



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

# GIONHA

GOVERNANCE AND INTEGRATED OBSERVATION  
OF MARINE NATURAL HABITAT

**FASE 4.1: Raccolta e l'elaborazione dati sulle fonti  
di inquinamento acustico e la loro interazione con  
i cetacei nell'area marino costiera toscana**

**Rapporto tecnico: I dati AIS come  
strumento per lo studio dell'inquinamento  
acustico da traffico navale nell'alto  
Tirreno**

**Dicembre 2011**



# RELAZIONE TECNICA

## *"I dati AIS come strumento per lo studio dell'inquinamento acustico da traffico navale nell'alto Tirreno"*

### INDICE

<b>1° – Introduzione.....</b>	<b>1</b>
1.1 - Il rumore negli ambienti marini ed effetti sui cetacei.....	2
1.2 - Il progetto GIONHA.....	2
1.3 - Caratteristiche del traffico con correlazione acustica.....	2
1.4 - Scopo del lavoro.....	5
<b>2 – Il sistema AIS.....</b>	<b>6</b>
2.1 – Descrizione del protocollo AIS.....	7
2.1.1 – Formato di trasmissione e tipo di messaggi.....	7
2.2.2 – Descrizione dei dati AIS.....	8
3.1 – Finalità.....	10
3.2 – Problemi di implementazione.....	10
3.3 – Trattamento dei dati originali.....	10
3.3.1 - La posizione geografica.....	11
3.3.2 - La velocità.....	11
3.3.3 - Il pescaggio.....	11
3.4 – Trattamento delle singole rotte.....	12
3.4.1 – Aggregazione dei dati AIS.....	13
3.4.2 – Interpolazione .....	14
<b>4 – Analisi dei dati.....</b>	<b>15</b>
4.1 – Scopo dell'analisi.....	15
4.2 – Analisi spaziale e mappe di densità.....	15
4.3 – Analisi delle caratteristiche temporali del traffico.....	18
4.4 – Identificazione delle tratte principali ed analisi delle loro caratteristiche.....	20
4.5 – Correlazione dei parametri.....	21
<b>5 – Conclusioni.....</b>	<b>22</b>
<b>Appendice A - Filtri di Kalman.....</b>	<b>22</b>
<b>Appendice B - Analisi della varianza ANOVA e test di Kruskal-Wallis.....</b>	<b>23</b>
<b>Appendice C – Procedura di aggregazione dei dati AIS.....</b>	<b>25</b>
<b>Appendice D – Schede delle rotte .....</b>	<b>27</b>

## **1° – Introduzione**

### **1.1 - Il rumore negli ambienti marini ed effetti sui cetacei**

Le numerose attività antropiche che insistono sulla risorsa marina, dalla pesca all'utilizzo di barche, dalle indagini geologiche alle perforazioni dei fondali, provocano un aumento del livello del rumore di fondo (*background noise*). A più alti livelli del rumore di fondo aumentano, in maniera proporzionale, le interferenze con i sistemi acustici che i mammiferi marini utilizzano per comunicare, orientarsi, riprodursi, cercare cibo, sfuggire da predatori, etc.

I mammiferi marini, nel corso della loro storia evolutiva, hanno sviluppato un adattamento pressoché perfetto all'ambiente subacqueo ed alle sue proprietà acustiche. Nei cetacei la comunicazione acustica ha assunto un ruolo privilegiato rispetto alle altre modalità comunicative, sfruttando le proprietà di un mezzo in cui il suono si propaga in maniera veloce, tanto da poter raggiungere distanze molto ampie rispetto al punto di emissione.

Il fatto che il suono possa percorrere grandi distanze nell'ambiente subacqueo, dalle centinaia fino a qualche migliaia di chilometri, rende più complessa l'analisi del campo di indagine, aumentando notevolmente l'ampiezza delle aree su cui impatta.

Alla luce dei recenti spiaggiamenti che hanno colpito alcune specie di balene, sembrerebbe trovare ulteriore conferma la relazione esistente tra i suoni antropici ad alta intensità, generati da sonar ed *airguns*, ed i loro effetti negativi su molte popolazioni di cetacei, tanto che progetti e studi su questa delicata problematica si rendono via via più importanti e necessari.

### **1.2 - Il progetto GIONHA**

Il progetto GIONHA (Governance and Integrated Observation of marine Natural Habitat) è un progetto transfrontaliero marittimo Italia-Francia finanziato.

La tematica progettuale è quella della tutela e della valorizzazione della risorsa marina transfrontaliera di particolare pregio naturalistico e la sensibilizzazione alle tematiche ambientali di salvaguardia degli habitat marini che sostengono l'area del Santuario Pelagos.

All'interno di questo progetto molto ampio viene affrontato il problema dell'inquinamento acustico all'interno dell'Alto Tirreno e in particolare in prossimità delle coste toscane, tenendo conto che per tutelare e valorizzare efficientemente la risorsa marina un'analisi degli impatti del rumore antropico sulle popolazioni di mammiferi marini è quanto mai necessaria.

Un'analisi delle varie sorgenti antropiche in ambiente marino ha fornito un quadro più chiaro delle potenziali sorgenti di disturbo per i cetacei, nel quale il traffico navale diventa una tra le sorgenti più critiche per il benessere delle popolazioni di mammiferi marini.

Attività antropiche come i sonar e le indagini geosismiche sono state considerate marginali rispetto all'impatto che può avere una sorgente diffusa e continua come il traffico marittimo, soprattutto all'interno di un'area di indagine che coincide sostanzialmente con i confini dell'area marina protetta del Santuario dei Cetacei (Santuario Pelagos), dove porti quali Genova, Livorno, Nizza, Marsiglia, La Spezia ed altri minori, formano di fatto un'area densamente occupata dalle varie tipologie navali, con un forte contributo del traffico per il turismo estivo.

Questo aspetto, insieme ad una carenza di linee guida specifiche per la mitigazione ed il contenimento del rumore prodotto dal traffico navale, ci hanno sospinto a dare maggiore risalto allo studio ed all'analisi delle caratteristiche acustiche del traffico navale.

### **1.3 - Caratteristiche del traffico con correlazione acustica**

L'energia sonora immessa da un'imbarcazione all'interno dell'ambiente marino è funzione di una serie di caratteristiche che regolano le modalità (quantità e tempo) con cui questa viene rilasciata in mare.

Le dimensioni del natante, la sua velocità, l'efficienza delle componenti meccaniche dei motori sono tutti fattori che concorrono a determinare il livello complessivo prodotto da una qualsiasi imbarcazione. Se da una parte un'imbarcazione può essere vista come una singola sorgente, e al contempo possibile scomporla in una serie di sotto-sorgenti, ognuna con delle frequenze caratteristiche:

- i motori: dove il movimento dei cilindri determina la frequenza fondamentale del rumore prodotto;
- i macchinari: di cui fanno parte le scatole degli ingranaggi di riduzione (necessarie per l'accoppiamento tra le macchine di propulsione e l'asse dell'elica. In determinate circostanze, possono anche produrre di più rumore rispetto ai motori) per le quali la frequenza fondamentale è determinata dal numero di denti che vengono a contatto ogni secondo.
- le eliche (o altre forme di propulsione): a cui è associato il fenomeno della cavitazione (descritto in precedenza)
- lo scafo: sorgente di rumore ad alte frequenze a causa sia della formazione della scia; turbolenta che dello sfregamento dell'acqua sulle pareti laterali dello scafo.

I parametri che sono stati considerati sono:

- il numero totale ed il tempo di permanenza delle navi presenti nell'area;
- la tipologia dei natanti;
- la velocità media;
- il tonnellaggio.

Questi parametri sono tutti collegati direttamente, secondo relazioni differenti, ai livelli di pressione sonora prodotti dalle imbarcazioni, ed una loro variazione si ripercuote nei livelli sonori che possono essere registrati.

Il **numero di imbarcazioni ed il tempo di permanenza** sono legati ai livelli sonoro tramite una relazione che lega direttamente questi valori con l'energia sonora prodotta e diffusa nell'ambiente marino.

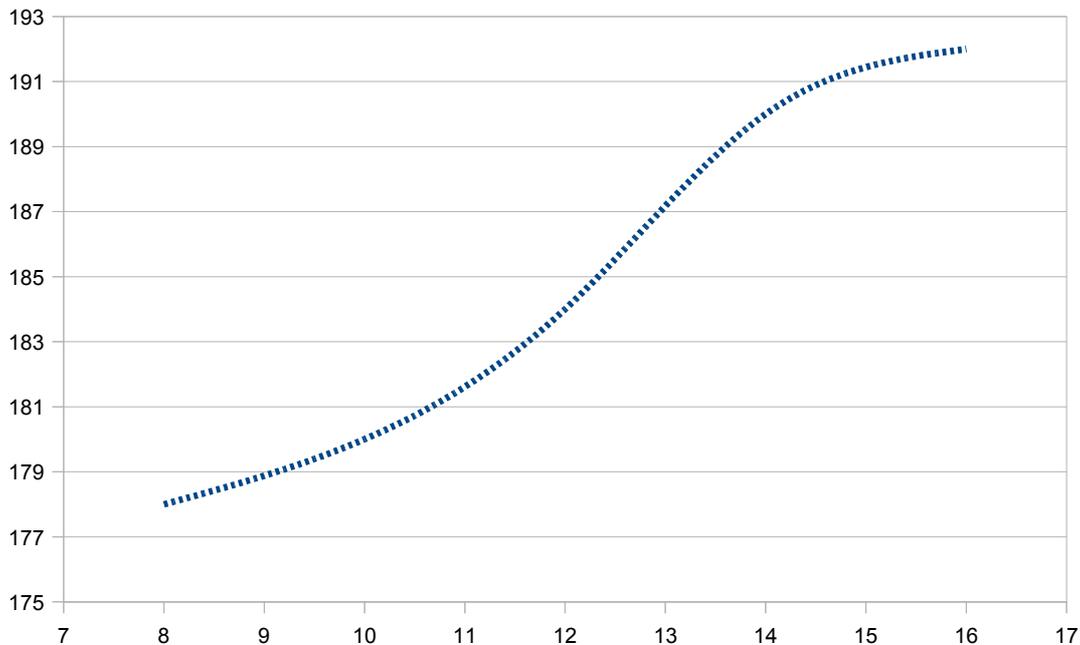
Si è deciso di prendere in esame entrambi questi parametri, fortemente correlati tra di loro, in quanto il secondo risulta maggiormente rappresentativo dell'effettiva energia emessa, in modo particolare in aree con una componente significativa di navi ferme, per le quali la valutazione solo per "numero" avrebbe potuto sottostimare il livello complessivo di rumore.

Ogni natante, inoltre, è caratterizzato da uno proprio spettro sonoro, funzione del tipo di motori, dei sistemi di propulsione e di tutta un'altra serie di macchinari che immettono all'interno dell'ambiente marino energia sonora. Lo stesso natante a distanza, ad esempio, di qualche mese può avere uno spettro sonoro differente, in funzione del grado di usura dei sistemi meccanici e dell'accuratezza della manutenzione. Per questi motivi caratterizzare la firma acustica di ciascun singolo natante è un compito proibitivo, ma si possono individuare delle **categorie di imbarcazioni** il cui comportamento acustico è abbastanza simile, si va dalle navi passeggeri alle navi da pesca, dai grandi tanker alle navi cargo, etc.

Per quanto riguarda la **velocità**, analogamente al caso del numero di natanti, si ha una relazione di dipendenza diretta tra la velocità e livello di emissione, dovuto a tutte le componenti che contribuiscono a creare rumore; dai motori ai sistemi di propulsione, dalla cavitazione al rumore idrodinamico, etc. I dati di letteratura sono scarsi, e le uniche informazioni vedono una dipendenza non lineare tra velocità e livello, con una incidenza di oltre 10 dB per ogni raddoppio della velocità.

**Tabella 1** – Caratteristiche acustiche di alcune tipologie di imbarcazioni.

Tipo di imbarcazione	Dimensioni [m]	Livello della sorgente [dB re 1 $\mu$ Pa @ 1m]	Frequenze [Hz]
Tanker	135 179	169 180	428 60
Supertanker	266 340	187 190	8 7
Cargo	135 219 270	172 181 181	41 33 8
Barche a motore	7	156	630
Navi da pesca	-	151	250 – 1000



**Figura 1** – Andamento dei livelli sonori in funzione della velocità nel caso del M/V Overseas Harriette (Averson & Vendittis 1999).

Anche il **tonnellaggio** rappresenta un parametro con ricaduta nella produzione di rumore; è chiaro che l'energia necessaria a muovere un natante cresce con l'aumentare della massa coinvolta e, di conseguenza, aumenta anche l'energia dissipata in forma di calore, vibrazioni e rumore. Questo parametro, variabile anche per il singolo natante in virtù delle condizioni di carico, non è sempre disponibile, mentre di più facile reperimento è il **pescheggio**, ovvero la porzione dello scafo compreso tra il fondo della chiglia e la linea dell'acqua. Sebbene non sia equivalente, il pescaggio fornisce una prima stima del *displacement*, cioè del volume d'acqua spostato dalla nave al suo passaggio, e quindi indirettamente al tonnellaggio del natante.

## 1.4 - Scopo del lavoro

Attraverso questo tipo di analisi si vuole realizzare una valutazione dello stato d'arte dell'area del Santuario dal punto di vista acustico, tramite la realizzazione di mappe di rumore dell'area del Santuario, così da poter individuare eventuali criticità per la stabilità e l'integrità degli habitat vitali per i cetacei.

Per poter costruire delle mappe di rumorosità si devono prima avere informazioni dettagliate sulle proprietà acustiche della sorgente, traffico navale nel nostro caso, come dati di input da inserire nei modelli per il calcolo dei livelli di pressione sonora nell'area di studio.

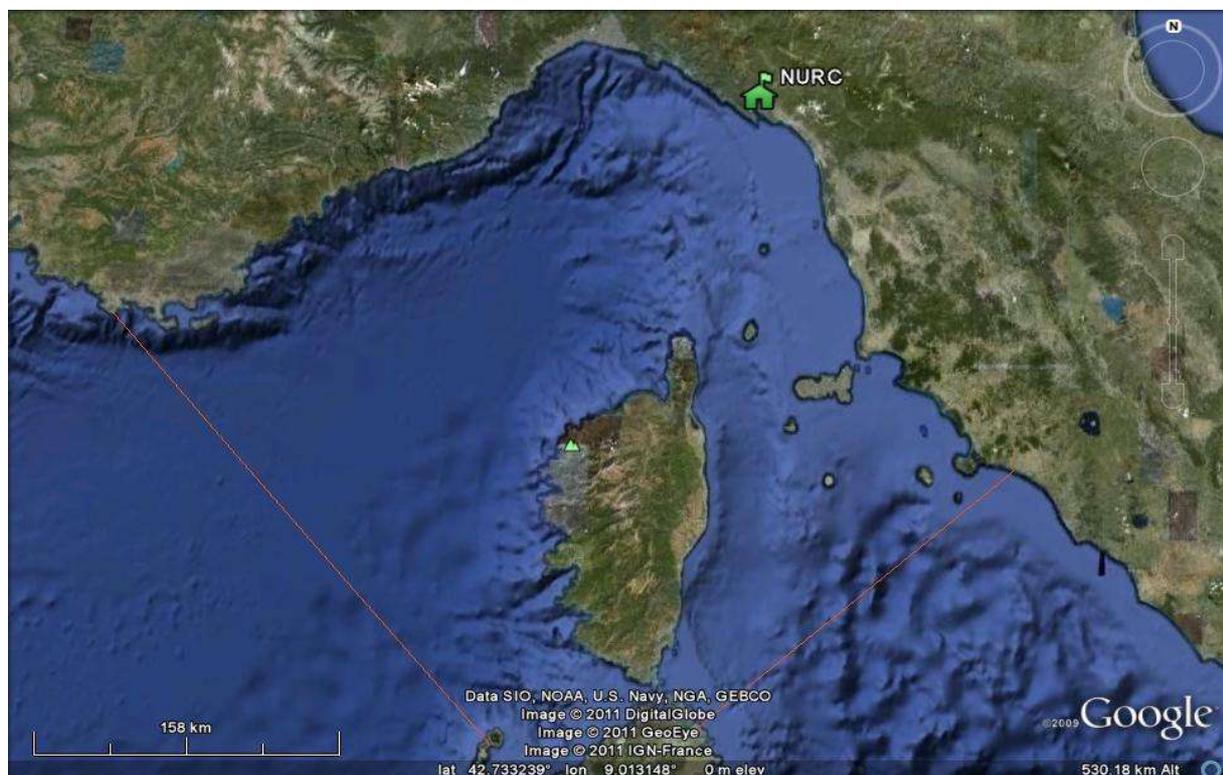
La sorgente traffico è stata caratterizzata, tramite l'analisi dei volumi di traffico, per determinare, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, quali indicatori non-acustici potessero avere rilevanza sull'emissione della sorgente.

Il risultato atteso è quindi quello di ricavare una mappa di densità della presenza dei natanti, operando eventuali stratificazioni per gli altri parametri di tipo non-geografico. Si tratta di una operazione di analisi spaziale, ben consolidata in strumenti GIS, che attraverso la suddivisione dell'area di interesse in celle di dimensione prestabilita.

Per concretizzare queste obiettivi abbiamo individuato nei dati AIS lo strumento più adatto e completo per ottenere queste informazioni.

Le fluttuazioni del traffico navale, sia nel numero di imbarcazioni che nel tonnellaggio totale, durante i vari mesi dell'anno, con dei valori di picco concentrati nei mesi estivi, ha reso necessario considerare come intervallo temporale l'intero anno solare, in modo tale da evitare errate stime legate alla stagionalità del traffico navale.

Grazie alla sua posizione il ricevitore AIS del NURC di La Spezia ha consentito di acquisire tutte le informazioni necessarie con una buona copertura della zona interessata.



## 2 – Il sistema AIS

Il Sistema di Identificazione Automatica (AIS – Automatic Identification System) è un sistema, a corto raggio, di monitoraggio costiero, utilizzato dai *Vessel Traffic Services* (VTS) per l'identificazione e la localizzazione, in tempo reale, delle navi attraverso lo scambio di dati sia con le altre imbarcazioni vicine che con le stazioni VTS o AIS immediatamente circostanti.

La Convenzione Internazionale SOLAS (Safety Of Life At the Sea) dell'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) richiede che i dispositivi AIS siano obbligatoriamente presenti a bordo di:

- tutte le navi di 300 tonnellate di stazza lorda (GT)<sup>1</sup> adibite a viaggi internazionali;
- tutte le navi da carico di 500 tonnellate di stazza lorda (GT) che non effettuano viaggi internazionali;
- tutte le navi passeggeri di qualsiasi dimensione.

Da quando questo obbligo è entrato in vigore (31 dicembre 2004), è stato stimato che oltre 40,000 imbarcazioni si sono dotate di un dispositivo AIS.

Le navi che si trovano al di fuori del range AIS vengono tracciate con il *Long Range Identification and Tracking System*, che invia segnali con una minor frequenza di aggiornamento.

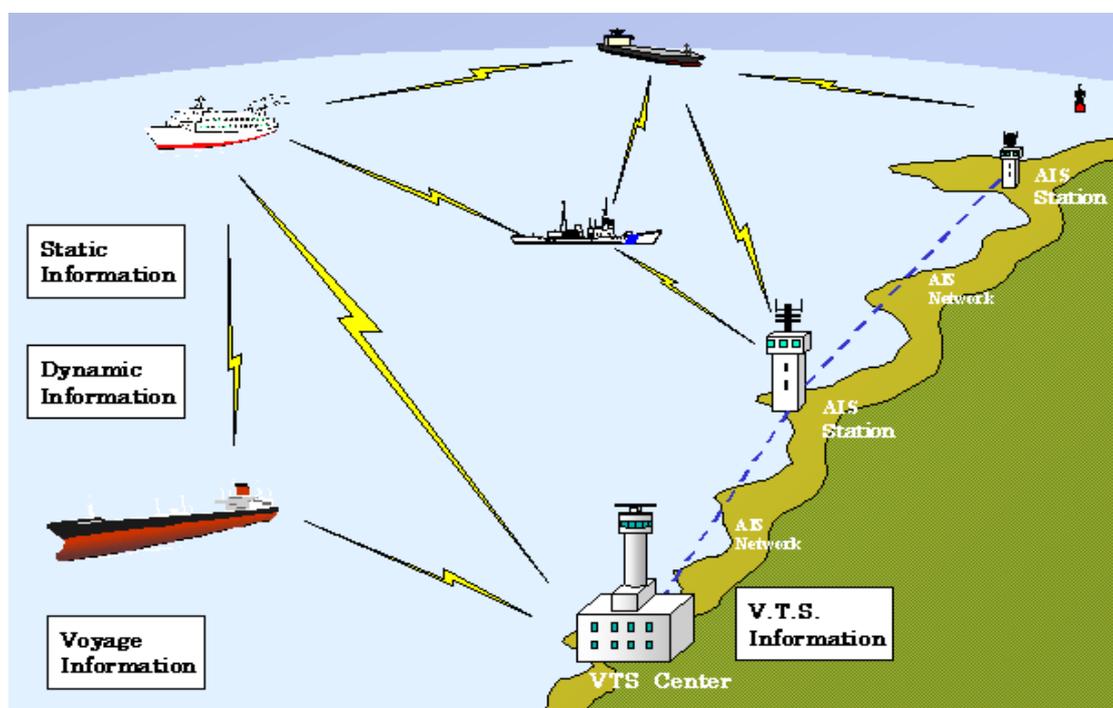


Figura 2 – Rete per la trasmissione e scambio dei dati AIS.

I trasponder AIS trasmettono automaticamente informazioni, come ad esempio la loro posizione, velocità e condizioni di navigazione, ad intervalli regolari tramite un trasmettitore VHF incorporato all'interno del trasponder. Le informazioni provengono dai sensori di navigazione della nave, di solito il suo sistema globale di navigazione satellitare (GNSS), ricevitore e girobussola. Altre informazioni, come il nome della nave, il codice identificativo vengono programmati durante l'installazione delle attrezzature.

Lo standard AIS descrive due classi di unità AIS:

- classe A: obbligatoria per tutte le imbarcazioni comprese nel titolo V della SOLAS;
- classe B: di minor precisione, derivato per i mercati non-SOLAS.

<sup>1</sup> GT: Gross Tonnage.

## 2.1 – Descrizione del protocollo AIS

### 2.1.1 – Formato di trasmissione e tipo di messaggi

L'informazione contenuta nei dati ASI per poter essere trasferita tra le navi e tra le navi e le stazioni sulla costa, viene impacchettata in una serie di messaggi standard che vengono trasmessi ad intervalli determinati.

I dati AIS sono espressi usando uno standard di comunicazione di dati chiamato *NMEA* (gestito e sviluppato dalla National Marine Electronics Association) utilizzato soprattutto in nautica e nella comunicazione di dati satellitari GPS. Questo protocollo si basa sul principio che la fonte, detta talker, può soltanto inviare i dati (sentences) e la ricevente, detta listeners, può soltanto riceverli.

Gli standard NMEA per i messaggi AIS usano due sentenze principali: *AIVDM* (per i dati ricevuti dalle altre imbarcazioni) e *!AIVDO* (dati inviati dalla nostra imbarcazione).

Un messaggio tipico viene codificato secondo il seguente standard NMEA:

**!AIVDM,1,1,,A,14eG;o@034o8sd<L9i:a;WF>062D,0\*7D**

dove:

- **!AIVDM**: il tipo di messaggio NMEA;
- **1**: numero di sentenze (alcuni messaggi ne richiedono più di uno);
- **1**: numero della sentenza (1 a meno che non sia un messaggio multi-sentenza);
- **<vuoto>**: campo usato per l'ID è per il messaggio (solo per messaggi multi-sequenza);
- **A**: canale AIS (A o B);
- **14eG;o@034o8sd<L9i:a;WF>062D**: i dati AIS codificati;
- **0\***: la fine dei dati;
- **7D**: il checksum NMEA.

I dati AIS vengono inviati dal trasponder al ricevitore sotto forma di codice binario, la cui codifica si basa sullo standard NMEA, che prevede che ogni carattere ASCII corrisponda ad una sequenza di 6 bit. Il protocollo AIS è composto in totale da 22 messaggi (compresi nello Standard Tecnico AIS ITU-R M. 1371-1),<sup>2</sup> ognuno dei quali è contrassegnato da un specifico numero identificativo e condizioni operative.

**Tabella 2** – Riepilogo dei messaggi AIS per unità di classe A e B.

Message Identifiers	Description	Operation Mode
1,2,3	Position Report - scheduled, assigned or response to polling	AU,AS
4	Base Station Report - position, UTC/date and current slot number	AS
5	Static and Voyage Related Data - Class A SME	AU,AS
6,7,8	Binary Messages – addressed, acknowledge or broadcast	AU,AS, IN
9	Standard SAR Aircraft Position Report	AU,AS
10, 11	UTC/Date - enquiry and response	AS, IN
12, 13, 14	Safety Related Message – addressed, acknowledge or broadcast	AS, IN
15	Interrogation – request for specific message type	AU,AS, IN
16	Assignment Mode Command - by competent authority	AS

<sup>2</sup> “*Technical Characteristics for a Universal Shipborne Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access*”.

17	DGNSS Broadcast Binary Message	AS
18, 19	Class B SME Position Report – standard and extended reports	AU,AS
20	Data Link Management – reserve slots for Base Stations	AS
21	Aids to Navigation Report – position and status report	AU,AS, IN
22	Channel Management	AS

(AU = autonomous, AS = assigned, IN = polling/interrogation).

I messaggi 14, 18, 19 e 24 sono dei messaggi che vengono inviati dalle navi che dispongono di un dispositivo AIS di classe B, con delle frequenze tra i 3 ed i 6 minuti.

### 2.2.2 – Descrizione dei dati AIS

I messaggi AIS trasmessi da una trasponder di classe A possono essere raccolti in tre categorie: statica, dinamica e legata al viaggio. Questi messaggi, a seconda della categoria a cui appartengono, richiedono una frequenza di aggiornamento differente.

I **messaggi di tipo statico** riportano essenzialmente delle informazioni tipiche per ciascun natante, e vengono settati al momento dell'installazione dell'apparecchiatura AIS. Il contenuto di questi messaggio non viene modificato al men che non cambi o il nome della barca o la bandiera.

Per questi motivi non è richiesta un'elevata frequenza di aggiornamento: è previsto che questa categoria di messaggio sia aggiornata automaticamente con una frequenza di 6 minuti, oppure quando richiesto dalle autorità competenti.

Il tipo di imbarcazione viene indicato tramite un doppio indice numerico, dove la prima cifra evidenzia la classe dell'imbarcazione, mentre la seconda precisa altre informazioni, come ad esempio il tipo di sostanze che vengono trasportate, etc.

I **messaggi di tipo dinamico** riportano informazioni su quello che è il tragitto che la nave sta seguendo istante per istante. Questi dati devono essere aggiornati molto frequentemente in modo tale che l'AIS non perda il suo scopo primario, ovvero quello di evitare le collisioni tra imbarcazioni. La frequenza con cui questi dati vengono aggiornati dipende principalmente dalla velocità a cui la nave si sta muovendo.

I **messaggi legati al viaggio** vengono inseriti e modificati manualmente al variare delle condizioni di viaggio dell'imbarcazione. Non essendo vitali per evitare la collisione con altri natanti vengono aggiornati con una frequenza di 6 minuti, o con una frequenza minore se vengono modificati o richiesto dalle autorità competenti.

**Tabella 3** – Messaggi AIS di tipo statico.

Tipo di messaggio	Note
MMSI	Maritime Mobile Service Identity. Consiste in una serie di nove cifre inviata al fine di identificare in modo univoco un natante da un altro. Questo codice deve essere obbligatoriamente modificato se cambia il proprietario della nave.
Nome e call sign	Nome dell'imbarcazione
Numero IMO	Codice identificativo della nave
Lunghezza e Larghezza	In metri
Tipo di imbarcazione	Indicato con un indice numerico a due cifre

**Tabella 4** – Messaggi AIS di tipo dinamico.

Tipo di messaggio	Note
Posizione della nave con relativa accuratezza.	L'accuratezza della posizione, causa la natura stessa del sistema GPS, viene fornita con un errore dell'ordine dei 10 m.
Tempo	Fornito in Coordinated Universal Time (UTC)
Course Over Ground (COG)	Effettivo percorso seguito da una nave
Speed Over Ground (SOG)	La velocità (nodi/ora) della nave
Heading	L'angolo tra la direzione della nave ed il vero nord.
Stato di navigazione	Deve essere settato e modificato manualmente indicando uno dei seguenti stati: <ul style="list-style-type: none"> <li>• underway by engines;</li> <li>• at anchor or moored;</li> <li>• not under command (NUC);</li> <li>• restricted in ability to manoeuvre (RIATM);</li> <li>• constrained by draught;</li> <li>• aground;</li> <li>• engaged in fishing;</li> <li>• underway by sail</li> </ul>

**Tabella 5** – Frequenza di invio dei dati dinamici.

Condizioni dinamiche dell'imbarcazione	Frequenza di invio
Nave ormeggiata o con una velocità < 3 nodi	3 minuti
Nave ormeggiata o con una velocità > 3 nodi	10 secondi
Velocità 0-14 nodi	10 secondi
Velocità 0-14 nodi e cambio di rotta	3 1/3 secondi
Velocità 14-23 nodi	6 secondi
Velocità 14-23 nodi e cambio di rotta	2 secondi
Velocità > 23 nodi	2 secondi
Velocità > 23 nodi e cambio di rotta	2 secondi

**Tabella 6** - Messaggi AIS legati alla navigazione.

Tipo di messaggio	Note
Pescaggio della nave	Inserito all'inizio del viaggio indicando il valore di massimo pescaggio e modificato come richiesto.
Tipo di cargo trasportato	Inserito all'inizio del viaggio per confermare la presenza o meno di un cargo pericoloso: <ul style="list-style-type: none"> <li>- DG Dangerous Goods;</li> <li>- HS Harmful Substances;</li> <li>- MP Marine Pollutants.</li> </ul> Dati sulle quantità trasportate non sono richiesti.
Destinazione ed ETA	

### **3 – Decodifica e costruzione di un database strutturato**

#### **3.1 – Finalità**

A causa della codifica binaria dei messaggi, il formato NMEA dei dati AIS è praticamente illeggibile nella forma originale, cosicché è stato necessario trattarli usando un programma applicativo chiamato “gpsdecoder”, appartenente al pacchetto GPSD.

Questo programma accetta come ingresso i messaggi AIS grezzi e si occupa della loro decodifica e ricombinazione (nel caso di messaggi multi-parte), fornendo in uscita una stringa di valori delimitati da virgole. La possibilità di accedere ai dati originali ha consentito di recuperare tutte le informazioni contenute nei messaggi, compreso quella relativa al pescaggio del natante, generalmente ignorata.

Le informazioni raccolte per mezzo dei dati AIS comprendono sia informazioni invarianti nel tempo (nome dell'imbarcazione, codice MMSI e IMO, dimensioni del natante, etc.) e quelle quasi-statiche, generalmente associate al viaggio (destinazione, tipo di imbarcazione, tempo stimato di arrivo, pescaggio, etc.), che quelle aggiornate dinamicamente in base agli spostamenti del natante stesso.

Tramite il codice MMSI, campo presente sia nella parte statica che in quella dinamica, è possibile raggruppare le due parti di informazioni, disponendo in tal modo di un pacchetto di dati completo e preciso.

#### **3.2 – Problemi di implementazione**

Questa tecnica di decodifica ha evidenziato delle difficoltà legate a delle imprecisioni nell'immissione del codice MMSI: in molti casi il codice è assente (ovvero settato al valore 0 di default) oppure è stato digitato inconsapevolmente o meno un codice errato (con situazioni di ambiguità nell'identificazione del natante).

Ciò ha creato delle alcune difficoltà nell'importazione, nel database, di questa porzione di informazione, in quanto veniva a mancare lo strumento con cui collegare tra di loro le due parti del dato. In questi casi non è stato possibile unire le due classi di informazioni: sono stati utilizzati solo i dati dinamici perdendo l'informazione statica.

Alla fine di questa parte, i dati decodificati sono stati importati ed organizzati in un database, in modo tale da poter elaborare e visualizzare tali informazioni tramite uno strumento GIS.

D'altronde, la quantità dei messaggi AIS generati in un anno (stimati in circa 127 milioni per l'area dell'alto Tirreno) pone problemi tecnici sia per la memorizzazione dei dati (intorno ai 5 GB), ma soprattutto per un loro efficace utilizzo da parte dei programmi GIS. Si è considerato che effettuando una pre-elaborazione dei dati sarebbe stato possibile eliminare dagli stessi una considerevole parte di ridondanza e ridurre la dimensione dell'archivio di un fattore 10.

Inoltre, la stessa fase poteva essere sfruttata per eliminare incongruenze e interpolare dati mancanti necessari ad una corretta interpretazione dei risultati. Le parti successive tratteranno nel dettaglio queste fasi dell'elaborazione, prima di introdurre i risultati finali.

#### **3.3 – Trattamento dei dati originali**

I dati AIS, una volta importati all'interno di uno strumento GIS, vengono visualizzati come una sequenza molto fitta di punti, dove a ciascun punto sono associate delle informazioni sia di tipo statico che di tipo dinamico. Punto per punto è possibile, quindi, ricostruire l'andamento nel tempo della rotta di una nave, dai cambi di direzione alle variazioni della velocità, etc.

In questa fase è stato analizzato più nel dettaglio il formato AIS, soffermandosi in particolare su quelle informazioni necessarie per descrivere da un punto di vista spaziale la sorgente traffico.

### 3.3.1 - La posizione geografica

I dati sulle **coordinate geografiche** di ciascun punto vengono forniti come valori di latitudine e longitudine, con un'accuratezza di 1/10000 di grado, che equivale ad precisione di circa 10 m. Questo errore si compone con quello del sistema di localizzazione geografica (GPS) che, a seconda delle condizioni di ricezione, può essere dello stesso ordine di grandezza. Questa accuratezza complessiva è comunque soddisfacente per il nostro obiettivo anche in considerazione della dimensione dei natanti stessi (nell'ordine delle centinaia di metri).

### 3.3.2 - La velocità

La **velocità** che la nave possiede in nodi viene trasmessa nei dati AIS con un'accuratezza pari al decimo di nodo. Questa informazione, quasi puntuale, viene elaborata dal sistema GPS della nave stessa, sulla base dei rilevamenti di posizione. Per questo motivo, il dato trasmesso con la stringa AIS non offre alcun vantaggio particolare rispetto al calcolo della velocità sulla base dei dati di posizione e di tempo trascorso tra gli stessi.

Al contrario, il ricalcolo può migliorare l'informazione ottenuta perché è possibile utilizzare algoritmi di calcolo più accurati di quelli impiegati nei sistemi GPS, ma anche perché il dato così ottenuto risulta più significativo della velocità media tenuta nel tratto definito da due localizzazioni successive. Quest'ultimo fatto assume ancora più rilevanza nel processo di decimazione ed ottimizzazione che verrà illustrato nel seguito.

A questo si aggiunge l'impiego dei filtri di Kalman (descritti in appendice), sia per migliorare la stabilità del dato di fronte a dati erronei ed irrealistici per la dinamica del moto di una nave, che gestire situazioni di dati mancanti.

### 3.3.3 - Il pescaggio

Come già introdotto in precedenza, il **pescaggio** del natante viene utilizzato come valore con cui stimare il tonnellaggio dello stesso. Con tale termine si intende la porzione di scafo compresa tra la linea di galleggiamento e il suo punto inferiore estremo. Questo valore è variabile a seconda delle condizioni di carico della nave, e viene impostato per ogni viaggio; si capisce immediatamente che l'informazione assume una importanza pratica rilevante per operare in sicurezza in acque a basso fondale, come quelle delle aree portuali.

Per contro, i valori di lunghezza e larghezza massimi della singola nave rimangono, ovviamente, costanti. In prima approssimazione si è quindi stimato che il volume sommerso (*displacement*), possa essere rappresentato come un prisma triangolare a base rettangolare, con altezza uguale al pescaggio e con le dimensioni della base coincidenti con lunghezza e larghezza della nave.

Si tratta di una semplificazione che porta a sovrastimare il risultato finale; d'altronde, questo tipo di informazione non dovrebbe avere ripercussioni sensibili sul livello di rumore emesso<sup>3</sup>, per cui si è ritenuto comunque soddisfacente poter disporre di questo primo livello di approssimazione di tale dato.

D'altronde, non sempre sono presenti le informazioni per effettuare tale stima: talvolta è assente il dato del pescaggio, oppure ha valori irrealistici, talvolta non sono disponibili i dati relativi alla lunghezza e larghezza del natante. Nel tentativo di supplire a tali carenze, il sistema di importazione prevede anche il costante aggiornamento dei dati statistici di tonnellaggio per ogni singolo natante (come identificato dal codice MMSI). In tal modo, anche in assenza di parte delle informazioni, il programma di importazione è capace di fornire una stima del tonnellaggio basandosi sul dato storico dello stesso natante, oppure di natanti con una impronta simile.

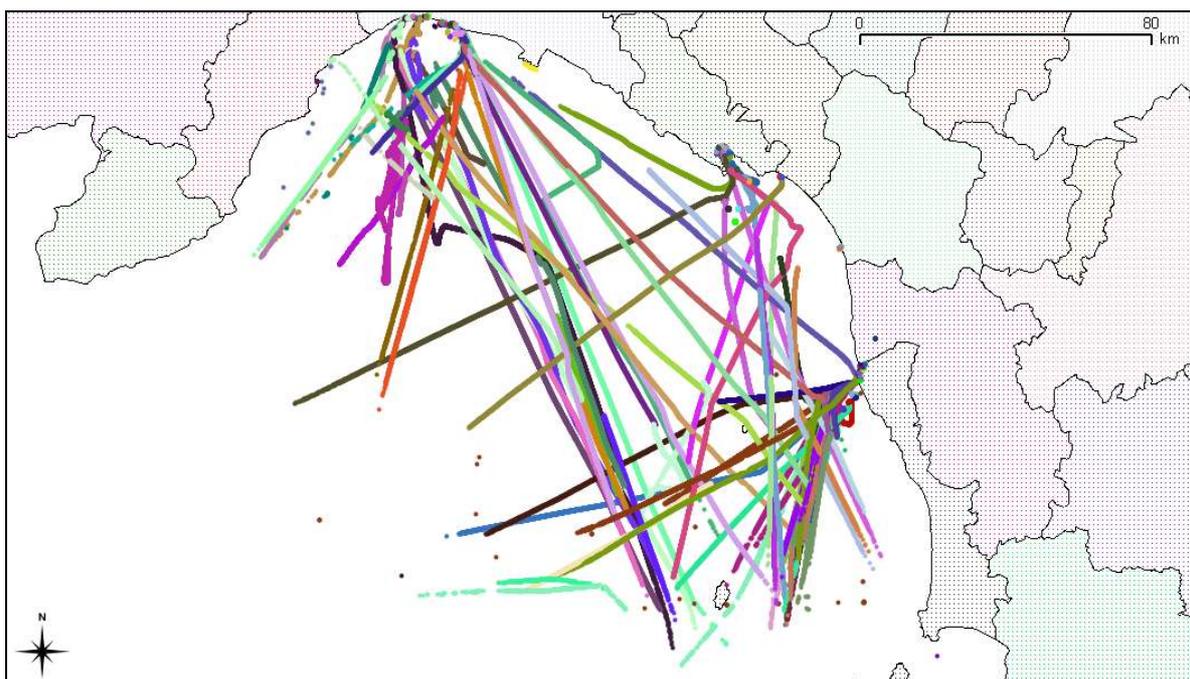
---

<sup>3</sup> Si ricorda in proposito che non sono state trovate informazioni in proposito nel materiale presente in letteratura.

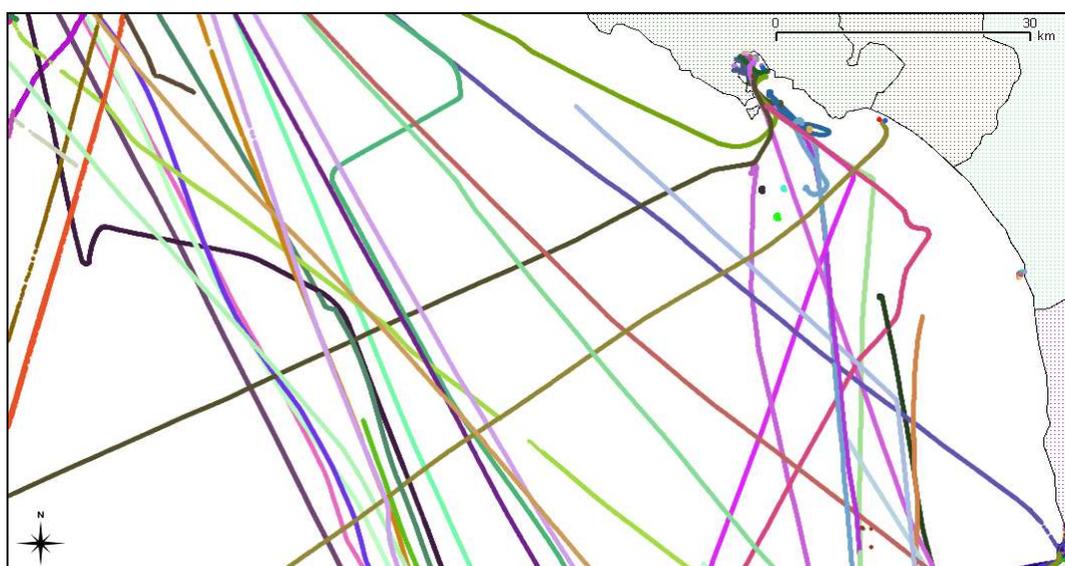
### 3.4 – Trattamento delle singole rotte

Importando nel database e poi visualizzando nel GIS le informazioni AIS riguardanti tutti i natanti dotati di un transponder, e che hanno inviato correttamente i pacchetti di dati al ricevitore, si ottiene come risultato finale gli esempi mostrati nelle figure seguenti. Per una maggiore comodità nella visualizzazione sono stati riportati i dati AIS di una singola giornata, nell'area coperta dal ricevitore del NURC di La Spezia, nella parte dell'alto Tirreno.

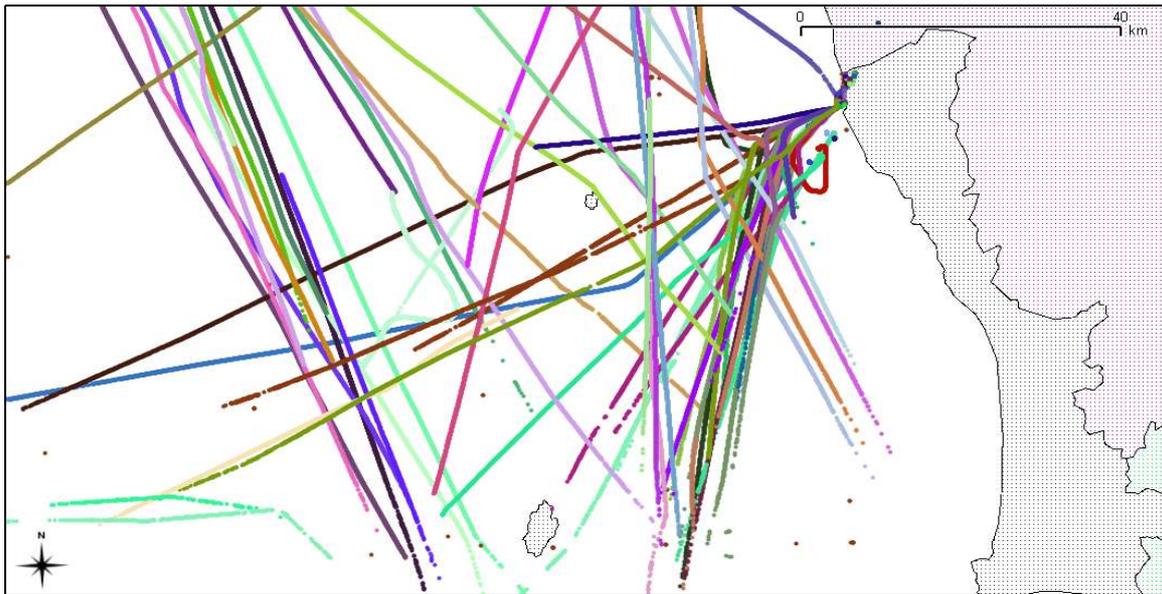
Queste figure, nelle quali le rotte sono state rappresentate con dei colori diversi per ciascun natante tracciato, confermano in modo sostanziale le nostre considerazioni preliminari sulla densità di traffico della zona, evidenziando, all'interno di una situazione piuttosto caotica, alcune rotte preferenziali.



**Figura 3** – Rotte inerenti ai dati AIS di una singola giornata nell'area dell'alto Tirreno.



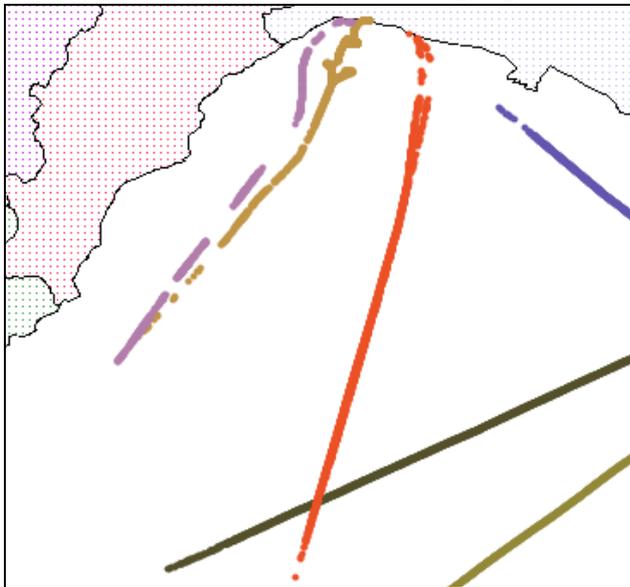
**Figura 4** – Particolare delle rotte delle imbarcazioni di una giornata nella zona di La Spezia.



**Figura 5** – Particolare delle rotte delle imbarcazioni di una giornata nella zona di Livorno.

Da una prima analisi delle traiettorie delle navi si nota una situazione molto confusa, in cui le rotte non seguono sempre dei percorsi rettilinei, ma anzi ce ne sono alcune piuttosto contorte, in particolar modo nella fase di avvicinamento ed approccio verso il porto.

Anche considerando una singola rotta, si può notare che essa non è sempre costituita da una sequenza di punti quasi equamente distanziati: talvolta sono evidenti parti mancanti della rotta, a causa del mancato invio del segnale da parte dell'imbarcazione o ad una cattiva ricezione della stazione AIS fissa. Inoltre, anche la portata del ricevitore ha un limite di visibilità che gli permette di ricevere in modo distinto i segnali provenienti all'incirca fino alla Capraia, motivo per il quale le rotte a sud dell'isola diventano sempre più rade fino alla loro scomparsa.



Un esempio è rappresentato nella figura a fianco.

La mancanza di porzioni delle rotte costituisce un problema per la fase di elaborazione delle stime di densità, in quanto aree senza punti costituirebbero zone a densità zero, fornendo di fatto un risultato finale che sottostima quella che è la reale distribuzione spaziale delle varie tipologie di imbarcazioni tracciate.

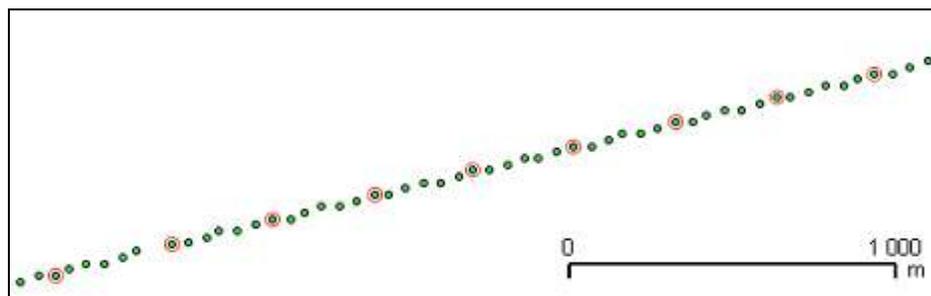
Per risolvere questo problema sono state applicate delle tecniche di interpolazione che colmassero le parti mancanti delle rotte, in modo tale da restituire un'informazione completa.

### 3.4.1 – Aggregazione dei dati AIS

Ora verrà esposta nel dettaglio la fase di pre-elaborazione, in cui si è proceduto ad applicare delle tecniche mirate ad aggregare e compattare i dati disponibili. Il principio di partenza è quello che il dettaglio necessario per ottenere una mappa di rumore su scala larga (pari almeno a quella del Santuario), non debba essere troppo spinto. In effetti, sulla base della frequenza di aggiornamento

dei dati AIS e sulla velocità dei natanti in navigazione, ci si trova ad avere un dato di posizionamento ogni 50 metri circa. Questa informazione, finalizzata alla sicurezza della navigazione, è invece eccessiva per lo scopo del presente lavoro, anche considerando che la nostra sorgente (ovvero, la nave) ha dimensioni fisiche maggiori di tale distanza.

Si è ritenuto un buon compromesso quello di studiare l'area da analizzare sulla base di una suddivisione in celle quadrate di lato pari ad 1 chilometro. All'interno di ogni cella viene quindi realizzata la statistica dei dati di traffico provenienti dai dati AIS. Al fine di poter disporre comunque di una base dei dati flessibile anche per ulteriori analisi e di sufficiente dettaglio, si è scelto di aggregare i dati su una base più densa, ovvero con un passo di circa 330 metri (1/3 di chilometro), rimandando ad una fase successiva l'ulteriore aggregazione su una griglia meno dettagliata. Questo processo è evidenziato graficamente nella figura seguente.



Nella rotta rappresentata:

- i **punti verdi** indicano le posizioni AIS trasmesse dall'imbarcazione;
- i **cerchi rossi** sono i punti ottenuti dal processo di aggregazione.

Come si vede dalla figura questo processo genera un minor numero di punti, con un fattore di riduzione pari a circa 1/6, alleviando il problema della grande mole di dati, senza perdere danneggiare eccessivamente il dettaglio di informazione associata ai dati AIS.

Ad ogni nuovo punto vengono associati, oltre ai dati provenienti dall'analisi del flusso dati AIS, anche il valore aggregato del tempo di presenza. La scelta di operare su punti, invece che su linee è dettato da una maggiore semplicità di elaborazione. La procedura seguita per l'aggregazione è riportata con maggiore dettaglio in appendice.

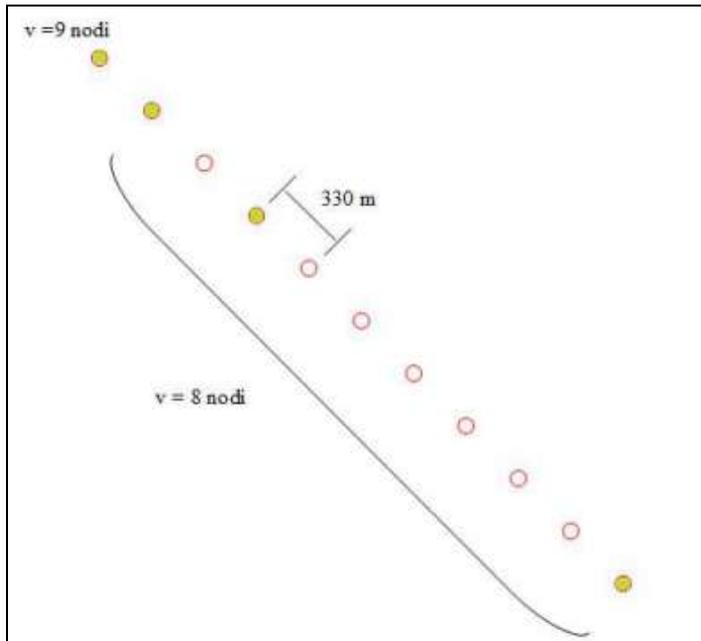
### 3.4.2 – Interpolazione

Tramite questa tecnica è stato possibile interpolare le parti assenti delle rotte, riempiendo queste mancanze con dei punti modificati, distanti 330 metri, e con le stesse informazioni statiche dell'ultimo punto presente.

La procedura di interpolazione prevede che, in caso di punti successivi della stessa nave separati da una distanza maggiore della soglia di 330 metri, vengano generati un numero adeguato di punti intermedi distanti tra loro meno del valore soglia (vedi figura che segue).

Ad ogni punto è associata la velocità media determinata dalle posizioni estreme del segmento interpolato, ed il tempo di percorrenza è suddiviso tra tutti i punti generati.

Ulteriori controlli cercano di evitare di generare interpolazioni non dovute: punti estremi troppo distanti come tempo o come spazio, non danno luogo alla procedura di interpolazione.



**Figura 6** – Tecnica di interpolazione delle porzioni mancanti della rotte.

## 4 – Analisi dei dati

### 4.1 – Scopo dell'analisi

La fase di pre-elaborazione dei dati ha permesso, tramite le operazioni di aggregazione ed interpolazione, di ottenere un'informazione più compatta, completa e facilmente gestibile all'interno dello strumento GIS.

Queste due fasi hanno di fatto compresso l'iniziale database di circa 172 milioni di righe ad una database da 26 milioni di righe, facilitando le operazioni di analisi successivamente condotte.

A questo punto si inserisce la fase di analisi, articolata in due momenti: nel primo è stata condotta un'analisi statistica spaziale delle informazioni, integrata da una successiva determinazione statistica della significatività dei parametri scelti.

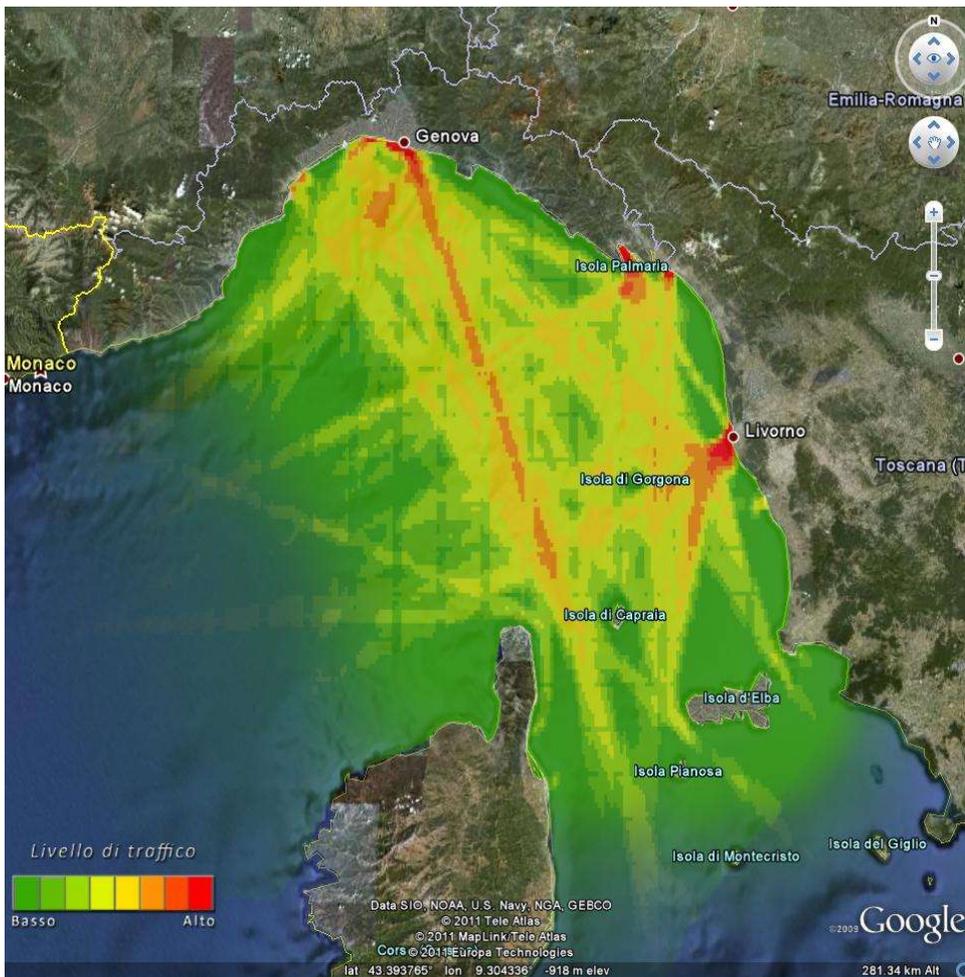
Queste analisi hanno restituito uno primo spaccato della sorgente traffico navale abbastanza dettagliato e preciso, sul quale basare successivi approfondimenti.

### 4.2 – Analisi spaziale e mappe di densità

Una prima analisi eseguita sui dati AIS è quella spaziale, tesa a descrivere come si distribuiscono le varie classi acustiche del naviglio nell'area del Santuario, se esistono delle corsie preferenziali tracciate dai vari natanti, etc.

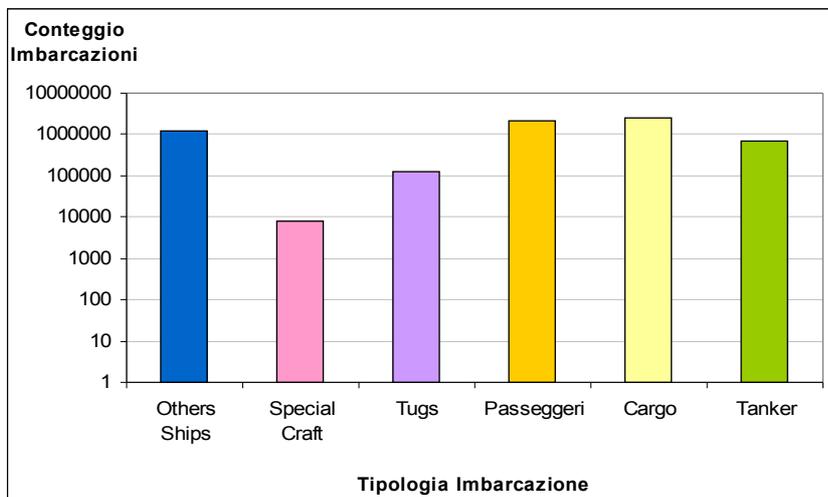
Le mappe di densità ottenute tramite elaborazioni dei dati AIS in ArcMap, costituiscono un buono strumento sul quale basare le successive fasi analitiche. Naturalmente non si può prescindere da una prima grossolana valutazione della densità del naviglio nell'area di interesse basata sul complessivo dei dati raccolti.

Questa valutazione è riportata nella mappa che segue. La scalatura di colori è delle classi di numerosità corrispondenti è stata effettuata lungo una scala logaritmica, in analogia con la scalatura dei livelli energetici acustici.



**Figura 7** – Mappa della densità totale del naviglio nell’area di indagine.

Dal grafico che segue si nota come le classi più abbondanti siano quelle delle navi passeggeri e delle navi tanker e cargo, adibite al traffico commerciale. I tugs sono piuttosto importanti, ma la loro distribuzione è confinata agli spazi portuali e non al mare aperto. Gli “special craft” hanno un’abbondanza di ben due ordini di grandezza inferiori alle altre classi, mentre nella classe “others ships” sono state incluse tutte le altre classi, compresa la classe “nulla”, ovvero quella in cui il dato



AIS grezzo non fornisce indicazioni sulla tipologia.

Tenendo conto di queste considerazioni abbiamo analizzato, analogamente alla densità totale, la distribuzione delle tre classi principali: passeggeri, cargo e cisterna.

**Figura 8** – Abbondanza delle varie classi di natanti AIS nell’area di studio. Il conteggio delle imbarcazioni è riportato utilizzando una scala logaritmica.

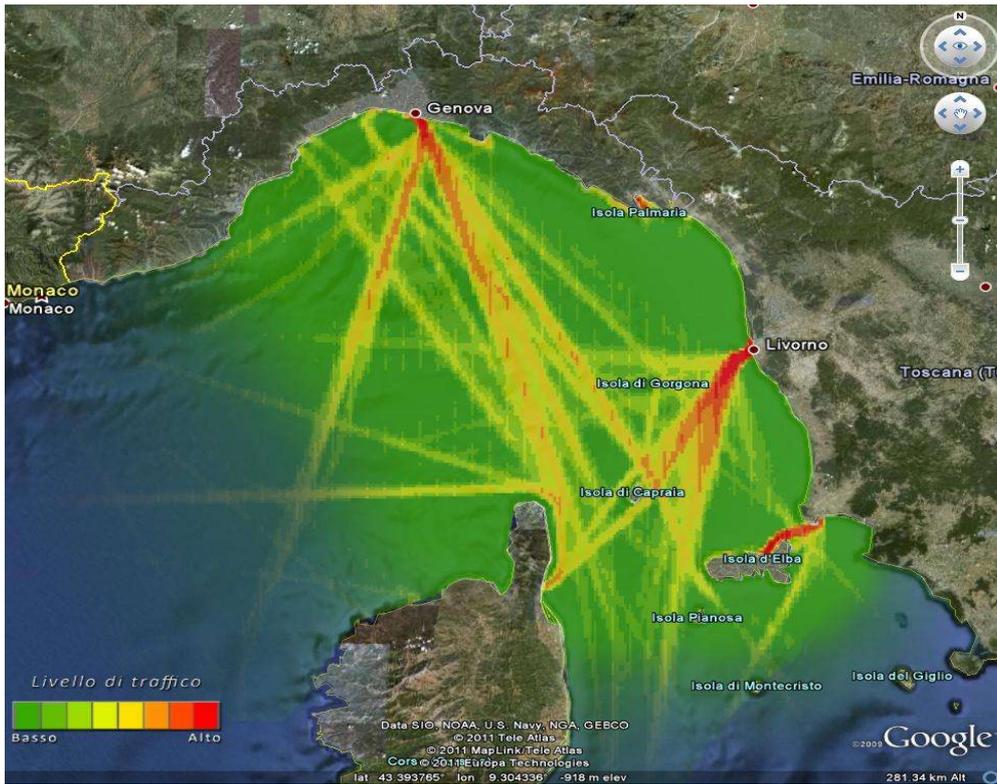
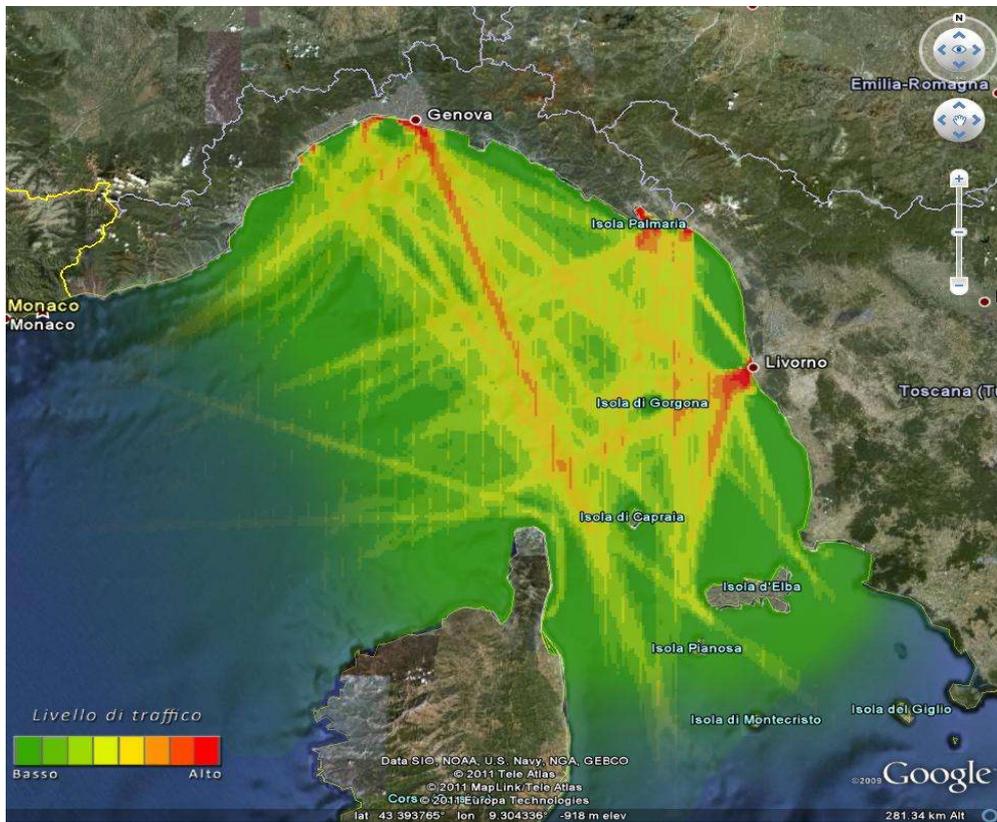
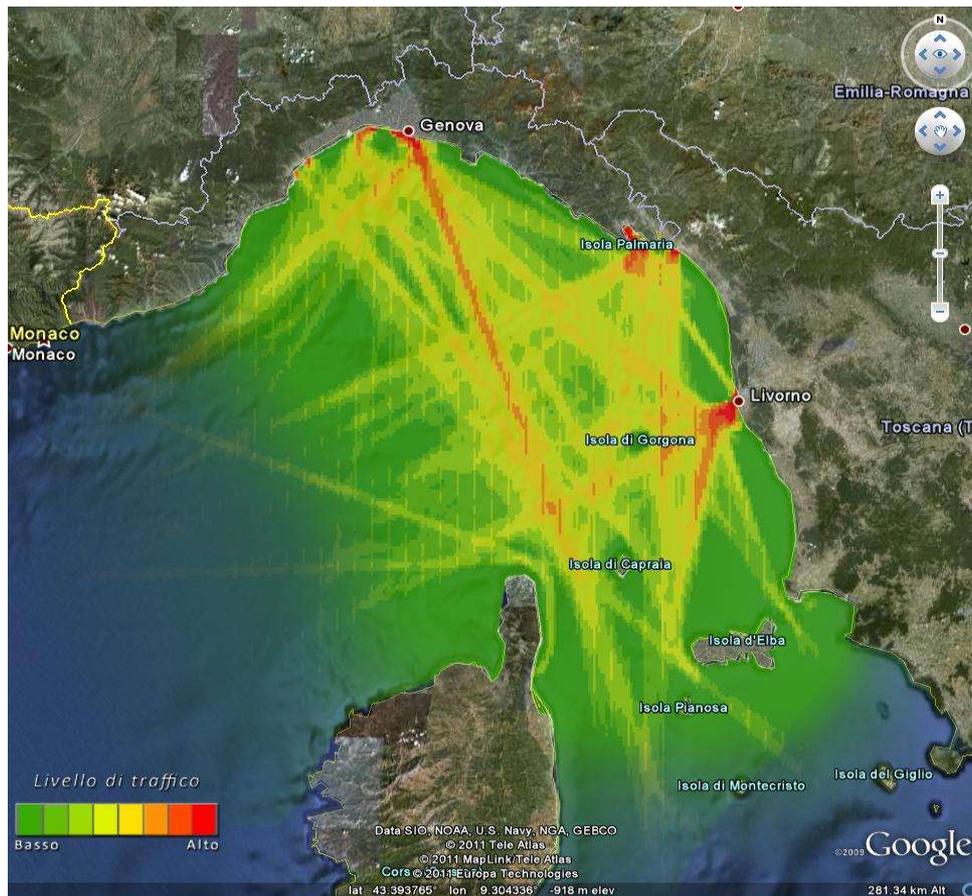


Figura 9, 10 – Mappa della densità della classe delle navi passeggeri (in alto) e cargo (in basso).





**Figura 11** – Mappa della densità della classe delle navi tanker.

Da un'analisi delle mappe che seguono si potrà notare come, a seconda del tipo di traffico, oltre alle variazioni dell'intensità della densità, si possono osservare mutazioni anche dei percorsi più frequentati dalle varie tipologie.

### 4.3 – Analisi delle caratteristiche temporali del traffico

Tra i parametri non-acustici raccolti, di sicuro interesse è il fattore tempo.

Per una corretta modellizzazione di un fenomeno, la conoscenza delle caratteristiche di ciclicità sono infatti di fondamentale importanza: la preventiva conoscenza di tali cicli permette di ottimizzare le eventuali operazioni di raccolta di dati sperimentali in campo.

Conoscenza utile nella fase previsionale, grazie alla quale si possono estrapolare, dalla conoscenza di periodi limitati di tempo, le caratteristiche attese in periodi di maggiore estensione.

D'altronde, essendo il tempo una variabile dalle caratteristiche quasi-continue (i dati AIS hanno un livello di dettaglio pari ad un secondo), risulta difficile fare una scelta di quali intervalli temporali assumere come base per una ciclicità.

Sulla base di considerazioni abbastanza semplici, è possibile attendersi che vi possa essere una periodicità su base giornaliera, settimanale, mensile, stagionale, o annuale. Dunque il problema è quello di capire quale di questi raggruppamenti determini una significativa modulazione dei dati di traffico.

Per esemplificare la natura del problema, si supponga di voler verificare se è presente una ciclicità del traffico con base giornaliera; in tal caso, si potrebbe raggruppare i dati acquisiti per ogni ora, ottenendo la tabella seguente. dove i numeri racchiusi nelle colonne sono il tempo di presenza di

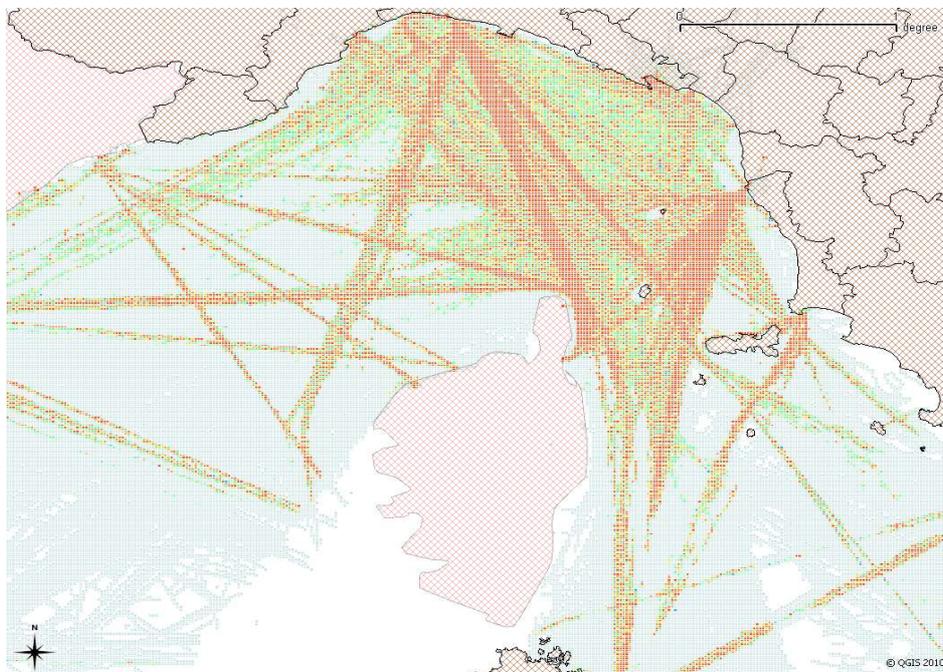
ciascuna nave nella fascia oraria considerata<sup>4</sup>.

0	1	2	3	12	13	14	16	23
108, 66, 127, 96, 115, 80, 42, 32, 116, 278, 110, 95, 56	29, 14, 12, 30	139, 12, 54, 52, 18, 39, 70, 42, 130, 20, 38, 54, 8, 138	30, 78, 27, 18, 16, 47, 20, 106, 18	82, 94, 36, 76, 58	111	131	148	171, 103, 36, 112, 108, 41, 18, 87, 66, 26, 83, 20, 126, 57, 155, 60, 58, 180, 48, 24, 183, 96, 80, 48, 117, 149

Ovviamente questa analisi andrebbe circoscritta ad un'area relativamente piccola. Nel nostro caso si sono adottate le griglie di 1 chilometro di lato per suddividere l'intera area in analisi; per ciascuna cella, una volta compilata una tabella del genere si dovrebbe rispondere alla domanda: *questa distribuzione di valori differisce da quella che si sarebbe ottenuta ripartendo in modo uniforme i valori stessi?*

Si tratta di un classico problema di significatività statistica per il quale esistono molteplici strumenti matematici che possono aiutare ad oggettivare una risposta.

In particolare è stato impostato un test di significatività utilizzando **il test di Kruskal-Wallis**; questo è un metodo statistico non parametrico (per distribuzioni non normali) per verificare l'uguaglianza delle mediane di diversi gruppi, ovvero per verificare che tali gruppi provengano da una stessa popolazione (o da popolazioni con uguale mediana).



Questo metodo è il corrispondente non parametrico dell'analisi di varianza (*ANOVA*) in cui i dati vengono sostituiti dal loro rango, e viene solitamente usato quando non può essere assunta una distribuzione normale della popolazione.

<sup>4</sup>Si ricorda a tal proposito che il tempo di permanenza, e non il empirico conteggio, è il parametro che meglio si dovrebbe correlare con il livello sonoro immesso nell'ambiente.

In appendice è riportato una breve descrizione del metodo ed ulteriori dettagli di come è stato impiegato per questo lavoro.

Trattandosi di una analisi da ripetere su base geografica, è ottimale rappresentare il risultato con il supporto di una opportuna cartografia; nella figura riportata sopra si è graficato tramite i colori la probabilità che una stratificazione dei dati di presenza delle navi per ora del giorno realizzi classi con differenze significative tra di loro: le parti in **verde** evidenziano una significatività nulla o molto bassa, mentre le parti in **rosso** identificano aree dove c'è una stretta dipendenza forte tra il criterio di classificazione e la distribuzione dei dati.

Le zone in **azzurro**, sono quelle per le quali la bassa presenza di dati non consente al test di significatività di fornire alcuna valutazione.

Nel caso specifico si notano molto bene delle rotte ben precise (come quelle che partono ed arrivano dalla Corsica) dove la significatività è alta; questo si traduce nel fatto che il parametro "ora del giorno" ha una influenza nel numero (tempo) di natanti che circolano.

Lo stesso tipo di analisi è stata eseguita su gli altri parametri temporali già indicati: la tabella seguente riassume i risultati del test di Kruskal-Wallis per i vari parametri temporali presi in esame.

SÌ	NO
Ora del giorno	Giorno della settimana
Mese dell'anno	
Settimana dell'anno	

#### 4.4 – Identificazione delle tratte principali ed analisi delle loro caratteristiche

In questa sezione dell'analisi abbiamo esaminato in dettaglio alcune aree geografiche che sembrerebbero interessate da una concentrazione di imbarcazioni rilevanti, sia nella classe navale passeggeri che commerciale.

Questi buffer sono stati disegnati in ArcMap escludendo le aree portuali, a partire dai porti di Genova e Livorno, individuando due rotte passeggeri che da Genova vanno una verso sud-ovest ed una verso sud-est, oltre ad una rotta commerciale che si dirige, anch'essa, verso sud-est. Dal porto di Livorno si è analizzata solamente una rotta di navi passeggeri diretta a Bastia.

Le schede (riportate in Appendice) rappresentano solo un inizio di una caratterizzazione di queste tratte; come verrà evidenziato nelle conclusioni, questo lavoro ha mostrato alcuni limiti dell'analisi compiuta e la necessità di procedere con un trattamento più accurato dei dati AIS originali. I risultati ottenuti sono comunque significativi per rendere un'idea della situazione della presenza delle navi lungo le varie rotte.

In ciascuna scheda vengono incluse, oltre alla localizzazione geografica del buffer analizzato all'interno dei confini del Santuario, una serie di risultati delle analisi statistiche condotte sui dati contenuti nelle aree stesse.

Un primo istogramma evidenzia l'abbondanza, espressa come somma dei conteggi, delle principali tipologie di imbarcazioni presenti nell'area indagata: navi passeggeri, cargo, tanker e *others ships*.

Gli altri grafici consolidano le analisi svolte riportando la ripartizione del numero totale di navi, presenti nell'area selezionata, sia nelle diverse ore della giornata che nei vari mesi dell'anno.

#### 4.5 – Correlazione dei parametri

In questa fase del lavoro si è proceduto a verificare l'eventuale correlazione tra alcuni parametri

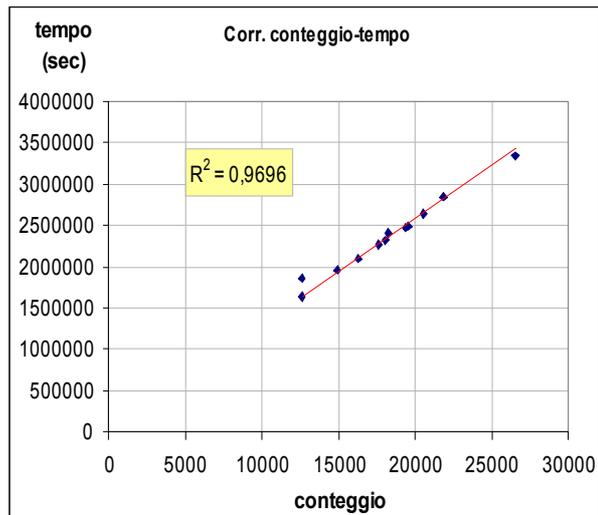
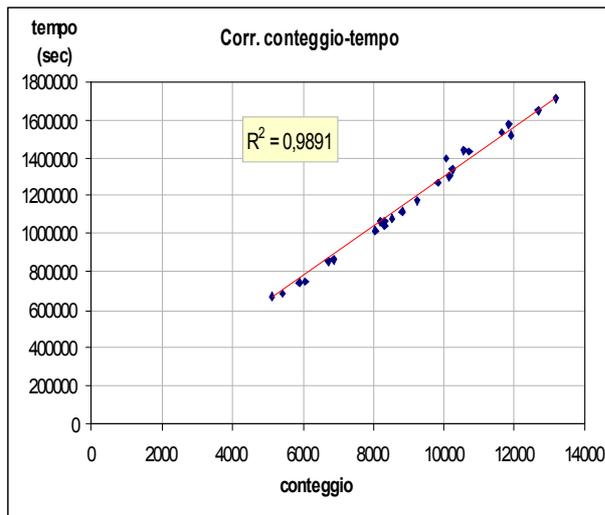
utilizzati per caratterizzare dal punto di vista acustico l'area di studio.

Tramite questa operazione si vuole accertare la possibilità, nel caso ci sia un'elevata correlazione tra i parametri selezionati, di eliminare in prima istanza parte dell'informazione grezza, così da velocizzare i tempi macchina di elaborazione.

I risultati ottenuti forniranno solamente delle informazioni indicative, non escludendo, quindi, nelle successive fasi il recupero delle informazioni inizialmente scartate.

I parametri che sono stati correlati sono:

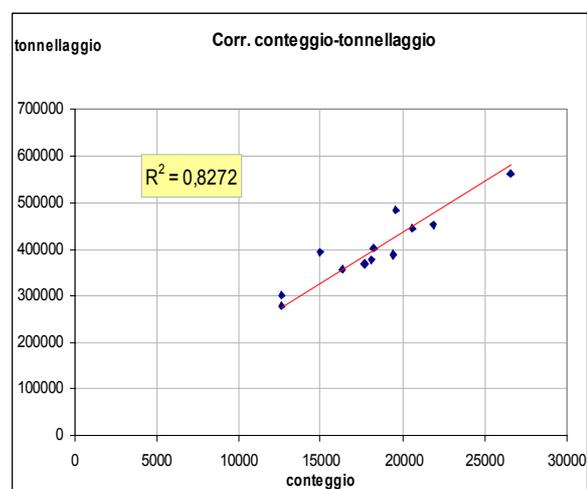
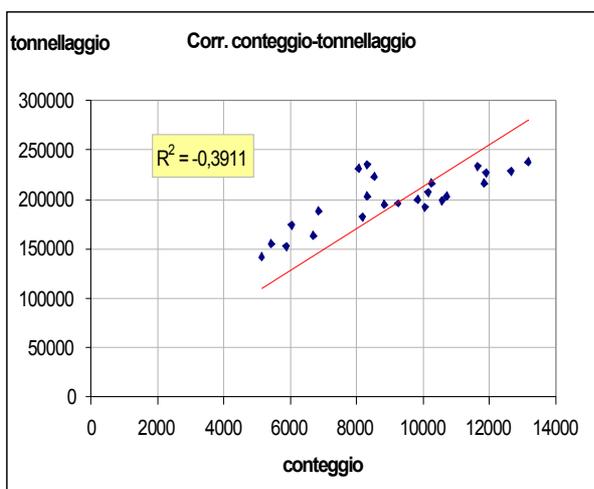
- il conteggio delle imbarcazioni contro il tempo di permanenza delle stesse nelle varie celle sia durante le ore del giorno che durante i mesi dell'anno;
- il conteggio delle navi contro il loro tonnellaggio.



I primi due grafici riportati, che riassumono le correlazioni tra conteggio e tempo nelle ore (a destra) e nei mesi (a sinistra), evidenziano come sia piuttosto alta ( $R$  molto vicino all'unità) la correlazione tra i due parametri scelti in entrambi i casi.

Lo stesso tipo di analisi è stata condotta per i parametri tonnellaggio e conteggio nelle ore (a sinistra) e nei mesi (a destra).

In questo caso è più evidente come non ci sia una correlazione così netta tra i due parametri, soprattutto nel primo dei due casi, per il quale non sembrerebbe esserci un legame tra il tonnellaggio delle navi ed il loro conteggio nelle varie ore della giornata.



## 5 – Conclusioni

Il lavoro che è stato svolto ha di fatto confermato una situazione una situazione che ci si poteva attendere: l'area è caratterizzata da una forte pressione antropica per quanto riguarda la componente “traffico marittimo”, con delle aree nelle quali il traffico raggiunge valori significativi.

Le mappe di densità mettono ancor meglio in risalto quanto appena affermato, permettendo, da una parte, di individuare nelle classi navali passeggeri e commerciale (cargo e tanker) la maggior parte del naviglio che insiste nell'area di studio, dall'altra le rotte preferenziali tenute da queste tipologie di imbarcazioni.

Una prima criticità consiste nel non aver distinto in modo netto le aree portuali e di rada, dalle aree di sola navigazione; nelle prime vi è infatti da attendersi valori elevati dei tempi di permanenza, non compatibili con quelli presenti in mare aperto. Anche la composizione del tipo di natanti presenti in tali aree è deviato dalla presenza di imbarcazioni specifiche (es. tugs) che operano prevalentemente in ambito portuale.

A questo è stato posto rimedio in fase di analisi, realizzando graficamente aree di analisi che non includessero gli specchi di acqua portuali. D'altronde, anche questa tecnica tipica degli ambienti GIS, non ha permesso di escludere il contributo di rotte intersecanti; non è infrequente infatti che nel “buffer” di analisi, oltre alla presenza della rotta scelta, ricadessero anche i contributi di rotte trasversali ad essa. Se pur limitati, questi contributi possono aver determinato una alterazione dei risultati ottenuti.

A parte questi problemi, il lavoro svolto ha consentito di:

- dotarsi di strumenti per l'analisi di dati AIS grezzi fino alla realizzazione di un database georeferenziato dei natanti e delle informazioni ad essi collegate;
- individuare alcune caratteristiche del traffico navale, con particolare riferimento alle caratteristiche di periodicità temporale;
- individuare lacune delle rotte principali e delinearne le caratteristiche in termini di volumi e tipologia del traffico.
- Vale la pena sempre di segnalare che tutto questo lavoro è comunque finalizzato alla determinazione di una mappa della situazione dell'inquinamento acustico marino. Per questo motivo i passi successivi del lavoro sono rappresentati da:
- implementazione di un database di emissione delle sorgenti, sia attraverso dati di letteratura che attraverso specifiche campagne di misura;
- migliorare la conoscenza del traffico, riprocessando i dati AIS ed eliminando le criticità evidenziate;
- aumentare il livello di dettaglio del traffico includendo anche le informazioni sull'orientamento della nave (si tratta di una sorgente sonora direttiva) che relativamente alla rotta tenuta dalla nave;
- implementare un modello di propagazione acustica in ambiente marino e validarne l'accuratezza.
- raccogliere dati batometrici, temperatura e di variazione stagionale dell'area di interesse e produrre una previsione del rumore su area vasta.

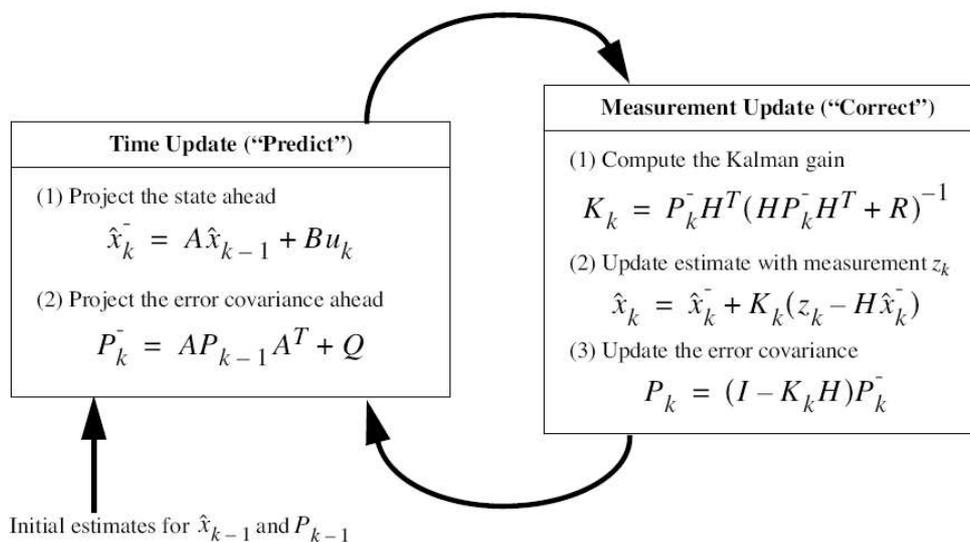
## Appendice A - Filtri di Kalman

I filtri di Kalman sono impiegati per estrarre informazioni anche in presenza di dati affetti da un rumore non trascurabile o in caso di mancanza di dati. Sono particolarmente utili in caso di trattamento di segnali; il loro impiego presuppone la definizione di un modello che, sulla base delle informazioni già raccolte, predice un valore atteso e lo combina con il dato misurato per ricavare un valore finale con caratteristiche di accuratezza superiori.

Si tratta di un filtro che si adatta dinamicamente alle caratteristiche dei dati ricevuti, permettendo di estrapolare valori anche in assenza di dati misurati e risulta particolarmente robusto alla presenza di 'outlier' tra i dati in ingresso. Per queste caratteristiche è usato spesso proprio in sistemi di navigazione basati su ricevitori GPS, in cui il flusso dei dati non è costante né per quantità né per qualità.

Il filtro si articola nelle seguenti fasi:

- nel filtro viene modellizzato il fenomeno da filtrare. Nel caso della velocità del natante, si può ragionevolmente supporre che questa sia soggetta a variazioni abbastanza lente, tali da supporla praticamente costante;
- una volta inizializzato, il filtro ipotizza il valore all'istante successivo (uguale al valore precedente) e fornisce una stima dell'accuratezza della previsione;
- fornito il dato misurato ed una stima della accuratezza dello stesso, il filtro restituisce un valore combinato della previsione e della misura, sulla base delle rispettive incertezze;
- il valore risultante rappresenta la base per la successiva previsione, ripetendo così il ciclo.

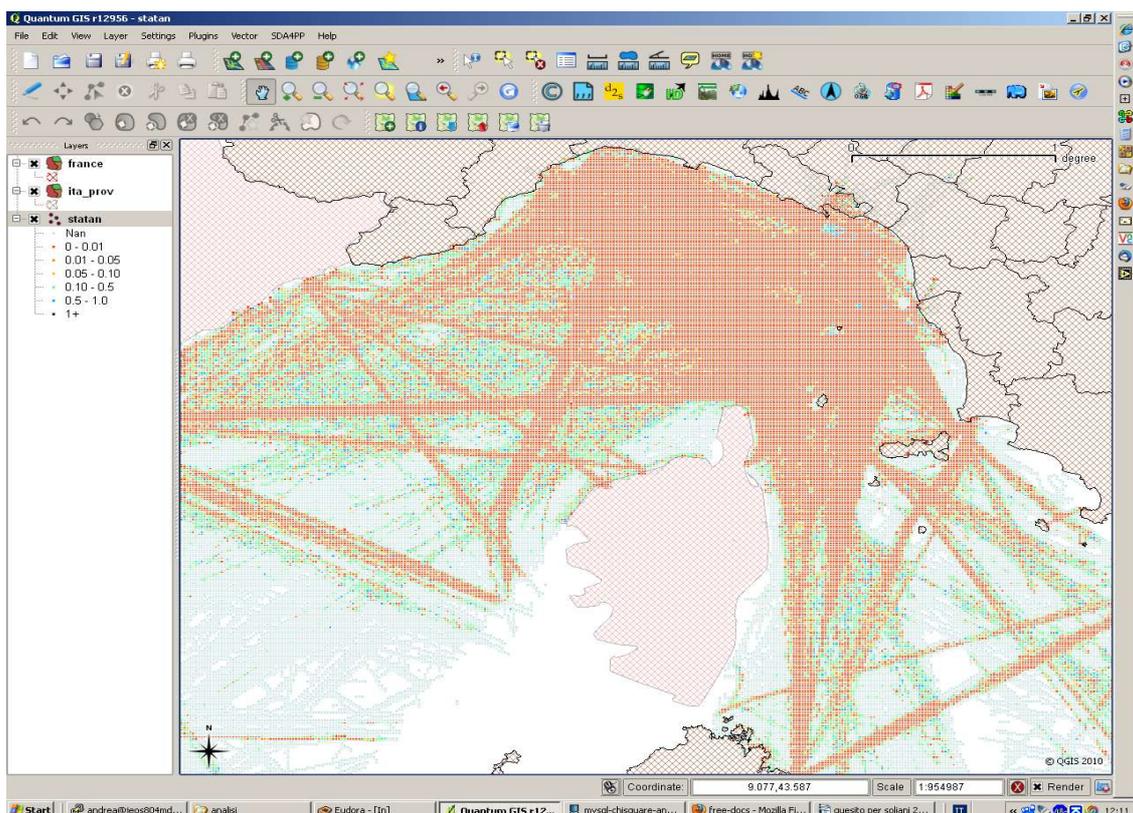


*Schema di funzionamento dei filtri di Kalman (tratto da "An Introduction to the Kalman Filter" di Greg Welch e Gary Bishop - University of North Carolina at Chapel Hill)*

## Appendice B - Analisi della varianza ANOVA e test di Kruskal-Wallis

La valutazione della significatività delle variazioni di di variabili fluttuanti costituisce un esercizio tipico della statistica; a tale scopo sono stati realizzati metodi matematici capaci di fornire una valutazione numerica della probabilità che una fluttuazione osservata corrisponda o meno ad una reale variazione rispetto ad un valore atteso o medio. Tali metodi sono però estremamente dipendenti dal tipo di dati in indagine, nonché dal risultato che si vuole conseguire.

Nel caso in questione, la domanda i dati a disposizione sono i tempi di permanenza di un natante all'interno di una singola cella e la questione da dirimere è se il raggruppamento di tali dati secondo un certo criterio produce gruppi in cui il tempo complessivo di presenza dei natanti (ovvero la somma dei singoli tempi) differisce significativamente tra gruppo e gruppo.



Come usuale nel campo della statistica, per rendere ancora più esplicito il concetto di “differenza” è opportuno indicare l'ipotesi nulla, ovvero l'assenza di tale differenza; in tal caso l'ipotesi nulla è rappresentata dal fatto che il tempo totale attribuito ad un gruppo è circa lo stesso valore di ogni altro gruppo, ovvero pari al tempo totale cumulato su tutti i dati a disposizione, diviso per il numero di gruppi presente.

Questo problema ha forti parallelismi con il test del chi-quadro; in questo caso però il parametro sotto studio non è la somma di un valore, ma il conteggio dei dati che ricadono all'interno di un certo gruppo. D'altronde, come per tutti i test statistici, tale differenza è sufficiente per rendere inutilizzabile tale procedimento.

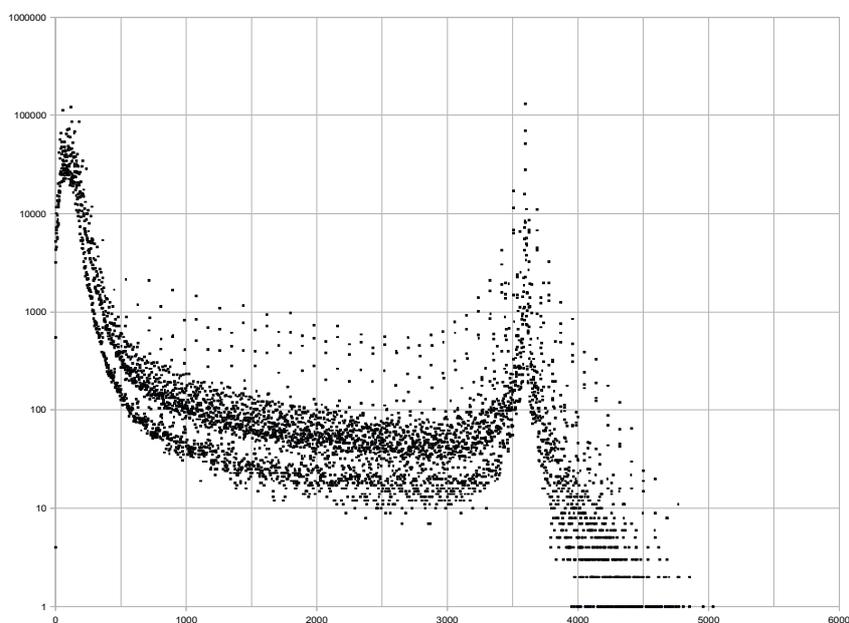
Questo è meglio esemplificato dal grafico che segue, in cui è riportato il risultato dell'analisi tramite il test del chi-quadro (adattato per tenere conto della somma e non del conteggio), utilizzando l'ora del giorno come parametro di classificazione.

Sulla base di tale risultato si ottiene che il criterio di classificazione è fortemente significativo, praticamente in qualsiasi locazione dell'area di studio, con l'eccezione delle aree dove i dati sono

pochi ed insufficienti per esprimere una valutazione. Il problema di questa analisi è che lo stesso risultato si ottiene per qualsiasi altro parametro di classificazione: il caso estremo lo si ottiene classificando il tempo impiegato da una nave all'interno di una cella, tramite un numero intero casuale nell'intervallo 0-9. E' evidente che tale parametro di classificazione dovrebbe invece fornire una generale non-significatività (quindi una predominanza di celle gialle-verdi-blu).

Per superare tale problema si è ritenuto comunque adatto un approccio teso a verificare se la distribuzione dei dati all'interno di ciascun gruppo fosse da ritenere simile (ovvero derivata dalla stessa popolazione) di quella degli altri gruppi; in una simile ipotesi, è naturale attendersi che anche la somma dei valori sia confrontabile tra i vari gruppi. Non è invece vero il caso contrario; è cioè possibile il caso in cui le distribuzioni non siano confrontabili tra loro, ma lo sia la somma dei valori all'interno del gruppo. Si tratta comunque di una ipotesi cautelativa, in cui l'unico rischio è quello di considerare significativamente differenti anche casi che in realtà non lo sono.

Per effettuare una analisi delle distribuzioni, il metodo più usato risulta il test ANOVA (Analysis Of Variance); questo metodo ha però un limite applicativo legato alla condizione di normalità della distribuzione della popolazione. Nel caso in questione, la variabile "tempo di permanenza" ha una distribuzione fortemente non-normale, come evidenziato dal grafico che segue:



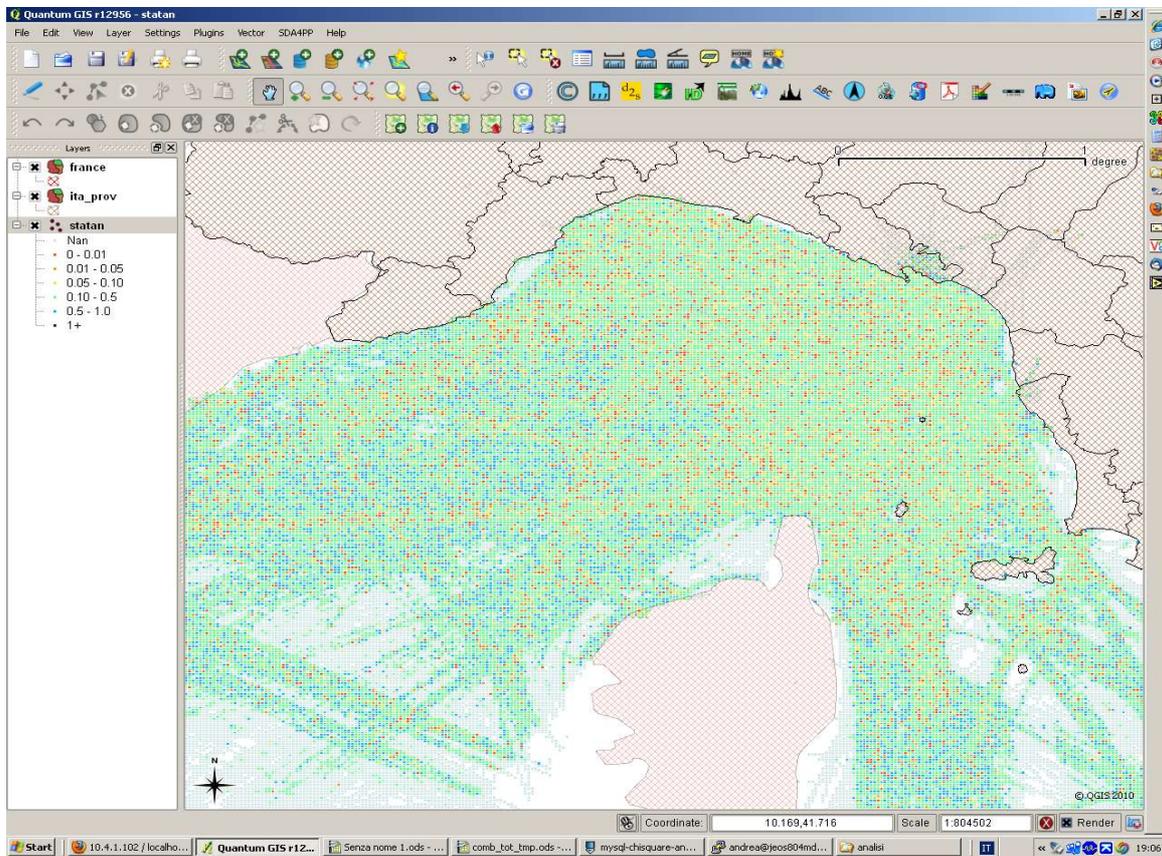
Questo limite ha l'effetto di produrre risultati inaccurati di test di significatività, producendo grafici simili a quelli già mostrati per il test del chi-quadro, anche in condizione di criteri di classificazione di test, come l'impiego di numeri casuali.

Il test di Kruskal-Wallis, appartenente alla categoria dei test non-parametrici, rappresenta un valido sostituto dell'ANOVA nel caso di forte non-normalità dei dati e permette una analisi anche per un numero limitato di campioni per classe (il numero campioni per classe deve essere superiore a 5).

Per rafforzare la selettività del test, ovvero per indagare più approfonditamente anche casi in cui il test di Kruskal-Wallis non segnalava la presenza di criticità particolari, è stato accodato anche un test del chi-quadro, valutato sulla base dei conteggi all'interno di ogni gruppo. Come risultato finale si è riportata la probabilità secondo Kruskal-Wallis, quando questa risulta inferiore al 5% (estrema significatività delle differenze) e quella del chi-quadro per gli altri valori. Complessivamente il test è molto sensibile, indicando come non significativi solo i casi in cui sia Kruskal-Wallis che il chi-quadro concordano in questo giudizio.

Come evidenziato dalla figura che segue, questo processo di analisi lanciato con il criterio di

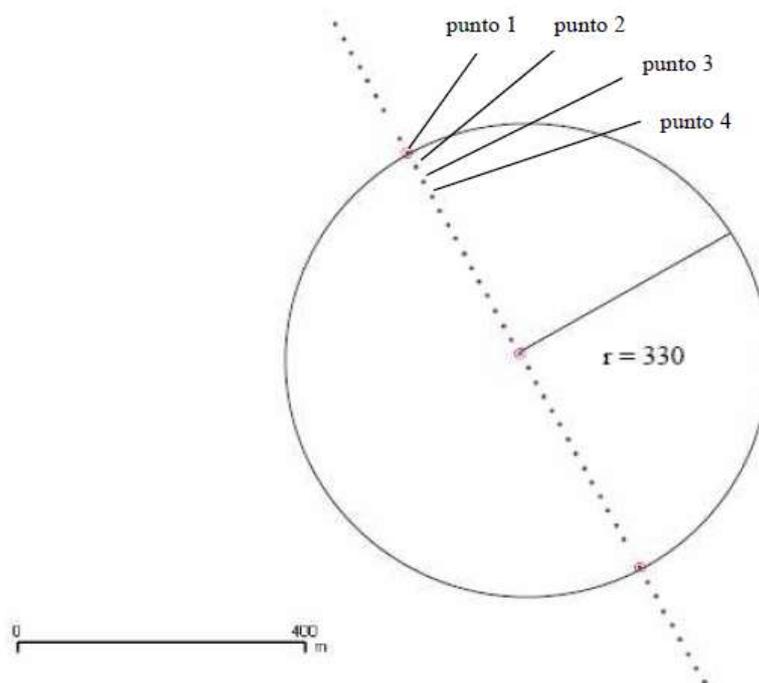
classificazione di prova (numero casuale tra 0 e 9), offre i risultati attesi, ovvero una generale indipendenza del risultato dai criteri di classificazione, anche se possono essere presenti casi sporadici di significatività dovuti a fluttuazioni casuali dei dati. Questo risultato rappresenta in nostro valore del “bianco” ovvero il valore con cui confrontarsi per la verifica della significatività del parametro di classificazione scelto.



## Appendice C – Procedura di aggregazione dei dati AIS

In questa sezione verranno descritti i criteri sono stati applicati per estrarre dai normali punti AIS i corrispondenti valori aggregati.

Partendo dal primo segmento (punto1-punto2) in cui è stata scomposta per convenienza la rotta in esame. Ciascuno dei punti avrà informazioni di tipo statico (displacement, classe, tonnellaggio) e dinamico (coordinate, velocità nel punto), oltre ai relativi tempi in cui la nave è passata in quei punti. Come già detto in precedenza i dati di velocità non vengono usati quelli associati ai singoli punti (contenuti all'interno dei dati AIS nativi), ma bensì quelli di velocità media di ciascun segmento in cui viene divisa la rotta.



Il valore di velocità media del segmento (punto1 - punto2) così calcolato (la distanza tra i due punti è nota) viene assegnato al punto 1.

Al termine di questa operazione il punto 1 mantiene intatte le informazioni statiche e ingloba in quella dinamiche il valore di velocità media del segmento.

Passando al segmento successivo (punto2-punto3), il programma compie nuovamente la stessa operazione, dopodichè procede nel valutare se ci sono le condizioni per l'aggregazione dei punti.

La fase di aggregazione, come già accennato, si è resa indispensabile per poter arrivare ad una sensibile riduzione della quantità di dati gestiti dal GIS, senza perdere le informazioni associate ai singoli punti.

In questa parte il programma confronta i due punti (punto 1 e 2) secondo dei criteri discriminanti:

- distanza inferiore a 330 metri;
- stessi dati di velocità media (arrotondata a 1 m/s),
- uguale displacement (in unità di migliaia di tonnellate) e tipo;

- stesso tempo (risoluzione 1 ora).

Verificate le condizioni, in caso positivo, si procede ad aggregare il punto 2 nel punto 1, sommando il contributo del suo tempo di presenza a quello del punto precedente.

Viene creato di fatto un unico punto, detto punto modificato e visualizzato con un cerchio rosso, che mantiene la coerenza dell'informazione statica, ed ha come tempo di presenza la somma dei singoli tempi di presenze dei vari punti che rappresenta.

Se anche solo una delle precedenti criteri non si verifica, ovvero non ci sono le condizioni per l'aggregazione dei punti, il programma agirà creando un nuovo punto d'inizio (che coinciderà con la visualizzazione di un nuovo cerchio rosso), sul quale confronterà i successivi punti, al fine di valutare la possibilità di aggregazione.

Se si verificano i presupposti li aggredgerà, altrimenti creerà un nuovo punto modificato, e così via per tutta la lunghezza della rotta.

Il risultato finale che abbiamo ottenuto è quello di una sequenza di punti quasi equispaziati (in condizioni di rotte che non mostrano variazioni di velocità) sovrapposte alle rotte originarie.

Nel caso della rotta della stessa imbarcazione, l'unico parametro che può modificarsi è la velocità, che diventa di fatto il principale parametro discriminante, insieme alla distanza minima di 330 m, per l'aggregazione dei punti e la creazione dei punti modificati.

Se difatti osserviamo la figura seguente notiamo che i cerchi rossi non sono così ben equispaziati come nella figura precedente, si possono osservare anche casi in cui ci siano due punti modificati consecutivi, anche se la distanza risulta essere inferiore ai 330 m

Confrontando le due tabelle degli attributi possiamo notare come la velocità tra i due punti è aumentata, passando da 8 a 9 nodi/ora, giustificando la creazione di un nuovo punto consecutivo,

Nel caso la nave sia ferma, abbiamo impostato il programma in modo tale da creare un solo punto ogni ora.

## **Appendice D – Schede delle rotte**

Come risultato finale di tale lavoro, sono state analizzate, grazie ad una serie di analisi statistiche, delle porzioni dell'area di indagine, corrispondenti a delle "rotte" tenute dalle imbarcazioni tracciate mediante i dati AIS, con lo scopo di fornire delle informazioni più dettagliate sui volumi di traffico che caratterizzano l'area di indagine.

Come porti di riferimento sono stati presi due tra i più significativi dell'intera area del Santuario, ovvero Genova e Livorno, mentre come categorie ci si è soffermati su quelle delle navi passeggeri e commerciali (cargo + tanker).

Tali dati sono stati incrociati ottenendo le seguenti rotte:

1. rotta passeggeri da Genova verso sud-ovest,
2. rotta passeggeri da Genova verso sud-est,
3. rotta passeggeri da Livorno a Bastia,
4. rotta commerciale da Genova verso sud-est.

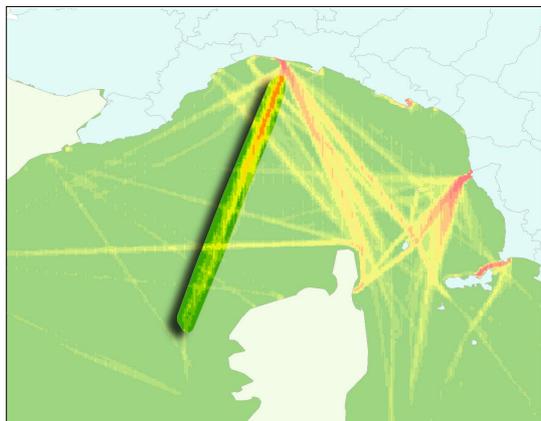
Per ciascuna di queste rotte sono state eseguite le seguenti analisi:

- Conteggio delle varie tipologie di imbarcazioni presenti, considerando le classi: passeggeri, cargo, tanker ed altro.
- Ripartizione della navi per ora del giorno, ovvero il conteggio delle imbarcazioni presenti all'interno della rotta nelle varie ore della giornata.
- Ripartizione delle navi per mese dell'anno.

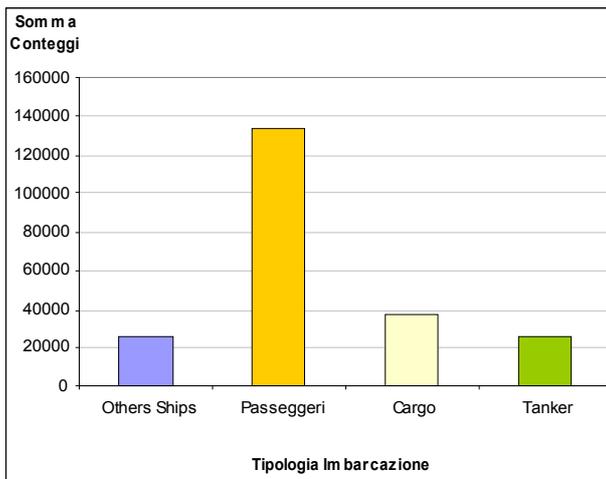
I risultati ottenuti sono riassunti nelle schede che seguono.

## AREA PASSEGGERI GENOVA – SUD OVEST

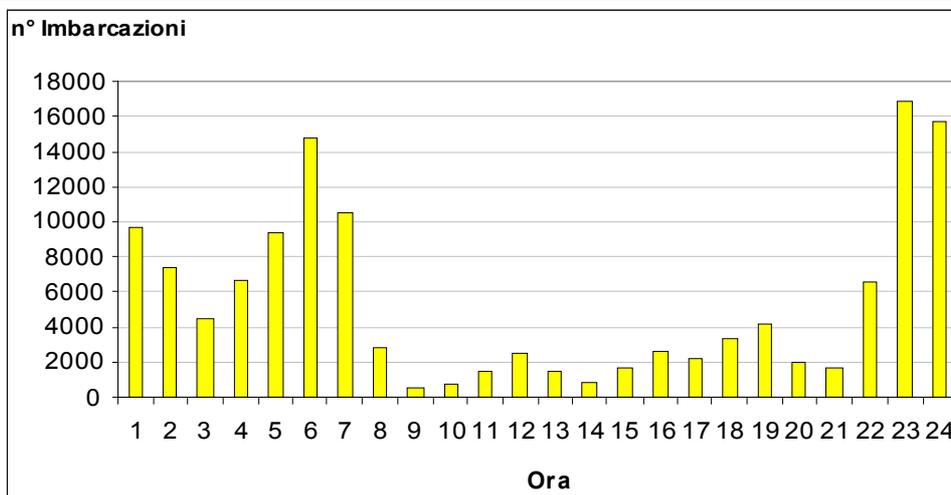
Localizzazione geografica



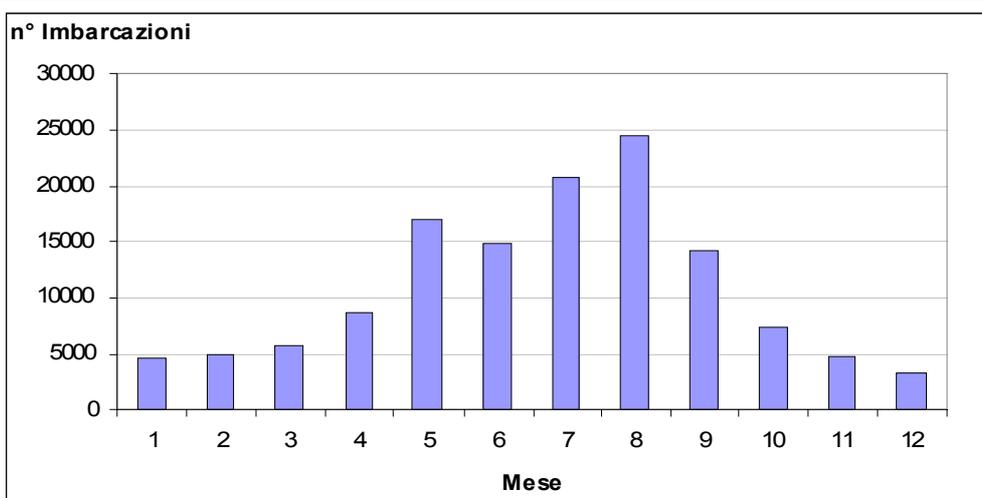
Abbondanza tipologie di imbarcazioni



Ripartizione navi passeggeri nelle ore del giorno

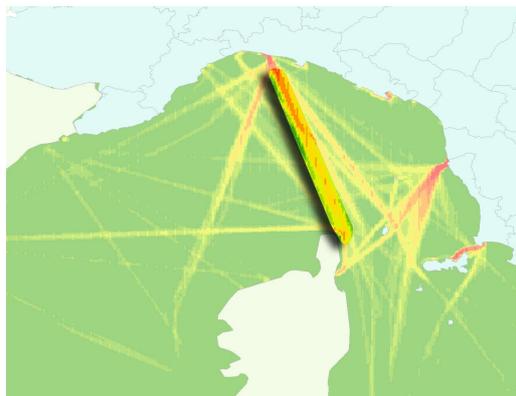


Ripartizione navi passeggeri nei mesi dell'anno

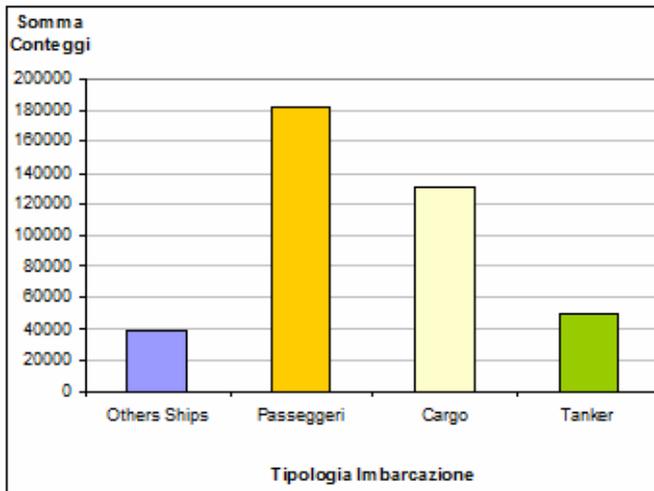


## AREA PASSEGGERI GENOVA – SUD EST

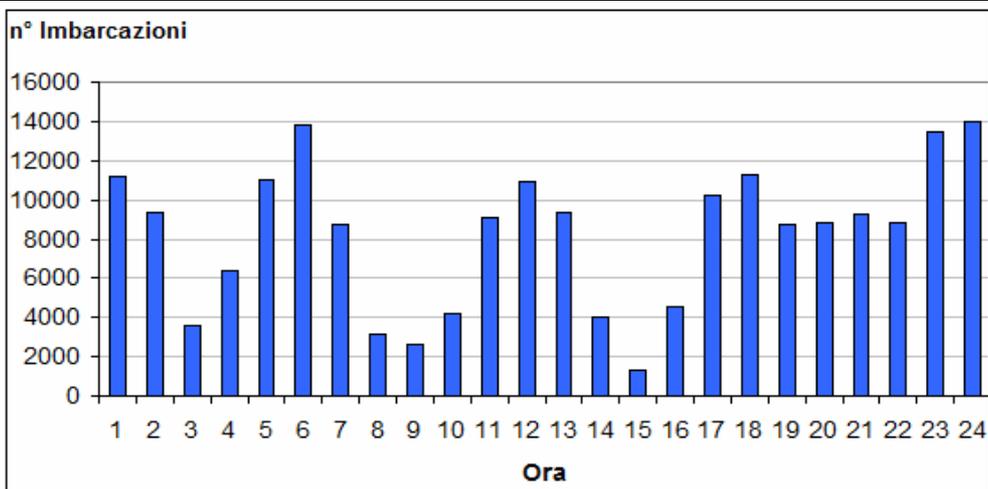
Localizzazione geografica



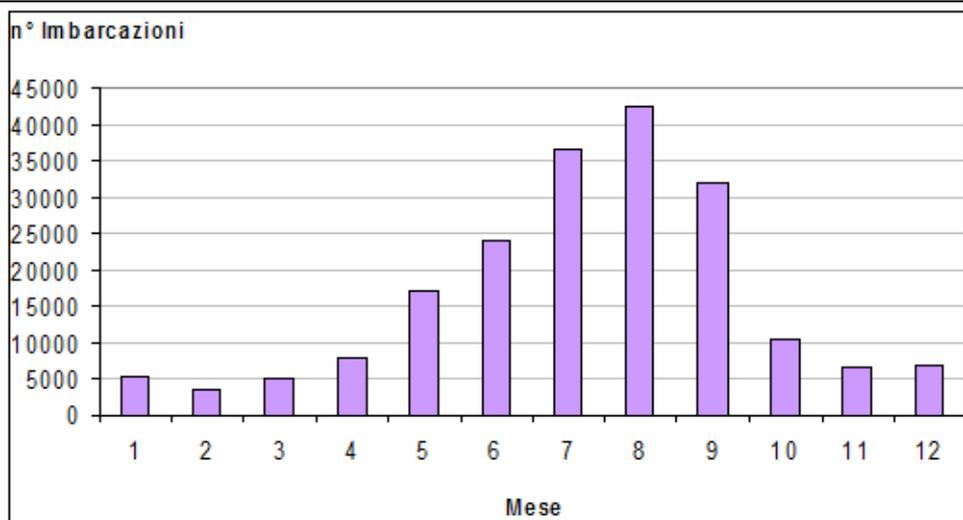
Abbondanza tipologie di imbarcazioni



Ripartizione navi passeggeri nelle ore del giorno

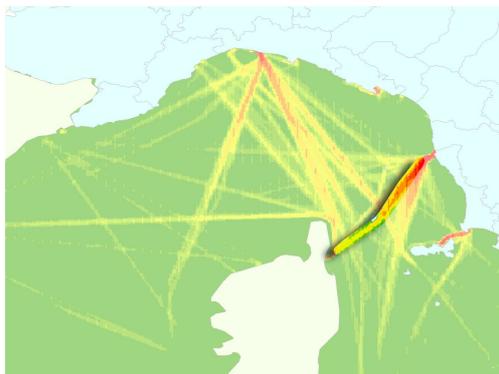


Ripartizione navi passeggeri nei mesi dell'anno

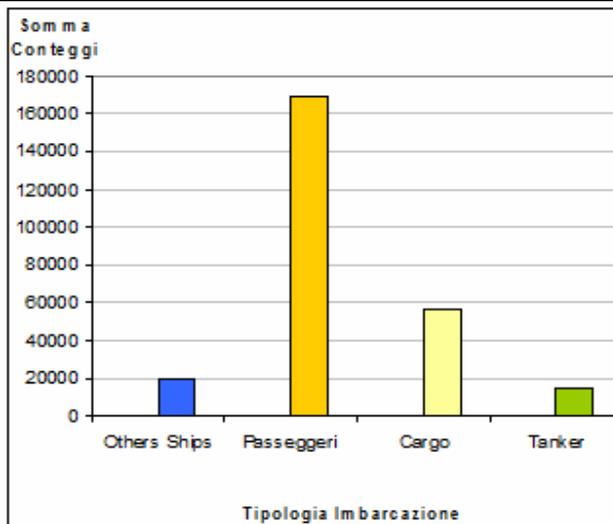


## AREA PASSEGGERI LIVORNO – BASTIA

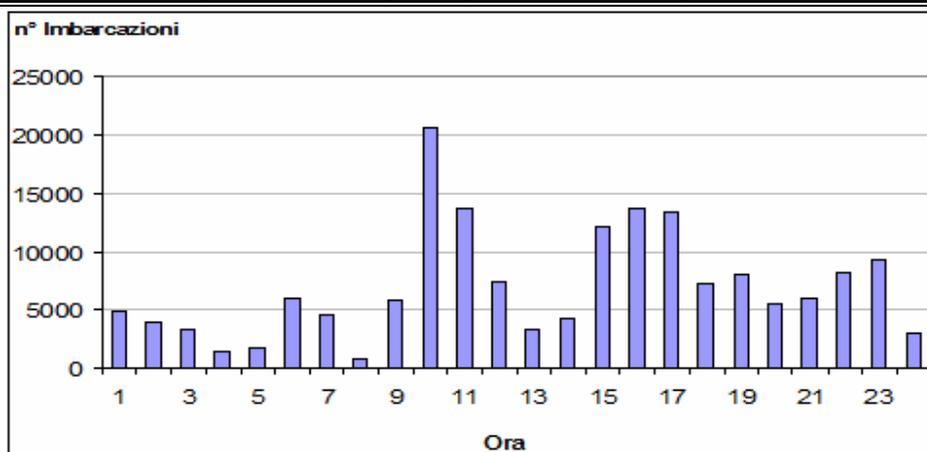
Localizzazione geografica



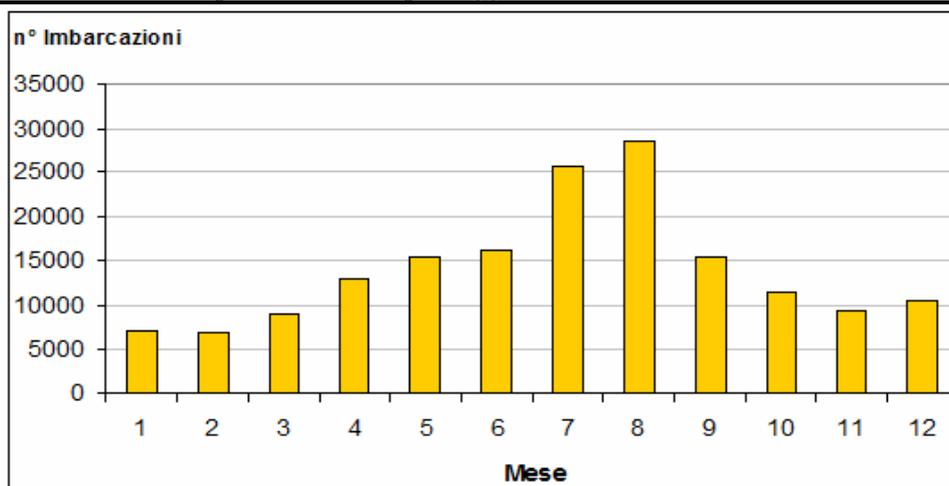
Abbondanza tipologie di imbarcazioni



Ripartizione navi passeggeri nelle ore del giorno



Ripartizione navi passeggeri nei mesi dell'anno



**N.B.** Il conteggio delle imbarcazione è relativo alla somma delle classi cargo e tanker.