



MARITTIMO - IT FR - MARITIME
TOSCANA - LIGURIA - SARDEGNA - CORSE

GIONHA

GOVERNANCE AND INTEGRATED OBSERVATION
OF MARINE NATURAL HABITAT

FASE 4: Indagine sulle fonti di inquinamento e azioni di mitigazione degli impatti

**Azione 2.2: Indagine sull'integrità ambientale dei
fondali della fascia marino costiera e del mare
aperto e mappatura georeferenziata dei rifiuti
antropici**

Dicembre 2011





Rapporto Rifiuti Antropici

Dicembre 2011

INDICE

| | |
|--|-----------|
| Riassunto | 3 |
| Introduzione..... | 3 |
| Materiale e metodi | 5 |
| Distribuzione statistica | 6 |
| Area della Toscana settentrionale..... | 8 |
| Area della Liguria e Toscana..... | 15 |
| Composizione tipologica dei rifiuti | 18 |
| Mappatura GIS dei rifiuti..... | 22 |
| Conclusioni | 27 |
| APPENDICE – Tecniche di interpolazione GIS..... | 31 |

Riassunto

I rifiuti e vari detriti macroscopici di origine umana sono stati rilevati e quantificati nel mar Ligure e Tirreno settentrionale per mezzo di campagne di pesca scientifica a strascico. La distribuzione, l'abbondanza e la natura del materiale di scarto riflettono il percorso delle navi mercantili e dei traghetti, indicando di conseguenza la necessità di un ulteriore sforzo per ridurre questo tipo d'inquinamento marino. Tra bottiglie, barattoli, macchine fotografiche, biciclette e anfore, sono stati anche rinvenuti residui di armamenti risalenti alla seconda guerra mondiale e altre situazioni critiche e pericolose sono emerse negli ultimi anni in connessione con l'affondamento volontario o accidentale di container e fusti tossici nella zona di pesca della marineria Toscana.

Introduzione

Il Consiglio Generale della Pesca nel Mediterraneo (FAO) afferma che oltre 6 milioni di tonnellate di materiali solidi e pericolosi di origine umana vengono scaricati ogni anno nei mari del mondo: la maggior parte di loro sono inquinanti di origine industriale, ma una porzione importante della plastica e dei rifiuti persistenti è generata nasce dalle navi a da azioni di dumping.

Informazioni sulla qualità e la quantità dei rifiuti sul fondo del mare è in genere scarsa o limitata ad aree molto ristrette utilizzate per specifici tipi di pratiche di dumping (affondamento volontario di navi o attrezzature da pesca non più utilizzabili). Ciò è dovuto al costo di campionamento elevato, soprattutto quando questo si realizza a batimetriche elevate, ad esempio a 500-800 m di profondità. Un modo per ovviare al problema dei costi è quello di raccogliere i dati mentre si svolgono campionamenti marini con altri obiettivi, come può essere il caso delle campagne di pesca scientifica per il monitoraggio della fauna ittica; nelle figure successive sono riportati alcuni esempi relativi al Mediterraneo settentrionale (campagne del progetto Medits) e ai mari della Toscana (campagne dei progetti Grund e Medits).

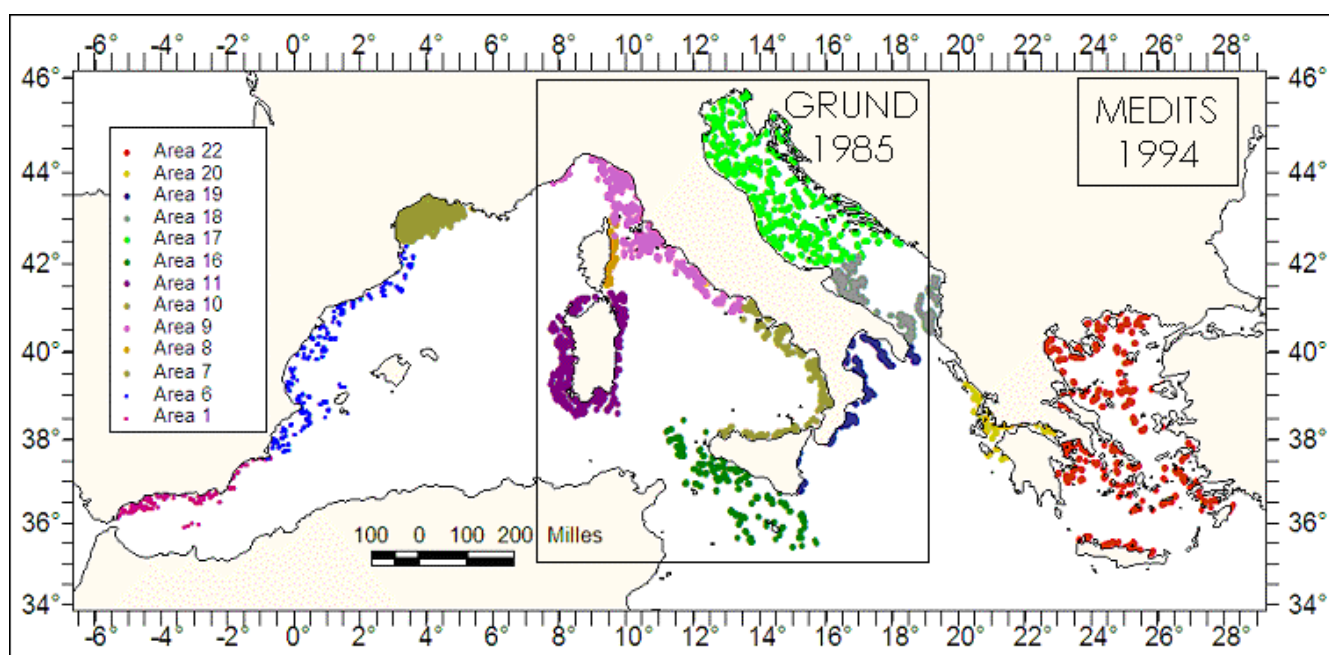


Fig.1 - Posizione delle stazioni di rilevamento dei trawl survey Medits e Grund nel Mediterraneo.

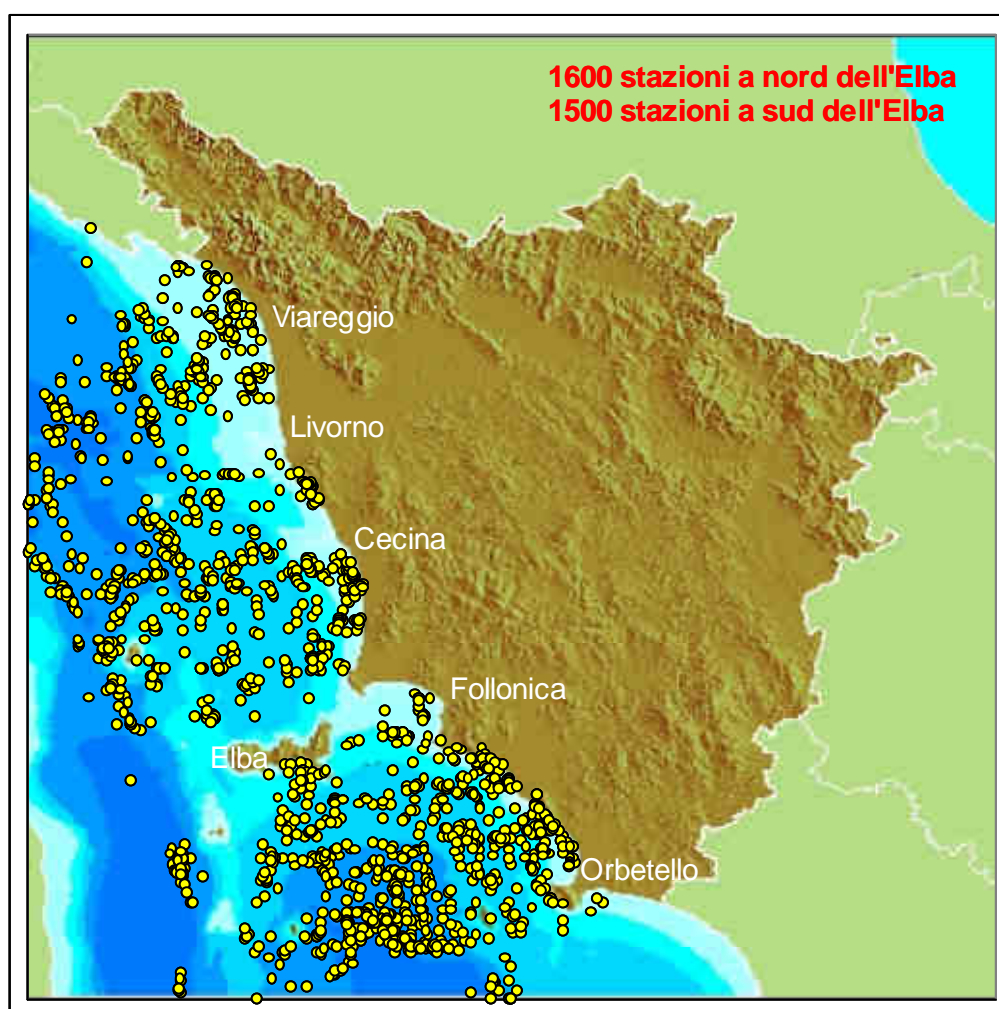


Fig. 2 - Posizione delle stazioni di rilevamento dei trawl survey Medits e Grund in Toscana.

Materiale e metodi

Dal 1985 al 2010, per conto del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali e dell'Unione Europea, oltre 50 campagne di pesca con una rete a strascico sono state realizzate nel Mar Ligure e Tirreno con l'obiettivo di valutare l'abbondanza e il livello di sfruttamento dei pesci presenti sui fondali. Per mezzo di un tradizionale peschereccio italiano e la comune rete commerciale a strascico, sono state effettuate più di 2000 pesche nell'area del santuario Pelagos tra la linea di costa e gli 800 m di profondità. Ogni pescata, della durata di 1 ora, spazza il fondale per una lunghezza di circa 3 miglia nautiche, corrispondenti a una superficie di circa 0,1 chilometri quadrati.

In relazione all'inquinamento marino e agli effetti di origine antropica sul mare, il più importante prodotto di questi campionamenti sono i dati dettagliati sull'abbondanza e la natura dei rifiuti umani rinvenuti in ciascun sito di campionamento: in pratica, i rifiuti antropici di ogni pescata sono stati pesati complessivamente e caratterizzati nelle loro componenti principali.



Fig. 3 - Esempi di pesche scientifiche a strascico contenenti evidenti rifiuti antropici.

Distribuzione statistica

Poiché la distribuzione statistica delle quantità di rifiuti è marcatamente lognormale, ovvero i rifiuti sono solitamente in piccole quantità (pochi kg) e raramente in quantità eccezionali (quintali o tonnellate), per l'elaborazione è stata utilizzata la media geometrica anziché la più comune media aritmetica. Infine, la distribuzione di abbondanza è stata anche mappata con algoritmi di interpolazione del GIS (inverse distance weight, spline functions, kriging), similmente a quanto viene abitualmente realizzato per mappare la distribuzione dei pesci.

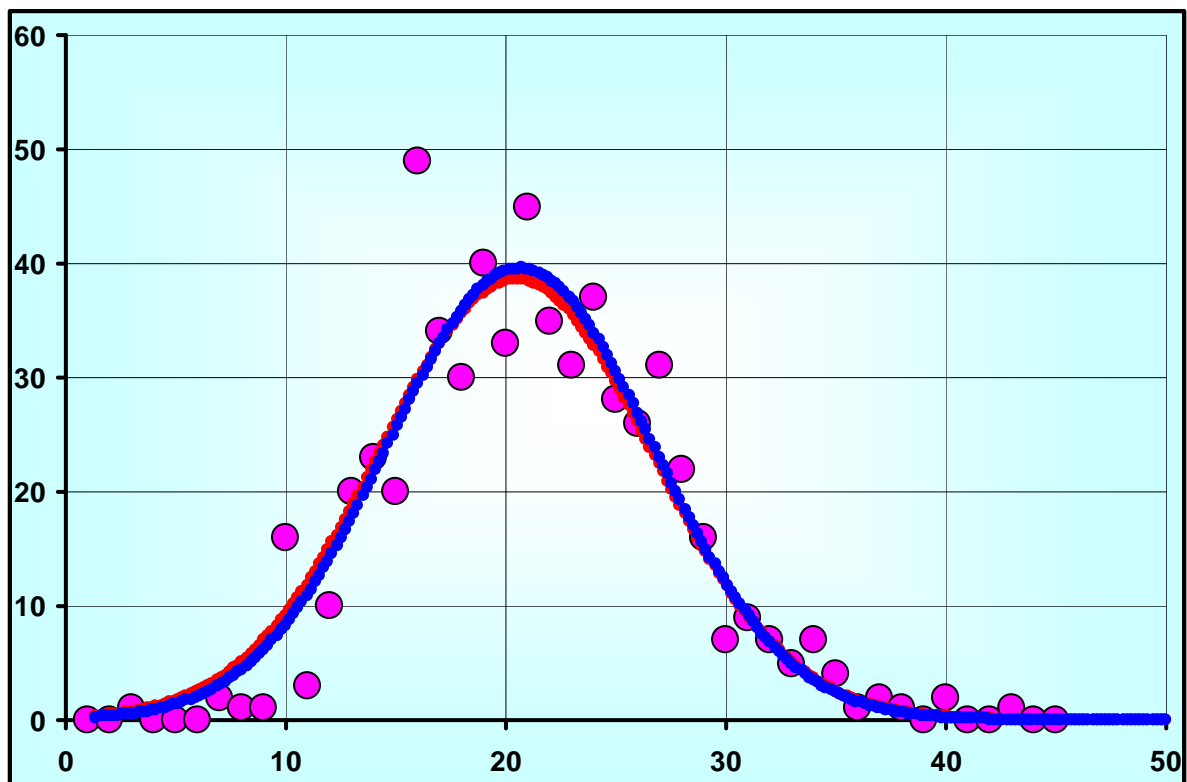


Fig. 4 - Interpolazione gaussiana della distribuzione statistica logtrasformata di abbondanza dei rifiuti sui fondali marini della Toscana settentrionale.

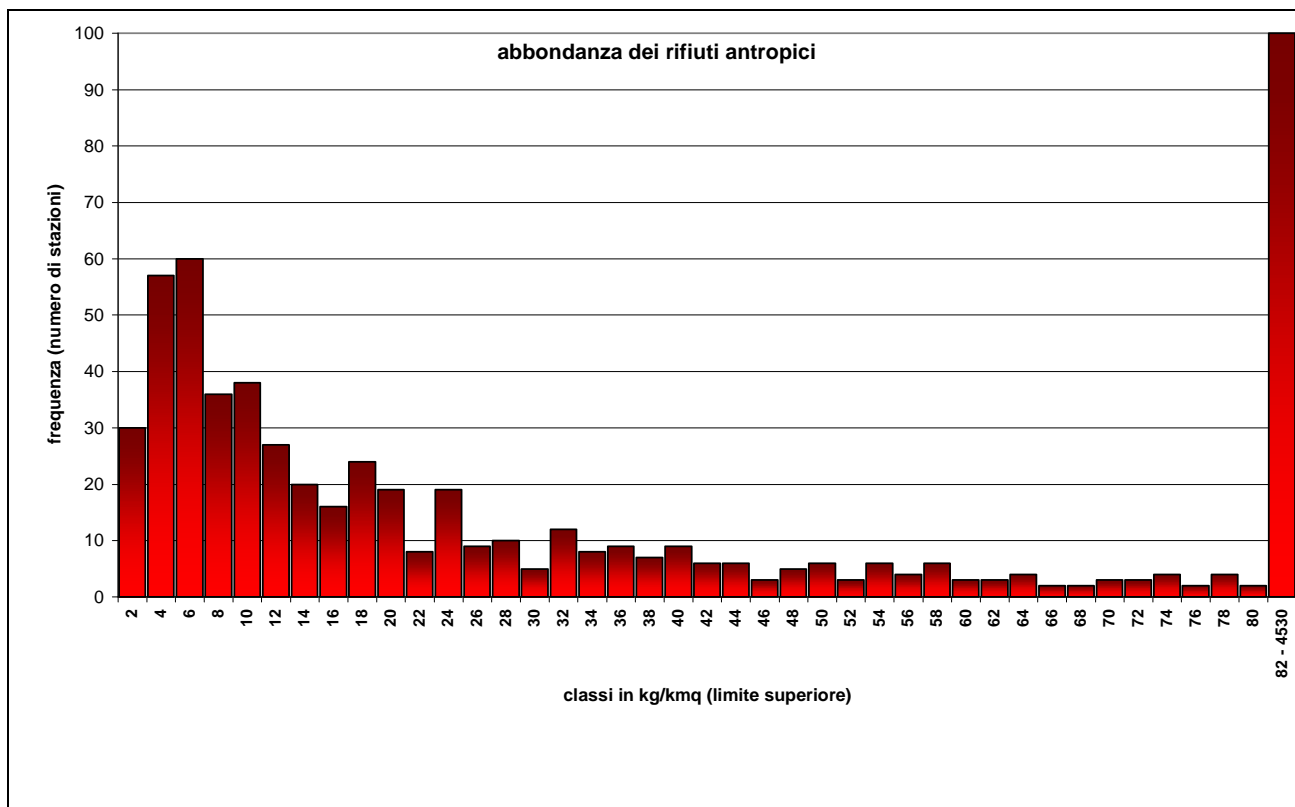


Fig. 5 - Distribuzione statistica originale dell'abbondanza dei rifiuti rilevati sui fondali marini della Toscana settentrionale.

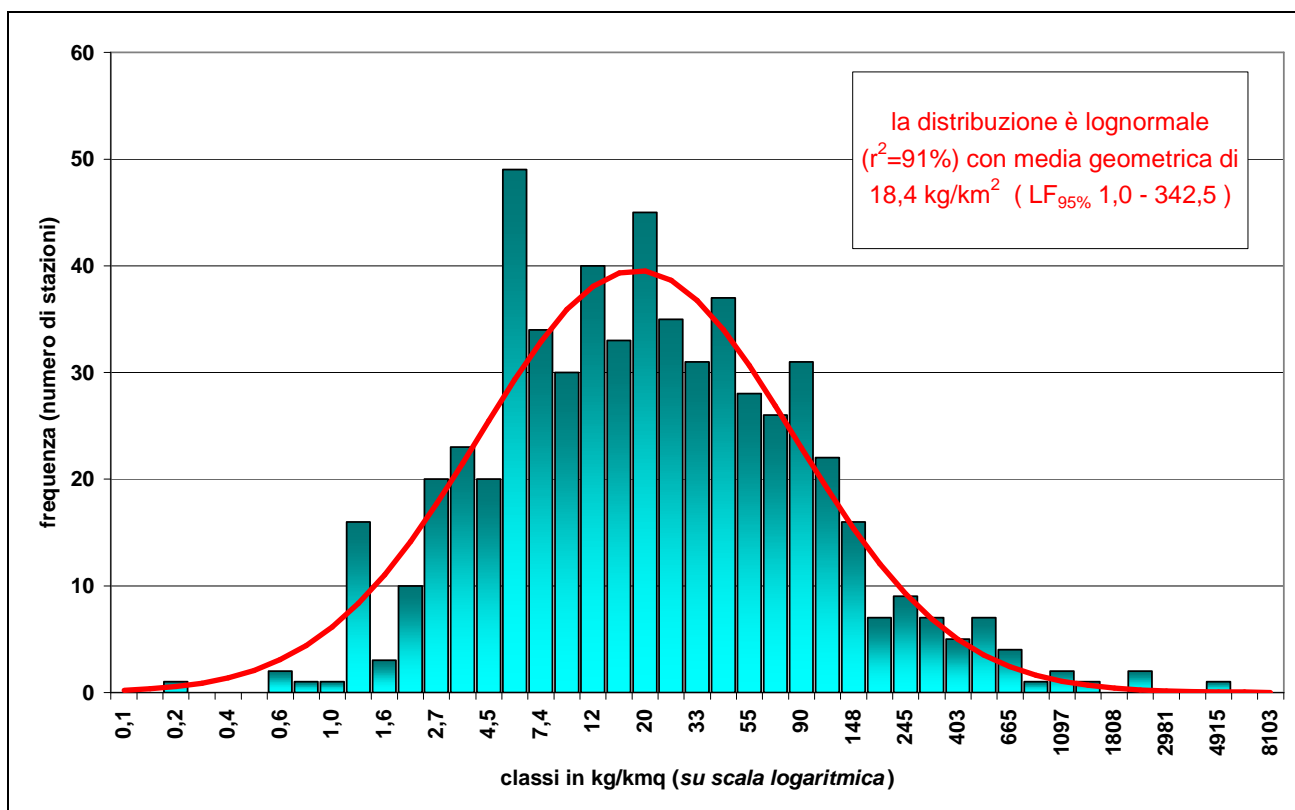


Fig. 6 - Distribuzione statistica (logtrasformata) e interpolazione gaussiana dell'abbondanza dei rifiuti sui fondali marini della Toscana settentrionale.

La trasformazione logaritmica dei dati rende la distribuzione Normale come è evidenziato nella figura seguente dalla correlazione ($R^2 > 0,90$) tra le frequenze osservate e quelle attese dal modello teorico.

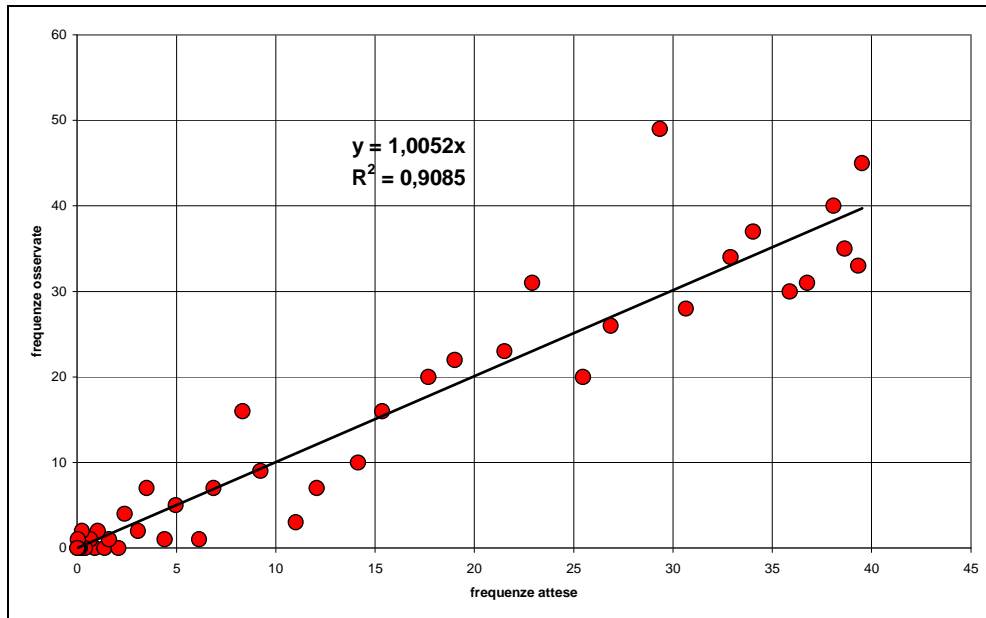


Fig. 7 - Correlazione tra la distribuzione statistica osservata (logtrasformata) e l'interpolazione gaussiana delle abbondanze di rifiuti sui fondali marini della Toscana settentrionale.

Area della Toscana settentrionale

L'arco temporale interessato dai survey Grund è relativo al periodo 1985-2008 e il numero di cale totale è 951 (come evidenziato in tabella), di cui 603 riportano valori quantitativi di rifiuti antropici. Poiché durante i 23 anni di survey i protocolli operativi sono stati più volte aggiornati, i valori assenti possono intendersi sia come quantitativi nulli, o infinitesimali, sia come non rilevati.

I survey sono stati realizzati utilizzando i 7 motopesca citati in tabella 1, caratterizzati da specifiche tecniche e attrezzature anche molto differenti.

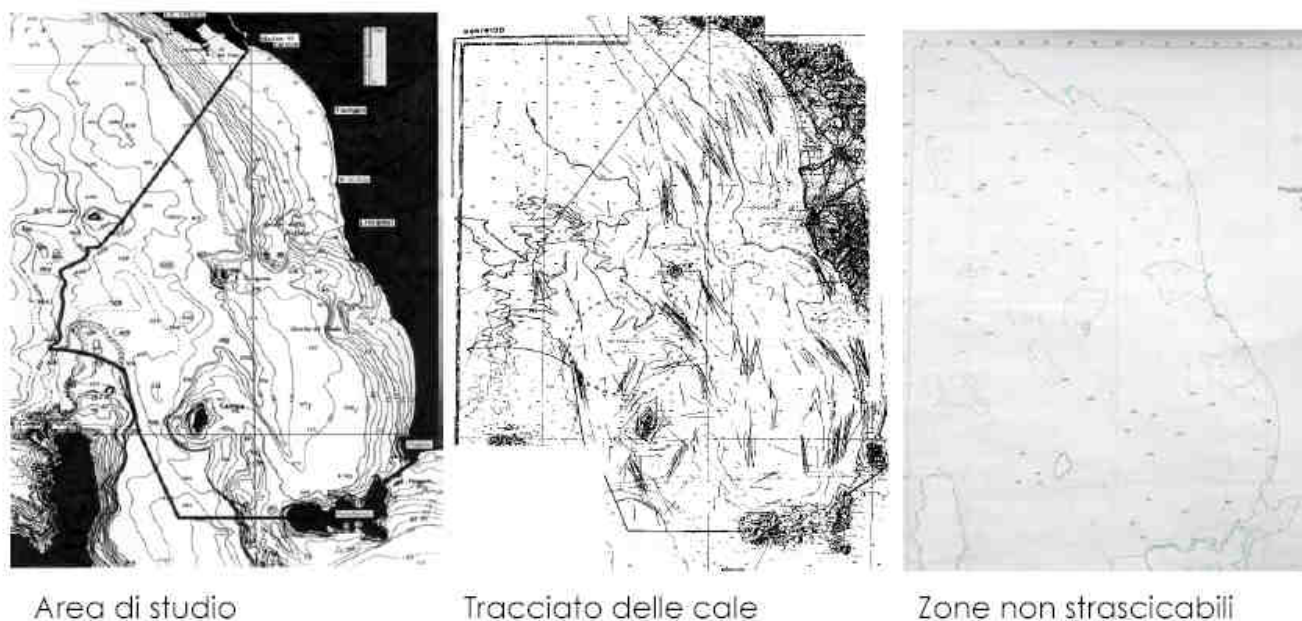


Fig. 8 - Sintesi esemplificativa delle stazioni di rilevamento dei trawl survey Grund nell'area Toscana settentrionale.

I quantitativi, poi espressi in chilogrammi per chilometro quadrato (kg/km^2), sono stati però standardizzati considerando i rilevamenti elettroacustici delle aperture verticali e orizzontali della rete e i modelli matematici di performance (fondamentalmente funzioni esponenziali asintotiche dipendenti dalla profondità operativa).

La durata delle cale, sebbene nominalmente di un'ora, viene condizionata da vari elementi operativi (situazione meteomarina, natura del fondale, eventi episodici quali afferrature, o altro). Per la durata delle cale, inoltre, dal 2005 inoltre è stato adottato per le campagne nazionali Grund il protocollo europeo Medits e pertanto la durata nominale è stata ridotta a soli 30 minuti, limitatamente alle cale posizionate a profondità inferiori a 200 m. Tali fatti, sono comunque essere irrilevanti ai fini di una successiva elaborazione dei dati in quanto tutti i quantitativi catturati sono stati standardizzati a kg per unità di superficie.

I survey, non necessariamente gli anni, in cui non compaiono valori relativi allo sporco antropico sono da considerarsi “missing data” e sono stati quindi trattati di conseguenza.

La densità dei rifiuti di origine antropica (ovvero i valori di kg/km^2) è stata calcolata con le stesse procedure adottate per stimare densità e abbondanza delle oltre 400 specie ittiche che sono il target dei trawl survey: sintetizzando, la swept area è definita dal prodotto dell'apertura orizzontale per la distanza percorsa.

Le caratteristiche dell'imbarcazione, le miglia percorse, la velocità di pesca, l'apertura orizzontale della rete, la linearità del tracciato, la pendenza del fondale, e molti altri parametri

durante l'operazione di pesca possono condizionare la performance della rete e vengono presi in considerazione per definire la "best estimate" dell'area strascicata in ogni cala; da questa ne derivano le stime di densità che vengono convenzionalmente espresse in kg per unità di superficie (km quadrato), si tratti di una specie particolare, un qualche loro assemblaggio o dei rifiuti.

E' utile infine precisare che la distribuzione di frequenza di tali densità non è assolutamente Gaussiana, bensì, come succede peraltro per numerose specie ittiche, segue un modello di Poisson e necessita di appropriati stimatori per l'elaborazione statistica, come è stato precedentemente analizzato più in dettaglio.

Le coordinate, che compaiono nel database e che sono state utilizzate per le elaborazioni GIS, sono frutto di una complessa elaborazione numerica a partire da valori estremamente disomogenei e con elementi di ridondanza, rilevati negli anni tramite radar, loran, gps, e sono pertanto da considerarsi come statisticamente rappresentativi del centroide di un intorno di tre miglia nautiche.

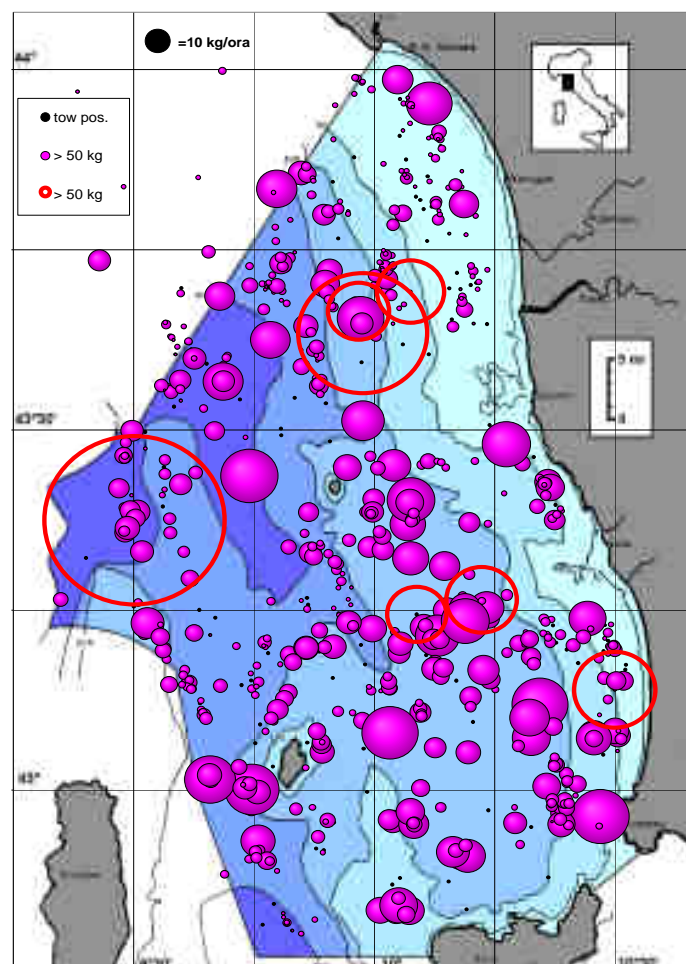


Fig.9 - Quantitativi di rifiuti antropici rilevati durante i trawl survey Grund nell'area Toscana settentrionale: la dimensione delle bolle è proporzionale all'abbondanza dei rifiuti, i cerchi rossi indicano quantitativi eccezionali, superiori a 50 kg.

| survey | anno | data media | ore di pesca | cale totali | cale con dato antropico | differenza cale | percentuale cale mancanti | Motopesca |
|--------|------|-------------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 01 | 1985 | 18-apr-1985 | 28,82 | 29 | 3 | 26 | 90% | Daino I |
| 02 | 1985 | 24-ago-1985 | 29,92 | 30 | 25 | 5 | 17% | Daino I |
| 03 | 1986 | 3-mag-1986 | 27,63 | 30 | 30 | 0 | 0% | Angelo |
| 04 | 1986 | 7-set-1986 | 29,30 | 30 | 28 | 2 | 7% | Angelo |
| 05 | 1987 | 21-apr-1987 | 27,75 | 29 | 29 | 0 | 0% | Angelo |
| 06 | 1987 | 9-set-1987 | 11,42 | 7 | | | | Angelo |
| 07 | 1987 | 10-dic-1987 | 13,75 | 8 | | | | Angelo |
| 08 | 1988 | 23-feb-1988 | 11,00 | 6 | | | | Angelo |
| 09 | 1988 | 7-giu-1988 | 14,17 | 8 | | | | Angelo |
| 10 | 1990 | 10-nov-1990 | 34,58 | 19 | | | | Albula |
| 11 | 1991 | 20-mag-1991 | 37,02 | 19 | 9 | 10 | 53% | Albula |
| 12 | 1991 | 28-lug-1991 | 38,17 | 20 | 5 | 15 | 75% | Albula |
| 13 | 1991 | 16-nov-1991 | 30,37 | 16 | 5 | 11 | 69% | Albula |
| 14 | 1992 | 3-mag-1992 | 37,17 | 19 | 4 | 15 | 79% | Albula |
| 15 | 1992 | 1-ago-1992 | 36,18 | 19 | 6 | 13 | 68% | Albula |
| 16 | 1992 | 1-dic-1992 | 22,83 | 13 | 1 | 12 | 92% | Albula |
| 17 | 1993 | 8-mag-1993 | 23,83 | 12 | 2 | 10 | 83% | Albula |
| 18 | 1993 | 28-lug-1993 | 24,72 | 13 | 5 | 8 | 62% | Albula |
| 19 | 1994 | 5-mag-1994 | 26,82 | 29 | 28 | 1 | 3% | Albula |
| 20 | 1994 | 4-nov-1994 | 26,02 | 28 | 14 | 14 | 50% | Albula |
| 21 | 1995 | 11-mag-1995 | 27,38 | 28 | 14 | 14 | 50% | Albula |
| 22 | 1995 | 3-ott-1995 | 27,27 | 28 | 8 | 20 | 71% | Albula |
| 23 | 1996 | 3-nov-1996 | 55,25 | 58 | 55 | 3 | 5% | Il Merlo |
| 24 | 1997 | 25-nov-1997 | 55,52 | 58 | 58 | 0 | 0% | Francesco Padre |
| 25 | 1998 | 21-ott-1998 | 52,92 | 58 | 40 | 18 | 31% | Francesco Padre |
| 26 | 2000 | 23-ott-2000 | 52,25 | 54 | 54 | 0 | 0% | Francesco Padre |
| 27 | 2001 | 25-ott-2001 | 85,37 | 88 | 85 | 3 | 3% | Marcantonio II |
| 28 | 2002 | 7-ott-2002 | 56,67 | 58 | 54 | 4 | 7% | Marcantonio II |
| 29 | 2003 | 7-ott-2003 | 25,25 | 28 | 15 | 13 | 46% | Libera |
| 30 | 2004 | 16-set-2004 | 26,38 | 28 | 14 | 14 | 50% | Libera |
| 31 | 2005 | 14-dic-2005 | 18,08 | 28 | 12 | 16 | 57% | Libera |
| 32 | 2006 | 12-dic-2006 | 18,52 | 28 | | | | Libera |
| 33 | 2008 | 26-ott-2008 | 16,58 | 25 | | | | Libera |
| | | | totali | 951 | 603 | 348 | 37% | |

Tab. 1 - Sintesi delle stazioni di rilevamento e dei parametri associati sui fondali marini della Toscana settentrionale in 20 anni di trawl survey Grund.

Poiché, come già detto, i protocolli operativi dei trawl survey sono mutati durante il corso degli oltre 20 anni di raccolta dati, e di conseguenza i dati relativi ai rifiuti di origine antropica non sono stati sistematicamente inseriti nei databases, si è proceduto alla verifica del bias determinato dai dati mancanti.

Le 603 rilevazioni di rifiuto antropico elencate nella precedente tabella sono state suddivise tra i survey in cui il rilevamento è presente in oltre il 90% delle stazioni di rilevamento (cale o pescate) e i survey in cui la registrazione è limitata a una percentuale più bassa. Nel primo caso, survey completi si dispone di 421 dati, mentre nei survey parzialmente registrati si hanno 182 dati.

I risultati del confronto tra i descrittori log-trasformati, riassunto nella tabella 2, indicano che le medie dei dati parziali sono statisticamente differenti, sebbene non lo sia la distribuzione dei valori, e che quindi in tali situazioni si siano registrati solo i valori più elevati.

Pertanto la stima complessiva per la Toscana settentrionale di una media geometrica di 18,4 kg/km² di rifiuti antropici sul fondo marino può essere leggermente sovrastimata: il valore corretto è comunque superiore a 16,5 kg/km² con limiti di confidenza al 95% di 14,3 e 18,9 kg/km².

| | logaritmi | | dati ritrasformanti in kg/kmq | | |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|------------|
| | survey completi | survey parziali | survey completi | survey parziali | |
| num. | 421 | 182 | | | |
| media | 2,86 | 3,37 | 16,5 | 28,1 | |
| dev.st. | 1,35 | 1,39 | | | |
| LF- | 0,15 | 0,60 | 0,2 | 0,8 | CLdati |
| LF+ | 5,57 | 6,14 | 260,9 | 464,1 | CLdati |
| LF-95 | 2,73 | 3,17 | 14,3 | 22,7 | CLmedia * |
| LF+95 | 2,99 | 3,58 | 18,9 | 34,8 | CLmedia |
| LF-99 | 2,69 | 3,11 | 13,7 | 21,3 | CLmedia ** |
| LF+99 | 3,03 | 3,64 | 19,7 | 37,1 | CLmedia |

Tab. 2 - Sintesi dei confronti tra le stie dei rifiuti antropici ottenuti nel survey a rilevazione completa (>90%) e quelli a rilevazione parziale.

Il quantitativo totale dei rifiuti pescati ammonta a oltre 1 tonnellata in Liguria e 5 tonnellate in Toscana: è interessante notare che questa quantità rappresenta in peso circa il 4% rispetto al pesce pescato. Nella tabella 3 e grafici seguenti (Fig. 10, 11 e 12) vengono riportati i valori medi di abbondanza delle categorie tipologiche (espressi in kg/km²) presenti sui fondali marini della Toscana settentrionale come rilevati in 20 anni di trawl survey.

| | scarto biologico | osteitti | selaci | cefalopodi | crostacei | rifiuti antropici |
|-------------|------------------|----------|--------|------------|-----------|-------------------|
| 1985 | 799 | 449 | 80 | 57 | 17 | 63 |
| 1986 | 1108 | 406 | 86 | 37 | 13 | 72 |
| 1987 | 1138 | 525 | 88 | 43 | 13 | 44 |
| 1988 | 449 | 344 | 47 | 38 | 25 | 47 |
| 1990 | 229 | 300 | 56 | 59 | 13 | 47 |
| 1991 | 204 | 242 | 36 | 41 | 9 | 20 |
| 1992 | 221 | 377 | 50 | 50 | 13 | 15 |
| 1993 | 386 | 416 | 50 | 50 | 14 | 15 |
| 1994 | 579 | 432 | 49 | 50 | 9 | 21 |
| 1995 | 412 | 366 | 46 | 72 | 12 | 33 |
| 1996 | 307 | 382 | 68 | 72 | 18 | 14 |
| 1997 | 229 | 463 | 70 | 99 | 27 | 27 |
| 1998 | 277 | 659 | 85 | 60 | 17 | 61 |
| 2000 | 464 | 611 | 91 | 64 | 20 | 54 |
| 2001 | 324 | 402 | 39 | 51 | 16 | 62 |
| 2002 | 373 | 660 | 69 | 89 | 22 | 105 |
| 2003 | 519 | 450 | 86 | 35 | 59 | 19 |
| 2004 | 259 | 686 | 50 | 55 | 34 | 77 |
| 2005 | 181 | 446 | 35 | 82 | 39 | 79 |
| 2006 | 423 | 529 | 75 | 86 | 13 | 47 |
| 2008 | 141 | 545 | 96 | 56 | 12 | 47 |
| media | 449 | 462 | 64 | 60 | 18 | 47 |
| percentuale | 41% | 42% | 6% | 5% | 2% | 4% |

Tab. 3 - Valori medi di abbondanza delle categorie tipologiche (espressi in kg/km²) presenti sui fondali marini della Toscana settentrionale come rilevati in 20 anni di trawl survey.

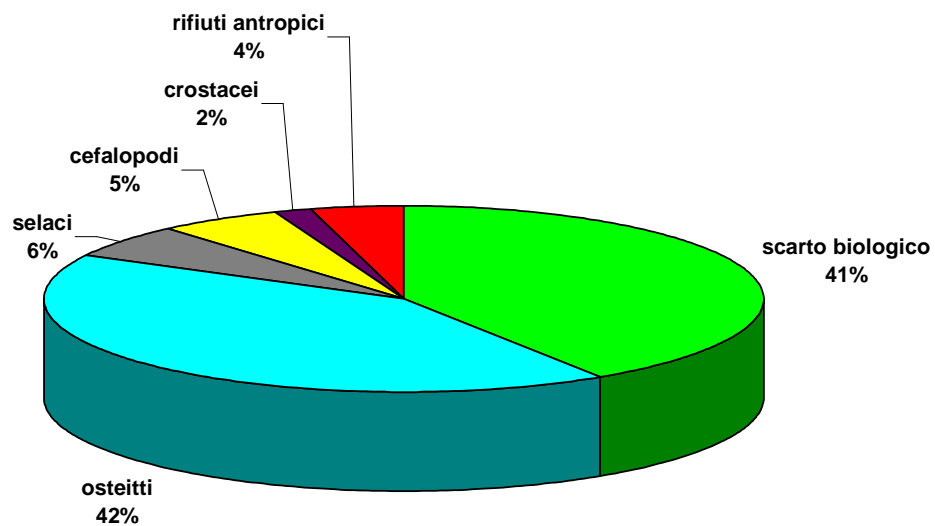


Fig. 10 - Percentuali di abbondanza delle categorie tipologiche presenti sui fondali marini della Toscana settentrionale.

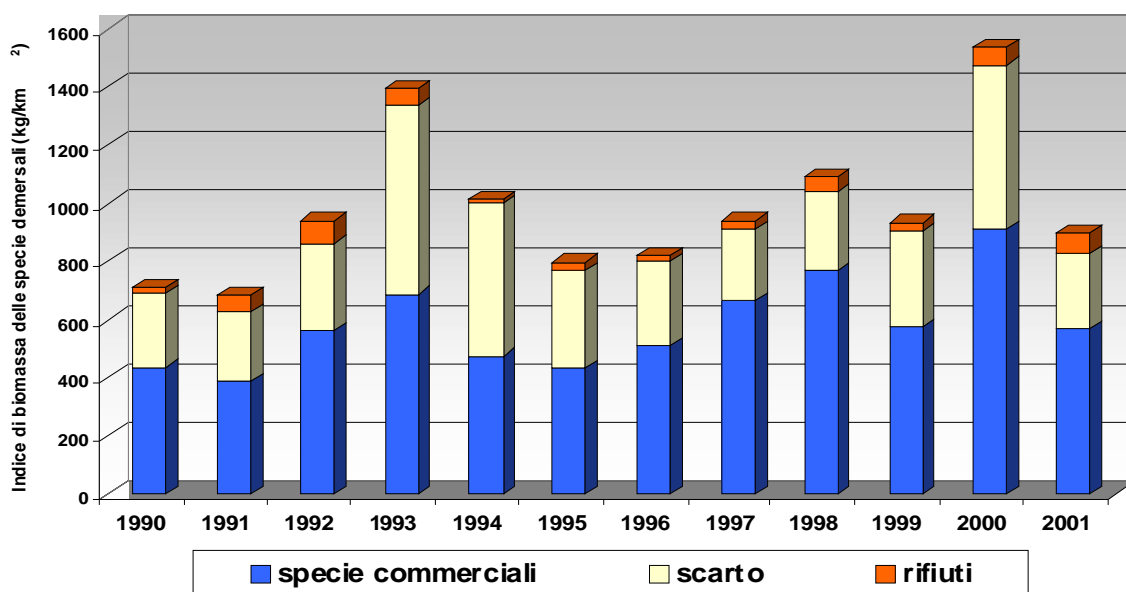


Fig. 11 - Indici d'abbondanza delle catture di specie ittiche commerciali, d'organismi bentonici di scarto e di rifiuti antropici (espressi in kg/km²) rilevati sui fondali marini della Toscana settentrionale in un decennio di trawl survey.

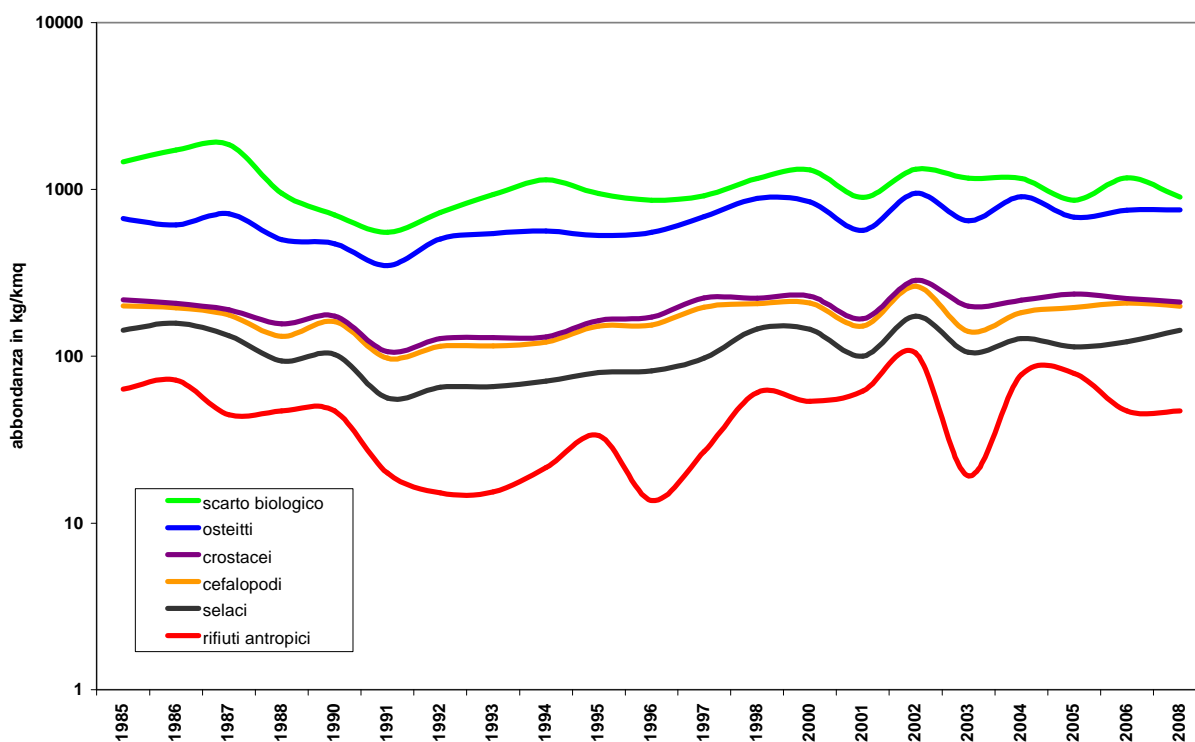


Fig. 12 - Valori medi di abbondanza delle categorie tipologiche (espressi in kg/km² su scala logaritmica) presenti sui fondali marini della Toscana settentrionale rilevati in 20 anni di trawl survey.

Area della Liguria e Toscana

Sebbene la media aritmetica abbia poco significato con questo tipo di dati, i valori ottenuti per la Liguria ($57,6 \text{ kg/km}^2$; $58,8 \text{ kg/km}^2$ per i survey grund e $49,2 \text{ kg/km}^2$ per i survey medits), per la Toscana settentrionale ($67,5 \text{ kg/km}^2$) e per la Toscana meridionale ($40,8 \text{ kg/km}^2$) risultano molto simili.

Più correttamente, utilizzando il metodo dell'area strascicata e i dati log-trasformati si ottiene una stima della media geometrica che risulta di $13,6 \text{ kg/km}^2$ per la Liguria, di $18,4 \text{ kg/km}^2$ per la Toscana settentrionale e infine di $17, \text{ kg/km}^2$ per la Toscana meridionale.

I tre valori sono comunque da considerarsi statisticamente equivalenti in quanto non solo i limiti fiduciali (il 95% dei casi) è compreso tra 0,5 e 420 kg/km^2 per la Liguria, tra 1 e 364 kg/km^2 per la Toscana nord e 1,6 e 195 kg/km^2 per la Toscana sud, ma anche i limiti di confidenza della media indicano che le differenze non sono statisticamente significative (Tab. 4).

| | Liguria | Toscana nord | Toscana sud |
|--------------|----------------|---------------------|--------------------|
| media | 13,6 | 18,4 | 17,5 |
| LF+media | 16,5 | 20,8 | 20,2 |
| LF-media | 11,2 | 16,3 | 15,2 |
| LF+ | 419,9 | 363,6 | 194,7 |
| LF- | 0,4 | 0,9 | 1,6 |
| n.punti | 316 | 603 | 284 |

Tab. 4 - Valori delle medie geometriche dell'abbondanza di rifiuti (espressi in kg/km^2) presenti sui fondali marini di Liguria e Toscana.

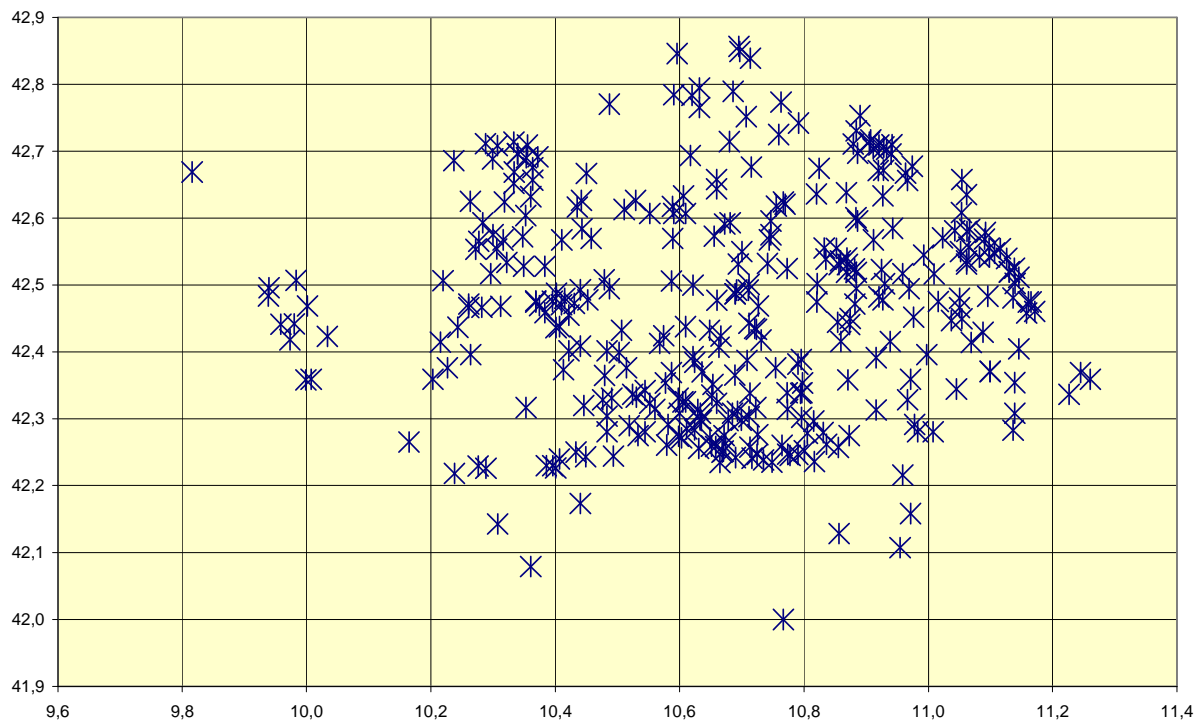


Fig. 13 - Posizioni dei rilevamenti dell'abbondanza di rifiuti presenti sui fondali marini in Toscana (a sud dell'Isola d'Elba).

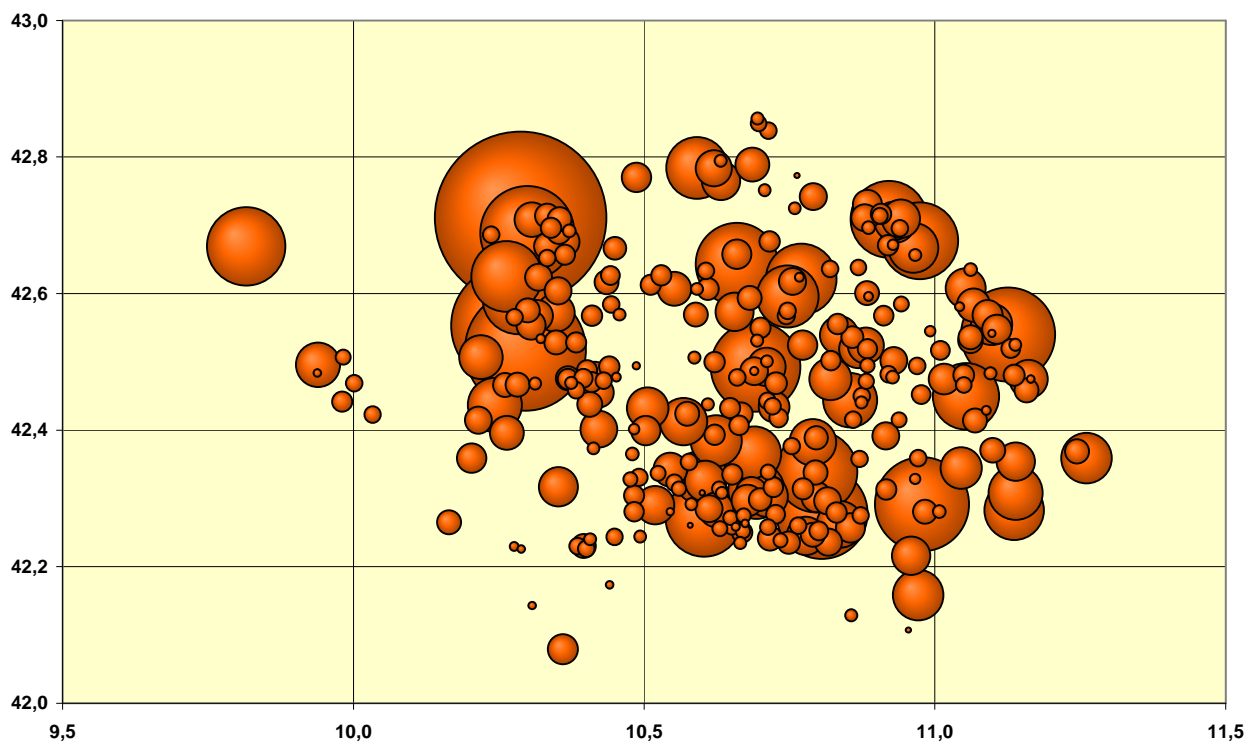


Fig. 14 - Valori dell'abbondanza di rifiuti presenti sui fondali marini in Toscana (a sud dell'Isola d'Elba).

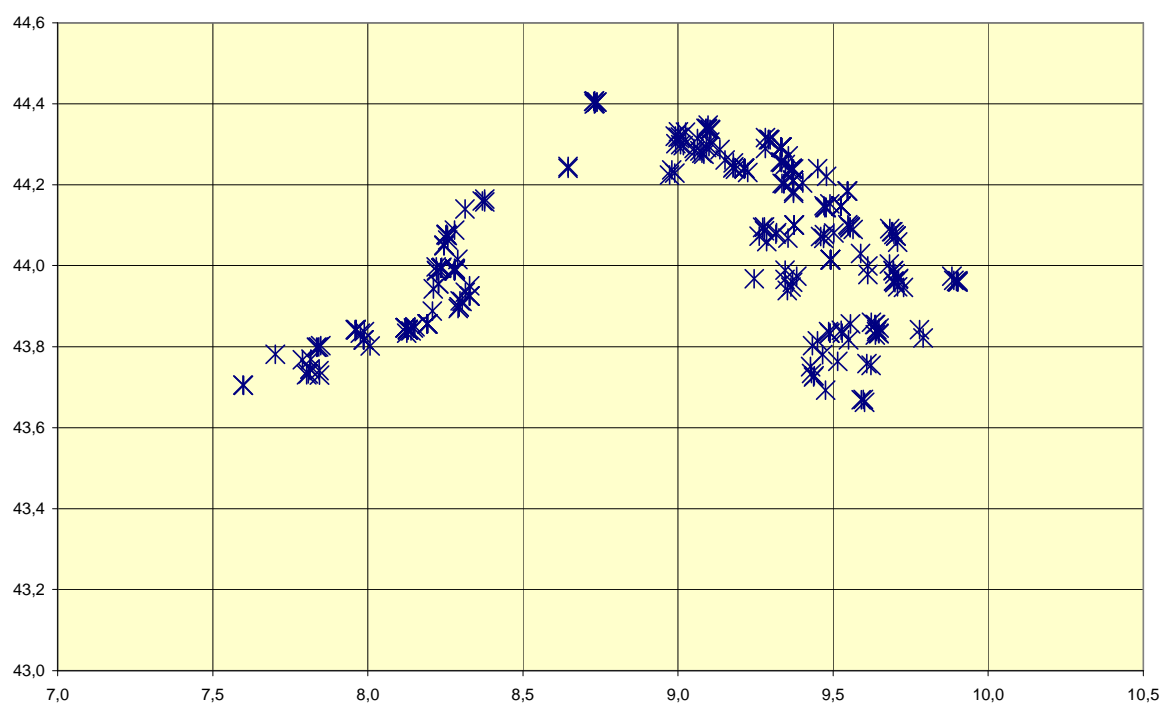


Fig. 15 - Posizioni dei rilevamenti dell'abbondanza di rifiuti presenti sui fondali marini in Liguria.

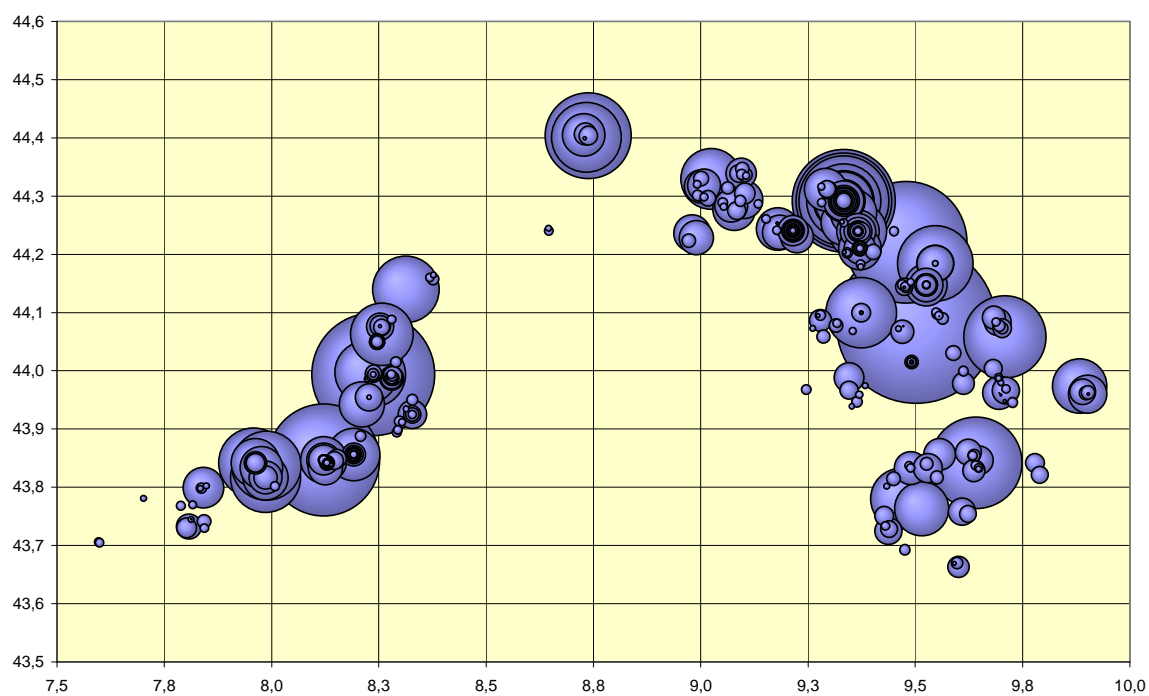


Fig. 16 - Valori dell'abbondanza di rifiuti presenti sui fondali marini in Liguria.

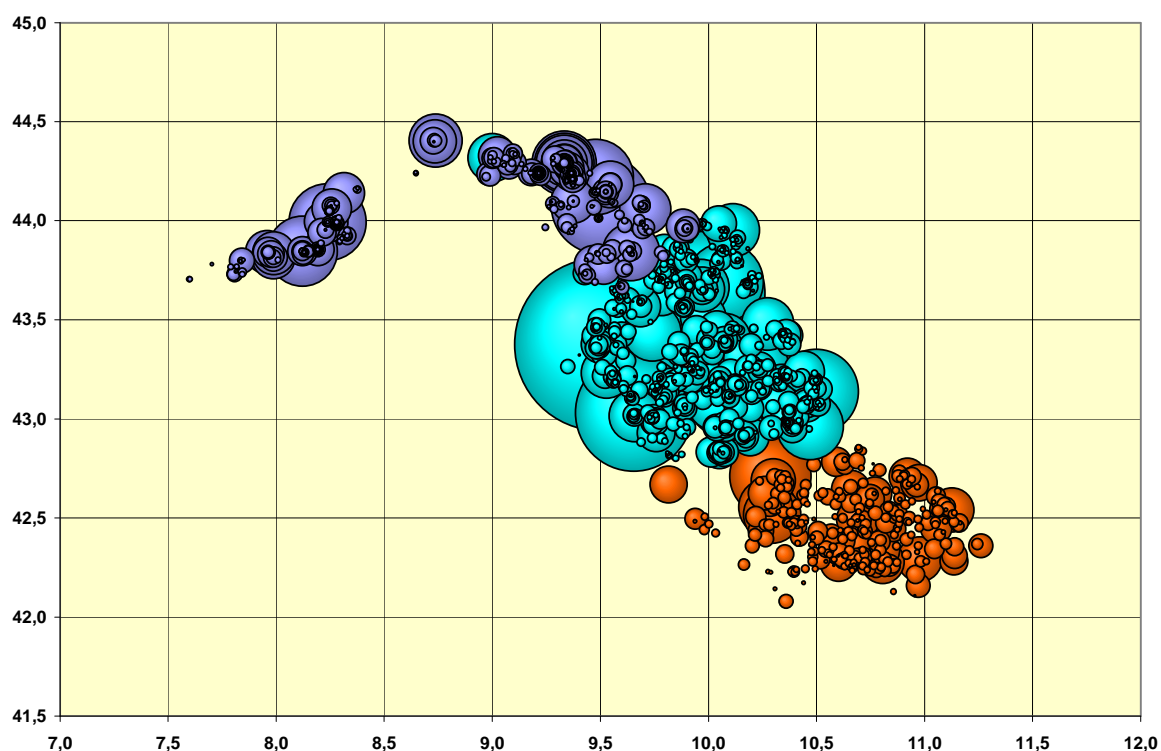


Fig. 17 - Valori dell'abbondanza di rifiuti presenti sui fondali marini in Liguria, Toscana settentrionale e Toscana meridionale.

Composizione tipologica dei rifiuti

Nella relazione finale "Rifiuti marini: una sfida globale", frutto di una ricerca durata cinque anni, il Programma Ambientale delle nazioni Unite (UNEP) identifica la plastica come uno dei rifiuti più diffusi (80%) dei mari e degli oceani. Questo risultato è in accordo con i nostri rilevamenti: infatti, le frequenze più alte sono state registrate per i sacchetti di plastica (73% dei siti), le bottiglie (57%), le lattine di bevande (30%), le lattine di alimentari (25%) e vari prodotti sintetica (20%) (Fig. 18). Risultati simili sono stati ottenuti non solo in Liguria e Toscana ma anche nello stretto di Sicilia.

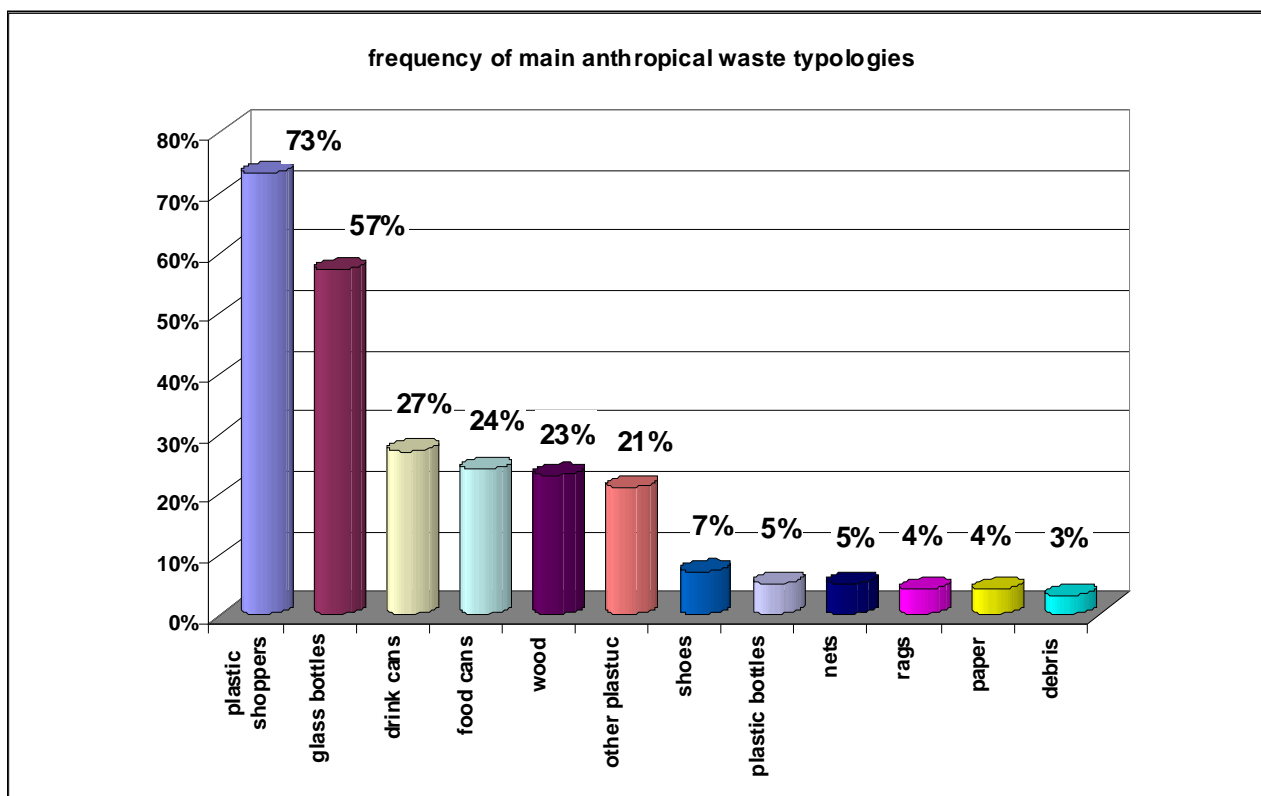


Fig. 18 - Percentuali di abbondanza di rifiuti presenti sui fondali marini della Toscana settentrionale in relazione alle loro tipologie merceologiche.

Altre categorie come le scarpe, occhiali, stoviglie, reti da pesca, tessuti o stracci hanno una frequenza inferiore al 10%. Tra le curiosità si possono citare una vecchia bicicletta, una manichetta antincendio ancora confezionata, una fotocamera e parti di anfore romane.

Si è anche osservato un'occasionale presenza di rifiuti di grandi dimensioni e molto pesanti (oltre 50 kg) quali fusti, mine, pneumatici o materassi con una posizione che può essere molto localizzata, ad esempio in una zona di scarico dei dragaggi portuali, o al contrario molto irregolare in quanto determinata da dumping accidentali.

Sui fondali delle zone di pesca nel mare della Toscana, escludendo i molti relitti di navi affondate durante le mareggiate o per eventi bellici, c'è comunque una preoccupante presenza di vari resti della seconda guerra mondiale, bombe aeree, mine, ogive, bossoli, o più frequentemente i carretti per il trasporto delle mine, che i pescatori a volte ancora ritrovano nelle loro reti a strascico e che, al di là del pericolo ambientale che essi rappresentano, costituiscono comunque un serio problema tecnico per l'attività di pesca.



Fig. 19 - Esempi di residuati bellici pescati durante le campagne di pesca scientifica: mine.

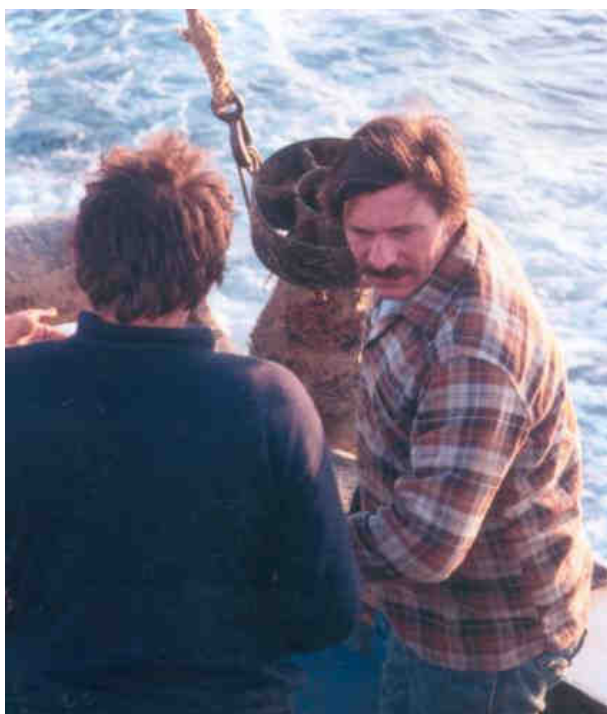


Fig. 20 - Esempi di residuati bellici pescati durante le campagne di pesca scientifica: bombe.



Fig. 21 - Esempi di residuati bellici pescati durante le campagne di pesca scientifica: bossoli e ogive.

Non è stata osservata nessuna correlazione evidente tra la densità di rifiuti e la profondità: tutti i fondi, indipendentemente dalla profondità, sono più o meno inquinati con valori leggermente più elevati nell'intervallo 50-150 m di profondità, soprattutto tra le isole di Gorgona, Capraia ed Elba. Parimenti in Toscana non è stata trovata alcuna relazione con la vicinanza alle foci dei fiumi, fenomeno che è stato invece osservato nel Mar Ligure, probabilmente per la particolare conformazione della costa ligure.

L'analisi dei dati suggerisce che la distribuzione dei rifiuti abbia una sovrapposizione spaziale con le aree dove le rotte di mercantili e traghetti sono più frequenti: le abbondanze maggiori si osservano infatti lungo i percorsi delle navi o vicino alla costa, dove la frequenza delle imbarcazioni da diporto è più alta.

Una stima preliminare indica che dalle navi i rifiuti si distribuiscono su una striscia di circa 3-5 miglia di larghezza: se infatti si confronta la distribuzione spaziale delle varie tipologie si osserva che i sacchetti e le borse di plastica, in quanto più leggeri, si spostano quasi ovunque trasportati da onde e correnti, mentre bottiglie, barattoli e lattine affondano praticamente nello stesso punto in cui cadono in mare e sono più concentrate lungo i tragitti delle navi e nella fascia costiera.

Mappatura GIS dei rifiuti

I dati quantitativi dei rifiuti di origine antropica sono stati georeferenziati in WGS84 utilizzando il punto medio del tracciato di campionamento e possono essere considerati indicativi di un intorno ampio circa 3 miglia nautiche, sebbene la superficie effettivamente campionata abbia ordine di grandezza di $0,1 \text{ km}^2$.

Tutti i valori quantitativi dei rifiuti sono stati comunque standardizzati al kg/km^2 e quindi utilizzati per le interpolazioni GIS.

Il primo passo è consistito nella proiezione diretta dei valori tramite una rappresentazione a bolle proporzionali ai quantitativi, come nell'esempio della figura seguente.

Successivamente sono state testate varie tecniche di interpolazione, quali l'Inverse Distance Weight (IDW) parametrizzato con potenza = 2 e alternativamente 20 oppure 30 punti, ottenendo i plot come riportato in figura 23-26.

Si noti che le proiezioni "cristalline" a nord e ovest della Corsica sono non-significanti in quanto dovute all'estrapolazione dei dati costieri verso ampie aree del largo che non sono state esaminate perché troppo profonde.

Altre tecniche di interpolazione, quali spline functions e krigins non sembrano fornire al momento risultati soddisfacenti: verosimilmente in quanto, per la natura lognormale dei dati, non è stata identificata finora una parametrizzazione adeguata.

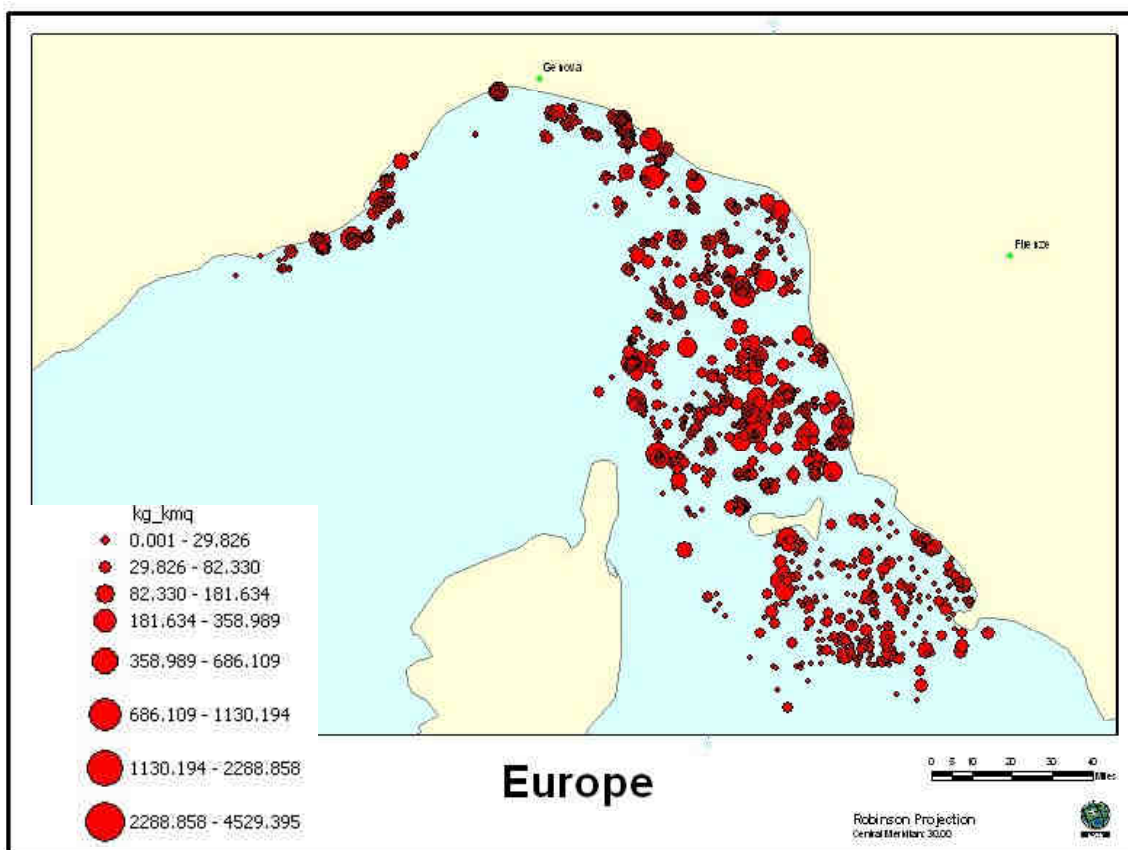


Fig. 22 - Rappresentazione a bolle dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino.

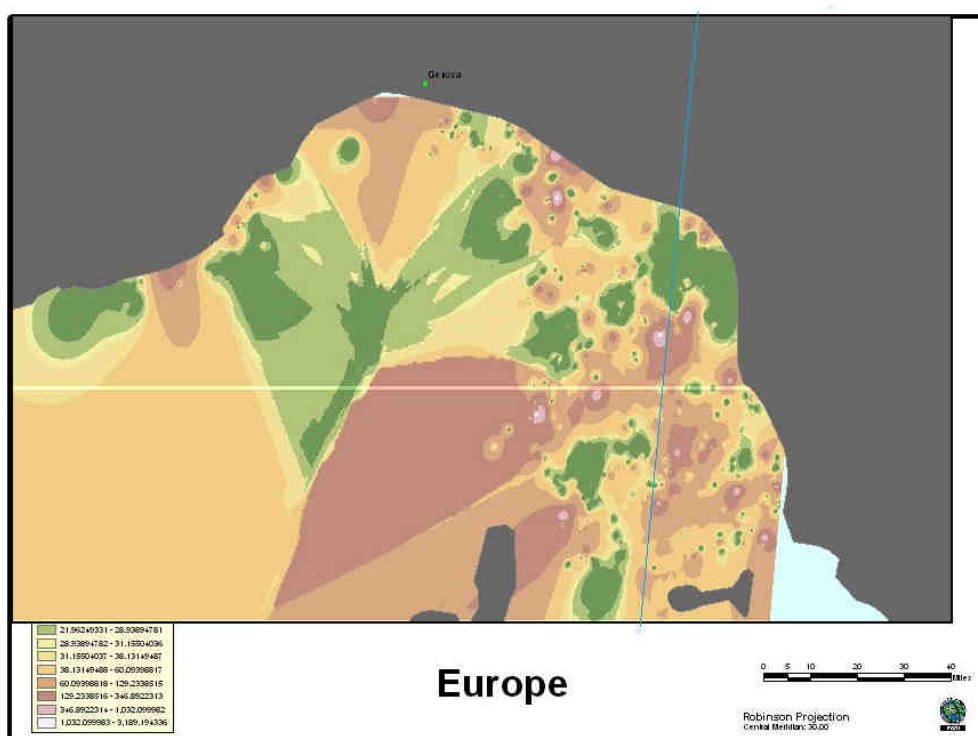


Fig. 23 - Interpolazione dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino: IDW power=2 point=30.

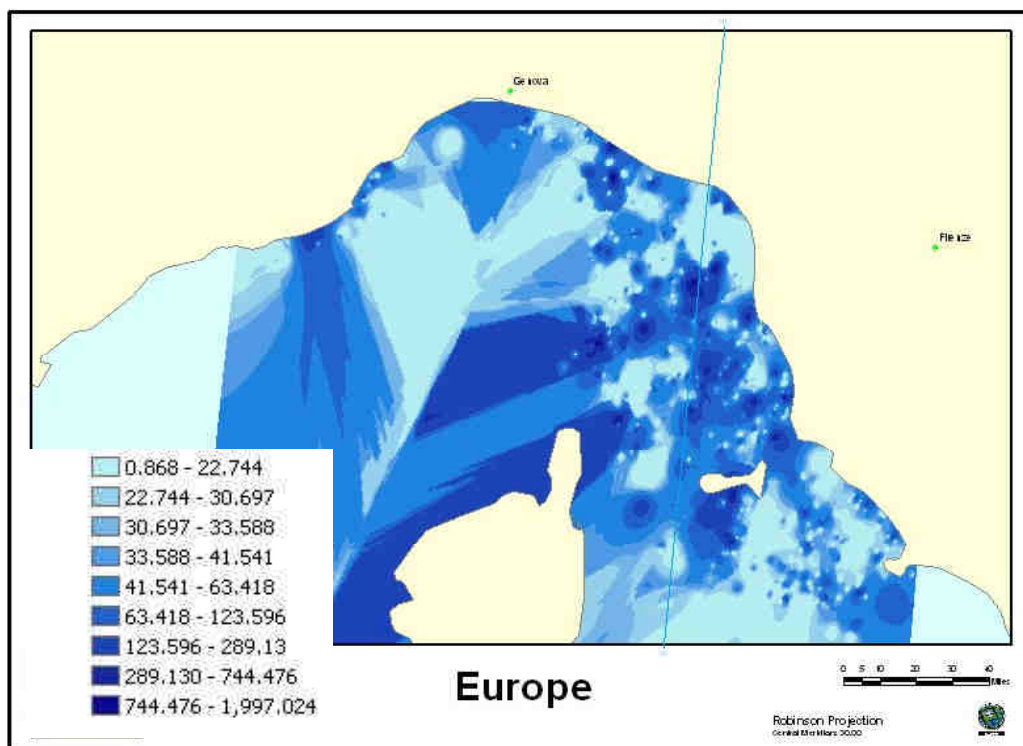


Fig. 24 - Interpolazione dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino: IDW power=2 point=20.

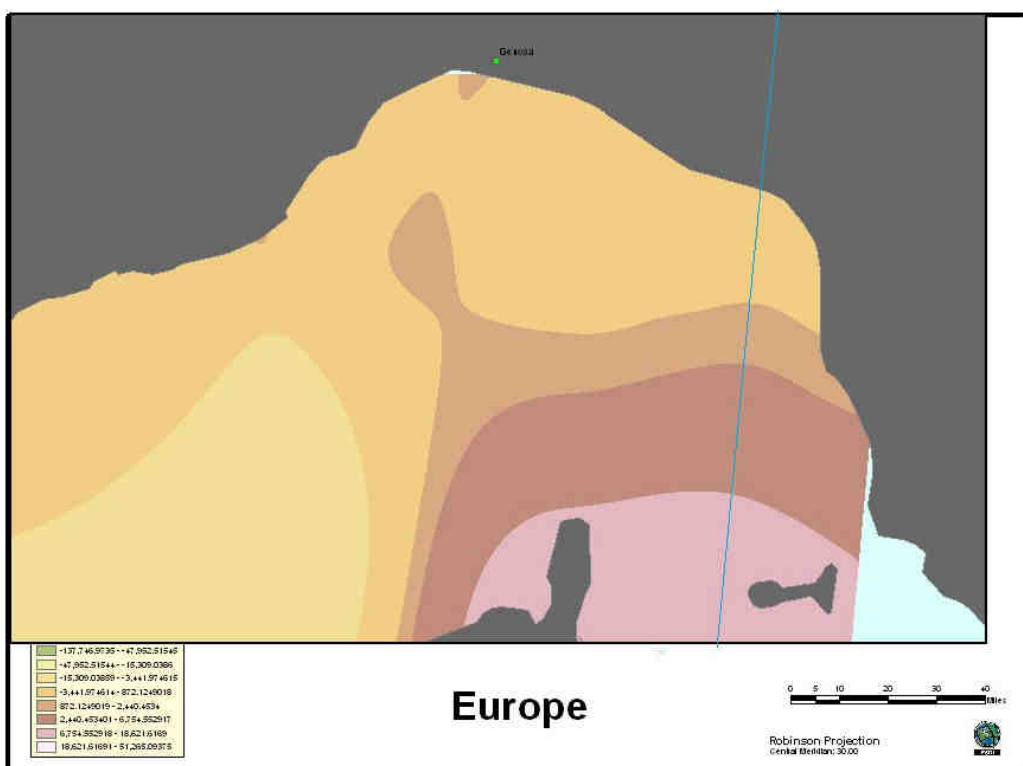


Fig. 25 - Interpolazione dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino: Spline function 20 points

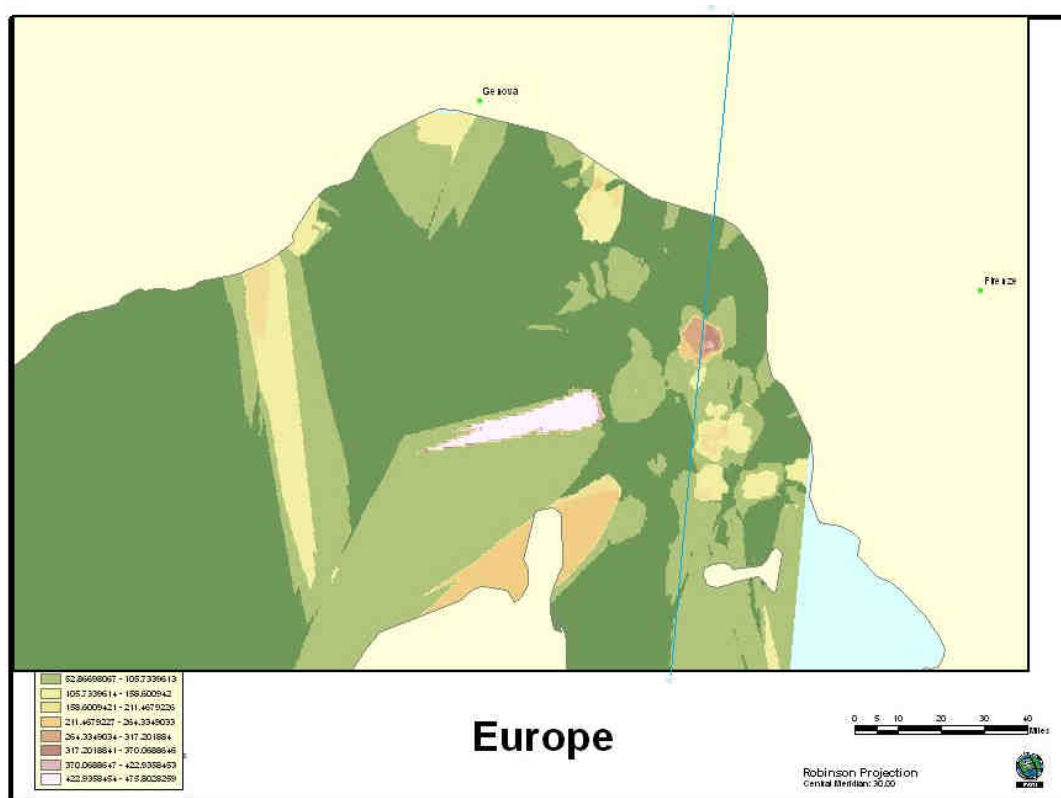


Fig. 26 - Interpolazione dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino: Kriging default.

In conclusione sembra che la rappresentazione migliore della distribuzione spaziale dei rifiuti sui fondali del mar Ligure e Tirreno settentrionale si ottenga, tramite l'interpolazione ARCGIS dei valori di densità in kg/km^2 , con il metodo dell'Inverse Distance Weight a potenza quadratica ed utilizzando i 20 punti più prossimi (power=2 e points=20).

Nella figura 27 le zone in azzurro più chiaro corrispondono a pochi kg/km^2 di rifiuti, al massimo qualche decina, mentre quelle scure indicano una maggiore abbondanza di rifiuti, che può anche superare la tonnellata per km^2 quadrato.

Per quanto riguarda la zona ligure si osserva una presenza di rifiuti più elevata nelle vicinanze del porto di La Spezia con valori superiori ad $1 \text{ ton}/\text{km}^2$. Nella zona toscana a nord dell'Isola d'Elba è possibile individuare vari punti in cui si registra una maggiore concentrazione di rifiuti: in particolare si osservano zone di alta concentrazione intorno alle isole più settentrionali dell'Arcipelago toscano (Capraia e Gorgona) con valori superiori a $1,5 \text{ ton}/\text{km}^2$. Altra zona da segnalare è quella a 12 miglia in direzione nord-est di Livorno, che presenta anche essa valori di 1-3

ton/Km²., trattandosi di una zona in cui nei decenni scorsi si è realizzato il dumping dei fanghi dragati nel porto di Livorno.

Analizzando la distribuzione dei rifiuti per la parte della Toscana a sud dell'Isola d'Elba è possibile osservare una presenza di rifiuti in genere più ridotta, con valori massimi di poco superiori a 100 kg/km²; unica evidente eccezione al riguardo è rappresentata dalla zona prossima alla costa sud dell'Isola d'Elba, dove si raggiungono valori di 1 ton/km².

In generale comunque la zona in cui è possibile osservare densità maggiori di rifiuti ed una distribuzione più eterogenea è l'area toscana a nord dell'Isola d'Elba, dove è massimo il traffico marittimo.

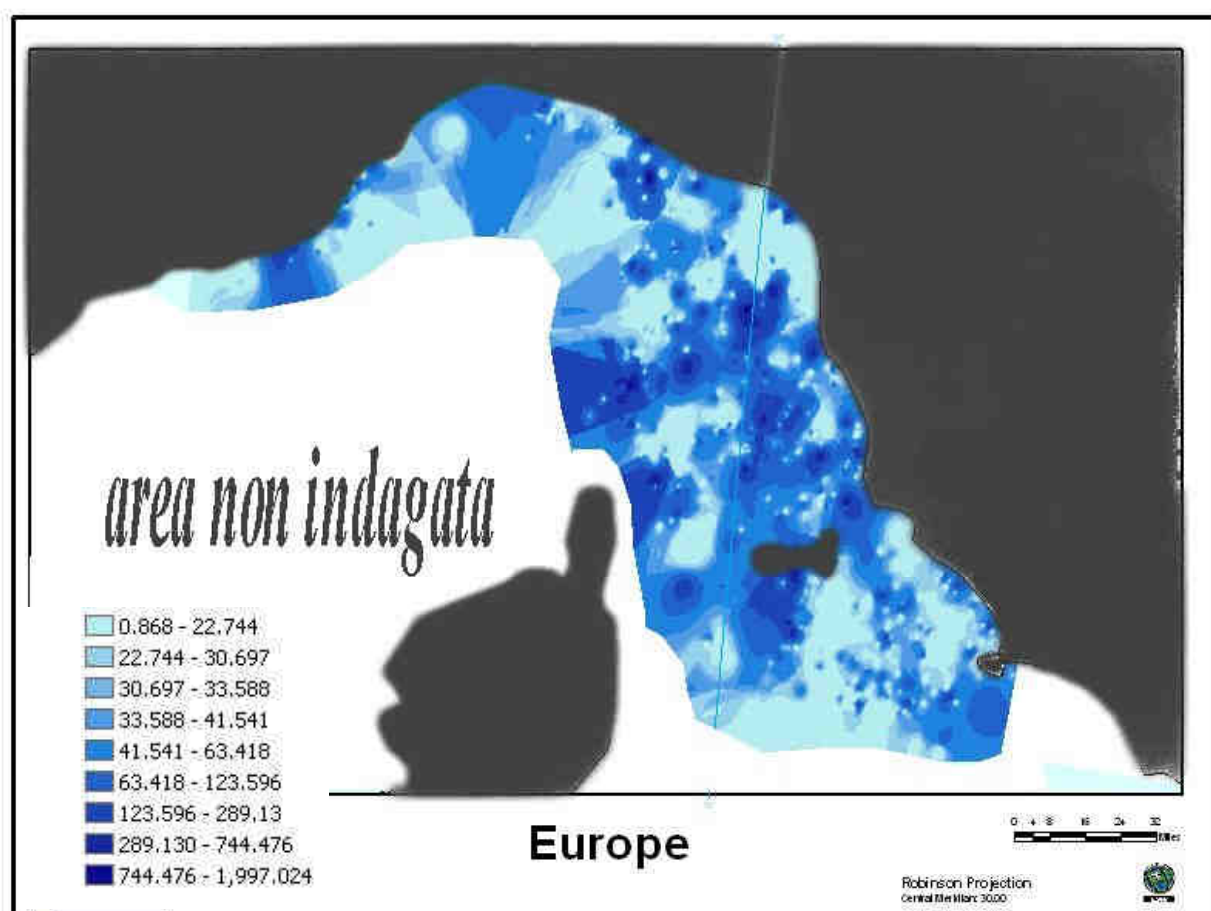


Fig. 27 - Interpolazione IDW dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino: i valori della scala sono espressi in kg/km², i parametri usati sono power=2 point=20.

Conclusioni

Ogni anno migliaia di viaggi effettuati da navi mercantili e traghetti collegano Genova, La Spezia e Livorno con le isole circostanti, Elba, Corsica e Sardegna e altri porti del Mediterraneo occidentale e meridionale (Fig. 28). Tale attività può essere vista come la causa più importante della presenza di rifiuti antropici sul fondo del mare, anche se la navigazione da diporto ha un effetto importante lungo la costa. Il rischio per l'ambiente dei rifiuti è ancora discusso anche se i loro effetti pericolosi sono stati descritti per le tartarughe, gli uccelli marini, i cetacei e diverse specie in pericolo.



Fig. 28 - Principali rotte del traffico marittimo nella Toscana settentrionale.

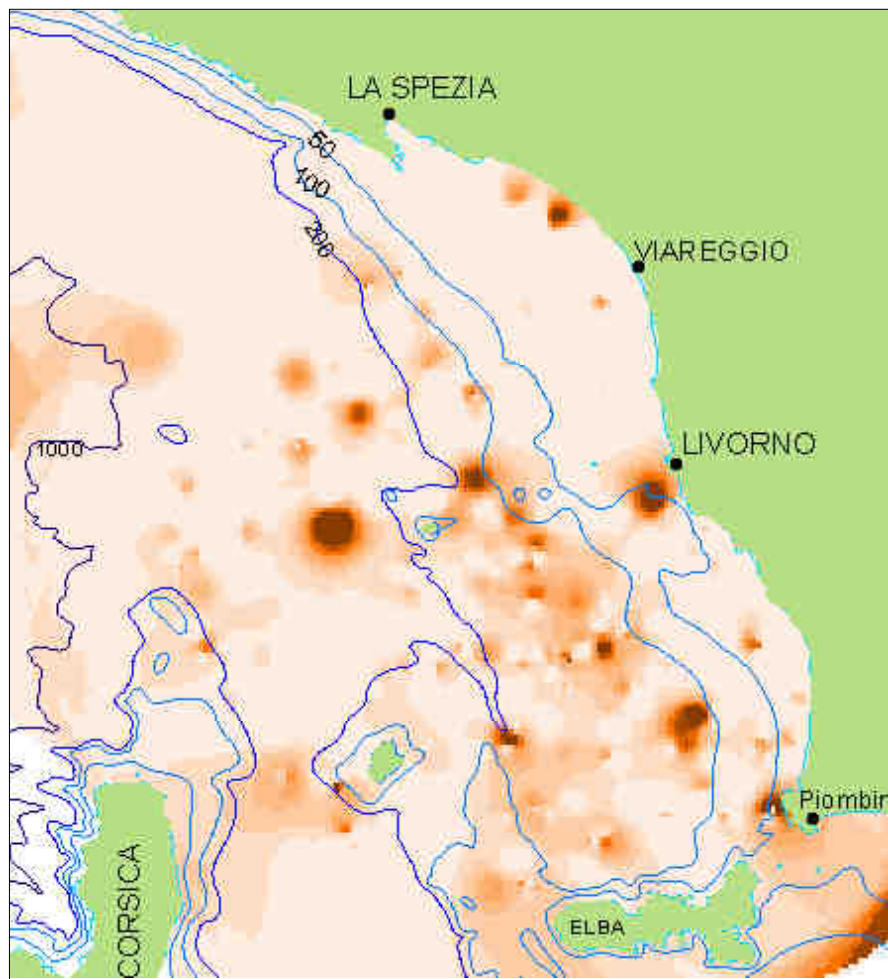


Fig. 29 - Interpolazione GIS dell'abbondanza di rifiuti antropici sul fondo marino nell'area della Toscana settentrionale.



Fig. 30 - Interpolazione GIS dell'abbondanza di rifiuti antropici sul fondo marino nell'area della Toscana settentrionale e tracciati delle principali rotte marittime.

L'obiettivo è quello di sensibilizzare l'opinione pubblica sull'importanza del problema a scala locale e di scoraggiare le frequenti pratiche incivili che considerano il mare come un contenitore dei nostri rifiuti per il semplice fatto che nasconde tutto.

Sono necessari interventi legali e di governo per coinvolgere non solo il pubblico ma anche le autorità costiere e i tecnici dello sviluppo per fornire, ad esempio, nei porti servizi di raccolta dei rifiuti che siano più disponibili ed efficienti.

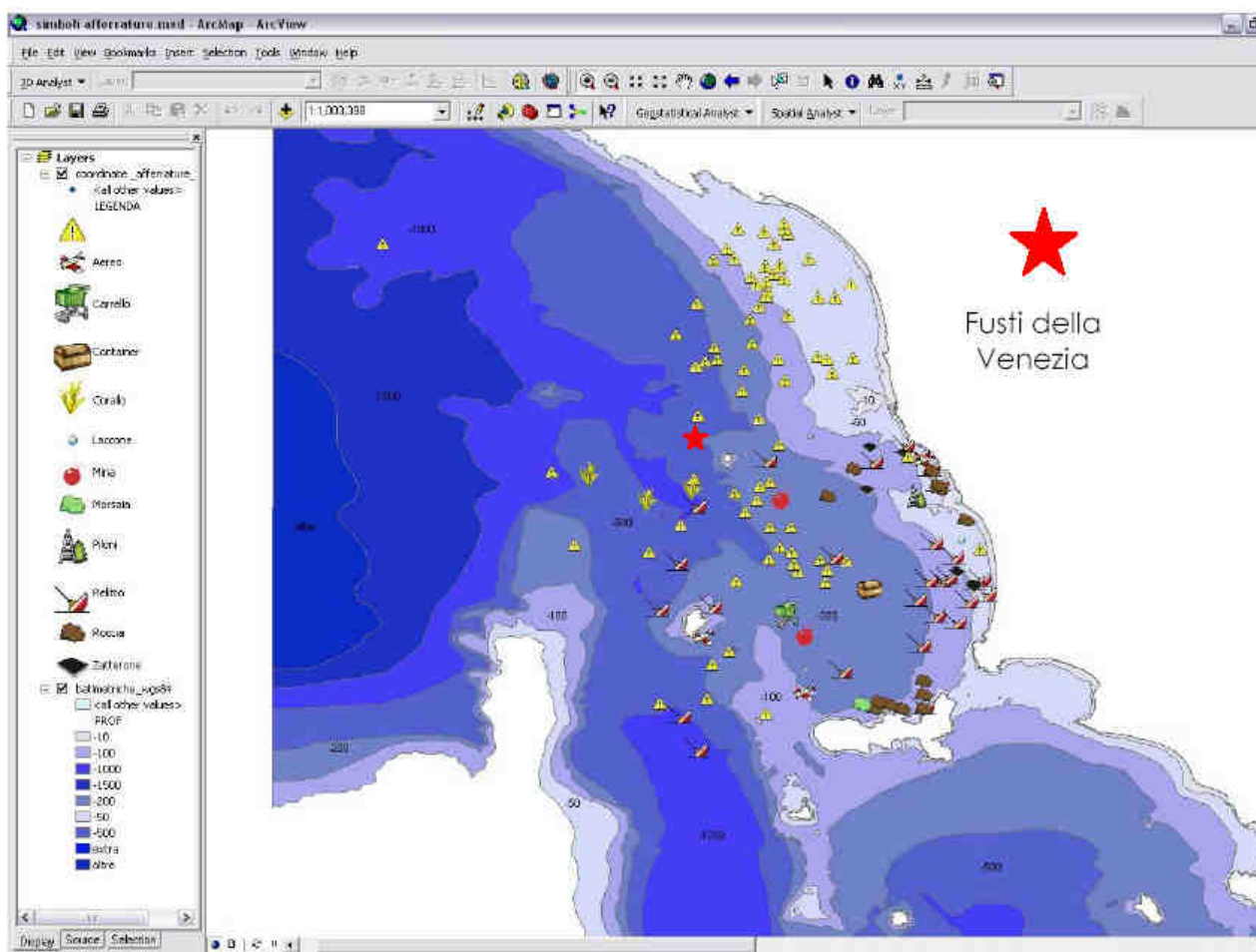


Fig. 31 - Sintesi delle afferrature e dei relitti di varia natura presenti sui fondali marini della Toscana settentrionale.

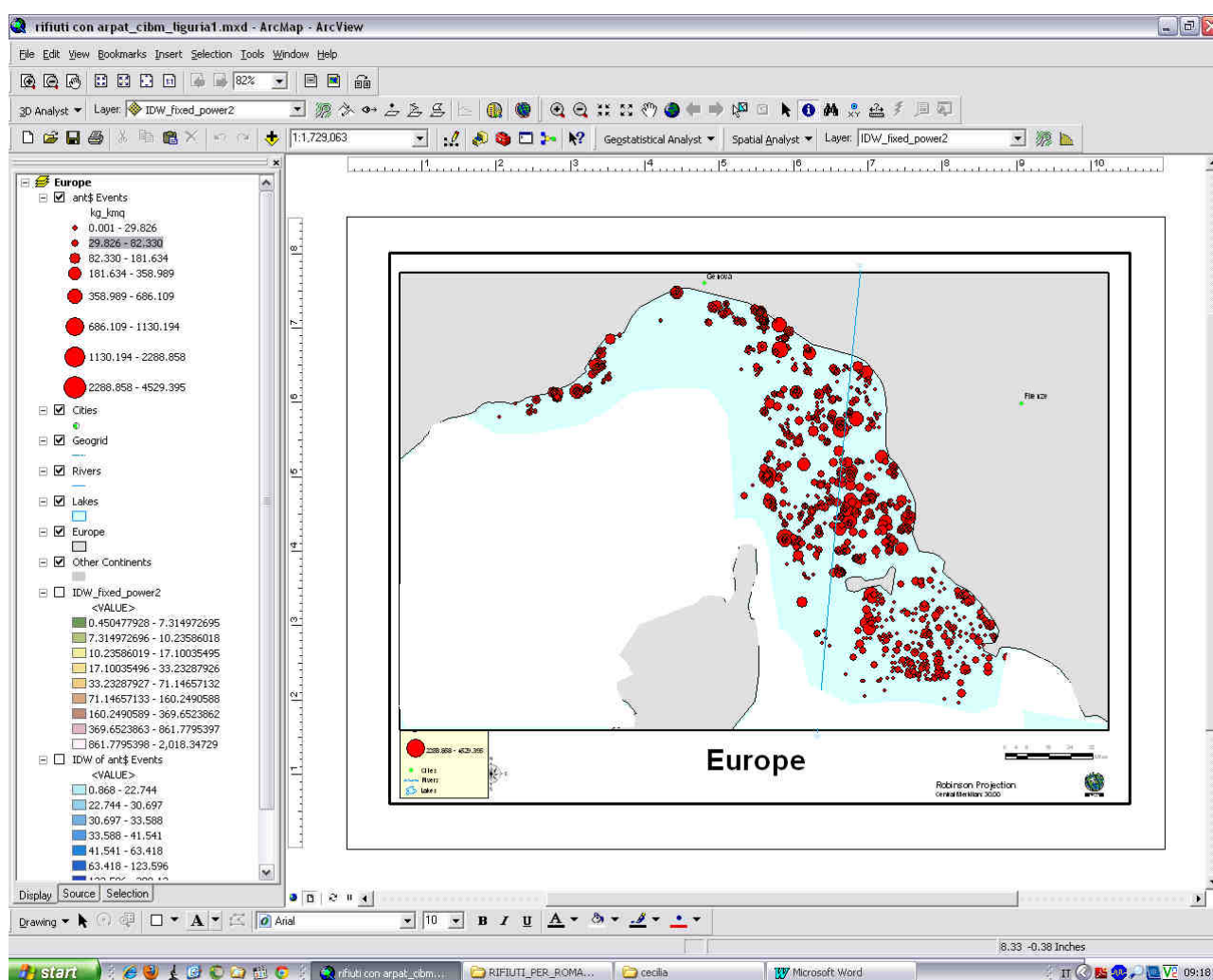
In sintesi si può quindi affermare che il quantitativo di rifiuti di origine antropica nei mari della Liguria e della Toscana è simile e quantificabile in circa 15-20 kg/km² ma con una distribuzione fortemente asimmetrica e zone dove sono presenti anche diversi quintali di rifiuti per chilometro quadro. Le tipologie in assoluto più frequenti sono le buste di plastica e le bottiglie di vetro.

APPENDICE – Tecniche di interpolazione GIS

Di seguito si illustrano, con numerosi esempi, le tecniche di interpolazione GIS che sono state utilizzate sui dati di abbondanza dei rifiuti antropici nelle acque del Mar Ligure e Tirreno settentrionale.

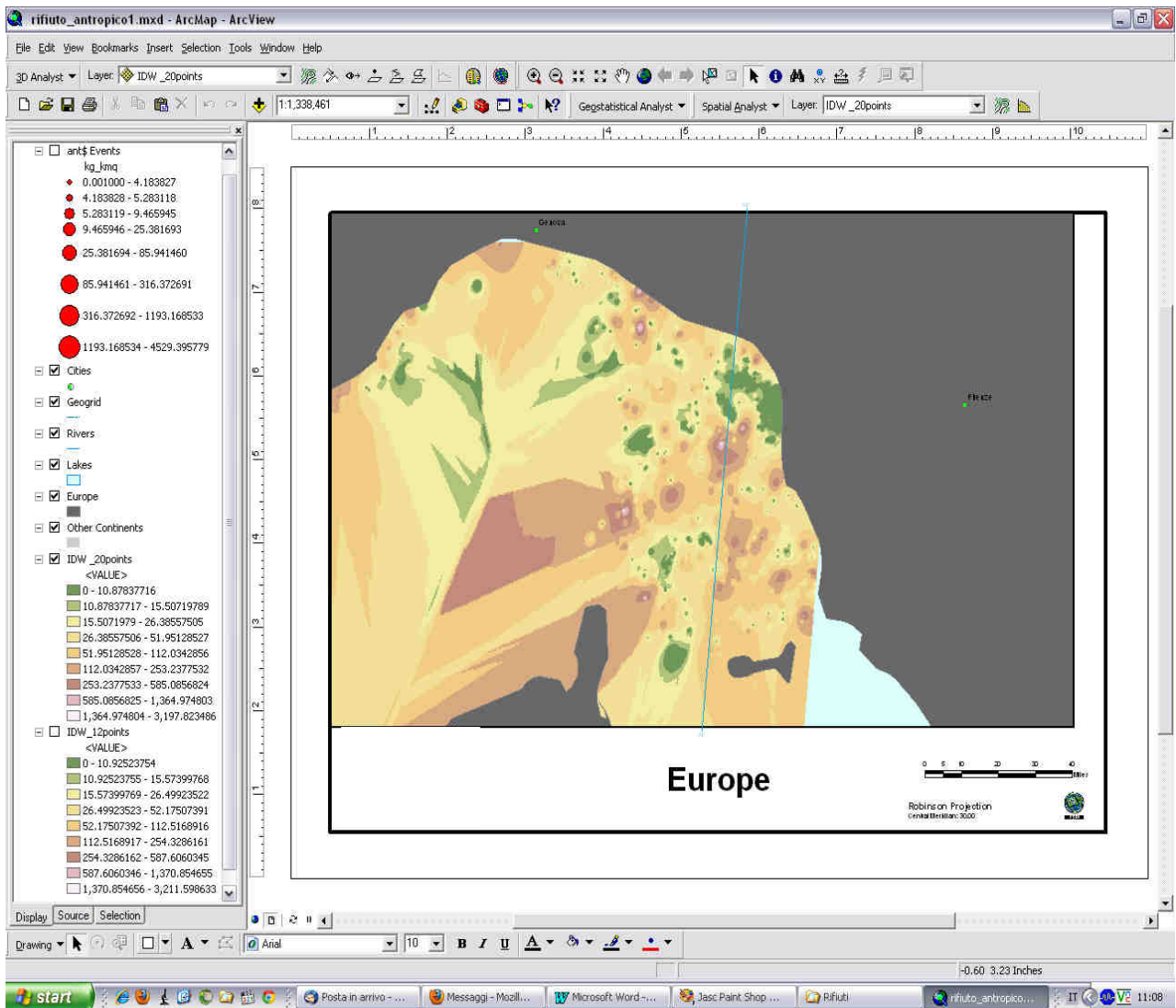
I valori di abbondanza riportati nelle scale sono sempre espressi in kg/km^2 .

La rappresentazione a bolle della distribuzione dei quantitativi in kg/km^2 dei rifiuti è stata effettuata utilizzando 8 classi suddivise in intervalli geometrici. E' possibile osservare una maggior presenza di rifiuti nelle aree antistanti i porti di La Spezia e di Livorno, tra le isole settentrionali dell'Arcipelago Toscano (Capraia, Gorgona) e lungo la costa meridionale dell'Isola d'Elba.

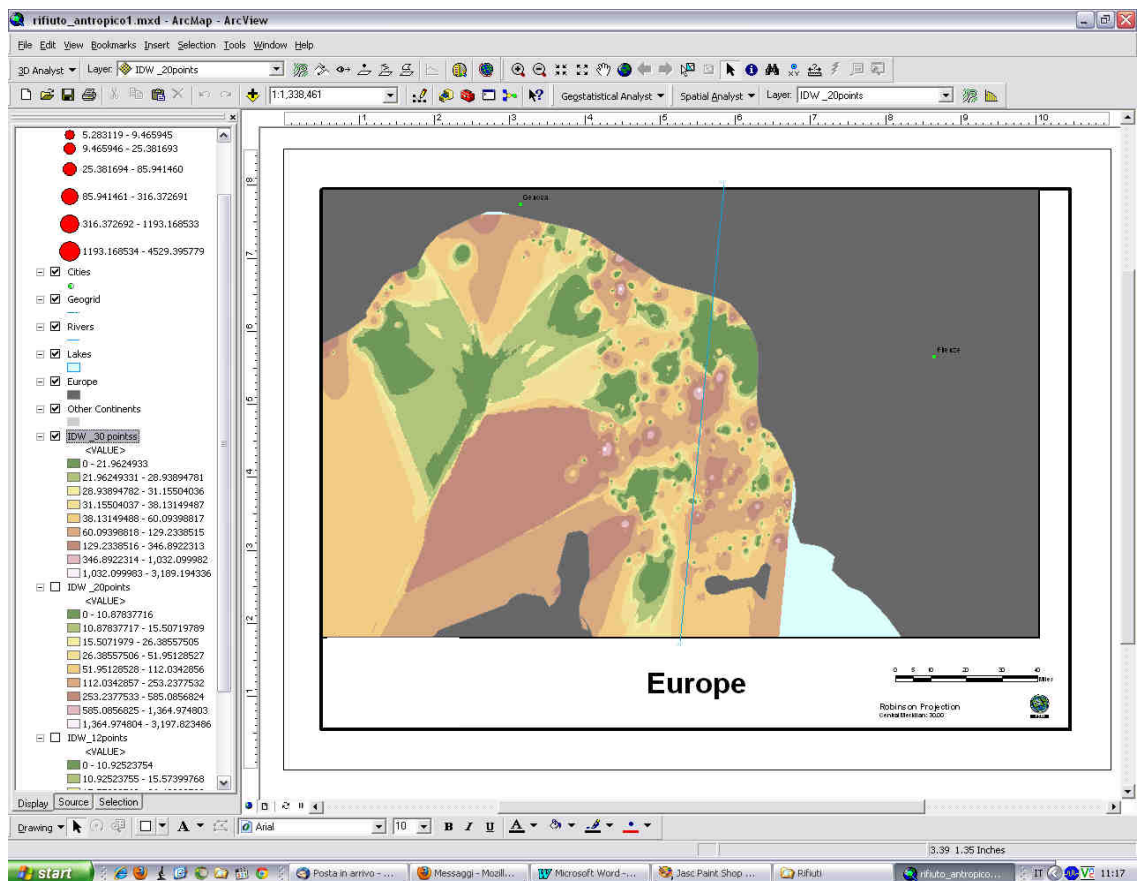


Il metodo Inverse Distance Weighted (IDW) con l'opzione di 12 punti e l'utilizzo di 9 classi con intervalli geometrici non consente di individuare sufficientemente le zone con maggior concentrazione di rifiuti.

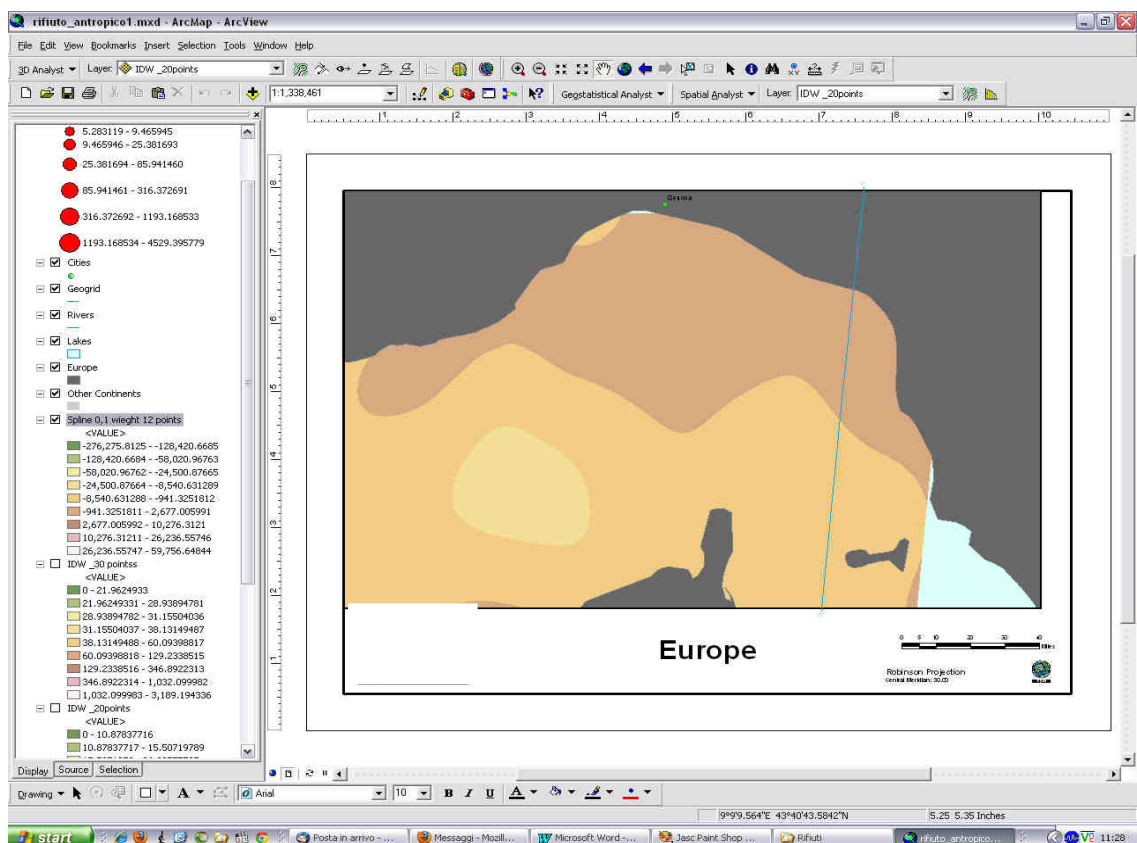
Una prova successiva ha utilizzato la stessa metodologia di interpolazione IDW, però con un intorno più esteso di 20 punti. In questo caso risulta più immediata la definizione delle aree di maggior concentrazione e densità dei rifiuti antropici e consente quindi di cogliere con maggior facilità la differenza nella distribuzione degli stessi nelle diverse aree indagate.



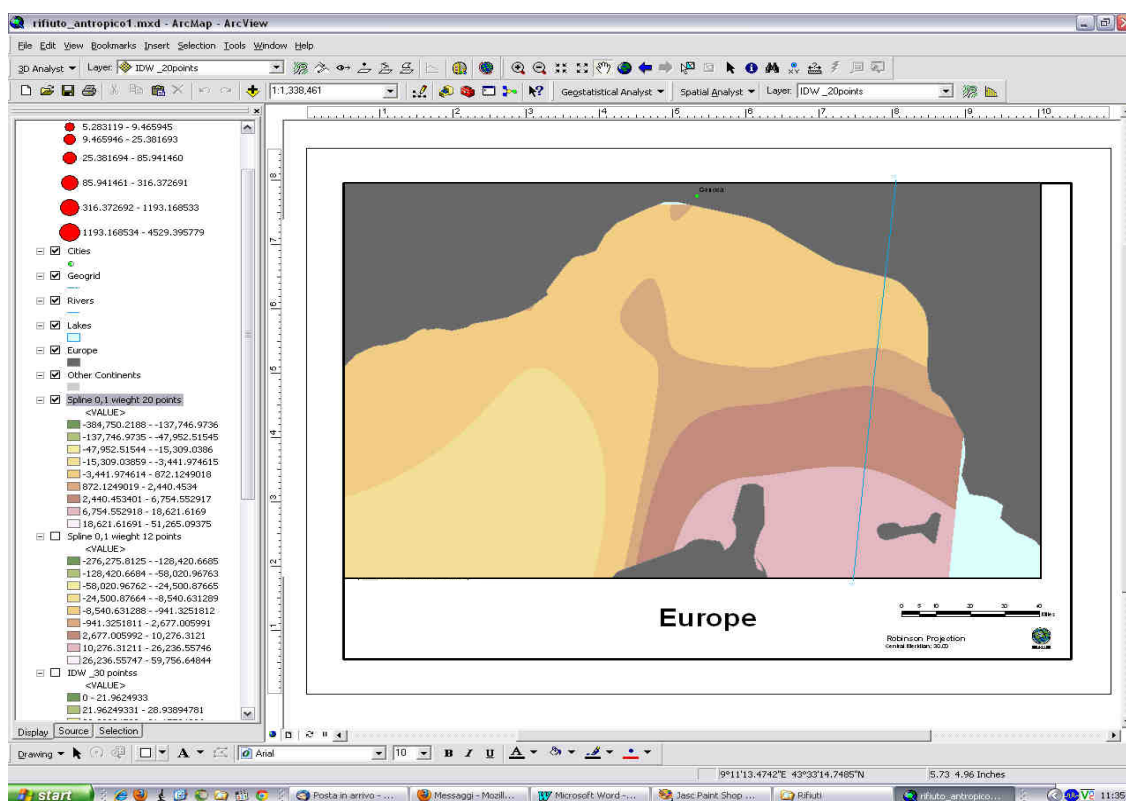
La figura seguente riporta l'elaborazione con il metodo Inverse Distance Weighted (IDW) utilizzando l'opzione di 30 punti e 9 classi con intervalli geometrici. Rispetto all'elaborato precedente non migliora la visualizzazione dei risultati quindi si preferisce l'utilizzo della metodica IDW con l'opzione di 20 punti.



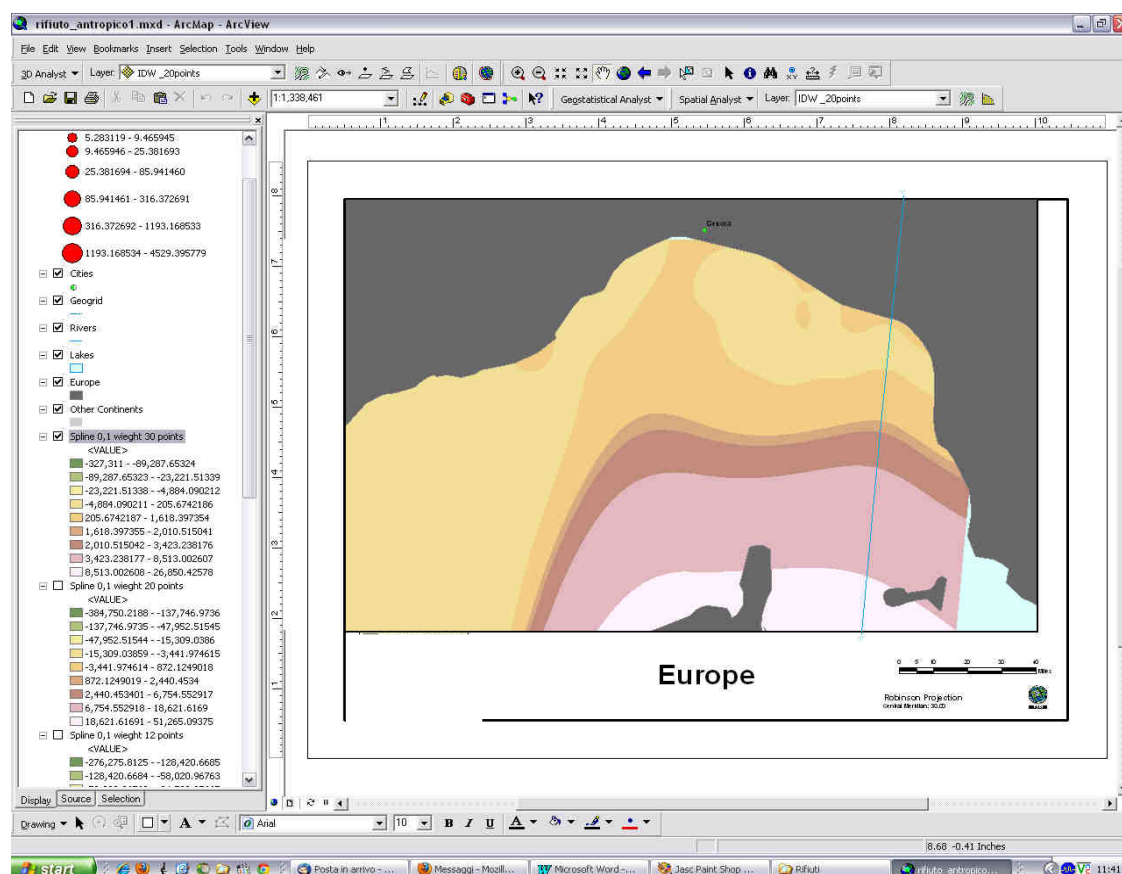
Un successivo approccio ha utilizzato quale metodo di interpolazione l'elaborazione tramite spline function, inizialmente con le opzioni di default di 12 punti, weight 0,1 e sempre con 9 classi di abbondanza ad intervalli geometrici.



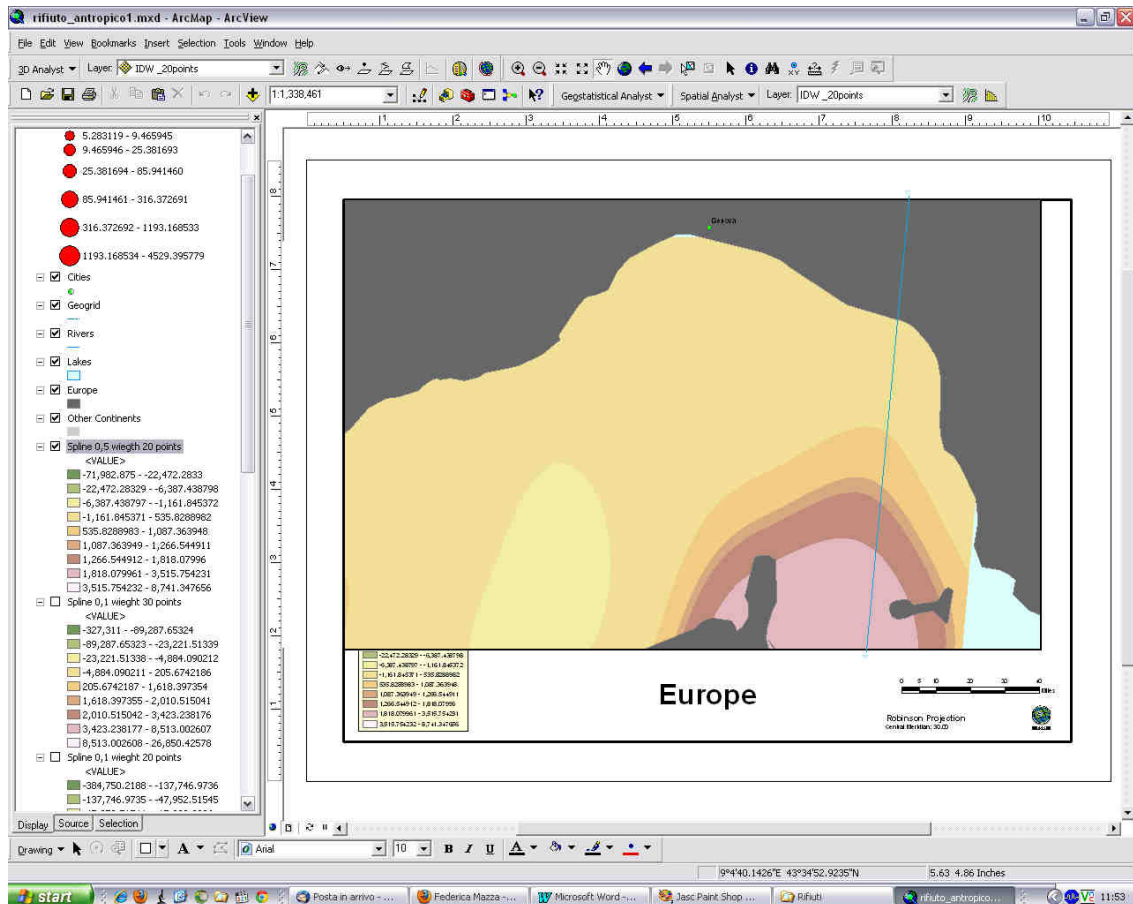
Come è evidente dalla figura precedente non si apprezzano eventuali variazioni nella densità dei rifiuti nelle diverse aree indagate. Si è quindi proceduto sempre con la stessa metodica ad aumentare il numero dei punti, portandolo a 20, e mantenendo inalterate le altre opzioni. Anche in tal caso, però, la rappresentazione dei dati non è certamente ottimale.



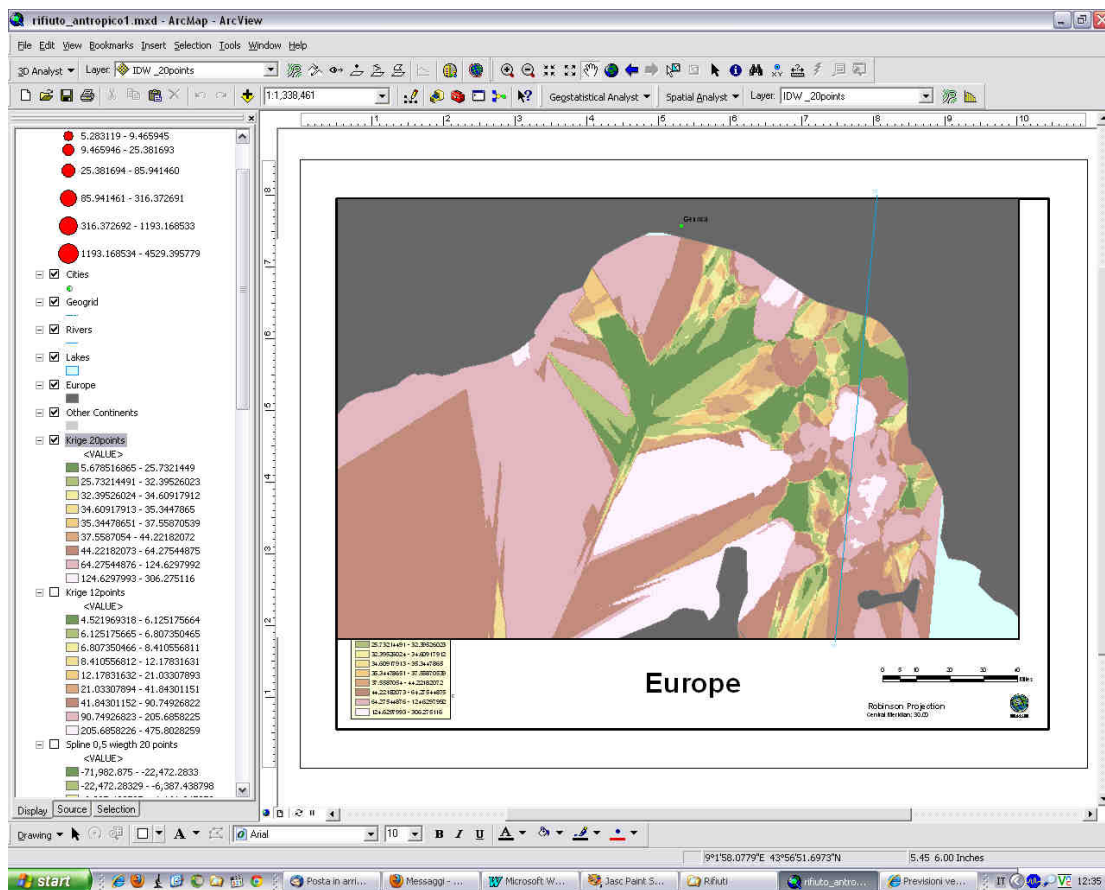
Per una successiva prova con la spline si è elevato il numero dei punti a 30, ma senza miglioramenti sostanziali.



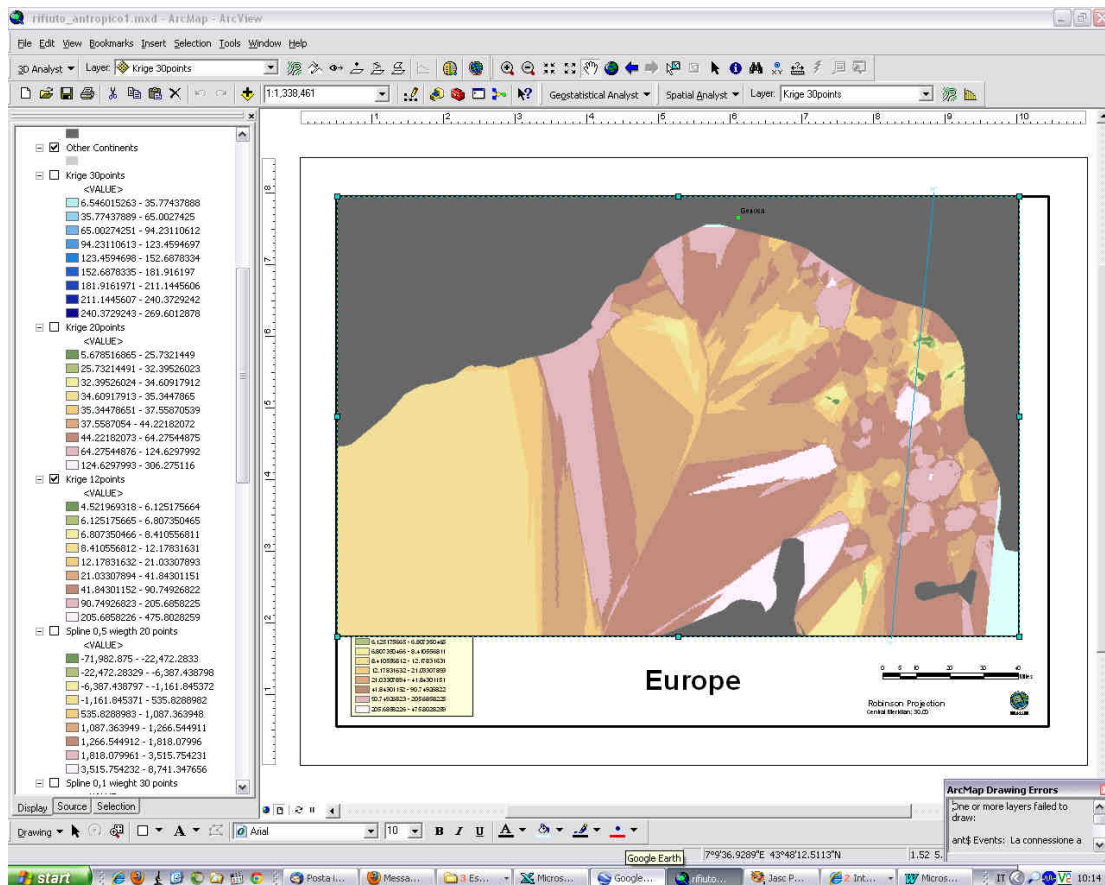
Un'ultima prova con la metodica spline ha visto il mantenimento dei punti a 20 e la modifica del peso a 0,5; anche in questo caso senza ottenere un miglioramento della rappresentazione dei dati analizzati.



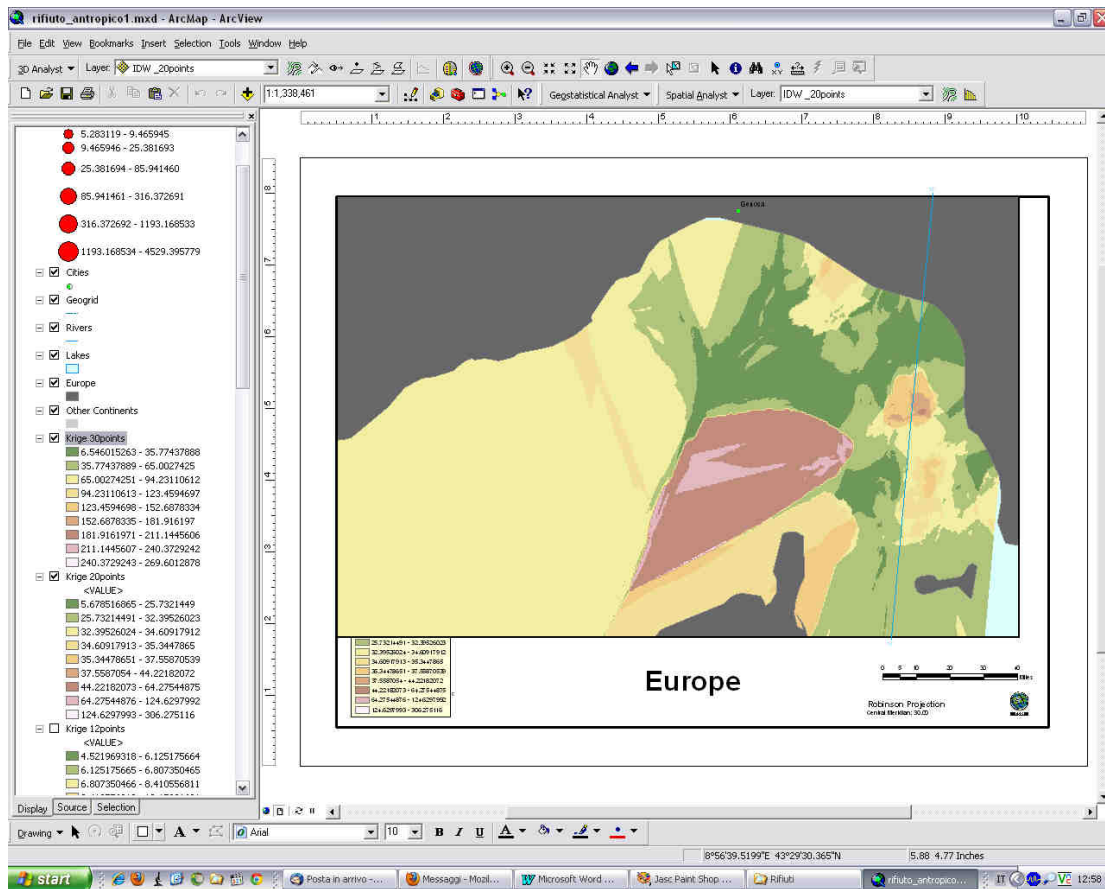
Abbandonando quindi la metodica spline, è stato utilizzata il kriging ordinario di tipo sferico con un numero di punti pari a 20. I risultati visualizzati in figura risultano al contrario troppo frammentati e si è proceduto quindi a modificare alcune opzioni.



In particolare è stato modificato il numero di punti riducendoli a 12, ma senza ottenere un sostanziale miglioramento nella rappresentazione della densità dei rifiuti.



Un ultimo tentativo è stato realizzato in senso opposto, aumentando il numero di punti dell'intorno a 30, anche in questo caso senza ottenere cambiamenti significativi nei risultati.



Si è quindi deciso che l'interpolazione dei quantitativi di rifiuti antropici sul fondale marino più rappresentativa sia l'IDW power=2 point=20.

