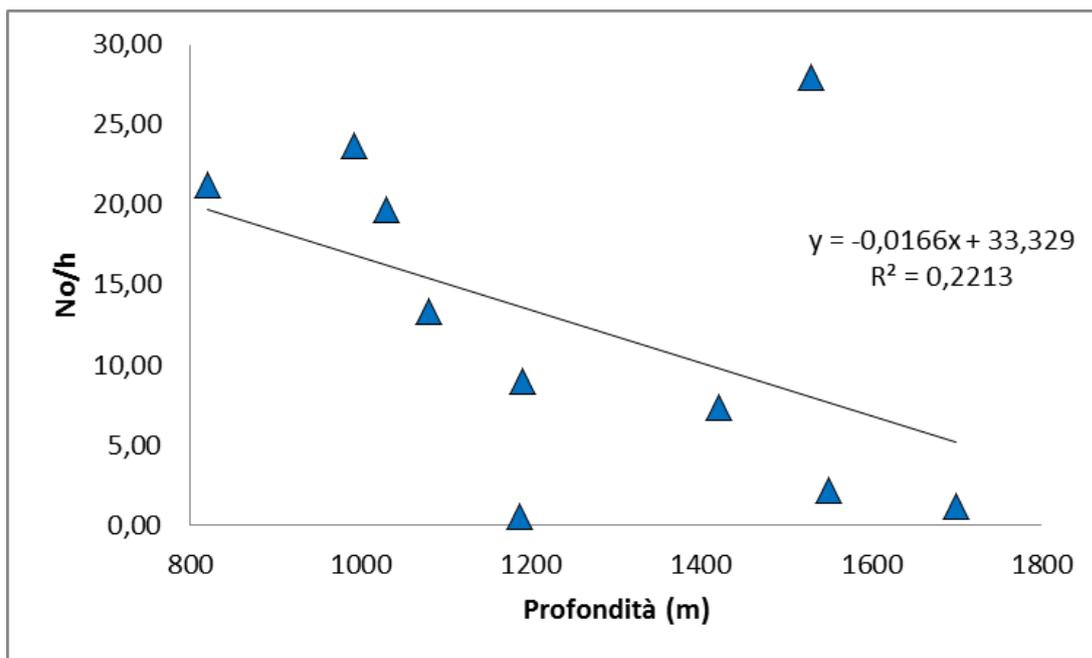


Figura 4.20 Relazione tra la profondità e il quantitativo di rifiuti per le 10 stazioni investigate.

Le differenze tra i valori di rifiuti/h tra la campagna PSP15 e la MEDITS sono risultate essere significative dal punto di vista statistico una volta indagate con il test di Kruskal Wallis ( $p=0.004$ ). Il grafico in figura (4.21) permette di osservare come il numero di oggetti per le principali categorie di *marine litter* abbia valori nettamente più alti per quanto ha riguardato la PSP15 (Tabella 4.11). Difatti, oltre al totale di rifiuti, anche la plastica (L1), la gomma (L2), il metallo (L3), il vetro (L4) e i tessuti (L5) rivelano valori maggiori al di sopra degli 800 m. Le categorie di rifiuti come il legno (L6), la carta, (L7) e i rifiuti non identificati (L9) non sono mai state rinvenute nella campagna di pesca profonda, per questo motivo ritrovamenti di queste tipologie di rifiuti avvenute al di sotto degli 800 m durante le campagne MEDITS, seppur sporadici, mostrano nel grafico valori superiori rispetto alla PSP15.

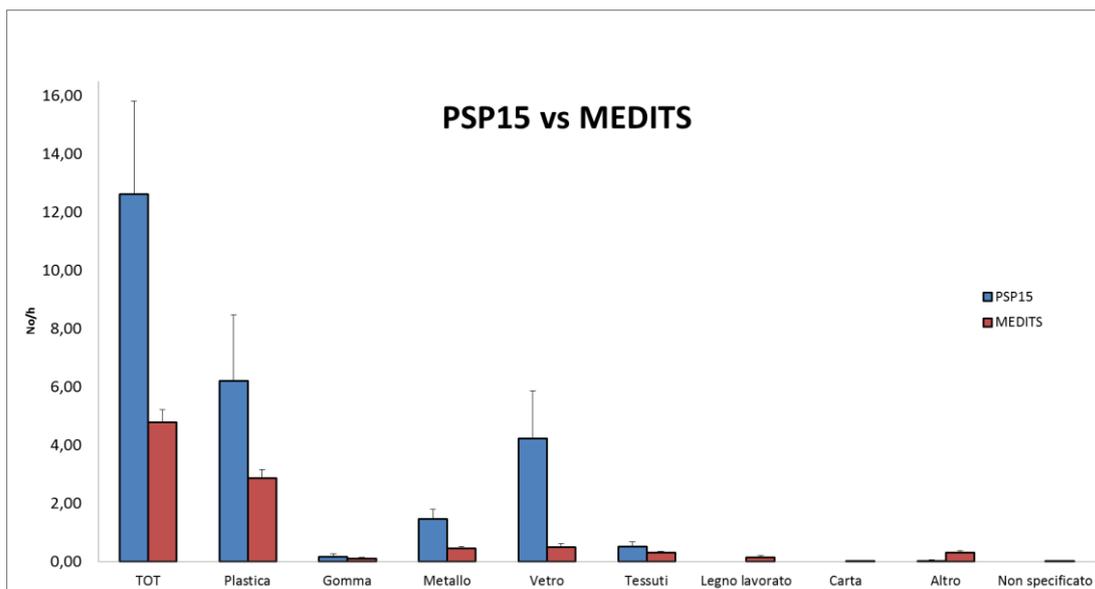


Figura 4.21 Confronto grafico tra i valori di No di rifiuti/h per le nove categorie più il totale.

Tabella 4.13 Confronto nei valori di No/h rinvenuti durante le due campagne di pesca. ES=errore standard.

	Campagna	No/h	ES
TOT	PSP15	12,63	3,18
	MEDITS	4,79	0,42
Plastica	PSP15	6,21	2,26
	MEDITS	2,87	0,29
Gomma	PSP15	0,18	0,10
	MEDITS	0,12	0,03
Metallo	PSP15	1,46	0,35
	MEDITS	0,45	0,08
Vetro	PSP15	4,23	1,64
	MEDITS	0,51	0,13
Tessuti	PSP15	0,52	0,16
	MEDITS	0,31	0,05
Legno lavorato	PSP15	0,00	0,00
	MEDITS	0,16	0,06
Carta	PSP15	0,00	0,00
	MEDITS	0,03	0,02
Altro	PSP15	0,03	0,03
	MEDITS	0,31	0,07
Non specificato	PSP15	0,00	0,00
	MEDITS	0,04	0,02

### 4.3.3 Rapporto tra pescatori e *marine litter*

Su un totale di 16 armatori di pescherecci sottoposti al questionario, in 6 hanno risposto di non sbarcare né smaltire mai i rifiuti rinvenuti nelle reti,

gettandoli semplicemente fuori bordo nello stesso punto in cui sono stati pescati. I rimanenti 10 hanno affermato di avere atteggiamenti differenti in base al tipo di rifiuto: 5 di loro dichiarano di smaltire sempre gli oggetti di piccole dimensioni, facili da raccogliere, per poi buttarli nei normali contenitori per i rifiuti presenti a terra; gli altri 5 invece sono soliti rimuovere dall'ambiente marino oggetti che possono essere in grado di rovinare l'attrezzatura da pesca (grosse lamiere di metallo) o che possono danneggiare il pescato (petrolio, barili di vernice).

Per quanto riguarda le motivazioni che li portano a sbarcare o meno i rifiuti raccolti, 5 pescatori hanno asserito di non avere alcun interesse per la problematica dell'inquinamento da rifiuti, non giudicando la pulizia del fondale una loro competenza. Altri 7 hanno spiegato che i porti non sono attrezzati per la ricezione dei rifiuti e per il loro smaltimento. E infine gli ultimi 5 si sono detti contrari a dover pagare per smaltire rifiuti non generati dalla loro imbarcazione, secondo quanto previsto da una legge non precisata. E' probabile si faccia riferimento al Decreto Legislativo del 24 giugno 2003, n. 182, che si propone di ridurre gli scarichi in mare di rifiuti prodotti dalle navi imponendo a tutte le navi di conferire i loro rifiuti agli impianti portuali di raccolta.

## 4.4 DISCUSSIONE

L'aumento dell'interesse globale per la problematica del *marine litter*, si è tradotto nell'ultimo decennio in un incremento della produzione scientifica a riguardo, ma le differenze nella scelta della metodologia di raccolta delle informazioni, hanno reso il confronto tra lavori piuttosto difficile (Ryan et al., 2009). Il sottogruppo tecnico per il GES della MSFD (2011), oltre a indicare come obbligatorie le informazioni sul dato numerico del *marine litter*, descrive l'indagine attraverso reti a strascico come il metodo più efficiente per la stima dell'abbondanza e della densità dei rifiuti sul fondale, producendo un aumento dell'utilizzo di questa tecnica per la raccolta dei dati (Mifsud et al., 2013; Strafella et al., 2015; Neves et al., 2015).

I risultati ottenuti in questo studio forniscono un nuovo set di informazioni sullo stato del *marine litter* per quanto riguarda la totalità dei fondali molli della platea e della scarpata continentale della GSA 11, ovvero delle acque circondanti la Sardegna. I valori della concentrazione di rifiuti riscontrati hanno mostrato la Sardegna come la zona meno impattata, sia in termini di densità che di abbondanza (rispettivamente  $58.64 \pm 5.7$  oggetti\* $\text{km}^{-2}$  e  $13.5 \pm 47.9$  kg\* $\text{km}^{-2}$ ), se comparata con altre aree del bacino Mediterraneo investigate con la stessa metodologia: Isola di Malta ( $97 \pm 78$  oggetti\* $\text{km}^{-2}$ ); Mar Adriatico ( $85 \pm 26$  kg\* $\text{km}^{-2}$ ); i golfi greci di Echinadhes e Patras ( $89$  oggetti\* $\text{km}^{-2}$  and  $240$  oggetti\* $\text{km}^{-2}$ ); le coste del Portogallo ( $179 \pm$  oggetti\* $\text{km}^{-2}$ ) (Mifsud et al., 2013; Strafella et al., 2015; Stefatos et al., 1999; Neves et al., 2015). L'ipotesi per cui il *marine litter* sia maggiormente presente laddove si ha una maggiore densità di popolazione (Rochman et al., 2013) sembra

essere supportata anche da questi risultati. La popolazione sarda infatti (69 ab/km<sup>2</sup>), ha valori di densità molto più bassi rispetto a quelli di Malta (1410 ab/km<sup>2</sup>) e del Portogallo (114 ab/km<sup>2</sup>). Anche la popolazione greca ha una densità di gran lunga più elevata (84 ab/km<sup>2</sup>), in particolare nella zona di Patras, dove è stato effettuato il lavoro di Stefatos et al. (1999; 350 abitanti ab/km<sup>2</sup>). Il nostro dato di basso impatto antropico relativo, corrobora con quanto osservato da Angiolillo et al. (2015) nel comparare una zona di mare della Sardegna con una della Sicilia e una della Campania, dove i valori più bassi di *marine litter*, analogamente a quelli di densità di popolazione, vengono osservati ancora una volta nelle acque sarde.

Nella parte dello studio effettuato durante la campagna MEDITS sui fondali marini fino agli 800 m, è stato osservato un maggiore quantitativo di *marine litter* all'interno della platea continentale, dunque tra i 0 – 200 m, (Lee et al., 2006). Quello che può essere affermato, è che nelle acque circondanti la Sardegna si riscontra un progressivo diminuire dei valori sia di abbondanza che di densità spostandosi dai 200 m verso gli 800 m. Le più alte concentrazioni di *litter* sono state rinvenute nelle acque con batimetrie inferiori ai 100 m, mentre i valori più bassi si sono osservati nello strato batimetrico E, rappresentato dai fondali dai 500 fino agli 800 m. Anche in questo caso l'andamento dei rifiuti antropici rispecchia quanto documentato per le altre zone del mediterraneo (Galgani et al., 1996; Stefatos et al., 1999; Katsanevakis and Katsarou, 2004; Koutsodendris et al., 2008; Strafella et al., 2015). In Sardegna il settore del turismo raggiunge il suo massimo nei mesi estivi, quando le numerose spiagge, situate per l'intero perimetro dell'isola, fungono da importante attrazione per i turisti. L'elevata densità di persone che si ritrova nelle zone limitrofe alla costa negli stessi mesi in cui sono stati effettuati i

campionamenti per la campagna MEDITS, suggerisce una giustificazione al rinvenimento di quantitativi maggiori di rifiuti nelle zone di indagine più superficiali e costiere. Dal punto di vista dell'origine del *marine litter* possiamo dunque dire che, considerati i valori più alti di densità e abbondanza in prossimità della terraferma, quest'ultima è la sorgente principale, quella da cui maggiormente è dipeso l'ingresso dei rifiuti nell'ambiente marino.

Al livello degli 800 m invece, si è rinvenuto un improvviso e significativo cambiamento nel *trend* dei rifiuti, rappresentato dall'innalzarsi di colpo della concentrazione di *marine litter*. Questo fenomeno può essere imputato a diversi fattori. Non conosciamo i dettagli geomorfologici che caratterizzano i fondali investigati al di sotto degli 800 m e non possiamo avere la certezza della fonte di provenienza del grande numero di rifiuti riscontrati in questi ambienti. Tuttavia è noto come le correnti sottomarine, che sono proprie dei numerosi canyon situati a livello della scarpata continentale, costituiscano importante via per il trasporto e per l'accumulo della componente più leggera dei rifiuti rinvenuti (Ramirez-Llodra et al., 2013; Pham et al., 2014). Inoltre, il fatto che vi sia anche una componente costituita da categorie di oggetti pesanti (vetro e metallo) nettamente superiore rispetto ai valori osservati nella platea e nella scarpata continentale, ci indica che questo tipo di oggetti sia stato gettato nell'ambiente marino probabilmente nei pressi del punto in cui è stato campionato, dunque molto a largo dalla linea di costa. E' molto difficile stabilire l'origine precisa del *marine litter* rinvenuto, anche perché la composizione tra le zone di mare più costiere e quelle più lontane dalla terraferma, non varia particolarmente. Tuttavia, trovandoci lontani dalla costa, possiamo ipotizzare che il grande quantitativo di rifiuti presente in questi ambienti

profondi, al di sotto degli 800 m, sia dovuto oltre che al ruolo trasportatore delle correnti, anche all'attività di grosse imbarcazioni che si liberano in mare aperto dei rifiuti prodotti. E' stato osservato in bibliografia come negli ambienti profondi gli elevati valori di accumulo di rifiuti si trovino in prossimità delle rotte dei cargo mercantili, imbarcazioni militari, turistiche e pescherecci (Tubau et al., 2015), suggerendo una spiegazione anche ai grandi quantitativi di *marine litter*, rinvenuti in questo studio, alle grandi profondità. Il fenomeno dell'immissione in mare di qualunque rifiuto solido, violando la Convenzione di Londra (1975), costituisce anche un'azione illegale oltre a essere un danno ambientale ed ecologico.

La distribuzione su scala geografica non ha mostrato differenze significative, neanche in prossimità della foce dei principali fiumi della Sardegna, il Tirso e il Flumendosa. I due fiumi sboccano rispettivamente nel mezzo del golfo di Oristano e nella parte meridionale della zona 1 (Figura bolle). Questo risultato, in contrasto con quanto osservato in altri studi (Stefatos et al., 1999; Koutsodendris et al., 2008; Mordecai et al., 2011; Neves et al., 2015), è tuttavia imputabile a due fattori: la ridotta portata dei due corsi d'acqua (16 m<sup>3</sup>/s and 22 m<sup>3</sup>/s; Ente Autonomo del Flumendosa, 1998), e la composizione del *marine litter*, prevalentemente costituito da plastica leggera. La plastica è infatti la componente fluttuante dei rifiuti, quella in grado di percorrere lunghe distanze spaziali prima di accumularsi (Derraik, 2002; Galgani et al., 2013; Barnes et al., 2009; Pham et al., 2014), specialmente quando è costituita, come in questo caso, da oggetti di piccole dimensioni: buste, contenitori di cibo, bottiglie e bicchieri. Questi oggetti vengono osservati in bibliografia, analogamente a questo studio, come le principali componenti della plastica nel mar Mediterraneo (Mifsud et al., 2013; Strafella et al., 2015) e sono le più leggere e

propense all'essere trasportate dalle correnti. E' stato osservato come la plastica abbia il suo picco di valori nel margine sudoccidentale della Sardegna, a largo dell'isola di San Pietro. Da un punto di vista idrodinamico, questa zona, è noto essere caratterizzata da valori di energia cinetica molto più elevati rispetto a quelli osservati nel versante tirrenico (Olita et al., 2015). Questo si riflette nella presenza di una corrente più forte, chiamata West Sardinian Current (WSC) e direzionata verso Sud che percorre longitudinalmente il versante occidentale dell'isola (4.19). La WSC si avvicina alla costa in corrispondenza del margine meridionale dove prosegue al di là del limite della platea continentale. E' ipotizzabile che queste caratteristiche idrodinamiche possano avere un impatto importante nell'accumulo di rifiuti di plastica in questa zona di mare.

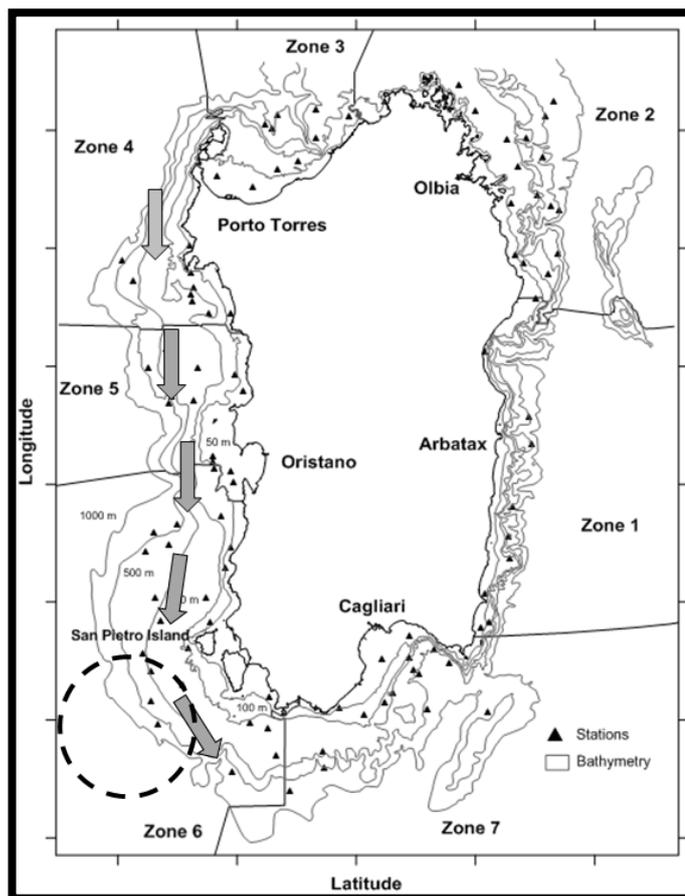


Figura 4.22 Rappresentazione della circolazione delle masse d'acqua di interesse per l'accumulo di *marine litter*. Le frecce grigie indicano la Western Sardinian Current (WSC), il cerchio tratteggiato

**rappresenta il punto di maggiore energia cinetica del flusso di corrente (modificato da Olita et al., 2015).**

La composizione sulla base dell'originale funzione dei rifiuti rinvenuti, ha mostrato come gli attrezzi di pesca abbiano costituito solo il 9% sul totale. Un altro studio effettuato nei fondali rocciosi, anche se limitatamente alla zona meridionale, della Sardegna, (Angiolillo et al., 2015) ha avuto risultati nettamente contrastanti, con l'89% del *marine litter* formato da reti, nasse e lenze. Questa forte differenza è facilmente imputabile al diverso strumento di campionamento utilizzato, oltre che alla diversità d'habitat. Angiolillo infatti basa i suoi risultati su un'analisi effettuata tramite ROV (Remotely Operated Vehicle) su fondali a elevata complessità geomorfologica, dove è noto ci sia una maggiore probabilità di perdere l'attrezzatura di pesca. Questi fattori rendono poco sensata una comparazione tra il presente studio e quest'ultimo, ma mettono in evidenza l'utilità di integrare differenti strumenti di campionamento per produrre una visione più dettagliata dello stato attuale del *marine litter* su uno spettro ambientale più ampio.

Abbiamo osservato come gli operatori del settore pesca rivestano il ruolo di meri trasportatori di rifiuti. Rimuovendoli da un punto di mare e rigettandoli da un'altra parte, agiscono spostandone semplicemente il luogo di accumulo. Il loro comportamento mette in evidenza, in certi casi, una mancanza d'interesse e di sensibilità verso la problematica per tutto ciò che non riguarda direttamente il loro guadagno a breve termine. L'interesse manifestato sembra rivolto sostanzialmente al non subire danni immediati all'attrezzatura di pesca o al pescato, senza tenere conto degli effetti a lungo termine dell'inquinamento da *marine litter* per i loro stessi ambienti di raccolta. L'impossibilità di smaltire i rifiuti a terra sarebbe ovviata

se i porti fossero provvisti di strutture apposite, istituite per la ricezione e per lo smaltimento di tutto ciò che è uno scarto di origine umana rinvenuto in mare. Sulla base di quanto proposto nel Mare del Nord con il progetto “Fishing for Litter” (*European Commissioner for Maritime Affairs and Fisheries*), una possibile soluzione che vada a vantaggio sia della comunità dei pescatori sia dell’ambiente può essere un incentivo economico emesso a livello locale o regionale per la fornitura di bidoni e contenitori idonei per la raccolta di rifiuti a chi collabora alla pulizia del fondale attraverso la propria attività professionale di pesca. Non si tratta di incentivi diretti alla comunità di pescatori, bensì di facilitazioni per lo svolgimento di un lavoro che risulta utile e fondamentale alla gestione della problematica del *marine litter*. Questo modo intelligente e a lungo termine di affrontare la problematica comune, colmerebbe il *gap* presente tra la comunità professionale degli operatori e gli obiettivi della MSFD, risultando di notevole aiuto per il raggiungimento dell’obiettivo GES.

Il presente studio oltre a fornire una prima base per comparazioni spaziotemporali future per quanto riguarda i fondali molli del bacino Mediterraneo Nord-occidentale, costituisce un importante contributo alle informazioni della direttiva *Marine Strategy* (EU Directive 2008/56/EC). L’importanza dell’utilizzo di reti a strascico nello sviluppo dell’indagine è messa in evidenza dalla quantità di dati acquisiti per le acque superficiali e profonde nell’arco di tre anni e dalla possibilità di un confronto standardizzato con altri studi effettuati attraverso la stessa metodologia. Infine viene mostrato l’attuale divario tra gli obiettivi degli operatori del settore pesca e la finalità della MSFD, proponendo alcuni spunti operativi che siano di supporto alla cooperazione tra i differenti settori.



## 5. *Indagine attraverso ROV*

---

### 5.1 INTRODUZIONE

Se in passato gli ecosistemi marini ad elevata profondità sono risultati inaccessibili allo studio e all'indagine scientifica, per via delle numerose difficoltà logistiche (Danovaro et al., 2010), oggi le più recenti tecnologie investigative sottomarine, hanno reso possibile il superamento di alcuni dei limiti fisici associati a questi ambienti. Il Mar Mediterraneo è considerato un *hotspot* per la biodiversità marina (Bianche and Morri, 2000), definizione tuttavia basata su indagini che fino a poco tempo fa hanno avuto luogo, per la maggior parte, a profondità inferiori ai 50 m (Cerrano et al., 2010). Quello che è emerso in tempi recenti è che gli ambienti più profondi celano anche essi un alto livello di biodiversità, caratterizzata da ecosistemi ad elevata complessità strutturale, basati sugli organismi bio-costruttori (Aguilar et al., 2009; Gori et al., 2011; Fabri et al., 2014). Queste comunità bentoniche oltre ad essere fondamentali per il ruolo ingegneristico svolto (Rossi 2013), agiscono anche come luogo di nursery e di rifugio per numerose specie, tra cui alcune di interesse commerciale (Cau et al., 2013; Baillon et al., 2014). Si prenda in considerazione che la particolare complessità delle strutture tridimensionali formate dagli organismi, oltre a quella di per sé propria degli ambienti rocciosi e frastagliati in cui si trovano, hanno reso l'indagine con metodologie tradizionali, quali la pesca a strascico e l'utilizzo delle draghe, inadatta per questi ambienti.

#### 5.1.1.1 *Pinnacle e canyon*

Il recente interesse dell'indagine scientifica subacquea si è concentrato sugli ambienti rocciosi sottomarini quali canyon, *pinnacle* e secche sottomarine, sia per quanto riguarda la loro componente biotica, nei termini delle comunità coralligene, sia per quanto concerne la componente del *marine litter* ad esse associata. Queste strutture geologiche risultano essere ampiamente distribuite lungo l'intero bacino del Mediterraneo, caratterizzandolo con un aumento dell'eterogeneità e favorendone lo sviluppo della biodiversità.

Le secche e le montagne sottomarine, definite con il termine di *pinnacle*, a seconda della loro dimensione, producono un forte effetto di contrasto con l'ambiente che le circonda, sia esso caratterizzato dalle pianure abissali sia dai margini della platea continentale. Possono rivestire un importante ruolo nella formazione di biotopi e di habitat fortemente strutturati e caratterizzati prevalentemente da animali bentonici a cui si associa anche una componente ittica dal notevole valore ecologico e commerciale (Ramirez-Llodra et al., 2010). È proprio quest'ultima la causa indiretta dello stato di minaccia di questi ambienti, in quanto agisce da richiamo per l'attività di pesca professionale (Chiappone et al., 2005; Bauer et al., 2008). Difatti i pesci, i molluschi e i crostacei di rilevante valore commerciale che caratterizzano questi luoghi, causano uno sforzo di pesca che, trattandosi di ambienti fortemente frastagliati e ricchi di concrezioni rocciose, si traduce spesso nella presenza di rifiuti derivati dall'attività professionale: reti, funi, palamiti e nasse vanno a costituire la principale causa di impatto sulle comunità bentoniche del coralligeno (Oliveira et al., 2015).

I canyon sottomarini sono degli ambienti la cui indagine multidisciplinare è stata possibile solo negli ultimi tre decenni, grazie all'abbattimento dei limiti fisici e

geologici che ne sono propri. Se le tecniche di indagine utilizzate in passato non l'hanno permesso, oggi le moderne metodologie sono state in grado di descrivere l'importante ruolo ecologico di questi ambienti. All'interno dei canyon di tutto il mondo, infatti, si trovano insieme di comunità bentoniche, demersali e pelagiche che costituiscono degli habitat unici dal punto di vista della complessità (Huvenne et al., 2011). Questi ambienti si originano nel loro punto più vicino alla costa, a livello della platea continentale, attraverso una forte incisione che prende il nome di "testa del canyon"; proseguono la loro corsa discensionale attraverso un corridoio definito "canale turbiditico" e infine terminano rivolti verso il mare aperto con incisioni profonde e complessi canali per mezzo della "bocca del canyon" (Canales et al., 2006 ). Attualmente è noto come i canyon sottomarini siano ampiamente distribuiti lungo la maggior parte del margine continentale dell'Europa, favorendone la sua complessità geologica (Levin e Dayton 2009) e costituendo degli *hotspot* per la biodiversità (Danovaro et al., 2010; Pusceddu et al., 2010). Una delle caratteristiche dei canyon del Mediterraneo è quella di aver delle pendenze particolarmente ripide, se paragonati con quelli del resto d'Europa. Questa caratteristica si traduce in un grande apporto di materia organica ricca di sedimento che viene trasportata verso gli ambienti più profondi (Pusceddu et al., 2010; Oliveira et al., 2015). Lo stesso accade per il *marine litter* (Ramirez-Llodra et al., 2011; Schlining et al., 2013) che in questi casi viene trasportato per la sua componente più fluttuante e leggera. Ne consegue che all'accumulo di rifiuti rappresentati dagli attrezzi di pesca incagliati e persi sul posto, va aggiunta tutta la componente costituita dagli oggetti trasportati dalla corrente del canyon.

### 5.1.1.2 *Vantaggi dell'utilizzo dei ROV*

Da quando è stato possibile l'utilizzo di robot filoguidati (Remotely Operated Vehicle, ROV) questi sistemi marini sono stati conosciuti e caratterizzati, allo stesso tempo si è cominciato a fare per i rifiuti di origine antropica a loro associati. Le indagini svolte sugli ambienti in questione, una volta superati i limiti della profondità, del tempo di immersione, della temperatura e infine della geomorfologia, hanno permesso di smentire la convinzione secondo la quale essi siano meno impattati dal punto di vista antropogenico (Hinderstein et al., 2010). Ciò ha dimostrato la loro sensibilità e lo stato di minaccia da parte dell'uomo (Davies et al., 2008).

Il ROV si dimostra uno strumento ideale per l'analisi dei rifiuti in quanto può essere utilizzato su qualunque tipologia di substrato, inclusi gli habitat rocciosi ad elevata complessità. Esso svolge un'indagine non invasiva che permette di arrivare laddove una rete a strascico, non solo non sarebbe in grado di portare a compimento l'indagine, ma anzi correrebbe il rischio di rimanere incagliata, diventando a sua volta un oggetto di origine antropica di impatto per l'ambiente, in sintesi: *marine litter* (Gage et al., 2005). E' proprio questo tipo di rifiuti, costituito dagli attrezzi di pesca dismessi, a caratterizzare la gran parte della componente del *litter* presente in questi tipi di fondale (Oliveira et al., 2015; Angiolillo et al., 2015; Mordecai et al., 2013; Chiappone et al., 2005; Watters et al., 2010).

### 5.1.1.3 *La minaccia del marine litter negli habitat rocciosi*

I rifiuti bentonici che si rinvengono adesi al fondale marino, possono determinare diversi tipi di danni alla componente animale degli ecosistemi. Comportano innanzitutto una riduzione della superficie del substrato utile per lo sviluppo di determinati organismi, privandoli di un fondo duro, idoneo alla loro crescita. Possono coprire gli organismi sessili, circostanza che ne impedisce gli scambi gassosi e può in alcuni casi portare alla morte. Infine possono essere causa di danni diretti e abrasioni progressive dei tessuti che anche in questo caso rischiano di risultare fatali (Bo et al., 2014; Yoshikawa and Asoh, 2004; Bonohue et al., 2001; Bavestrello et al., 1997). Oggetti duri come attrezzi di pesca dismessi, lamiere di metallo e pezzi di plastica, in molti casi fungono anche da substrato per organismi incrostanti dannosi per la comunità di cnidari. Questo fenomeno, chiamato *biofouling* può essere causa di progressiva morte delle colonie di coralli che si trovano a contatto con il substrato di *marine litter* colonizzato. Idroidi, spugne e antozoi sono infatti i principali *taxa* incrostanti (Angiolillo et al., 2015) in grado di passare dalla colonizzazione di oggetti duri, poggiati sul fondale marino, a quella di uno degli organismi sessili che ne sono a contatto, propagandosi attraverso i substrati favorevoli alla loro proliferazione e portando alla morte degli organismi. Inoltre, la colonizzazione da parte di specie incrostanti può avvenire su oggetti fluttuanti che, trasportati dalle correnti marine, fungono da vettore di specie aliene. Questo fenomeno può avvenire sia in modo orizzontale, quando il trasporto avviene attraverso uno spostamento geografico che si compie alla stessa batimetria, che in modo verticale, quando la specie aliena viene trasportata da una profondità a un'altra attraverso la colonna d'acqua, causando la proliferazione in nuovi ambienti di specie aliene ad alta resilienza (Kiessling et al., 2015; Gregory et al., 2009)

Un altro aspetto di rilievo nell'ambito dei rifiuti antropici derivati dalle attività di pesca, è quello del *ghost fishing*. L'attrezzatura da pesca può essere perduta per motivi differenti: un uso inappropriato (un utilizzo su fondali inadatti allo specifico attrezzo); un'usura tale da portare alla rottura, a sua volta dovuta all'età o all'eccessivo utilizzo; a causa di un conflitto con un altro attrezzo che si può tradurre nella perdita dell'uno o di entrambi o infine per cause ambientali come tempeste, forti correnti ed eventi atmosferici che ne causano la perdita (NOAA; 2015). Questi attrezzi di pesca, anche una volta dismessi, possono preservare la loro funzione originaria, causando il depauperamento delle popolazioni di specie ittiche e di specie associate a quelle ittiche. Le specie target dei diversi attrezzi, come pesci, molluschi, crostacei di interesse commerciale sono frequenti nell'essere oggetto del *ghost fishing* (Uhrin, Matthew, and Lweis, 2014), tuttavia la problematica ricade anche su altre specie, non bersaglio della pesca e talvolta addirittura protette. Tartarughe marine, mammiferi marini e uccelli marini sono noti essere pesantemente minacciati dagli attrezzi di pesca abbandonati (NOAA; 2015). Sebbene sia molto difficile da stimare a livello globale, questa categoria di rifiuti rappresenta circa il 10% sul totale del *marine litter* (Macfadyen et al., 2009), valore in crescita, viste le nuove tecnologie di produzione degli strumenti di pesca che li rendono sempre più resistenti al deterioramento e conseguentemente più dannosi per l'ambiente.

#### 5.1.1.4 *Obiettivi*

Nonostante il progresso nell'indagine e la crescita di interesse degli anni recenti, la valutazione dello stato attuale dei rifiuti bentonici negli ambienti rocciosi rimane carente. In Sardegna, per questo tipo di fondali, risulta essere presente un solo studio (Angiolillo et al., 2015), relativo alle acque meridionali dell'isola. In questa parte del lavoro ci si prepone di aumentare le conoscenze circa l'impatto antropico in termini di *marine litter*, per quanto riguarda i fondali rocciosi ad elevata complessità geomorfologica delle acque sarde. La ricerca si svolge attraverso un'indagine descrittiva di zone di mare differenti dal punto di vista geomorfologico e distanti dal punto di vista spaziale. L'indagine, basata sull'analisi di immagini acquisite attraverso la metodica non invasiva del ROV, ha permesso di quantificare l'abbondanza, la distribuzione e la composizione dei rifiuti antropici presenti in 17 siti caratterizzati dalle due geomorfologie di canyon e *pinnacle*, valutando quali fattori siano causa dei differenti valori di accumulo. Tutte queste informazioni sono di supporto alla *Marine Strategy Framework Directory*, contribuiscono alla conoscenza dello stato della problematica per nuovi ambienti e risultano utili, oltre che per comparazioni future, anche per l'istituzione di azioni volte alla riduzione dell'impatto antropico attraverso adeguate misure gestionali.

## 5.2 MATERIALI E METODI

L'analisi della componente *marine litter* presente negli ambienti rocciosi delle acque sarde è stata effettuata durante la Campagna Astrea 2013, finalizzata all'indagine degli habitat coralligeni e all'esplorazione di banchi di corallo rosso (*Corallum rubrum*) tramite l'utilizzo ROV per l'acquisizione di immagini e filmati. La campagna, finanziata dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Cagliari, ha avuto luogo nell'agosto 2013 a bordo della motonave Astrea (I.S.P.R.A., Roma).

Sono stati utilizzati per l'analisi della componente *marine litter* 29 dei 33 dive effettuati nell'estate del 2013. Tutti i dive, distribuiti nelle acque della Sardegna Sudoccidentale, Settentrionale, Orientale e Nordorientale (Figura 5.1), hanno avuto una batimetria compresa tra i 140 e 460 m e sono stati caratterizzati dalle due principali geomorfologie del fondale: canyon e *pinnacle*.

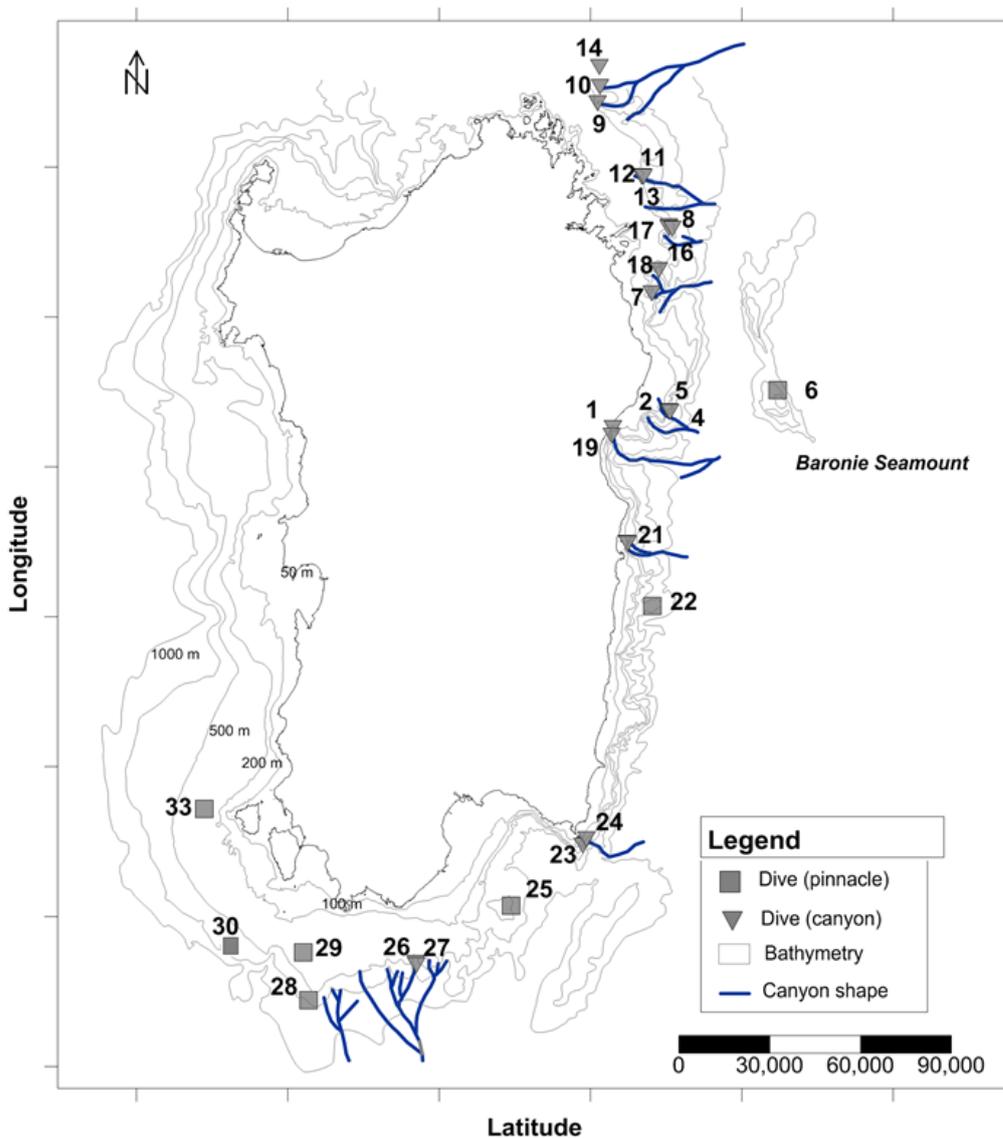


Figura 5.1. Rappresentazione geografica dei 29 dive utilizzati per l'analisi del *marine litter* tramite ROV durante la campagna ASTREA 2013.

### 5.2.1.1 Acquisizione dati

I dive sono stati raggruppati per vicinanza spaziale e similitudine geomorfologica del fondale in 17 siti. In ognuno dei siti investigati si è effettuata una mappatura del fondale attraverso l'utilizzo di un ecoscandaglio Multibeam (RESON SEABAT 8125). I risultati delle mappe di ogni sito hanno permesso di conoscere il tipo di conformazione geomorfologica del punto che si stava andando a

investigare per mezzo del ROV "Pollux III". Il ROV è stato equipaggiato con una telecamera digitale Nikon D80 (10 megapixel), una luce stroboscopica Nikon SB 400, una seconda videocamera ad alta definizione Sony HDS-HC7, un sensore per la profondità, una bussola e tre puntatori laser, impostati in modo tale da puntare a 10 cm di distanza l'uno dall'altro, utili per le misurazioni delle gorgonie e per il calcolo dell'area delle immagini. Il ROV ha viaggiato circa a 1.5 metri dal fondale, muovendosi a una velocità media di 0.5 miglia orarie. I diversi siti sono stati investigati con un numero di dive variabile da uno a tre. Ogni dive è stato filmato dall'inizio alla fine senza interruzioni e per ciascun filmato è stato ottenuto un fotogramma ogni 10 secondi attraverso il software video "DVD Video Soft". Non è stato tenuto conto dei fotogrammi sovrapposti tra loro, di quelli confusi, sfuocati e dunque non utili all'indagine. Attraverso il software CPCe (Kohler and Gill., 2006), utilizzando i puntatori laser del ROV, si è calcolata la superficie di ogni fotogramma in modo tale da ottenere la superficie investigata totale espressa in m<sup>2</sup>. La scelta di non standardizzare i valori di densità a un km<sup>2</sup>, come avvenuto per l'indagine effettuata tramite reti a strascico, è dovuta a un duplice motivo: da un lato si vogliono uniformare i risultati ottenuti in questo studio, con quelli di altri lavori di analisi effettuate tramite ROV presenti in bibliografia; dall'altro la superficie investigata non è tale da permettere una standardizzazione a km<sup>2</sup> che risulti realistica, in quanto i valori di densità risulterebbero troppo alti. I rifiuti rinvenuti, oltre a essere classificati secondo le stesse categorie del protocollo MEDITS (Capitolo 3.2), sono anche stati divisi nei due grandi gruppi sulla base della funzione a cui gli oggetti erano originariamente preposti: rifiuti legati alle attività di pesca e rifiuti legati ad ogni altro tipo di attività. Per i rifiuti derivati da attività di pesca, di cui hanno fatto parte reti, funi, nasse, e lenze, si è valutato l'effetto di *ghost fishing*

ovvero se gli attrezzi abbiano mantenuto la loro originale funzione di strumenti di cattura anche una volta dismessi e abbandonati sul fondale, espressa in termini di pesci, crostacei e molluschi superiori rinvenuti a contatto con gli attrezzi. La presenza di rifiuti è stata valutata sia come impact % (No fotogrammi presentanti *litter*/No fotogrammi totale\*100) sia in termini di densità totale e relativa per ciascuna categoria (No\*m<sup>-2</sup>).

Ciascun sito di indagine è stato inserito in una di tre categorie a seconda della vicinanza dalla costa: *Close*, (0-10 km dalla costa); *Intermediate*, (10-18 km dalla costa); *Far*, (oltre i 18 km dalla costa). Il fenomeno del *biofouling*, ovvero del livello di incrostazioni causate da organismi, è stato osservato dividendo i rifiuti in base al numero di *taxa* presenti su di essi. A livello *None* sono corrisposti rifiuti privi di incrostazioni, a livello *Intermediate* sono corrisposti rifiuti con un numero di *taxa* compreso tra 1-5 ed infine, a livello *Heavy*, sono corrisposti rifiuti con più di 5 *taxa* incrostanti.

### 5.2.1.2 *Analisi statistiche*

I dati di densità totale, assieme a quelli di densità relativa per ogni categoria e all'impact %, sono stati testati per la normalità attraverso il software PAST 2.17 (Hammer et al. 2001) (Anderson Darling test; p<0.001). La correlazione tra l'aumentare della profondità e la componente *marine litter* è stata analizzata tramite regressioni lineari e valutata attraverso il coefficiente di correlazione di Pearson. I dive sono stati separati nelle due categorie geomorfologiche di canyon e *pinnacle*, ciascuna delle quali è stata analizzata separatamente. Si è dunque

proceduto con due disegni uguali per i due tipi di substrato: dopo aver suddiviso i dive nelle tre categorie di distanza dalla costa, si è effettuata un'analisi multivariata della varianza permutazionale (PERMANOVA) che ha permesso di testare le differenze tra i tre tipi di siti nella composizione del *marine litter*, espressa come valori di densità totale, densità di ciascuna categoria e nell' impact %, basata su una matrice di distanza euclidea. Per ognuna delle variabili, laddove rinvenute differenze significative, si è proceduto con la comparazione di Pair-Wise. Le variazioni nella composizione tra i diversi tipi di siti sulla base della distanza dalla costa, sono state rappresentate attraverso l'analisi canonica delle coordinate principali (CAP). Per definire le categorie di rifiuti che maggiormente spiegano le differenze si è effettuata un'analisi SIMPER (*similarity percentage*) basata su una matrice Bray-Curtis e espressa in percentuale di dissimilarità dopo aver trasformato la matrice dati delle densità in una matrice presenza/assenza.

Le analisi: PERMANOVA, CAP e SIMPER sono state ottenute attraverso il software Primer 6+ (Plymouth Marine Laboratory).

## 5.3 RISULTATI

### 5.3.1 Risultati a livello globale

I 29 dive ROV hanno permesso di acquisire circa 48 ore di filmati dai quali sono stati ottenuti e analizzati un totale di 4201 fotogrammi. Dalla somma delle superfici di ogni singolo fotogramma è stato possibile ricavare una superficie complessiva investigata pari a 13023,1 m<sup>2</sup>. Le batimetrie dei dive hanno avuto un *range* compreso tra 140 e 460 m. Ciascuno dei siti investigati ha manifestato la presenza di rifiuti (Foc=100%), nessun sito e nessun dive sono risultati essere privi di impatto antropico. In totale sono stati registrati 234 oggetti. Il sito con un impact % più alto è risultato l'S1 (Dive 1, 19), il canyon di Orosei, nella costa Est (23,05%) mentre quello con il valore più basso è il *pinnacle* S14 (Dive 28), localizzato nella costa Sud Occidentale (1.15%) (Tabella 5.1)

**Tabella 5.1** Caratterizzazione di ciascuno dei 17 siti investigati in termini di numero di dive (No. Dive), geomorfologia, profondità, superficie (m<sup>2</sup>), numero di fotogrammi totale, numero di rifiuti rinvenuti e percentuale dei *frames* presentanti *marine litter* sul totale.

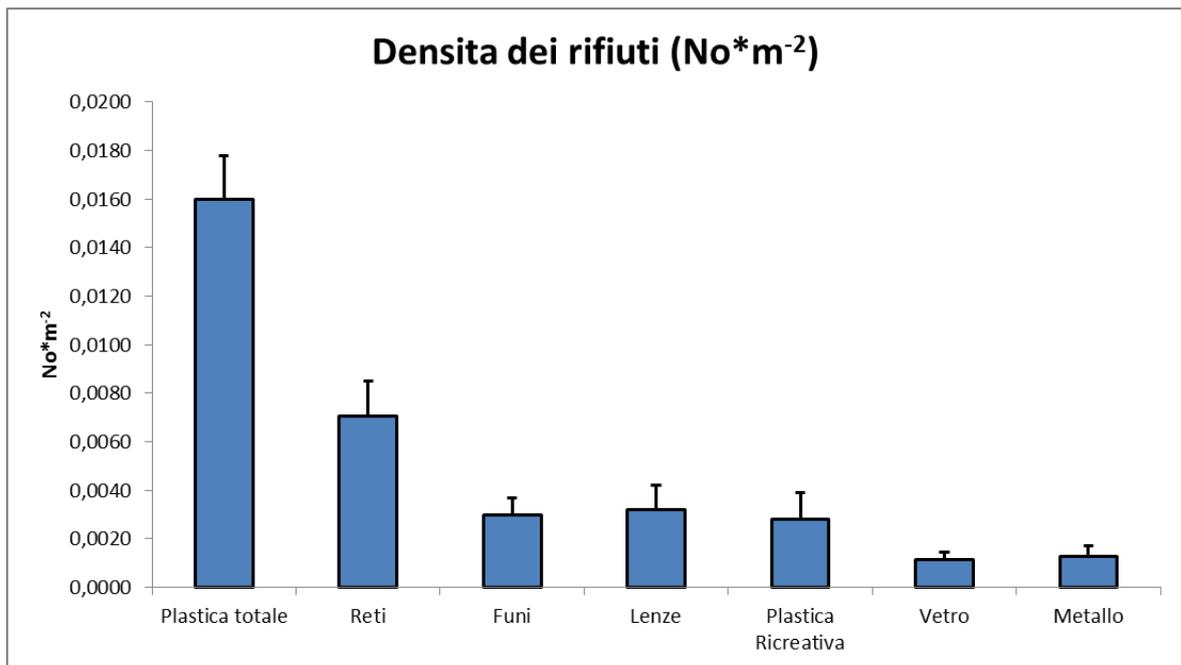
Sito	No. Dive	Codice	Geo	Profondità	m <sup>2</sup>	Frames	No.	Impact %
S1	2	1, 19	Canyon	215	914,5	295	28	23,05
S2	3	2, 4, 5	Canyon	145	1624,4	524	18	12,40
S3	1	6	Pinnacle	360	418,5	135	2	1,48
S4	1	7	Canyon	145	396,8	128	4	13,28
S5	3	8, 16 17	Canyon	290	1937,5	625	40	11,04
S6	3	9, 10, 14	Canyon	220	1751,5	565	20	6,55
S7	3	11 12 13	Canyon	145	1376,4	444	31	12,39
S8	1	18	Canyon	460	241,8	78	4	6,41
S9	2	20,21	Canyon	180	678,9	219	19	14,16
S10	1	22	Pinnacle	460	539,4	174	6	4,60
S11	2	23, 24	Canyon	180	895,9	289	19	10,73
S12	1	25	Pinnacle	210	279	90	3	4,44
S13	2	26, 27	Canyon	460	458,8	148	11	9,46
S14	1	28	Pinnacle	330	266,6	86	1	1,16
S15	1	29	Pinnacle	140	344,1	111	5	4,50
S16	1	30	Pinnacle	412	334,8	108	13	4,63
S17	1	33	Pinnacle	140	564,2	182	10	6,59
Tot	29				13023,1	4201	234	

### 5.3.1.1 *Analisi della densità*

Tabella 5.2 Per ciascuna categoria di *marine litter* sono mostrati di seguito i valori numerici complessivi e la densità media (No. oggetti / m<sup>2</sup>). ES=errore standard.

	No.	Densità media	ES
<b>Plastica totale</b>	206	0,0160	0,0018
<b>Reti</b>	98	0,0070	0,0014
<b>Funi</b>	38	0,0030	0,0007
<b>Lenze</b>	46	0,0032	0,0010
<b>Plastica Ricreativa</b>	24	0,0028	0,0011
<b>Vetro</b>	15	0,0011	0,0003
<b>Metallo</b>	13	0,0013	0,0005
<b>Tot</b>	234	0,0184	0,0019

Il *marine litter* ha avuto complessivamente una densità di 0.0184 oggetti/m<sup>2</sup> ( $\pm 0.0019$  ES=). Sul totale delle 9 categorie del protocollo MEDITS, sono stati rinvenuti solamente oggetti appartenenti a 3 di queste: plastica, vetro e metallo. A causa della sporadicità nei ritrovamenti di oggetti di plastica che non fossero relativi all'attività di pesca, si sono ottenuti dei valori di densità bassissimi delle categorie ricreative, per via dei quali si è scelto di raggruppare tutta la plastica non costituita da attrezzi di pesca in una categoria detta "plastica ricreativa". La categoria con valori di densità maggiori è stata quella delle reti (Tabella 5.2), seguita da lenze, funi e plastica ricreativa. Il vetro e il metallo sono state le categorie meno osservate (Figura 5.2).



**Figura 5.2. Valori di densità espresse in numero di rifiuti\*m<sup>-2</sup> per ciascuna categoria con barre di errore standard.**

Sulla totalità dei dive investigati, la relazione tra l'aumentare della profondità e il variare dei valori nelle differenti componenti del *marine litter*, investigata tramite regressione lineare (Figura 5.3 Tabella 5.3), non ha mostrato un andamento univoco. Se a livello grafico per i valori di densità totale e di impact % non si osserva nessun tipo di correlazione, confermata dalla non significatività statistica, troviamo invece un'inversa proporzionalità, al limite della significatività, per quanto riguardano gli attrezzi di pesca in termini di reti e funi. La plastica ricreativa, il vetro e il metallo mostrano un andamento inverso, rivelando questa volta un aumento significativo dei valori di densità con l'aumentare della batimetria.

**Tabella 5.3** Per ciascuna delle variabili sono indicati i valori di  $R^2$  dell'equazione lineare, R di Pearson, p value e la significatività statistica della correlazione tra il variare della profondità e dei valori di densità.

	$R^2$	R	p	
Densità totale	0,000203	0,014248	0,943	ns
Impact %	0,004122	0,064204	0,745	ns
Reti	0,138036	0,371532	0,052	ns
Funi	0,129817	0,360302	0,060	ns
Lenze	0,007318	0,085545	0,665	ns
Altra Plastica	0,367471	0,606193	0,001	*
Vetro	0,139443	0,373421	0,050	*
Metallo	0,325763	0,570756	0,002	*

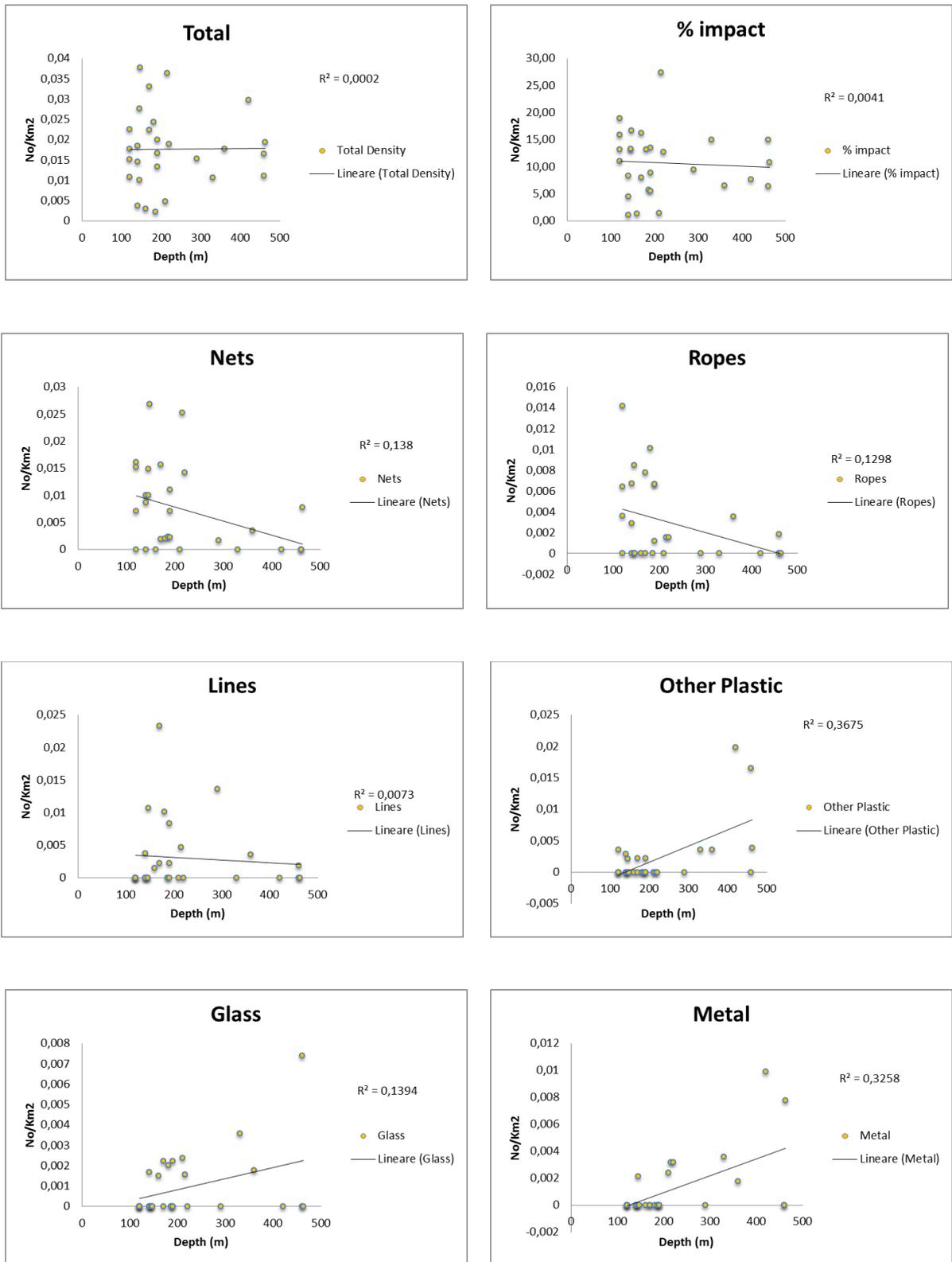


Figura 5.3. Regressioni lineari tra i i valori di densità totale, impact % e la densità di ciascuna categoria di *marine litter* osservata con l'aumentare della profondità.

## Categorie per utilizzo

Una volta suddivisi tutti gli oggetti rinvenuti nelle due grandi categorie di attrezzi di pesca (indicati come *professional objects* nel grafico) e oggetti di qualunque altra origine (indicati come *recreative objects* nel grafico), si è osservato il contributo percentuale di ciascuna di queste alla composizione totale del *marine litter* (Figura 5.4). Complessivamente la componente costituita da attrezzi di pesca ha mostrato valori di densità significativamente più alti (Kruskal-Wallis test,  $p=0.0003$ ) con 183 oggetti rispetto ai 51 di origine ricreativa.

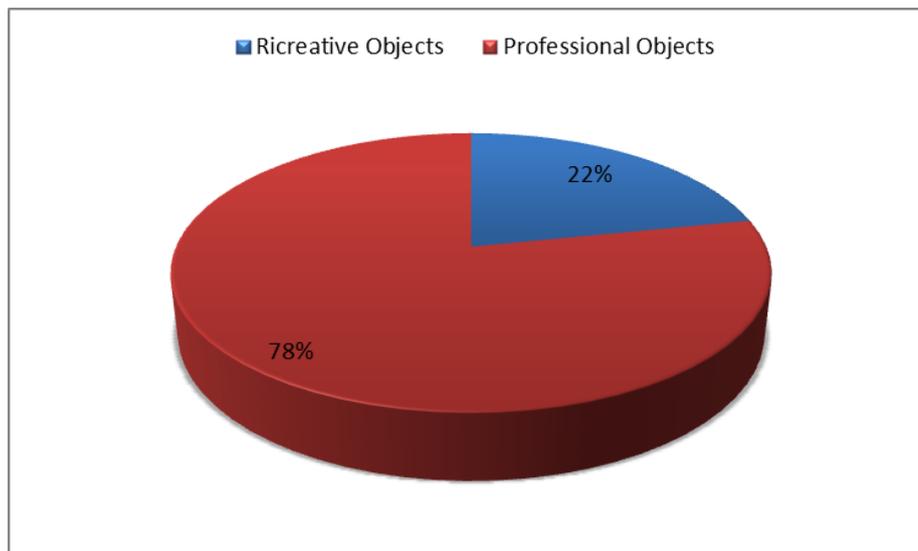
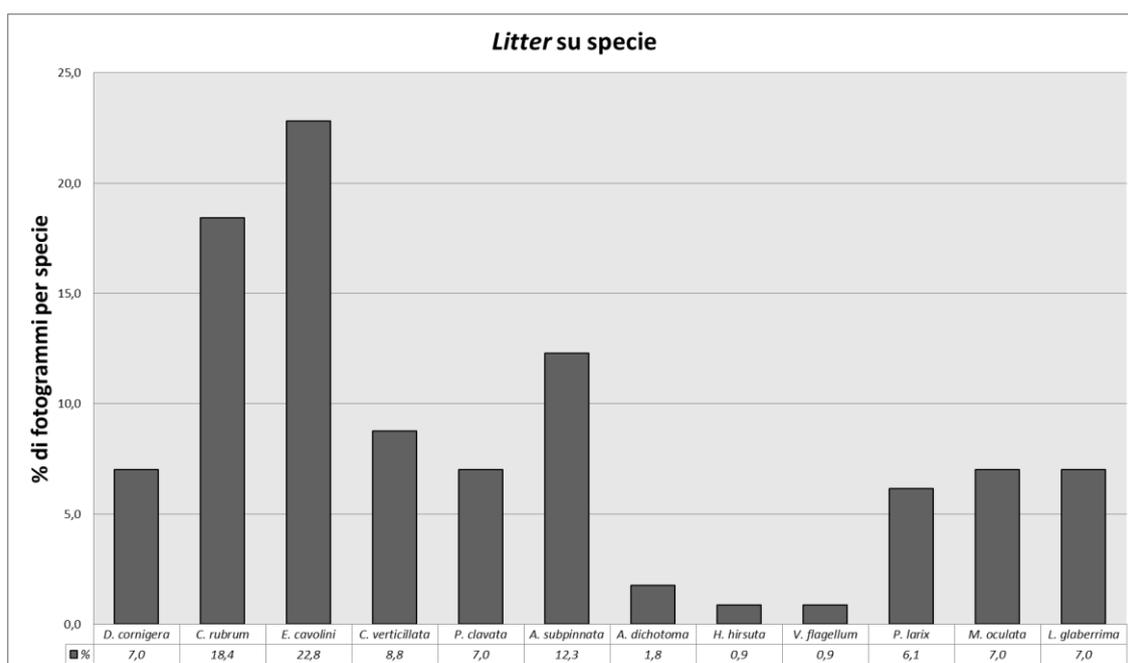


Figura 5.4 Percentuali dei rifiuti originati dalla pesca professionale e dei rifiuti di altra origine

### 5.3.1.2 Litter su cnidari

È stato valutato l'impatto da oggetti di origine antropica sulla componente sessile dei cnidari presenti nei siti investigati. Su un totale di 429 fotogrammi contenenti rifiuti, 114 li mostrano a contatto con specie sessili di cnidari (26,57%). Nella figura (5.5) sono mostrati i valori in percentuale delle specie impattate sul totale dei 114 fotogrammi. Tra i gorgonacei il *Corallum rubrum*, *Eunicella cavolinii* e *Callogorgia verticillata* sono risultate colonie che hanno rivelato i valori percentuali più alti di impatto da parte del litter. Tra i coralli neri spiccano i valori di *Antipathella subpinnata*.



**Figura 5.5** Livello di impatto per ciascuna specie di cnidari rinvenuta a contatto con oggetti di derivazione antropica. Si fa riferimento al valore percentuale di ogni specie sul numero totale di oggetti che è risultato trovarsi adeso sulle di cnidari.

### 5.3.1.3 *Ghost fishing*

L'effetto del *ghost fishing*, ovvero il perpetuarsi del ruolo di strumenti di cattura per specie ittiche, anche una volta perduti, abbandonati o incagliati sul fondale, da parte dei vari attrezzi di pesca, non è stato osservato ad eccezione di un caso isolato (Figura 5.6). Un unico esemplare di aragosta rossa (*Palinurus elephas*) è stato rinvenuto tra le maglie in un tramaglio incagliato nella costa orientale della Sardegna, nell'S1 (Dive 2, 3, 5). Il resto della comunità, costituita dalle specie ittiche di interesse commerciale invece, pur venendo rinvenuta in numerose occasioni a stretto contatto con oggetti di origine antropica, non ha mostrato di risentire in maniera diretta (Allegato 2).



Figura 5.6 Esemplare di *P. elephas* catturato da un tramaglio incagliato sul fondale.

### 5.3.1.4 Biofouling

Sul totale di 234 oggetti di *marine litter* rinvenuti, il 64% (152 rifiuti) ha mostrato alti livelli di incrostazione, con più di 5 *taxa* incrostanti presenti. Il 28% (66 rifiuti) ha mostrato livelli intermedi e solo il 7% (16 rifiuti) non è risultato essere il substrato per nessuna specie (Figura 5.7).

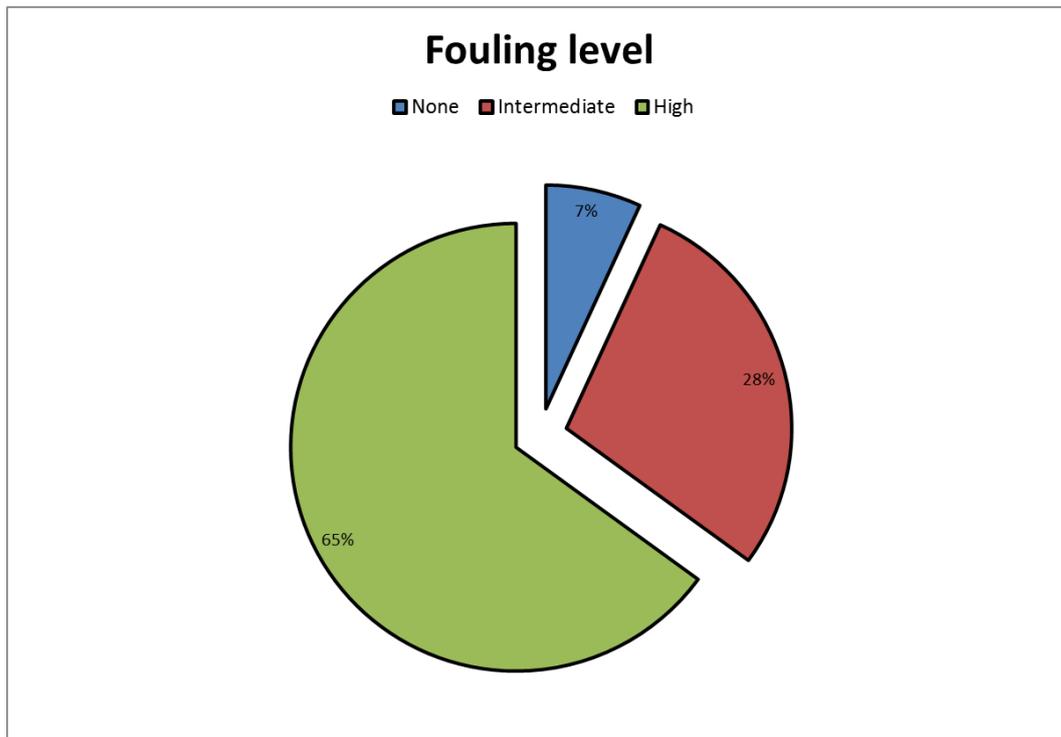


Figura 5.7 Rappresentazione a torta della composizione dei rifiuti in base al livello di *biofouling*.

## 5.3.2 Canyon

Tabella 5.4 Caratterizzazione di ciascun canyon investigato con i valori di densità per le categorie di *marine litter*. No=numero di dive; Prof=profondità, Impact %= No. fotogrammi impattati/Fotogrammi totali\*100.

Sito	No.	Prof.	Impact %	Densità (No*m <sup>-2</sup> )							
				Totale	Plastica tot	Plastica				Vetro	Metallo
						Reti	Funi	Lenze	Altra Plastica		
S1	2	215	23,1	0,0306	0,0273	0,0175	0,0055	0,0033	0,0011	0,0011	0,0022
S2	3	145	12,4	0,0111	0,0111	0,0105	0,0006	0	0	0	0
S4	1	145	13,3	0,0101	0,0101	0	0	0,0101	0	0	0
S5	3	290	11	0,0206	0,0206	0,0041	0,0026	0,0139	0	0	0
S6	3	220	6,5	0,0114	0,0097	0,0057	0,0023	0,0011	0,0006	0,0006	0,0011
S7	3	145	12,4	0,0225	0,0211	0,0131	0,0073	0	0,0007	0,0007	0,0007
S8	1	460	6,4	0,0165	0,0165	0	0	0	0	0,0165	0
S9	2	180	14,2	0,028	0,0265	0,0088	0,0074	0,0103	0	0,0015	0
S11	2	180	10,7	0,0212	0,019	0,0134	0,0033	0,0011	0,0011	0,0022	0
S13	2	460	9,5	0,024	0,0153	0,0044	0	0	0,0109	0	0,0087
Media			11,8	0,0207	0,0186	0,0086	0,0032	0,0033	0,0016	0,0025	0,0014

I canyon investigati hanno avuto una densità media complessiva di 0.0207 oggetti per m<sup>-2</sup> (Tabella 5.4). Come per l'andamento globale della densità dei rifiuti, anche per i soli canyon la plastica è risultata essere la principale componente (0.0186 oggetti per m<sup>-2</sup>), i dive sono stati divisi nelle tre categorie ricavate in base alla distanza dalla costa (*Far, Intermediate, Close*). L'analisi multivariata della PERMANOVA ha mostrato a livello globale delle differenze statisticamente significative (p=0.032). La PERMANOVA univariata invece ha messo in evidenza come solamente la densità del metallo abbia avuto una significativa differenza al variare della distanza dalla costa (Tabella 5.5). Nonostante il global test non abbia dato una significatività in tutti i rimanenti casi, forzando l'analisi con il Pair Wise Comparison Test, si osservano delle differenze. Queste differenze però si limitano ad essere significative tra la parte più lontana e quella più vicina dalla costa nel caso dell'impact % e della plastica totale, mentre per il vetro e il metallo si mostrano solo tra i dive intermedi e quelli più vicini.

**Tabella 5.5 Risultati dell'analisi univariata della PERMANOVA per le differenze tra i canyon e tra i pinnacle sulla base della loro distanza dalla costa. Ns= non significativo; C=close; I=intermediate; F=far**

	Geo	DF	MS	Pseudo-F	P(MC)	Pair-wise	
Impact %	Canyon	2	2,7838	3,6525	0,052	ns	C>F
	Pinnacle	1	0,39302	0,34124	0,616	ns	
Densità totale	Canyon	2	1,6017	1,7415	0,185	ns	
	Pinnacle	1	0,58161	0,52653	0,515	ns	
Plastica	Canyon	2	2,2937	2,7717	0,101	ns	C>F
	Pinnacle	1	0,49368	0,43821	0,555	ns	
Reti	Canyon	2	1,9814	2,2797	0,135	ns	
	Pinnacle	1	1,2661	1,3563	0,345	ns	
Funi	Canyon	2	0,85929	0,84347	0,458	ns	
	Pinnacle	1	1,1485	1,1927	0,327	ns	
Lenze	Canyon	2	0,50214	0,47088	0,651	ns	
	Pinnacle	1	0,33276	0,28519	0,646	ns	
Altra plastica	Canyon	2	2,5317	3,1815	0,074	ns	
	Pinnacle	1	4,23E-02	3,41E-02	0,847	ns	
Vetro	Canyon	2	2,7631	3,6122	0,053	ns	I<C
	Pinnacle	1	6,9403	0,72941	0,558	ns	
Metallo	Canyon	2	3,0201	4,1334	0,042	*	I<F
	Pinnacle	1	2,1373	2,9865	0,157	ns	

Seppur non statisticamente significative, le differenze nel valore medio di impact % tra i canyon, si osservano graficamente mostrando degli abbassamenti dei valori con l'allontanarsi dalla costa (Figura 5.8). Lo stesso si osserva per le densità di tutte le categorie di rifiuti facenti parte degli attrezzi di pesca (Reti, Corde e Lenze). Anche gli oggetti di vetro mostrano valori più alti nei siti più prossimi alla terra, mentre la plastica di tipo ricreativo e il metallo aumentano, significativamente nell'ultimo caso, la loro densità nei canyon più lontani dalla linea di terra.

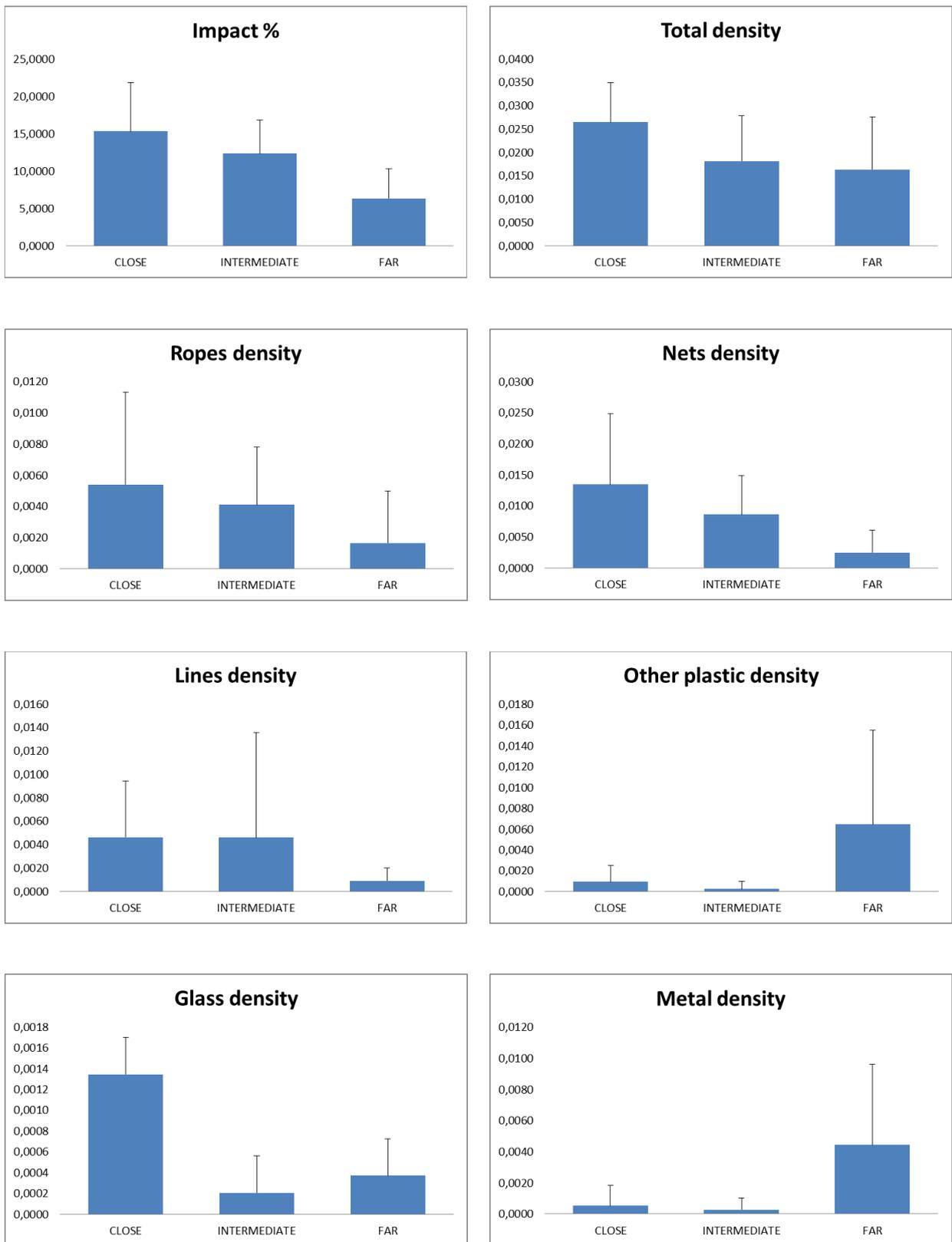
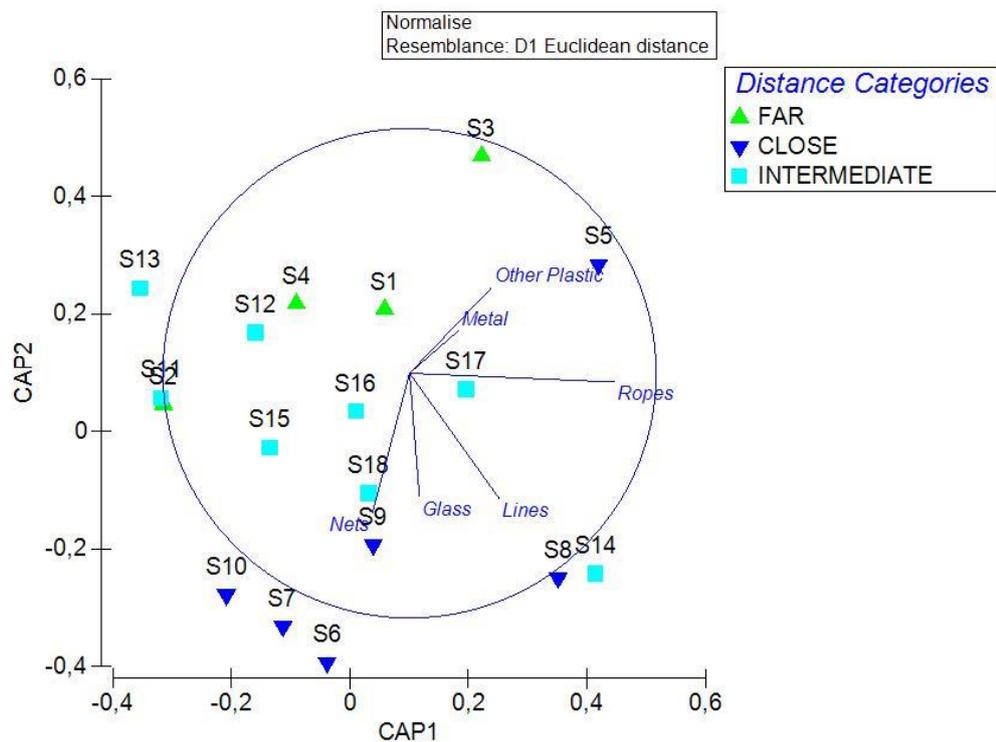


Figura 5.8 Variazioni delle componenti del *marine litter* nelle tre categorie di canyon ottenute in base distanza dalla costa. Sono riportati nei grafici i valori medi per ciascun fattore  $\pm$  errore standard

Nonostante la grande variabilità all'interno del *dataset* e la mancanza di una forte significatività statistica nelle differenze tra i canyon, osservando la

distribuzione delle similarità attraverso la CAP, si notano diversi *pattern* (Figura 5.9). Queste segregazioni anche se non così ben definite, mostrano un aumento degli elementi associati alla pesca nelle stazioni più vicine alla costa. La categoria delle reti da pesca separa, nel grafico, in maniera evidente i dive *Close* e gli *Intermediate* dai dive *Far*. Aumento dei valori di altra plastica e metallo sono caratteristiche distintive degli ambienti *Far*.



**Figura 5.9. Rappresentazione grafica delle distribuzioni di similarità tramite CAP.**

L'analisi SIMPER effettuata su un dataset trasformato in tipo presenza/assenza ha mostrato come i fattori considerati abbiano contribuito a diversificare la componente dei tre tipi di canyon (Tabella 5.6). L'analisi ha messo in evidenza come tra gli ambienti vicini alla costa e quelli lontani il maggiore contributo per la dissimilarità sia dato dagli attrezzi di pesca per quanto riguarda le funi (18.09%), maggiormente presenti negli ambienti *inshore*, e dalla categoria della plastica ricreativa (17.44%) caratterizzante degli ambienti *offshore*. La plastica

ricreativa è sempre la categoria che maggiormente contribuisce alle differenze tra i siti *Far* e quelli *Intermediate* (21.58%), mentre le lenze (23.57%) e il vetro (23.57%) sono i fattori importanti per la caratterizzazione rispettivamente dei canyon di categoria *Close* e *Intermediate* (Figura 10).

**Tabella 5.6. Risultati dell'analisi SIMPER sulla composizione del *litter* tra i tre tipi di canyon.**

Contrast	Dissimilarity (%)	Categoria	Contrib. (%)	Cum. %
FAR vs CLOSE	56,31	R	18,09	18,09
		Altra plastic	17,44	35,53
		Vetri	16,7	52,23
		Reti	16,42	68,65
		Metallo	15,83	84,49
		Lenze	15,51	100
FAR vs INTERMEDIATE	66,66	Altra plastica	21,58	21,58
		Reti	18,6	40,17
		Funi	16,77	56,94
		Metallo	16,6	73,54
		Lenze	15,71	89,25
		Vetro	10,75	100
CLOSE vs INTERMEDIATE	46,02	Lenze	23,57	23,57
		Vetro	23,28	46,86
		Funi	20,24	67,09
		Altra plastica	16,06	83,15
		Reti	8,98	92,13

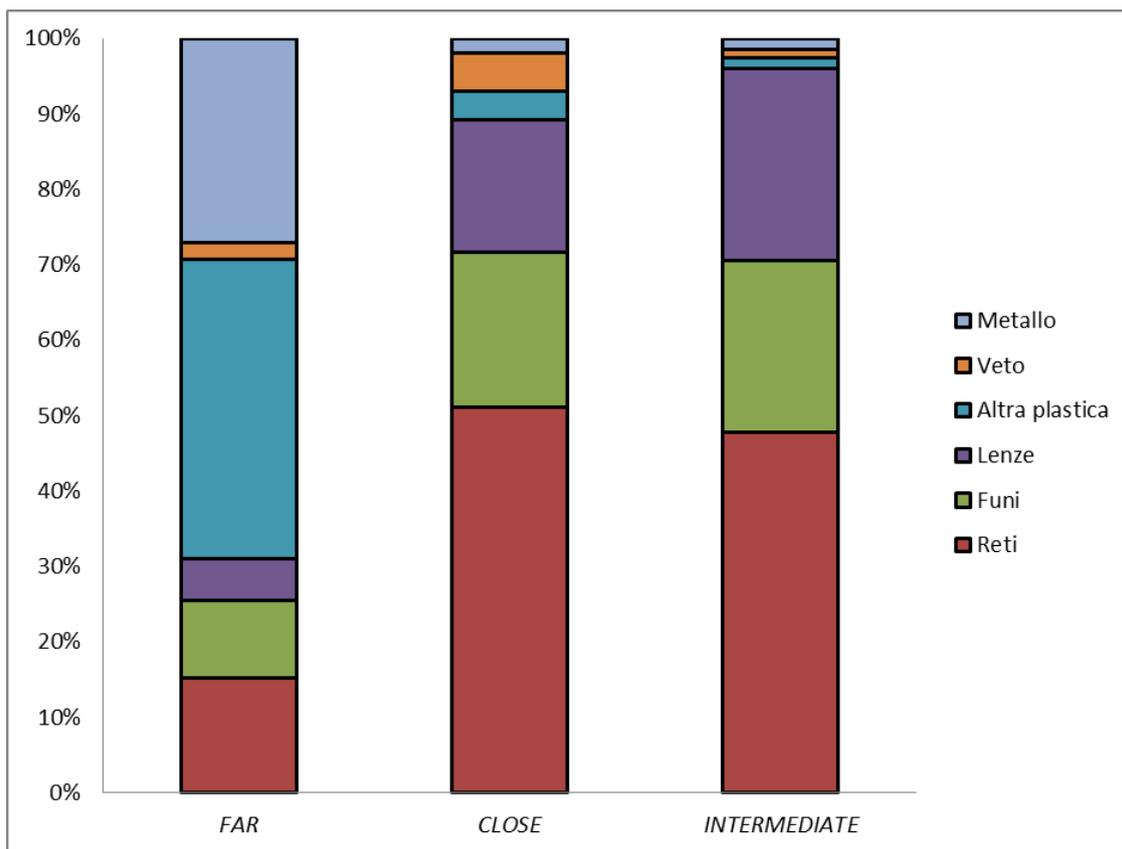


Figura 5.10 Composizione del *marine litter* nei canyon suddivisi per i tre diversi livelli di vicinanza dalla costa

### 5.3.3 Pinnacle

Tabella 5.7 Caratterizzazione di ciascun *pinnacle* in base al numero di dive, profondità, densità totale (No per m<sup>-2</sup>), Impact % (Fotogrammi impattati/Fotogrammi totali\*100) e densità di ciascuna categoria di rifiuto (No per m<sup>-2</sup>)

Sito	No.	Prof.	Impact %	Densità (No*m <sup>-2</sup> )							
				Totale	Plastica tot	Plastica				Vetro	Metallo
						Reti	Funi	Lenze	Altra plastica		
S3	1	360	1,4815	0,0048	0	0	0	0	0	0,0024	0,0024
S10	1	460	4,5977	0,0111	0,0037	0	0,0019	0,0019	0	0,0074	0
S12	1	210	4,4444	0,0108	0,0036	0	0	0	0,0036	0,0036	0,0036
S14	1	330	1,1628	0,0038	0,0038	0	0	0,0038	0	0	0
S15	1	140	4,5045	0,0145	0,0145	0,0087	0,0029	0	0,0029	0	0
S17	1	140	6,5934	0,0177	0,0142	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0018	0,0018
Media			3,7974	0,0104	0,0066	0,002	0,0014	0,0015	0,0017	0,0025	0,0013

All'interno dei *pinnacle* studiati è emerso un valore di densità medio pari a 0.0104 oggetti/m<sup>2</sup>, con la componente costituita dalla categoria "plastica totale"

che ha mostrato valori nettamente superiori rispetto a quelli delle altre categorie (Tabella 5.7).

Durante la campagna ASTREA 2013, non sono stati investigati *pinnacle* a una distanza dalla costa inferiore ai 10 km. Questo non ne ha permesso la categorizzazione secondo i tre livelli (come fatto per i canyon), limitando la distinzione in *pinnacle* a distanza elevata (*Far*) e a distanza intermedia (*Intermediate*). L'analisi multivariata della PERMANOVA ha dato un valore non significativo di differenza tra i *pinnacle* ( $p=0.052$ ). L'indagine univariata su ognuna delle componenti del *marine litter* ha mostrato i valori di significatività presenti nella Tabella (5.5), mettendo in evidenza la mancanza di differenze tra i dive *inshore* e quelli *offshore*.

Analogamente a quanto osservato per i canyon, si osservano (Figura 5.11) delle diminuzioni, anche se non significative, dei valori di impact % e delle componenti dei rifiuti derivati dall'attività di pesca professionale. Il metallo e la plastica ricreativa, al contrario, mostrano valori di densità più elevati con l'aumento della distanza dalla costa.

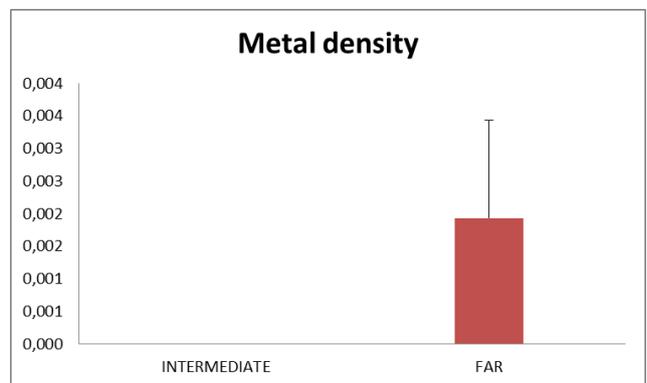
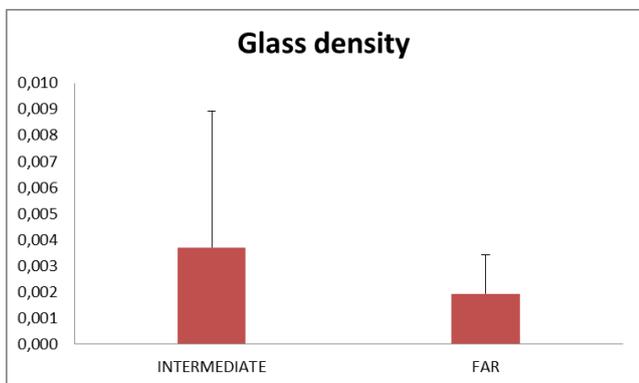
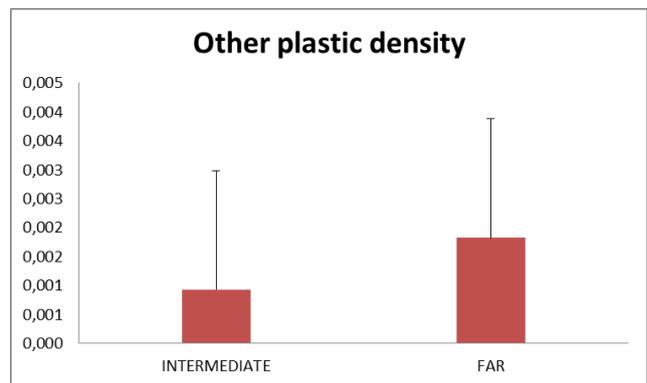
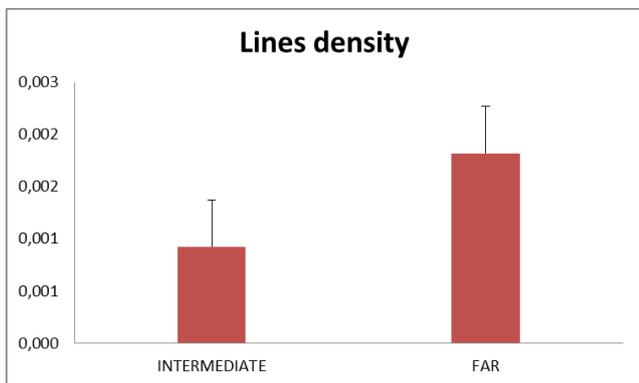
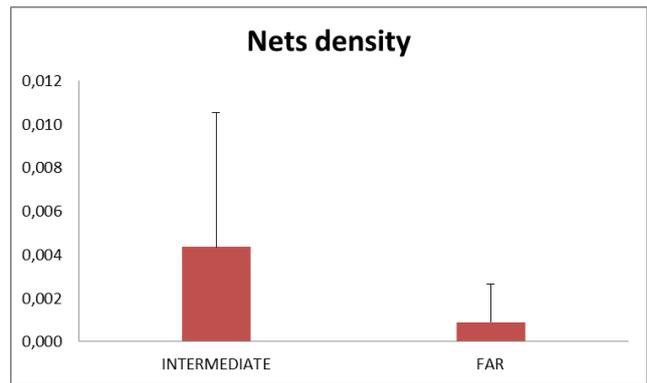
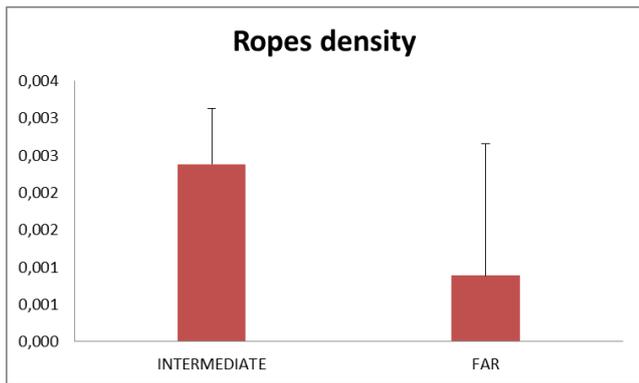
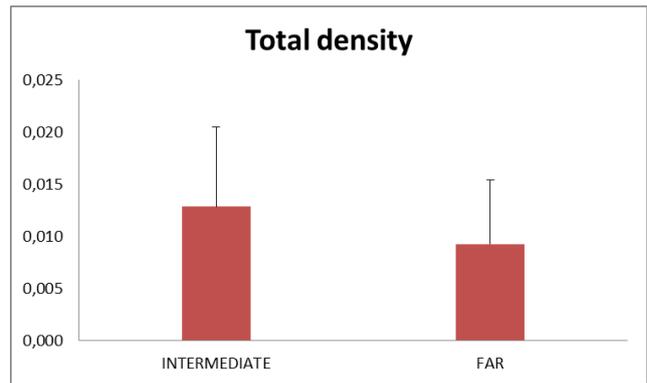
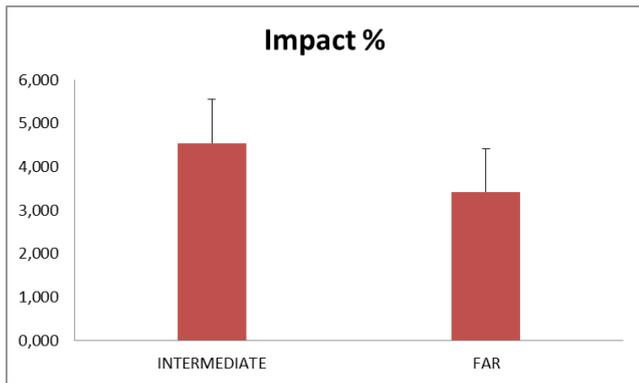


Figura 5.11 Variazioni delle componenti del *marine litter* nelle due categorie di *pinnacle* ottenute in base distanza dalla costa. Sono riportati nei grafici i valori medi per ciascun fattore  $\pm$  errore standard.

La distribuzione delle dissimilarità fa vedere come la categoria dell'altra plastica, il metallo e il vetro siano la causa delle differenze tra i due tipi di *pinnacle*. Ancora una volta va ricordato che la grande variabilità del dato si è tradotta in una mancanza di differenze statisticamente significative a livello globale, ma che dall'interpretazione del grafico (Figura 5.12), mostra un trend delle tipologie di *marine litter* ricreativo, rivolto verso gli ambienti più lontani dalla costa, mentre gli attrezzi di pesca (Lenze, Reti e Funi) vengono osservate negli ambienti relativamente più vicini alla costa.

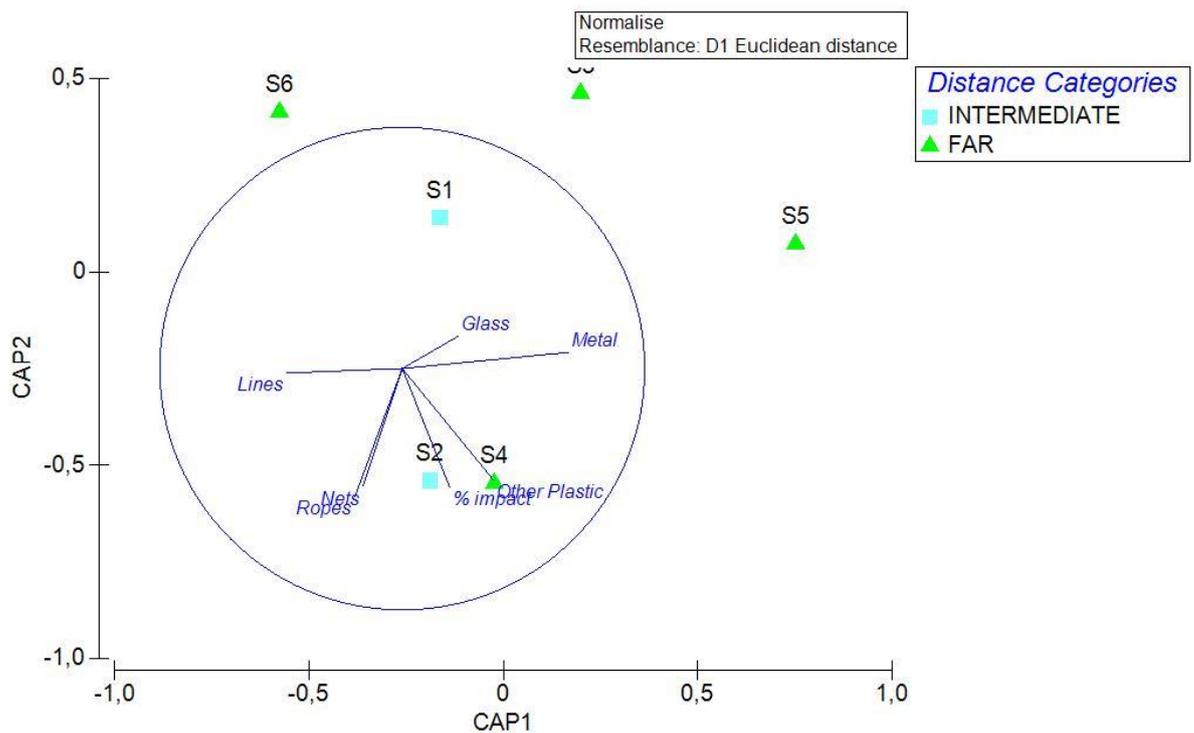


Figura 5.12 Rappresentazione grafica delle distribuzioni di similarità tramite CAP.

## 5.4 DISCUSSIONE

L'inquinamento da rifiuti è un tema di crescente interesse per la comunità scientifica, che a partire da prime indagini, effettuate nelle aree costiere e meno profonde, è riuscita grazie allo sviluppo della tecnologia investigativa, a poter conoscere lo stato della problematica anche delle zone più remote dell'ambiente marino. Attraverso la moderna e non invasiva tecnica dell'analisi di immagine, abbiamo potuto ampliare le informazioni sull'importante porzione di mare che consiste nei canyon e nei *pinnacle* della Sardegna meridionale e orientale.

L'osservazione dei filmati acquisiti durante la campagna ASTREA 2013 ha rivelato che tutte le aree investigate tramite ROV, seppur con significative differenze nei valori di densità e di composizione tra l'una e l'altra, mostrano al loro interno la presenza dell'impatto umano nei termini del *marine litter*. L'analisi della densità media evidenzia un valore ( $0.018 \pm 0.001$  oggetti per  $m^{-2}$ ) molto simile a quanto riportato per i canyon di S. Vincente (Oliveira et al., 2015;  $0.017 \pm 0.014$  oggetti per  $m^{-2}$ ) e per quelli di Nazarè (Mordecai et al., 2011; 0.013 oggetti per  $m^{-2}$ ) nelle acque portoghesi, entrambi investigati tramite utilizzo di ROV. Il confronto con le altre regioni italiane di Sicilia e Campania, investigate da Angiolillo et al., (2015) assieme a una limitata zona della Sardegna Meridionale, avvalorata la teoria per cui la quantità di rifiuti marini aumenti di pari passo con la densità della popolazione umana (Bauer et al., 2008). Infatti, anche se il valore di densità dei rifiuti riportato da Angiolillo (0.03 oggetti per  $m^{-2}$ ) per le acque della Sardegna meridionale risulta maggiore rispetto a quello osservato complessivamente in questo studio, si è concordi nell'affermare che ci si trovi di gran lunga al di sotto dei valori osservati

nelle ben più popolate regioni di Sicilia e Campania (0.09 oggetti per m<sup>-2</sup>; 0.12 oggetti per m<sup>-2</sup> rispettivamente).

In bibliografia si riporta che due tra i principali fattori discriminanti per l'accumulo di rifiuti siano la geomorfologia del fondale e le correnti marine (Galgani et al., 1996; Schlining et al., 2013). In questo lavoro, per l'appunto, abbiamo osservato valori di densità nettamente diversi tra le secche sottomarine (*pinnacle*) e i canyon. Se i *pinnacle* costituiscono una barriera per i rifiuti all'interno delle pianure che li circondano, fungendo da ostacolo davanti al quale questi oggetti si bloccano e sedimentano, i canyon sono delle strutture con un idrodinamismo molto più elevato, in grado di generare delle correnti discensionali che fungono da trasporto per il sedimento, ma anche per gli oggetti più leggeri come i rifiuti di piccole dimensioni. Il risultato è infatti che i canyon sardi mostrano un valore medio di densità di rifiuti superiore ai *pinnacle* (Canyon, 0.0207 oggetti per m<sup>-2</sup>; *pinnacle*, 0.0104 oggetti per m<sup>-2</sup>).

Il decrescere della quantità di *marine litter* con l'aumentare della profondità, osservato in alcuni lavori bibliografici (Stefatos et al., 1999; Katsanevakis and Katsarou, 2004; Koutsodendris et al., 2008; Strafella et al., 2015), non trova riscontro con la nostra analisi. Complessivamente, i presenti risultati basati sulla totalità degli oggetti e sull'impact %, non mostrano alcuna correlazione con il crescere dei valori della batimetria. Vengono messe piuttosto in evidenza differenti tendenze a seconda della specifica categoria di rifiuti analizzata. Tutte le categorie di rifiuti derivate da attività di pesca (Reti, funi e lenze), in questo studio hanno mostrato una tendenza, seppur non significativa, a diminuire nei valori di densità con l'aumentare della profondità. Al contrario invece le categorie costituite dalla

plastica ricreativa, dal vetro e dal metallo hanno dei significativi aumenti nelle concentrazioni alle profondità più elevate. Parlando del *marine litter* derivato da attività professionali di pesca, possiamo spiegare il decrescere della densità con l'aumentare della profondità attraverso il fatto che la pesca sui fondali rocciosi si concentri prevalentemente entro il limite della platea continentale, con una conseguente elevata probabilità che gli attrezzi di pesca possano rimanere incagliati in questo tipo di fondali (Watters et al., 2010). Questa attrezzatura infatti, una volta dismessa e bloccata dalla forte geomorfologia del fondale, tendenzialmente non subirà l'effetto di trasporto delle correnti e dei moti idrodinamici, rimanendo stabile nello stesso punto di incaglio. Al contrario, il trasporto da un punto all'altro del fondale è proprio quanto accade agli oggetti leggeri come la plastica di origine ricreativa. Questa categoria infatti, mostra un aumento dei propri valori di densità al crescere della profondità, imputabile al fatto che gli oggetti di dimensioni più piccole sono noti essere trasportati per lunghe distanze, dalle correnti e dal moto delle onde, a causa della propria leggerezza (Barnes et al., 2009) e superficie liscia e non particolarmente complessa (basti pensare alle bottiglie, piatti e agli incarti di cibo), tale da non causarne un incagliamento senza via d'uscita, come invece è probabile succeda per reti, lenze e attrezzi di pesca in generale. L'aumento della densità di plastica ricreativa con il crescere della profondità è dovuto probabilmente alle correnti sottomarine e alle proprietà dei canyon. Questi, attraverso le spaccature solcano la scarpata continentale, fungono da trasportatori di sostanza organica ricca di sedimento verso gli ambienti più profondi, trasportando anche i rifiuti più leggeri. Per tali motivi, anche nel presente lavoro, la categoria costituita dalla plastica leggera è la principale componente dei siti più profondi e lontani dalla costa. L'altra motivazione per cui i rifiuti non facenti parte dei derivati dall'attività di

pesca, ovvero il vetro e il metallo, mostrino una significativa crescita dei propri valori di densità con l'aumentare della profondità, può essere imputata al traffico navale sia di tipo commerciale che ricreativo che ospita queste zone di mare. È noto come una grande quantità di rifiuti presente nell'ambiente marino, derivi infatti da attività legate al mare stesso, in particolare allo scarico da parte delle imbarcazioni nei tratti di mare lontani dalla costa (Dixon and Dixon, 1983; Galgani et al., 1995). Le acque della Sardegna, con i numerosi porti che la caratterizzano, risultano quindi potenzialmente molto esposte all'impatto dato dalle navi e imbarcazioni che vi transitano, spiegando ulteriormente la distinzione nella distribuzione dei rifiuti osservata, caratterizzata dalla presenza di rifiuti pesanti e di origine ricreativa con maggiore densità nelle zone più lontane dalla costa.

Complessivamente la plastica costituisce l'88% della componente numerica totale dei rifiuti osservati. Il vetro e il metallo hanno rivestito ciascuno il restante 6% del totale. Il dato relativo alla plastica è conforme con quanto documentato in diversi studi effettuati nel bacino mediterraneo, dove questa categoria risulta sempre essere di gran lunga predominante sulle altre (Law et al., 2010; Mordecai et al., 2011; Galgani et al., 2000; Galil et al., 1995). Tuttavia la composizione del *marine litter* è molto varia a seconda della zona, ma anche a seconda dello strumento di indagine utilizzato (Watters et al., 2010). Contrariamente a quanto osservato dagli studi effettuati tramite reti strascico (incluso il Capitolo 4 della presente tesi), dove vediamo una forte componente della plastica rinvenuta, costituita da oggetti di origine ricreativa (buste, fogli, bicchieri, incarti di cibo) (Strafella et al., 2015; Misfud et al., 2013; Capitolo 4), in questa indagine mediata da ROV, il 78% dei rifiuti totali è appartenuto a oggetti di plastica derivati da attività di pesca. Le categorie con i

valori più alti di densità sono state rispettivamente a reti, lenze e funi (0.007; 0.002; 0.0029) seguite dalla plastica ricreativa (0.0028). Il metallo e il vetro (0.0013; 0.0011), oggetti considerati di origine ricreativa, hanno riscontrato i valori di densità più bassi. Dati simili si trovano in numerosi altri lavori effettuati con questa metodica d'indagine sia per quanto riguarda i banchi rocciosi del Mar Mediterraneo nel suo bacino Tirrenico (Bo et al.; 2014), così come per gli oceani Atlantico (Mordecai et al., 2011) e Pacifico (Waters et al., 2010). L'elevata superficie sfruttabile per la pesca delle acque sarde (Cau et al.; 1994) ha probabilmente causato nel corso dei decenni un accumulo degli attrezzi incagliati che, visti i tempi di biodegradazione estremamente lunghi (Bianchi et al., 2004) continuano a risultare come la componente principale all'interno dei fondali rocciosi, costituendo una minaccia a lungo termine per questi ambienti

I fondali indagati durante questo studio rappresentano l'habitat per numerose specie di elevato valore ecologico e commerciale. Tra le varie specie ittiche rinvenute durante i transetti del ROV (*Palinurus elephas*, *Polyprion americanus*, *Phycis phycis*, *Scorpena scropha*, *Elicolenus dactylopterus*, *Mola mola*, *Hexancus griseus*, *Pleisionicha spp.*) si è osservato un solo caso di *ghost fishing* che corrisponde ad un individuo di aragosta rossa (*Palinurus elephas*) rimasto impigliato in un tramaglio dismesso. La rete, seppur incagliata è risultata essere ancora attiva nella sua funzione di attrezzo di cattura. Questo risultato, che mette in evidenza per gli ambienti indagati un basso livello degli effetti del *ghost fishing* sulle specie ittiche, è spiegabile se si nota che per gli attrezzi di pesca rinvenuti, i maggiori valori di densità sono stati osservati per la categoria delle lenze e delle funi, entrambe tipologie di attrezzi che una volta dismessi, perdono la loro funzione di pesca, a

differenza delle reti e delle nasse (Brown and Macfadyen, 2007). Quest'ultima tipologia di strumenti di pesca addirittura, non è mai stata rinvenuta durante questo studio, venendo solitamente utilizzate a batimetrie minori e in ambienti più costieri.

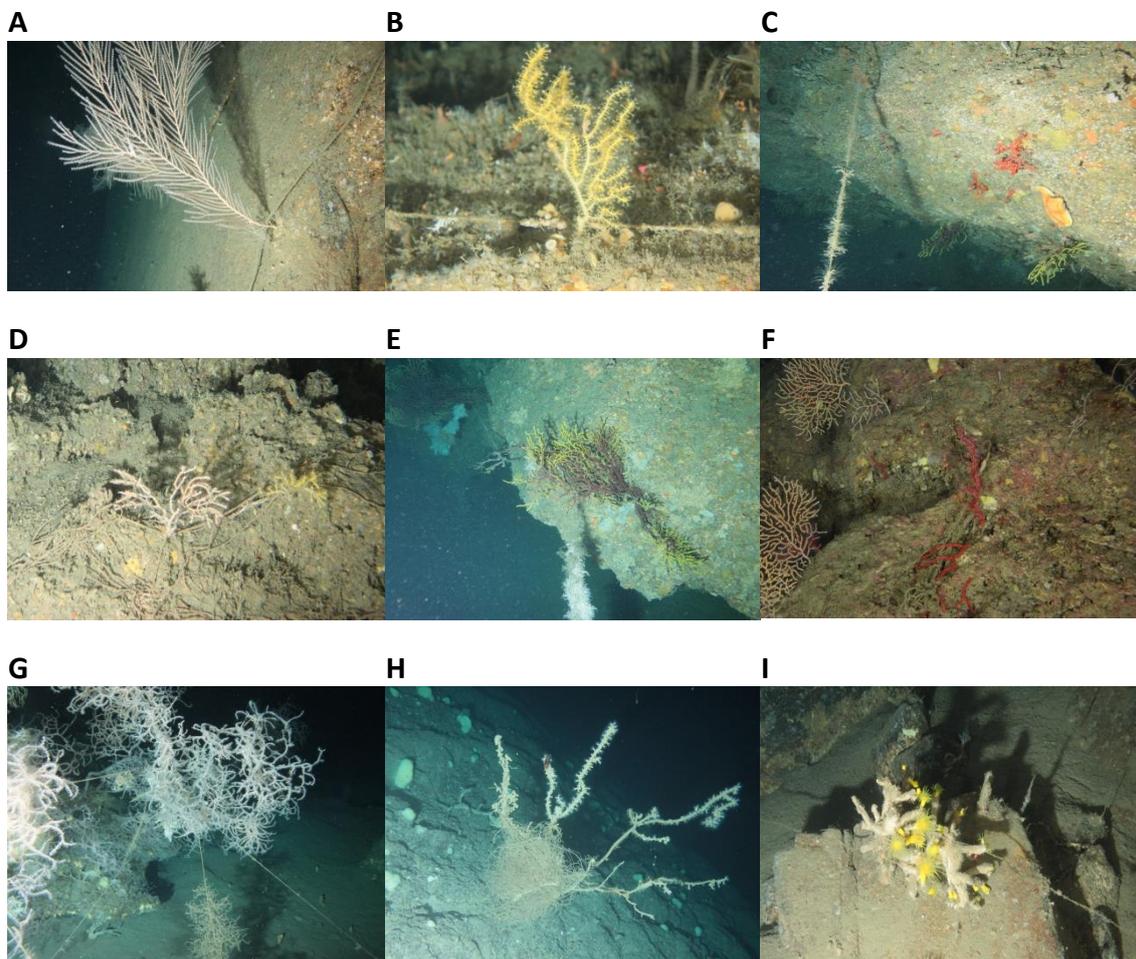
L'impatto di tutti questi attrezzi è però una minaccia maggiore per la componente sessile degli ecosistemi (Chiappone et al., 2002; Bavestrello et al., 1997) piuttosto che per la fauna demersale o pelagica. I danni causati da un attrezzo di pesca a contatto con una gorgonia non sono immediatamente evidenti (Oliveira et al., 2015), ma possono causare degli effetti dannosi a lungo termine come la rottura delle ramificazioni, abrasioni, colonizzazione da epibionti e infezioni. I cnidari che presentano una morfologia molto ramificata sono potenzialmente più minacciati da questo tipo di danni (Angiolillo et al., 2015). Dalle analisi fatte in questo studio sulle interazioni tra il *marine litter* e la fauna bentonica, è emerso che sul totale dei fotogrammi in cui sono presenti rifiuti, il 26.5% di questi li raffiguri a contatto con una specie sessile di cnidario. I gorgonacei *Eunicella cavolinii*, *Corallum rubrum* e *Callogorgia verticillata* sono le colonie maggiormente impattate, mentre per i coralli neri risulta essere l'*Antipathella subpinnata* (Figura 13). Questo risultato tuttavia rispecchia totalmente i valori di abbondanza di queste specie descritto da Cau et al. (2015) in queste zone di mare. *Eunicella cavolini*, *Corallum rubrum* e *Callogorgia verticillata*, oltre a essere le tre principali specie di cnidari ad essere risultate impattate dal *marine litter* in questo studio, sono anche le specie con i più alti valori di densità osservati da Cau. Il loro essere risultate a contatto con un maggiore numero di rifiuti rispetto alle altre specie rinvenute durante i campionamenti, si può facilmente imputare non solo alle caratteristiche morfologiche delle specie in questione, particolarmente propense al trattenere

rifiuti (Yoshikawa e Asoh, 2004), ma anche al maggiore numero di colonie rinvenute nei fondali investigati.

Il fatto che il 65% dei rifiuti rinvenuti abbia mostrato un elevato livello di incrostazioni date da organismi, è un chiaro segnale della perseveranza di questi oggetti di origine antropica nell'ambiente (Donohue et al., 2001). Tuttavia la rapidità con cui il fenomeno del *biofouling* si verifica, varia da substrato a substrato e può dipendere da fattori geografici, batimetrici e anche stagionali (Saldanha et al., 2003). Molto probabilmente il 7% dei rifiuti che ha mostrato bassi valori di colonizzazione da parte di specie incrostanti, è entrato a far parte dell'ambiente marino solo di recente. E' noto che le specie pioniere nella colonizzazione dei substrati artificiali siano principalmente spugne e idroidi (Chiappone et al., 2002, 2005). Questi animali costituiscono una minaccia per le comunità di coralli e gorgonacei i quali se feriti per abrasione o rottura di una ramificazione, a causa di un oggetto di origine antropica, hanno più possibilità di diventare un substrato per le specie di epibionti a proprie spese (Mistri, 1994).

Le specie di coralli che questo studio ha evidenziato essere maggiormente impattate dal *marine litter*, fanno parte dell'insieme di specie caratterizzanti ambienti speciali e protette dalla Convenzione della Diversità Biologica (Aguilar e Marin., 2013). E' per questo opportuno adottare delle misure di tutela volte a diminuire la quantità di rifiuti all'interno degli ambienti in questione. Con il presente lavoro si è contribuito alla mappatura e alla quantificazione della densità dei rifiuti antropogenici per una estesa superficie non ancora investigata del bacino Tirrenico del Mar Mediterraneo, fornendo informazioni utili a livello locale, nazionale e

comunitario che possono essere utilizzate per future comparazioni e per l'istituzione di appropriate misure gestionali.



**Figura 5.13. Impatto dei rifiuti da pesca sull'ambiente dei fondali investigati in questo studio. (A) Una fune da pesca poggia su una *C. verticillata*. *H. hirsuta* a contatto con una lenza fortemente incrostata da epibionti. (C) Un palamito fortemente incrostato si estende attorno alle colonie di *C. rubrum* e *P. clavata*. (D) *E. cavolini* risulta la specie maggiormente impattata dai rifiuti, in questa foto la troviamo estendersi al di sopra di una cima. (E) Gorgonie di *P. clavata* vengono attraversate da un palamito incrostato da *Filograna implexa*. (F) Una parte di rete fortemente deteriorata circonda una colonia di *C. rubrum*. (G) Il corallo nero *L. glaberrima* avvolto da lenze su cui sono cresciuti idroidi. (H) *H. hirsuta* fortemente lacerata nella parte basale da una lenza di nylon. Su di essa si nota la colonizzazione da parte di epibionti. (I) Colonia di *D. cornigera* sofferente, attraversata da una lenza di nylon.**

## 6. Conclusioni

---

Nonostante la crescita di interesse a livello comunitario e scientifico per la tematica dei rifiuti che si trovano all'interno dell'ambiente marino, il livello conoscitivo sullo stato del problema, rimane ancora carente (Pham et al., 2014). L'argomento del *marine litter* per essere compreso necessita un approccio multisetoriale che parte dall'educazione civica, coinvolge la politica e riguarda l'interesse per la tutela dell'ambiente e della biodiversità. Quello che finora è stato appurato è che la firma lasciata dall'uomo, nei termini dell'inquinamento da rifiuti, si ritrova in ogni ambiente marino finora esplorato, dalle zone costiere, dove le popolazioni umane hanno le maggiori densità, fino agli ambienti più remoti del pianeta come i poli artici (Barnes et al. 2010; Knowlton et al. 2012; Obbard et al. 2014) e i fondali profondi degli oceani (Tubau et al., 2015). Il Mar Mediterraneo, considerato un *hotspot* per la biodiversità marina, è oggi minacciato dal cambiamento climatico e dall'impatto dell'uomo (Bianchi and Morri, 2000; Coll et al., 2012). Le sue coste ospitano il 7% della popolazione mondiale, attraggono il 25% del turismo internazionale e convogliano il 30% del traffico navale (UNEP, 2009). Questi fattori, assieme al fatto che il Mediterraneo sia un mare chiuso, lo rendono particolarmente vulnerabile alla minaccia del *marine litter* rispetto alle zone di mare non circoscritte e caratterizzate dalla presenza di popolazioni umane a minore densità (Barnes et al., 2009).

Trattandosi di un argomento che ha acquisito rilevanza e interesse a livello globale solo negli ultimi decenni, si è ancora lontani da una soluzione concreta al danno causato all'ambiente dai rifiuti in mare. L'obiettivo della comunità, ad oggi,

è quello di compiere un primo *step* conoscitivo, ottenendo un quadro aggiornato sullo stato degli oggetti solidi presenti in mare almeno dal punto di vista quantitativo. Le misure comunitarie adottate per avere una prima valutazione del *marine litter*, tuttavia, mancano di una linea guida comunemente accettata che possa servire da riferimento per uno studio uniformabile e confrontabile. Se la *Marine Strategy Framework Directory* chiama gli stati membri dell'Unione Europea a mobilitarsi per un'azione comunitaria volta alla salvaguardia dell'ambiente e al raggiungimento del Good Environmental Status entro il 2020, attualmente il risultato di questa direttiva è un incremento della produzione scientifica sull'argomento *marine litter* il cui confronto tra lavori, tuttavia, risulta estremamente complicato (Galvani et al., 2015). La grande variabilità riscontrata nei valori di rifiuti che si osserva spostandosi da una zona di mare all'altra, non solo è dovuta ai molteplici fattori che ne influenzano la presenza e l'accumulo, ma anche al modo in cui questi valori vengono espressi. Il problema generato dalla scelta dell'unità di espressione del *marine litter* (numero vs peso) non trova una soluzione semplice. Utilizzando il dato numerico si rischia di avere una sovrastima, a causa della frequente frammentazione in più parti degli oggetti rimasti a lungo nell'ambiente marino. Al contrario, con la scelta di un dato in peso come unità di misura dei rifiuti, si genera l'impossibilità di compiere un paragone tra categorie di rifiuti differenti. Tra un solo oggetto dal peso molto elevato (un pezzo di metallo) e tanti piccoli oggetti dal basso peso specifico (buste di plastica o di carta, incarti di cibo), dove si ha un impatto maggiore? Idealmente, entrambe le unità di quantificazione contribuiscono a comprendere l'andamento del *marine litter*. Tuttavia tra le due, la MSFD indica il solo valore numerico come *mandatory*. Per quanto la valutazione con un risultato di tipo numerico venga utilizzata con maggiore, riuscire a uniformare le informazioni

presenti nella letteratura si rivela un processo difficile, talvolta addirittura poco sensato (Pham et al., 2014). La variabilità del quantitativo di rifiuti sui fondali è tale da generare divergenze significative nei valori di accumulo anche all'interno di aree geografiche molto vicine l'una all'altra (Galgani et al., 2015). L'elevata dinamicità del valore di densità dei rifiuti può essere influenzata da numerosi fattori di cui è importante, anche se difficile, tenere conto. Il processo di sedimentazione e accumulo del *marine litter* può dipendere in maniera significativa dalle proprietà idrologiche, geomorfologiche dell'ambiente, ma allo stesso tempo dalle attività antropiche terrestri e marine che hanno luogo delle zone limitrofe.

In questo studio si è data conferma dell'ubiquità spaziale e temporale del *marine litter* all'interno di un'area geografica non ancora investigata in tal proposito e situata nel bacino del Mediterraneo centro-orientale. E' noto dalla bibliografia che i rifiuti siano presenti negli oceani di tutto il pianeta, seppur con valori di densità estremamente dinamici (Galgani et al., 2015), adesso anche la zona di mare costituita dalle acque della Sardegna (GSA 11) ha una sua valutazione dell'ammontare di rifiuti solidi presenti sui fondali. L'importanza del presente lavoro è costituita dall'approccio basato su differenti metodologie investigative e analitiche, portate avanti in un *range* batimetrico compreso tra le acque superficiali del piano infralitorale e gli ambienti profondi di quello batiale. Fino ad ora, complessivamente sono stati condotti solo pochi studi sul tema *marine litter* oltre i 500 m di profondità (Galil et al. 1995; Galgani et al. 1996, 2000; Galgani and Lecornu 2004; Keller et al. 2010; Miyake et al. 2011; Mordecai et al. 2011; Bergmann and Klages 2012; Wei et al. 2012; Pham et al. 2013, 2014; Ramirez-Llodra et al. 2013, Schlining et al. 2013; Fischer et al. 2015; Vieira et al. 2014; Tubau et al., 2015),

questa tesi costituisce dunque un contributo significativo alla letteratura contemporanea su questo argomento.

Per i fondali molli, attraverso un disegno di campionamento standardizzato e ripetuto in tre anni, si è avvalorata la teoria per cui gli strati batimetrici più superficiali ospitano le maggiori densità di *marine litter*, che a sua volta è probabilmente derivato dalle attività antropiche legate alla terraferma (Barnes et al., 2009). La distribuzione a livello spaziale invece è risultata complessivamente uniforme, mettendo in evidenza come la componente fluttuante e più leggera dei rifiuti venga influenzata nei suoi punti di accumulo dalle correnti idrodinamiche che caratterizzano le zone di mare investigate. Nello specifico alla West Sardinian Corrent è imputato il più elevato quantitativo di *marine litter*, osservato a largo della costa sudoccidentale della Sardegna. E' stato possibile confermare l'ormai nota predominanza degli oggetti di plastica su tutte le altre categorie di rifiuti (60% sul totale in numero; 38% sul totale in peso) (Galgani et al., 2000; Engler RE., 2012; Depledge et al., 2013).

La parte dell'indagine svoltasi negli ambienti profondi, oltre gli 800 m, ha mostrato un radicale cambiamento nei valori di accumulo dei rifiuti. Rispetto alla parte di fondale marino corrispondente alla platea continentale e alla porzione circalitorale della scarpata continentale, questa zona ha rivelato un mondo completamente diverso dove a farla da padrone risulta proprio il *marine litter*. Le reti a strascico hanno permesso di evidenziare dei valori di accumulo degli oggetti di derivazione antropogenica improvvisamente molto più elevati. Questa porzione di mare risulta caratterizzata da grandi valori di traffico navale commerciale, ricreativo e legato alla pesca (UNEP, 2009), che risulta probabilmente la fonte principale di

origine dei rifiuti rinvenuti. Ad avvalorare questa probabilità sono le percentuali maggiori sulla composizione totale di oggetti appartenenti a categorie pesanti come vetro e metallo, oggetti che difficilmente possono essere trasportati dalle correnti e che è dunque probabile siano stati scaricati in mare nello stesso punto in cui è avvenuto il loro ritrovamento da parte delle reti.

E' stato messo in evidenza il carente interesse da parte degli operatori del settore pesca per il tema dell'inquinamento da rifiuti solidi. Il *marine litter*, come hanno mostrato anche i campionamenti a strascico effettuati nelle zone commerciali di pesca compiuti in questo studio, risulta essere una costante per i pescatori durante l'attività professionale. Quella che potrebbe essere un'azione utile dal punto di vista sia ambientale che professionale, ovvero la rimozione e lo smaltimento dei rifiuti rinvenuti durante la pesca, non risulta venire attuata nei mari sardi da parte degli operatori. Se i pescatori da un lato non sbarcano a terra il *marine litter* a causa della mancanza di strutture ricettive apposite, dall'altro ributtano i rifiuti in mare per una dichiarata mancanza di interesse verso il tema dell'inquinamento. Sulla base del modello attuato nei paesi del Mare del Nord (Gran Bretagna, Svezia, Danimarca, Olanda, Belgio e Germania) con l'iniziativa *Fishing for Litter*, ideata dalla *Local Authorities International Environmental Organisation* (KIMO) (KIMO International, 2014), la comunità di pescatori, una volta equipaggiata con apposite *big bag* per la raccolta dei rifiuti a bordo delle imbarcazioni, potrebbe agire da "operatore ecologico" per la pulizia dei fondali marini. In Sardegna non esistono iniziative di questo genere, ma la loro attuazione porterebbe benefici alla comunità dei pescatori e all'ambiente. Si avrebbe da un lato un'agevolazione per gli operatori della pesca che vedrebbero diminuire i danni causati dal *marine litter*

all'attrezzatura di pesca con un conseguente risparmio economico a loro favore, e dall'altro genererebbe un effetto benefico sull'ambiente, dovuto alla diminuzione del numero di rifiuti presenti in mare.

Infine si è indagato sui fondali rocciosi costituiti dalle due geomorfologie di canyon e *pinnacle*. Questi ambienti, caratterizzati da un'elevata complessità geomorfologica del substrato e delle specie sessili che ne costituiscono la componente biotica, sono risultati essere impattati principalmente dalle attività umane legate alla pesca. Attraverso un'indagine non invasiva mediata da ROV, si è evidenziata ancora una volta come la plastica costituisca la categoria di gran lunga principale sulla totalità di rifiuti, ma a differenza degli ambienti sabbiosi e fangosi descritti precedentemente, delle geomorfologie complesse di questi habitat la si è ritrovata sotto forma di attrezzi di pesca.

Tra canyon e *pinnacle* sono state riscontrate differenze nei valori di densità. È emerso come i canyon risultino dei maggiori accumulatori di *marine litter*, probabilmente anche a causa della loro proprietà di trasportatori di particelle leggere dagli ambienti più superficiali verso i più profondi (Tubau et al., 2013; Ramirez Llodra et al., 2013).

Se gli oggetti derivati dell'attività professionale di pesca caratterizzano maggiormente gli ambienti più vicini alla costa, dove una volta incagliati difficilmente riescono a venir spostati dalle correnti marine, per i canyon situati più a largo, mostrano una maggiore presenza di plastica leggera, imputabile per l'appunto alla corrente trasportatrice generata dalla geomorfologia di questi ambienti.

Anche negli habitat rocciosi, analogamente a quanto osservato sui fondali molli, nelle zone più lontane dalla costa e alle batimetrie maggiori, si osservano maggiori valori delle categorie più pesanti di rifiuti (vetro e metallo), facendo supporre che l'attività di scarico illegale di rifiuti delle imbarcazioni di vario genere, costituiscano una consistente fonte di inquinamento da *marine litter* anche per questo tipo di ambienti. La minaccia principale dei rifiuti in questi habitat è legata all'impatto sulle comunità di organismi biocostruttori sessili. I cnidari è noto risentano negativamente della presenza di rifiuti (Chiappone et al., 2002) e questo studio ha mostrato che il 26.5% del *litter* osservato, sia stato rinvenuto a contatto con specie di coralli. Sebbene il dato risulti meno preoccupante di quanto presentato in altre zone del Mediterraneo e dell'Atlantico (Angiolillo et al., 2015; Oliveira et al., 2015), non se ne può ignorare la minaccia che costituisce per queste importanti comunità bentoniche dal grande valore ecologico.

Il confronto con la maggior parte della letteratura ha mostrato un livello di disturbo antropico sotto forma di *marine litter* per acque sarde. La problematica non può tuttavia essere sottovalutata. L'ammontare di rifiuti all'interno dell'ambiente marino è in continua crescita (Galgani et al., 2015), e le conseguenze, nonostante non possano essere predette con certezza, potranno riguardare anche i mari della GSA11.

Concludendo, questo studio offre per la prima volta una valutazione ad ampio spettro dal punto di vista batimetrico e geomorfologico del tema dei rifiuti per i fondali di un'ampia zona di mare situata nel bacino centro occidentale del Mar Mediterraneo. Le informazioni fornite, contribuiscono a quanto richiesto dalla *Marine Strategy Framework Directory* riguardo al *marine litter*. Sono inoltre

un'importante base di partenza per l'attuazione di iniziative necessarie e concrete, volte a un cambiamento positivo a livello comunitario per la tutela dell'ambiente marino.

## 7. Bibliografia

---

- Aguilar, R., Pastor, X., Garcia, S., Marin, P., Ubero, J., Deep, K., ... Mediterranean, S. (2013). Important of seamount-like features for conserving mediterranean marine habitats and threatened species. *Rapp Comm Int Mer Médit* 40:716.
- Andrady, A. L. (Ed.). (2003). *Plastics and the environment*. New York: Wiley.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- Andrady, A. L. (2015). Persistence of plastic litter in the oceans. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 57–72). Berlin: Springer.
- Angiolillo, M., Lorenzo, B., Farcomeni, A., Bo, M., Bavestrello, G., Santangelo, G., ... Canese, S. (2015). Distribution and assessment of marine debris in the deep Tyrrhenian Sea (NW Mediterranean Sea, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2), 149–159. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.044>.
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. *Group*, (January), 530.
- Backhurst, M.K., Cole, R.G., 2000. Subtidal benthic marine litter at Kawau Island, north-eastern New Zealand. *Journal of Environmental Management* 60, 227–237.
- Baillon, S., Hamel, J.-F., & Mercier, A. (2014). Diversity, distribution and nature of faunal associations with deep-sea pennatulacean corals in the northwest atlantic. *PloS One*, 9(11), e111519. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0111519>.
- Balazs, G. H. (1985). Impact of ocean debris on marine turtles: entanglement and ingestion. In *Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris* (pp. 387–429). NOAA Technical Memorandum, NMFS, SWFC 54.
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>.
- Barnes, D. K. A., Walters, A., & Gonçalves, L. (2010). Macroplastics at sea around

Antarctica. *Marine Environmental Research*, 70, 250–252.

Bauer, L. J., Kendall, M. S., & Jeffrey, C. F. G. (2008). Incidence of marine debris and its relationships with benthic features in Gray's Reef National Marine Sanctuary, Southeast USA. *Marine Pollution Bulletin*, 56(3), 402–413. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.11.001>.

Bavestrello, G., Cerrano, C., Zanzi, D., Cattaneo-Vietti, R., (1997). Damage by fishing activities to the gorgonian coral *Paramuricea clavata* in the Ligurian Sea. *Aquatic conservation: Conserv.: Marine Freshwater Ecosystems*. 7, 253–262.

Bertrand, J. A., Gil de Sola, L., Papaconstantinou, C., Relini, G., & Souplet, A. (2002). The general specifications of the MEDITS surveys. *Scientia Marina*, 66(S2), 9–17. <http://doi.org/10.3989/scimar.2002.66s29>.

Bianchi, C. N., & Morri, C. (2000). Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin*, 40(5), 367–376. [http://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00027-8](http://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00027-8).

Bo, M., Bava, S., Canese, S., Angiolillo, M., Cattaneo-Vietti, R., & Bavestrello, G. (2014). Fishing impact on deep Mediterranean rocky habitats as revealed by ROV investigation. *Biological Conservation*, 171, 167–176. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.011>.

Camedda, A., Marra, S., Matiddi, M., Massaro, G., Coppa, S., Perilli, A., ... de Lucia, G. A. (2014). Interaction between loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) and marine litter in Sardinia (Western Mediterranean Sea). *Marine Environmental Research*, 100, 25–32. <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.12.004>.

Canals, M., Piug, P., Durrieu de Madron, X., Heussner, S., Palanques, A. & Fabres, J. (2006). Flushing submarine canyons. *Nature*. 444, 354-357.

Carpenter, E., & Smith, K. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, 175, 1240–1241.

Cau, A., Sabatini, A., Murenu, M., Follesa, M.C., Cuccu, D. (1994). Considerazioni sullo stato di sfruttamento delle risorse demersali (Mari di Sardegna). Atti seminario sulla regolazione dello sforzo di pesca. *Biologia Marina Mediterranea*, 1 (2) 67-76.

Cau, A, Follesa, M.C., Bo, M, Canese, S., Bellodi, A., Cannas, R., Cau, A. (2013) Leiopathes glaberrima forest from South West Sardinia: a thousand years old nursery area for the

- small spotted catshark *Scyliorhinus canicula*. *Rapp Comm int Mer Médit* 40:717.
- Cau, A., Follesa, M. C., Moccia, D., Alvito, A., Bo, M., Angiolillo, M., ... Cannas, R. (2015). Deepwater corals biodiversity along roche du large ecosystems with different habitat complexity along the south Sardinia continental margin (CW Mediterranean Sea). *Marine Biology*, 162(9), 1865–1878. <http://doi.org/10.1007/s00227-015-2718-5>.
- Cawthorn, M. W. (1985). Entanglement in, and ingestion of, plastic litter by marine mammals, sharks, and turtles in New Zealand waters. In *Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris* (pp. 336–343). NOAA Technical Memorandum, NMFS, SWFC 54.
- Cerrano, C., Danovaro, R., Gambi, C., Pusceddu, A., Riva, A., & Schiaparelli, S. (2009). Gold coral (*Savalia savaglia*) and gorgonian forests enhance benthic biodiversity and ecosystem functioning in the mesophotic zone. *Biodiversity and Conservation*, 19(1), 153–167. <http://doi.org/10.1007/s10531-009-9712-5>.
- Chen, C.-L. (2015). Regulation and management of marine litter. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 398–432). Berlin: Springer.
- Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., & Cohen, Y. (2009). *UNEP/IOC Guidelines on survey and monitoring of marine litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series*. Retrieved from [http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/Marine\\_Litter\\_Survey\\_and\\_Monitoring\\_Guidelines.pdf](http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/Marine_Litter_Survey_and_Monitoring_Guidelines.pdf).
- Chiappone, M., White, A., Swanson, D.W., Miller, S.L., (2002). Occurrence and biological impacts of fishing gear and other marine debris in the Florida keys. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 597–604.
- Chiappone, M., Dienes, H., Swanson, D. W., & Miller, S. L. (2005). Impacts of lost fishing gear on coral reef sessile invertebrates in the Florida Keys National Marine Sanctuary. *Biological Conservation*, 121(2), 221–230. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.04.023>.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.
- Cornelius, S. H. (1975). Marine turtle mortalities along the Pacific coast of Costa Rica.

*Copeia*, 1975, 186–187.

Danovaro, R., Company, J. B., Corinaldesi, C., D’Onghia, G., Galil, B., Gambi, C., ... Tselepidis, A. (2010). Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: The known, the unknown, and the unknowable. *PLoS ONE*, 5(8). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0011832>.

Davies, A. J., Wisshak, M., Orr, J. C., & Murray Roberts, J. (2008). Predicting suitable habitat for the cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(8), 1048–1062. <http://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.04.010>

De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.006>.

Depledge, M. H., Galgani, F., Panti, C., Caliani, I., Casini, S., & Fossi, M. C. (2013). Plastic litter in the sea. *Marine Environmental Research*, 92, 279–281. <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.10.002>.

Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842–852. [http://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](http://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5).

Dias, B. F. D. S., & Lovejoy, T. E. (2012). Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions. CBD Technical Series. Retrieved from <http://www.thegef.org/gef/pubs/impact-marine-debris-biodiversity-current-status-and-potential-solutions>.

Dixon, T.R., Dixon, T.J., (1981). Marine litter surveillance. *Marine pollution Bulletin*. 12 (9), 289–295. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(81\)90078-3](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(81)90078-3).

Dixon, T. J., & Dixon, T. R. (1983). Marine litter distribution and composition in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 14(4), 145–148. [http://doi.org/10.1016/0025-326X\(83\)90068-1](http://doi.org/10.1016/0025-326X(83)90068-1).

Donohue, M. J., Boland, R. C., Sramek, C. M., & Antonelis, G. A. (2001). Derelict fishing gear in the northwestern Hawaiian Islands: Diving surveys and debris removal in 1999 confirm threat to coral reef ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 42, 1301–1312.

Engler, R. E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in

the ocean. *Environmental Science & Technology*, 46(22), 12302–15. <http://doi.org/10.1021/es3027105>.

Ente Autonomo del Flumendosa, (1998). Nuovo studio dell'idrologia superficiale della Sardegna. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Programmazione, Bilancio ed Assetto del Territorio, Centro Regionale di Programmazione, Cagliari, CD-rom.

Eryaşar, A. R., Özbilgin, H., Gücü, A. C., & Sakınan, S. (2014). Marine debris in bottom trawl catches and their effects on the selectivity grids in the north eastern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 80–84. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.017>.

Fabri, M.-C., Pedel, L., Beuck, L., Galgani, F., Hebbeln, D., & Freiwald, A. (2013). Megafauna of vulnerable marine ecosystems in French mediterranean submarine canyons: Spatial distribution and anthropogenic impacts. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1–24. <http://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.06.016>.

Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, 177(February), 1–3. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>.

Fiorentini, L., Dremière, P.-Y , Leonori, I., Sala, A., & Palumbo, V. (1999). Efficiency of the bottom trawl used for the Mediterranean international tawl survey (MEDITS). *Aquat Living Resour.*, 12 (3): 187-205.

Galgani, F., Claro, F., Depledge, M., & Fossi, C. (2014). Monitoring the impact of litter in large vertebrates in the Mediterranean Sea within the European Marine Strategy Framework Directive (MSFD): Constraints, specificities and recommendations. *Marine Environmental Research*, 100(2014), 3–9. <http://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.02.003>.

Galgani, F., Hanke, G. & Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. In M. Bergmann, L. Gutow & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 29–56). Berlin: Springer.

Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., & De Vrees, L. (2013). Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science*, 70(6), 1055–1064. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fst122>

- Galgani, F., Jaunet, F., Campillo, A., Guenegen, X., & His, E. (1995). Distribution and abundance of debris on the continental shelf of the north-western Mediterranean sea. *Marine Pollution Bulletin*, 30(11), 713–717.
- Galgani, F., Leaute, J. P., Moguedet, P., Souplet, A., Verin, Y., Carpentier, A., ... Vilar, J. (2000). Litter on the Sea Floor Along European Coasts.
- Galgani, F., Souplet, A., & Cadiou, Y. (1996). Accumulation of debris on the deep sea floor off the French Mediterranean coast. *Marine Ecology-Progress Series*, 142(1-3), 225–234. <http://doi.org/10.3354/meps142225>.
- Galil, B. S., Golik, A., & Irkayt, M. T. I. (1995). Litter at the Bottom of the Sea : A Sea Bed Survey in the Eastern Mediterranean, 30(1), 22–24.
- Gilligan, M. R., Pitts, R. S., Richardson, J. P., & Kozel, T. R. (1992). Rates of accumulation of marine debris in Chatham County, Georgia. *Marine Pollution Bulletin*, 24(9), 436–441. [http://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90342-4](http://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90342-4).
- Goldberg, E. D. (1997). Plasticizing the seafloor: an overview. *Environmental Technology*, 18(2), 195–201.
- Gori, A., Rossi, S., Linares, C., Berganzo, E., Orejas, C., Dale, M. R. T., & Gili, J. M. (2011). Size and spatial structure in deep versus shallow populations of the Mediterranean gorgonian *Eunicella singularis* (Cap de Creus, northwestern Mediterranean Sea). *Marine Biology*. <http://doi.org/10.1007/s00227-011-1686-7>.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 2013–2025. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>.
- Gregory, M. R. (1987). Plastics and other seaborne litter on the shores of New Zealand's sub-Antarctic islands. *New Zealand Antarctic Record*, 7, 32–47.
- Güven, O., Gülyavuz, H., & Deval, M. C. (2013). Benthic debris accumulation in bathyalgrounds in the Antalya Bay, Eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 43–49.
- Hall, K. (2000). *Impacts of Marine Debris and Oil: Economic and Social Costs to Coastal Communities*.

- Hanke, G., Galgani, F., Werner, S., Oosterbaan, L., Nilsson, P., Fleet, D., Kinsey, S., Thompson, R., Van Franeker, J.A. & Vlachogianni, T. (2013). Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter (TSG-ML), Publications Office of the European Union
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. v.2.17. *Palaeontologia Electronica*, (Available: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)), 4(1): 9pp.
- Harper, P. C., & Fowler, J. A. (1987). Plastic pellets in New Zealand storm-killed prions (*Pachyptila spp.*) 1958–1977. *Notornis*, 34, 65–70.
- Hess, N. A., Ribic, C. A., & Vining, I. (1999). Benthic marine debris, with an emphasis on fishery-related items, surrounding Kodiak Island, Alaska, 1994-1996. *Marine Pollution Bulletin*, 38(10), 885–890. [http://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00087-9](http://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00087-9).
- Hinderstein, LM., Marr, JCA., Martinez, FA., Dowgiallo, ML., Puglise, KA., Pyle, RL., Zawada, DG. & Appeldoorn, R. (2010). Theme section "mesophotic coral ecosystems: characterization, ecology, and management". *Coral Reefs* 29(2):247-251.
- Horsman, P. V. (1982). The amount of garbage pollution from merchant ships. *Marine Pollution Bulletin*, 13(5), 167–169. [http://doi.org/10.1016/0025-326X\(82\)90088-1](http://doi.org/10.1016/0025-326X(82)90088-1).
- Huvenne, V. A. I., Tyler, P. A., Masson, D. G., Fisher, E. H., Hauton, C., Huhnerbach, V., ... Wolff, G. A. (2011). A picture on the wall: Innovative mapping reveals cold-water coral refuge in submarine canyon. *PLoS ONE*, 6(12), 1–9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0028755>.
- Ivar do Sul, J. A., & Costa, M. F. (2014). The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 185, 352–364.
- Katsanevakis, S., (2008). Marine debris, a growing problem: Sources, distribution, composition and impacts. p. 53-100. In T.N. Hofert, (Ed.) Nova Science Publishers Inc., New York, *Marine Pollution: New Research*.
- Katsanevakis, S., & Katsarou, A. (2004). Influences on the distribution of marine debris on the seafloor of shallow coastal areas in Greece (eastern Mediterranean). *Water, Air, and Soil Pollution*, 159(1), 325–337. <http://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049183.17150.df>.
- Katsanevakis, S., Verriopoulos, G., Nicolaidou, A., & Thessalou-Legaki, M. (2007). Effect of

- marine litter on the benthic megafauna of coastal soft bottoms: a manipulative field experiment. *Marine Pollution Bulletin*, 54(6), 771–8. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.12.016>.
- Kiessling, T., Gutow, L., & Thiel, M. (2015). Marine litter as a habitat and dispersal vector. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 141–181). Springer, Berlin.
- KIMO. (2014). *Fishing for Litter 2014 spring newsletter*. Retrieved August 15, 2014, from <http://www.kimointernational.org/WebData/Files/FFL%20Scotland/Spring%20Newsletter%2014.pdf>.
- Kohler, K.E., Gill, S.M., (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences*. 32, 1259–1269.
- Koutsodendris, A., Papatheodorou, G., Kougiourouki, O., & Georgiadis, M. (2008). Benthic marine litter in four Gulfs in Greece, Eastern Mediterranean; abundance, composition and source identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(3), 501–512. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.10.011>.
- Laist, D. W. (1987). Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. [http://doi.org/10.1016/S0025-326X\(87\)80019-X](http://doi.org/10.1016/S0025-326X(87)80019-X).
- Lee, D. I., Cho, H. S., & Jeong, S. B. (2006). Distribution characteristics of marine litter on the sea bed of the East China Sea and the South Sea of Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70, 187–194.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>.
- Leichter, J. (2011). Investigating the accumulation of plastic debris in the North Pacific Gyre. *Interdisciplinary Studies on Environmental* 251–259. Retrieved from [http://svr4.terrapub.co.jp/onlineproceedings/ec/05/pdf/PR\\_05251.pdf](http://svr4.terrapub.co.jp/onlineproceedings/ec/05/pdf/PR_05251.pdf).
- Licitra, G., Serena, F., Mancusi, C., Grazzini, C., (2012). *Insieme per la tutela e la valorizzazione del nostro mare*. ARPAT, Firenze (Italy), 84 pp.

- Macfadyen, G., Huntington, T., and Cappell, R. (2009). Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear, UNEP FAO, Rome, Italy
- Maes, T. (2013). *ICES insight: Marine litter - Trashing the waves. ICES Insight*. Issue No. 50, September 2013, 30.
- Meeker, J. D., Sathyanarayana, S., & Swan, S. H. (2009). Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 2097–2113. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0268>.
- Mifsud, R., Dimech, M., & Schembri, P. J. (2013). Marine litter from circalittoral and deeper bottoms off the Maltese islands ( Central Mediterranean ), 298–308.
- Miyake, H., Shibata, H., & Furushima, Y. (2011). Deep-sea litter study using deep-sea observation tools. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 261–269. Retrieved from [http://svr4.terrapub.co.jp/onlineproceedings/ec/05/pdf/PR\\_05261.pdf](http://svr4.terrapub.co.jp/onlineproceedings/ec/05/pdf/PR_05261.pdf).
- Moore, S. L., & Allen, M. J. (1998). Distribution of Anthropogenic and Natural Debris on the Main- land Shelf of the Southern California Bight. *Marine Pollution Bulletin*, 40(1), 83–88.
- Mordecai, G., Tyler, P. A., Masson, D. G., & Huvenne, V. A. I. (2011). Litter in submarine canyons off the west coast of Portugal. *Deep-Sea Research II*, 58, 2489–2496.
- Murray, F., & Cowie, P. R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*, 62(6), 1207–1217. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.032>.
- Neves, D., Sobral, P., & Pereira, T. (2015). Marine litter in bottom trawls off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 301–304. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.044>.
- NOAA Marine Debris Program. (2015) Report on the impacts of “ghost fishing” via derelict fishing gear. Silver Spring, MD. 25 pp.
- Olita, A., Iermano, I., Fazioli, L., Ribotti, A., Tedesco, C., Pessini, F., & Sorgente, R. (2015). Impact of currents on surface flux computations and their feedback on dynamics at regional scales. *Ocean Science*, 11(4), 657–666. <http://doi.org/10.5194/os-11-657-2015>.

- Oliveira, F., Monteiro, P., Bentes, L., Henriques, N. S., Aguilar, R., & Gonçalves, J. M. S. (2015). Marine litter in the upper São Vicente submarine canyon (SW Portugal): Abundance, distribution, composition and fauna interactions. *Marine Pollution Bulletin*, 97(0), 401–407. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.060>.
- Palmas, F. (2014). Environmental influences on the spatio-temporal distribution of *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) and *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827) in the Central Western Mediterranean. PhD thesis, University of Cagliari, 180pp.
- Palmas, F., Addis, P., Cabiddu, S., Cuccu, D., Follesa, M. C., Mura, M., ... Sabatini, A. (2015). Distribution of spawning and nursery grounds for deep-water red shrimps in the central western Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 16(1), 117–127. <http://doi.org/10.12681/mms.859>.
- Pham, C.K., Gomes-Pereira, J.N., Isidro, E.J., Santos, R.S., Morato, T., (2013). Abundance of litter on Condor seamount (Azores, Portugal, Northeast Atlantic). *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 98, 204–208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.01.011>.
- Pham, C. K., Ramirez-Llodra, E., Alt, C. H. S., Amaro, T., Bergmann, M., Canals, M., ... Tyler, P. A. (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PLoS One*, 9(4), e95839. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0095839>.
- PlasticsEurope. (2011). *Plastic the facts 2011. An analysis of European plastic production, demand and recovery for 2010*, PlasticEurope, p. 32.
- Pruter, A. T. (1987). Sources, quantities and distribution of persistent plastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 18, 305–310.
- Pusceddu, A., Bianchelli, S., Sanchez Vidal, A., Canals, M., Durrieu De Madron, X., ... Danovaro, R. 2010. Organic matter in sediments of canyons and open slopes in the Eastern Atlantic and Mediterranean continental margins. *Deep-Sea Research I* 57(3): 441-457.
- Ramirez-Llodra, E., Brandt, A., Danovaro, R., De Mol, B., Escobar, E., German, C. R., ... Vecchione, M. (2010). Deep, diverse and definitely different: Unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeosciences*, 7(9), 2851–2899. <http://doi.org/10.5194/bg-7-2851-2010>.

- Ramirez-Llodra, E., De Mol, B., Company, J. B., Coll, M., & Sardà, F. (2013). Effects of natural and anthropogenic processes in the distribution of marine litter in the deep Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 118, 273–287. <http://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.07.027>.
- Ramirez-Llodra, E., Tyler, P. A., Baker, M. C., Bergstad, O. A., Clark, M. R., Escobar, E., ... Van Dover, C. L. (2011). Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. *PloS One*, 6(8), e22588. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0022588>.
- Rech, S., Macaya-Caquilpàn, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Jofre Madariaga, D., & Thiel, M. (2014). Rivers as a source of marine litter - A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.019>.
- Relini, G., Carpentieri, P., Murenu, M., (2008). MEDITS instruction manual. *Biologia Marina Mediterranea*, 15, 78 pp.
- Revill, A.S. & Dunlin, G., (2003). The fishing capacity of gillnets lost on wrecks and on open ground in UK coastal waters. *Fisheries Research* 64, 107–113.
- Ribic, C. A., Dixon, T. R., & Vining, I. (1993). Marine debris survey manual. *Marine Pollution Bulletin*, 26(6), 348. [http://doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90583-6](http://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90583-6).
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., et al. (2013a). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494, 169–171.
- Rossi, S. (2013). The destruction of the “animal forests” in the oceans: Towards an oversimplification of the benthic ecosystems. *Ocean and Coastal Management*. <http://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.004>.
- Ryan, P. G. & Moloney, C. L. (1990). Plastic and other artefacts on South African beaches: temporal trends in abundance and composition. *South African Journal of Science*, 86, 450–452.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., Van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 1999–2012. <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>.
- Sánchez, P., Masó, M., Sáez, R., De Juan, S., Muntadas, A., & Demestre, M. (2013). Baseline study of the distribution of marine debris on soft-bottom habitats associated with trawling grounds in the northern Mediterranean. *Scientia Marina*, 77(2), 247–255.

<http://doi.org/10.3989/scimar03702.10A>.

- Schlining, K., Von Thun, S., Kuhnz, L., Schlining, B., Lundsten, L., Jacobsen Stout, N., ... Connor, J. (2013). Debris in the deep: Using a 22-year video annotation database to survey marine litter in Monterey Canyon, central California, USA. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 79, 96–105. <http://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.05.006>.
- Scott, G. (1972). Plastics packaging and coastal pollution. *International Journal of Environmental Studies*, 3, 35–36.
- Seco Pon, J. P., & Becherucci, M. E. (2012). Spatial and temporal variations of urban litter in Mar del Plata, the major coastal city of Argentina. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(2), 343–8. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.012>.
- Somerville, S.E., Miller, K.L., Mair, J.M., (2003). Assessment of the aesthetic quality of a selection of beaches in the Firth of Forth, Scotland. *Mar. Pollut. Bull.* 46 (9), 1184–1190.
- Spengler, A., & Costa, M. F. (2008). Methods applied in studies of benthic marine debris. *Marine Pollution Bulletin*, 56(2), 226–230. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.09.040>.
- Stefatos, A., Charalampakis, M., Papatheodorou, G., & Ferentinos, G. (1999). Marine Debris on the Seafloor of the Mediterranean Sea : Examples from Two Enclosed Gulfs in Western Greece, 36(5), 389–393.
- Strafella, P., Fabi, G., Spagnolo, A., Grati, F., Polidori, P., Punzo, E., ... Scarcella, G. (2015). Spatial pattern and weight of seabed marine litter in the northern and central Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 91(1), 120–127. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.018>.
- Suaría, G., & Aliani, S. (2014). Floating debris in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin, article in(1–2)*, 494–504. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.025>.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., et al.(2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304, 838.
- Topçu, E. N., & Öztürk, B. (2010). Abundance and composition of solid waste materials on the western part of the Turkish Black Sea seabed. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 13(3), 301–306. <http://doi.org/10.1080/14634988.2010.503684>.

- Tubau, X., Canals, M., Lastras, G., Rayo, X., Rivera, J., & Amblas, D. (2015). Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: The role of hydrodynamic processes. *Progress in Oceanography*, *134*, 379–403. <http://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.03.013>.
- Tyler, P.A., 2003. The peripheral seas. In: Tyler, P.A. (Ed.), *Ecosystems of the Deep Ocean, Ecosystems of the World*, vol. 10. Elsevier, Amsterdam, pp. 261–295.
- Uhrin, A. V., Matthews, T., & Lewis, C. (2014). Lobster trap debris in the Florida Keys National Marine Sanctuary: Distribution, abundance, density and patterns of accumulation. *Management and Ecosystem Science*, *6*, 20–32.
- Ulzega, A. (1988) Carta geomorfologica della Sardegna marina continentale. CNR DeAgostini Ed. Verona.
- UNEP, 2009. Marine litter: A global challenge. Nairobi: UNEP, p. 232.
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, *193*, 65–70. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., & Janssen, C. R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*, *182*, 495–499. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.013>.
- Watters, D. L., Yoklavich, M. M., Love, M. S., & Schroeder, D. M. (2010). Assessing marine debris in deep seafloor habitats off California. *Marine Pollution Bulletin*, *60*(1), 131–138. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.08.019>.
- Woodall, L. C., Robinson, L. F., Rogers, A. D., Narayanaswamy, B. E., & Paterson, G. L. J. (2015). Deep-sea litter: a comparison of seamounts, banks and a ridge in the Atlantic and Indian Oceans reveals both environmental and anthropogenic factors impact accumulation and composition. *Frontiers in Marine Science*, *2*(February), 1–10. <http://doi.org/10.3389/fmars.2015.00003>.
- Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L. J., Coppock, R., Sleight, V., ... Thompson, R. C. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, *1*(4), 140317–140317. <http://doi.org/10.1098/rsos.140317>.

## 8. Allegati

### 8.1 ALLEGATO 1

#### 8.1.1 Tabelle

Tabella 8.1 Elenco delle stazioni investigate durante i 3 anni MEDITS. Ogni stazione è caratterizzata dal codice alfanumerico, dalla zona geografica, dallo strato batimetrico e dal quantitativo numerico di rifiuti rinvenuti complessivamente nei tre anni messi assieme.

Cod Rel	Zona	Strato	TOT	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
1A1	1	A	5	3	0	1	0	1	0	0	0	0
1A2	1	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1A3	1	A	6	2	0	0	4	0	0	0	0	0
1B1	1	B	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1C1	1	C	7	0	1	2	2	1	0	0	1	0
1D1	1	S	5	3	0	2	0	0	0	0	0	0
1D2	1	S	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
1E1	1	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1E2	1	E	5	3	0	0	0	0	1	0	1	0
2A1	2	A	3	1	0	1	0	0	0	0	1	0
2A2	2	A	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0
2A3	2	A	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2B1	2	B	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
2B2	2	B	4	1	1	0	0	2	0	0	0	0
2B3	2	B	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0
2B4	2	B	5	2	0	0	2	1	0	0	0	0
2B5	2	B	8	7	0	0	0	0	0	0	0	1
2B6	2	B	9	2	0	0	0	0	7	0	0	0
2C1	2	C	5	2	1	1	0	1	0	0	0	0
2C2	2	C	26	5	0	1	19	1	0	0	0	0
2C3	2	C	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
2D1	2	D	8	5	1	0	0	0	2	0	0	0
2D2	2	D	13	5	1	0	4	1	1	0	1	0
2D3	2	D	11	4	1	3	2	1	0	0	0	0
2E1	2	E	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0
2E2	2	E	11	3	0	0	1	2	4	0	1	0
2E3	2	E	12	7	0	2	0	1	1	0	1	0
3A1	3	A	12	8	0	2	1	0	0	0	0	1
3A2	3	A	6	4	0	1	1	0	0	0	0	0
3B1	3	B	12	5	1	1	0	0	4	0	1	0
3B2	3	B	11	6	2	0	0	0	0	0	3	0
3B3	3	B	18	8	1	4	0	3	1	0	0	1
3C1	3	C	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
3C2	3	C	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3D1	3	D	5	4	0	0	0	0	0	0	1	0
3D2	3	D	26	16	0	2	3	1	0	0	4	0

3E1	3	E	9	7	0	0	0	0	1	0	1	0
4A1	4	A	6	3	0	0	0	2	1	0	0	0
4A2	4	A	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0
4B1	4	B	3	2	0	0	0	0	0	0	1	0
4B2	4	B	17	10	0	2	1	2	0	0	2	0
4C1	4	C	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
4C2	4	C	8	5	0	0	0	1	1	0	1	0
4C3	4	C	12	9	0	1	0	2	0	0	0	0
4D1	4	D	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0
4D2	4	D	6	2	0	1	3	0	0	0	0	0
4E1	4	D	9	6	0	0	0	3	0	0	0	0
5A1	5	A	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
5A2	5	A	6	4	1	1	0	0	0	0	0	0
5A3	5	A	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5A4	5	A	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5B1	5	B	20	18	1	1	0	0	0	0	0	0
5B2	5	B	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5C1	5	C	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0
5C2	5	C	5	4	0	0	0	0	0	1	0	0
5C3	5	C	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
5D1	5	D	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
5D2	5	D	9	6	1	0	1	1	0	0	0	0
5E1	5	E	29	25	0	1	1	2	0	0	0	0
6A1	6	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6A2	6	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6A3	6	A	10	5	0	1	0	3	0	0	1	0
6B1	6	B	5	2	0	0	0	3	0	0	0	0
6B2	6	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6B3	6	B	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
6B4	6	B	75	56	2	10	1	5	0	0	1	0
6C1	6	C	13	1	0	1	9	0	0	0	1	1
6C2	6	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6C3	6	C	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
6C4	6	C	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
6C5	6	C	23	16	0	2	2	1	1	0	1	0
6C6	6	C	12	10	0	2	0	0	0	0	0	0
6C7	6	C	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
6C8	6	C	41	8	2	13	9	1	0	2	5	1
6C9	6	C	5	4	0	0	1	0	0	0	0	0
6D1	6	D	11	4	0	0	0	0	2	0	3	2
6D2	6	D	8	6	0	0	0	0	2	0	0	0
6D3	6	D	7	6	0	1	0	0	0	0	0	0
6D4	6	D	17	10	1	1	0	1	0	0	4	0
6D5	6	D	11	9	0	0	1	1	0	0	0	0
6D6	6	D	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
6E1	6	E	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
6E2	6	E	12	6	0	0	2	0	0	0	4	0

<b>6E3</b>	6	E	19	12	0	1	0	0	4	2	0	0
<b>6E4</b>	6	E	10	7	0	1	0	1	0	0	1	0
<b>7A1</b>	7	A	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>7A2</b>	7	A	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>7A3</b>	7	A	18	9	1	3	3	2	0	0	0	0
<b>7A4</b>	7	A	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>7B1</b>	7	B	6	5	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>7C1</b>	7	C	4	1	0	0	0	0	0	0	3	0
<b>7C2</b>	7	C	6	5	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>7C3</b>	7	C	12	8	0	0	2	1	0	0	1	0
<b>7D1</b>	7	D	20	6	1	5	3	5	0	0	0	0
<b>7D2</b>	7	D	30	20	0	3	3	0	0	0	4	0
<b>7D3</b>	7	D	9	3	0	0	2	1	0	0	3	0
<b>7D4</b>	7	D	16	12	0	2	1	0	0	0	1	0
<b>7E1</b>	7	E	4	2	0	0	0	1	0	0	1	0
<b>7E2</b>	7	E	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>7E3</b>	7	E	9	4	0	1	0	4	0	0	0	0
<b>7E4</b>	7	E	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>7E5</b>	7	E	13	7	1	1	0	0	0	0	4	0

**Tabella 8.2 Elenco delle stazioni investigate durante i 3 anni MEDITS. Ogni stazione è caratterizzata dal codice alfanumerico, dalla zona geografica, dallo strato batimetrico e dal valore di densità medio (No\*Km<sup>-2</sup>) tra i tre anni.**

Cod Rel	Zona	Strato	TOT	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
1A1	1	A	46,13	27,68	0,00	9,23	0,00	9,23	0,00	0,00	0,00	0,00
1A2	1	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1A3	1	A	55,09	18,36	0,00	0,00	36,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1B1	1	B	16,73	16,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1C1	1	C	50,10	0,00	7,16	14,32	14,32	7,16	0,00	0,00	7,16	0,00
1D1	1	S	22,76	13,66	0,00	9,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1D2	1	S	19,33	19,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1E1	1	E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1E2	1	E	16,88	10,13	0,00	0,00	0,00	0,00	3,38	0,00	3,38	0,00
2A1	2	A	25,93	8,64	0,00	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	8,64	0,00
2A2	2	A	28,53	0,00	0,00	28,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2A3	2	A	16,36	16,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2B1	2	B	25,63	25,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2B2	2	B	40,18	10,05	10,05	0,00	0,00	20,09	0,00	0,00	0,00	0,00
2B3	2	B	21,45	14,30	0,00	7,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2B4	2	B	36,53	14,61	0,00	0,00	14,61	7,31	0,00	0,00	0,00	0,00
2B5	2	B	65,68	57,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,21
2B6	2	B	67,24	14,94	0,00	0,00	0,00	0,00	52,30	0,00	0,00	0,00
2C1	2	C	35,96	14,38	7,19	7,19	0,00	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00
2C2	2	C	181,63	34,93	0,00	6,99	132,73	6,99	0,00	0,00	0,00	0,00
2C3	2	C	37,80	37,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2D1	2	D	29,53	18,46	3,69	0,00	0,00	0,00	7,38	0,00	0,00	0,00
2D2	2	D	47,85	18,40	3,68	0,00	14,72	3,68	3,68	0,00	3,68	0,00
2D3	2	D	36,82	13,39	3,35	10,04	6,70	3,35	0,00	0,00	0,00	0,00
2E1	2	E	11,10	3,70	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00
2E2	2	E	38,36	10,46	0,00	0,00	3,49	6,97	13,95	0,00	3,49	0,00
2E3	2	E	45,88	26,76	0,00	7,65	0,00	3,82	3,82	0,00	3,82	0,00
3A1	3	A	113,36	75,57	0,00	18,89	9,45	0,00	0,00	0,00	0,00	9,45
3A2	3	A	56,48	37,65	0,00	9,41	9,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3B1	3	B	98,06	40,86	8,17	8,17	0,00	0,00	32,69	0,00	8,17	0,00
3B2	3	B	89,22	48,67	16,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,33	0,00
3B3	3	B	145,04	64,46	8,06	32,23	0,00	24,17	8,06	0,00	0,00	8,06
3C1	3	C	28,08	28,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3C2	3	C	21,77	21,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3D1	3	D	19,41	15,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,88	0,00
3D2	3	D	93,05	57,26	0,00	7,16	10,74	3,58	0,00	0,00	14,31	0,00
3E1	3	E	32,84	25,54	0,00	0,00	0,00	0,00	3,65	0,00	3,65	0,00
4A1	4	A	42,70	21,35	0,00	0,00	0,00	14,23	7,12	0,00	0,00	0,00
4A2	4	A	53,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,29	0,00
4B1	4	B	23,12	15,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,71	0,00
4B2	4	B	150,42	88,48	0,00	17,70	8,85	17,70	0,00	0,00	17,70	0,00
4C1	4	C	24,32	24,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4C2	4	C	56,58	35,36	0,00	0,00	0,00	7,07	7,07	0,00	7,07	0,00

4C3	4	C	82,65	61,98	0,00	6,89	0,00	13,77	0,00	0,00	0,00	0,00
4D1	4	D	7,04	0,00	0,00	0,00	3,52	0,00	0,00	0,00	3,52	0,00
4D2	4	D	22,36	7,45	0,00	3,73	11,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4E1	4	D	37,48	24,98	0,00	0,00	0,00	12,49	0,00	0,00	0,00	0,00
5A1	5	A	82,93	82,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5A2	5	A	61,08	40,72	10,18	10,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5A3	5	A	8,15	8,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5A4	5	A	20,17	20,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5B1	5	B	152,16	136,94	7,61	7,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5B2	5	B	18,12	18,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5C1	5	C	21,09	14,06	0,00	0,00	0,00	7,03	0,00	0,00	0,00	0,00
5C2	5	C	38,09	30,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	0,00	0,00
5C3	5	C	36,01	36,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5D1	5	D	15,31	15,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5D2	5	D	33,53	22,36	3,73	0,00	3,73	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00
5E1	5	E	105,48	90,93	0,00	3,64	3,64	7,27	0,00	0,00	0,00	0,00
6A1	6	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6A2	6	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6A3	6	A	175,76	87,88	0,00	17,58	0,00	52,73	0,00	0,00	17,58	0,00
6B1	6	B	42,18	16,87	0,00	0,00	0,00	25,31	0,00	0,00	0,00	0,00
6B2	6	B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6B3	6	B	32,01	32,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6B4	6	B	665,70	497,05	17,75	88,76	8,88	44,38	0,00	0,00	8,88	0,00
6C1	6	C	100,68	7,74	0,00	7,74	69,70	0,00	0,00	0,00	7,74	7,74
6C2	6	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6C3	6	C	28,42	28,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6C4	6	C	22,92	0,00	0,00	0,00	22,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6C5	6	C	171,17	119,07	0,00	14,88	14,88	7,44	7,44	0,00	7,44	0,00
6C6	6	C	91,70	76,41	0,00	15,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6C7	6	C	37,71	37,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6C8	6	C	313,79	61,23	15,31	99,49	68,88	7,65	0,00	15,31	38,27	7,65
6C9	6	C	34,79	27,83	0,00	0,00	6,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6D1	6	D	38,39	13,96	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	0,00	10,47	6,98
6D2	6	D	28,21	21,16	0,00	0,00	0,00	0,00	7,05	0,00	0,00	0,00
6D3	6	D	25,93	22,23	0,00	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6D4	6	D	67,82	39,89	3,99	3,99	0,00	3,99	0,00	0,00	15,96	0,00
6D5	6	D	38,42	31,44	0,00	0,00	3,49	3,49	0,00	0,00	0,00	0,00
6D6	6	D	18,44	18,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6E1	6	E	17,41	17,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6E2	6	E	44,38	22,19	0,00	0,00	7,40	0,00	0,00	0,00	14,79	0,00
6E3	6	E	71,08	44,89	0,00	3,74	0,00	0,00	14,96	7,48	0,00	0,00
6E4	6	E	35,50	24,85	0,00	3,55	0,00	3,55	0,00	0,00	3,55	0,00
7A1	7	A	25,06	25,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7A2	7	A	157,83	157,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7A3	7	A	166,02	83,01	9,22	27,67	27,67	18,45	0,00	0,00	0,00	0,00
7A4	7	A	145,81	145,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7B1	7	B	45,60	38,00	0,00	0,00	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>7C1</b>	7	C	28,50	7,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,38	0,00
<b>7C2</b>	7	C	46,62	38,85	0,00	0,00	7,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7C3</b>	7	C	85,36	56,91	0,00	0,00	14,23	7,11	0,00	0,00	7,11	0,00
<b>7D1</b>	7	D	72,02	21,61	3,60	18,00	10,80	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7D2</b>	7	D	99,10	66,07	0,00	9,91	9,91	0,00	0,00	0,00	13,21	0,00
<b>7D3</b>	7	D	30,03	10,01	0,00	0,00	6,67	3,34	0,00	0,00	10,01	0,00
<b>7D4</b>	7	D	51,56	38,67	0,00	6,45	3,22	0,00	0,00	0,00	3,22	0,00
<b>7E1</b>	7	E	14,30	7,15	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,00	3,58	0,00
<b>7E2</b>	7	E	18,08	18,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7E3</b>	7	E	30,25	13,44	0,00	3,36	0,00	13,44	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7E4</b>	7	E	3,63	0,00	0,00	0,00	3,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7E5</b>	7	E	48,70	26,22	3,75	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	14,98	0,00

## 8.2 ALLEGATO 2

### 8.2.1 Interazione tra fauna ittica e *marine litter*



Figura 8.1 *Phycis phycis* che utilizza un barile di metallo come rifugio.

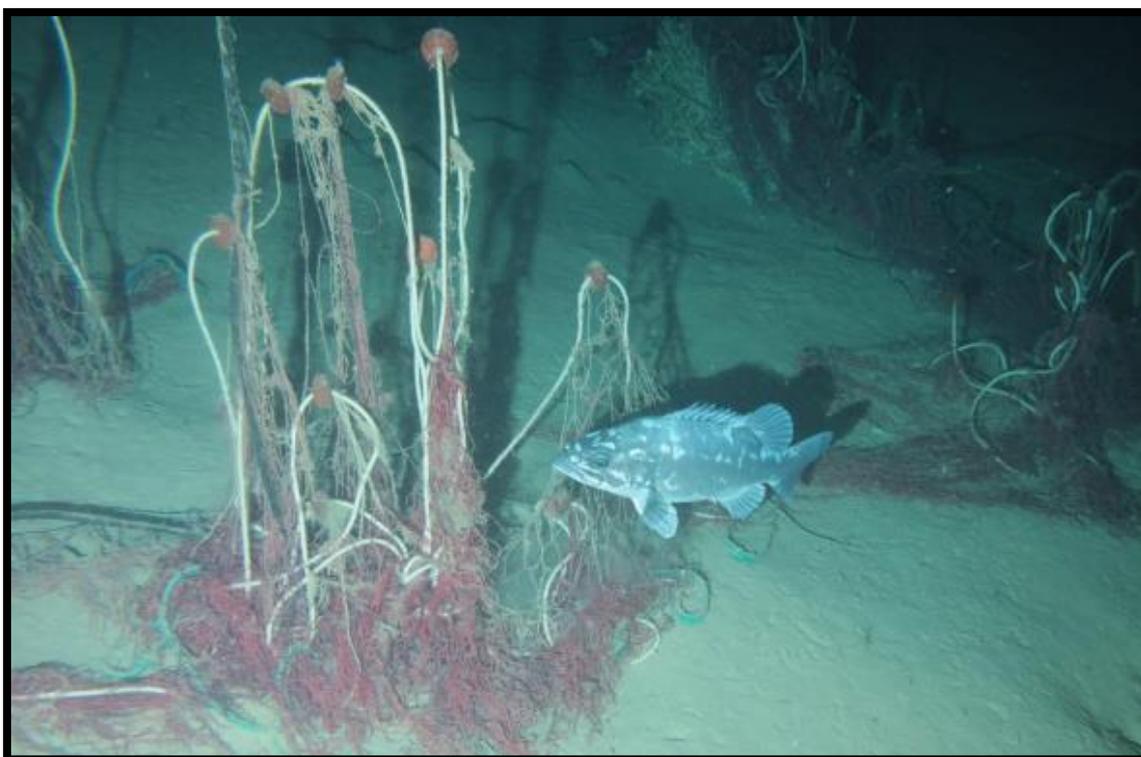


Figura 8.2 Esempio di *Polyprion americanus* che si aggira tra le reti di un tramaglio dismesso sul fondale sabbioso.



Figura 8.3 *Murena helena* a stretto contatto con una lenza di nylon fortemente incrostata.

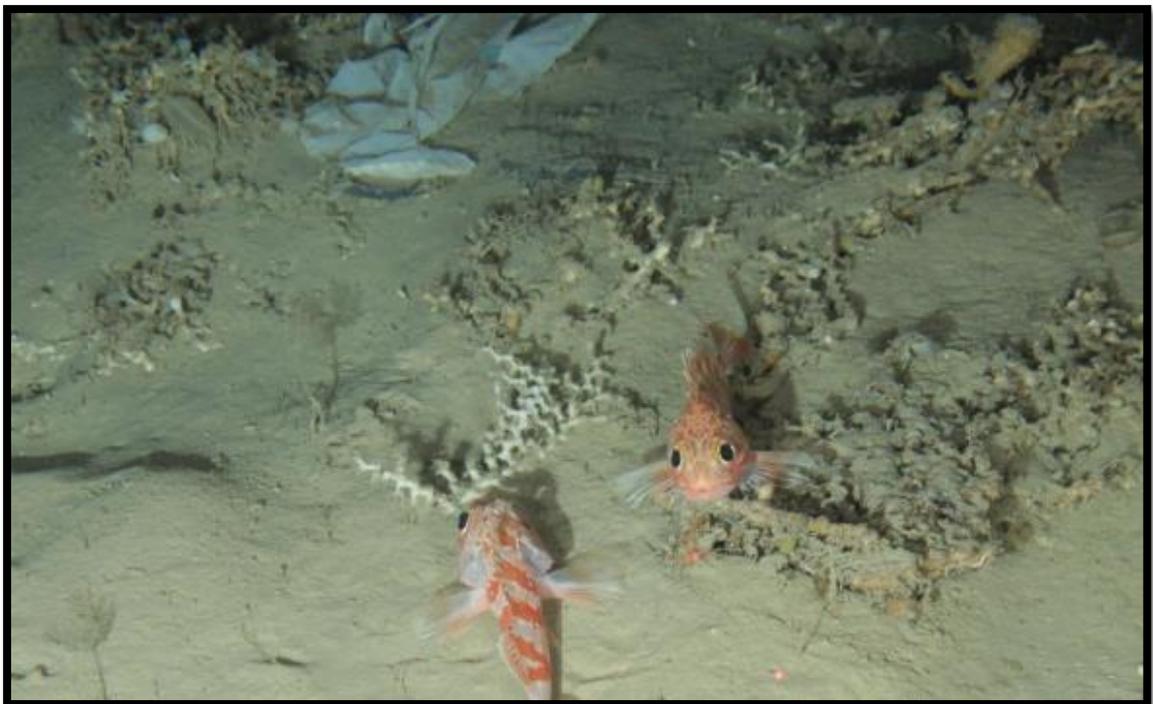


Figura 8.4 Due esemplari di *Helicolenus dactylopterus* nelle vicinanze di una busta di plastica depositata sul fondale.

## *9. Ringraziamenti*

---

Dedico questa tesi al mio tutor, Prof. Angelo Cau, che ringrazio per l'aver creduto in me e avermi concesso tutto l'aiuto necessario per svolgere nel migliore dei modi il mio lavoro.

Un ringraziamento doverosamente alla Prof.ssa Deiana e alla Prof.ssa Cristina Follesa per le opportunità, i consigli e la pazienza dimostrata negli anni.

Grazie ai miei colleghi che rendono ogni giorno di lavoro piacevole e stimolante: Davide, Francesco, Martina, Simone, Paola, Alessandro Consolo, Laura, Cinzia, Alessandro Cau, Giulia, Andrea, Stefania, Antonello, Blondine, Marco, Cristina e Maurizio.

Infine ringrazio di cuore la mia famiglia: Gianni, Luciana, Lorenzo e Rossella per il sostegno, l'aiuto e per non aver mai smesso di credere in me.

*Andrea*