

IL TRAFFICO NAUTICO NELL'AREA MARINA PROTETTA CAPO CACCIA-ISOLA PIANA: MODELLIZZAZIONE DELLA SUA DISTRIBUZIONE A FINI GESTIONALI



Referente scientifico: Gabriella La Manna (MareTerra Onlus)
Collaboratori: Fabio Ronchetti, Francesco Perretti (MareTerra Onlus)
Referente AMP: Alberto Ruiu (Area Marina Protetta Capo Caccia-Isola Piana)

Alghero, 30.11.2020



MareTerra Onlus
Environmental Research and Conservation
Regione Salondra 9, 07041 Alghero (SS)
www.mareterra-erc.org
mareterra.onlus@gmail.com
mareterra.onlus@pec.it

IL TRAFFICO NAUTICO NELL'AREA MARINA PROTETTA CAPO CACCIA-ISOLA PIANA: MODELLIZZAZIONE DELLA SUA DISTRIBUZIONE A FINI GESTIONALI

Relazione finale

Novembre 2020

Unità operativa

Gabriella La Manna (MareTerra Onlus – Environmental Research and Conservation)

Fabio Ronchetti (MareTerra Onlus – Environmental Research and Conservation)

Francesco Perretti (MareTerra Onlus – Environmental Research and Conservation)

Alberto Ruiiu (Area Marina Protetta Capo Caccia – Isola Piana)

Citazione:

La Manna, G., Ronchetti, F., Perretti, F, Ruiiu, A. (2020). Il traffico nautico nell'Area Marina Protetta Capo Caccia-Isola Piana: modellizzazione della sua distribuzione a fini gestionali. Report interno MareTerra Onlus – Environmental Research and Conservation 1:2020, 34pp.

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. MATERIALI E METODI	5
2.1 Area di studio	5
2.2 Monitoraggio imbarcazioni	5
2.3 Costruzione del modello	7
3. RISULTATI	14
4. CONCLUSIONI	26
4.1 Distribuzione spaziale del traffico nautico e potenziali impatti sull'ambiente marino	26
4.2 Implicazioni gestionali.....	27
1. Azioni di monitoraggio	27
2. Azioni di gestione	28
3. Azioni di sorveglianza	28
4. Azioni di comunicazione	28
5. Azioni di valutazione	29
5. REFERENZE.....	30

1. PREMESSA

Gli indicatori per preservare la biodiversità marina includono la conoscenza di come la distribuzione spaziale e gli habitat critici delle specie protette si sovrappongono alle attività umane, alla loro pressione e impatti. Tali indicatori sono strumenti chiave per la pianificazione dello spazio marino, un processo utilizzato in tutto il mondo per identificare e risolvere i conflitti tra gli usi umani e l'ambiente naturale (UNESCO-IOC 2017). Al fine di raggiungere gli obiettivi della direttiva sulla pianificazione dello spazio marittimo dell'UE (2014/89), è necessario lo sviluppo di una serie completa di descrittori ecologici per valutare lo stato dei componenti dell'ecosistema sotto pressioni antropiche. Questa missione è particolarmente ambiziosa per i sistemi marini costieri, un ambiente fortemente influenzato dalla pressione umana (Micheli *et al.*, 2013).

In Sardegna, il turismo legato al mare è cresciuto rapidamente nelle ultime tre decadi soprattutto grazie al richiamo generato dalle aree costiere che, grazie a spiagge di rara bellezza e acque cristalline, producono un forte effetto attrattore. Queste caratteristiche hanno portato a un deciso sviluppo del settore nautico, rendendo la Sardegna una delle regioni italiane con la più alta concentrazione di ormeggi, porti turistici e marine (ONN, 2011). Tuttavia, il turismo legato al mare e la nautica da diporto sono ancora generalmente scarsamente regolamentate. In effetti, la nautica da diporto è ancora percepita come totalmente irrilevante per l'ambiente, soprattutto dove l'ancoraggio è limitato e la stagione turistica è breve (come ad esempio alle latitudini temperate). Inoltre, la presenza delle imbarcazioni, gli ancoraggi e il relativo rumore da esse prodotte inducono alterazioni dei caratteri comportamentali e fisiologici in diversi organismi marini oltre che danni potenziali a habitat protetti, come il coralligeno e le praterie di fanerogame marine (Lloret *et al.*, 2008; Juanes *et al.*, 2017; Slabberkoorn *et al.*, 2018).

Lo scopo della presente relazione è fornire conoscenze quantitative e qualitative circa la distribuzione del traffico nautico nel Golfo di Alghero e nelle acque dell'Area Marina Protetta Capo Caccia - Isola Piana, una delle destinazioni turistiche più popolari in Sardegna. Per farlo sono stati raccolti dati di presenza delle imbarcazioni durante diversi anni di attività di monitoraggio, elaborati con sistemi GIS (*Geographic Information System*) e utilizzati per la costruzione di modelli predittivi di distribuzione

spaziale applicando l'approccio di modellizzazione MaxEnt (*Maximum Entropy*; Braunisch et al., 2011).

2. MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio

L'area di studio si estende per 400 km² nel nord ovest della Sardegna, in prossimità del Golfo di Alghero (40.5580 N, 8.3193 E, Figura 1). All'interno di quest'area ricadono l'Area Marina Protetta (AMP) Capo Caccia - Isola Piana, il Sito di Importanza Comunitaria (SIC) 'Capo Caccia e Punta del Giglio' ITB010042, il SIC 'Entroterra e zona costiera tra Bosa, Capo Marargiu e Porto Tangone' ITB020041 e la città di Alghero, il porto più grande della costa ovest della Sardegna (circa 2000 posti barca). L'AMP Capo Caccia – Isola Piana occupa una superficie di 26.31 km². Il SIC 'Capo Caccia e Punta del Giglio' è localizzato nella parte nord del Golfo di Alghero e si estende per 74 km². Il SIC 'Entroterra e zona costiera tra Bosa, Capo Marargiu e Porto Tangone' è situato nella parte sud del Golfo di Alghero e si estende per 29.62 km². L'AMP e i SIC sono stati istituiti principalmente per la protezione della *Posidonia oceanica*, dell'habitat coralligeno, e per molte specie marine protette, incluso il tursiope (*Tursiops truncatus*). In quest'area, l'economia locale conta particolarmente sul turismo estivo e le attività turistiche ad esso legate (La Manna et al., 2016).

2.2 Monitoraggio imbarcazioni

Dal 2015 al 2018, nel periodo compreso tra aprile e ottobre, è stato condotto un monitoraggio sistematico e standardizzato per raccogliere dati sul traffico nautico, utilizzando un'imbarcazione a motore di 9.7 m. Le rotte di navigazione sono state scelte casualmente (La Manna et al., 2016, 2020), seguendo tuttavia una direzione generalmente perpendicolare rispetto alla costa e alle linee batimetriche. Le uscite sono state effettuate nella fascia oraria tra le 9.00 e le 18.00, tutti i giorni con visibilità superiore alle 3 miglia nautiche e buone condizioni del mare e del vento (scala Douglas ≤ 2 ; Scala Beaufort ≤ 2). Durante ciascuna uscita di campionamento, due osservatori hanno scrutato la

superficie del mare, con il supporto di binocoli (ingrandimento 10x, diametro lente 42 mm), a una velocità di crociera dell'imbarcazione compresa tra 10 e 16 km/h, registrando sia le barche in navigazione sia quelle alla fonda, entro una distanza di 300 m dall'imbarcazione di ricerca, e la loro posizione tramite il GPS di bordo. Le imbarcazioni sono state così classificate: imbarcazioni da diporto (gommoni, cabinati, motoscafi e barche a vela), imbarcazioni turistiche (barche da escursioni, diving, traghetti linea grotte di Nettuno) e barche commerciali da pesca. La posizione dell'imbarcazione di ricerca è stata registrata automaticamente tramite GPS ogni 30 secondi.

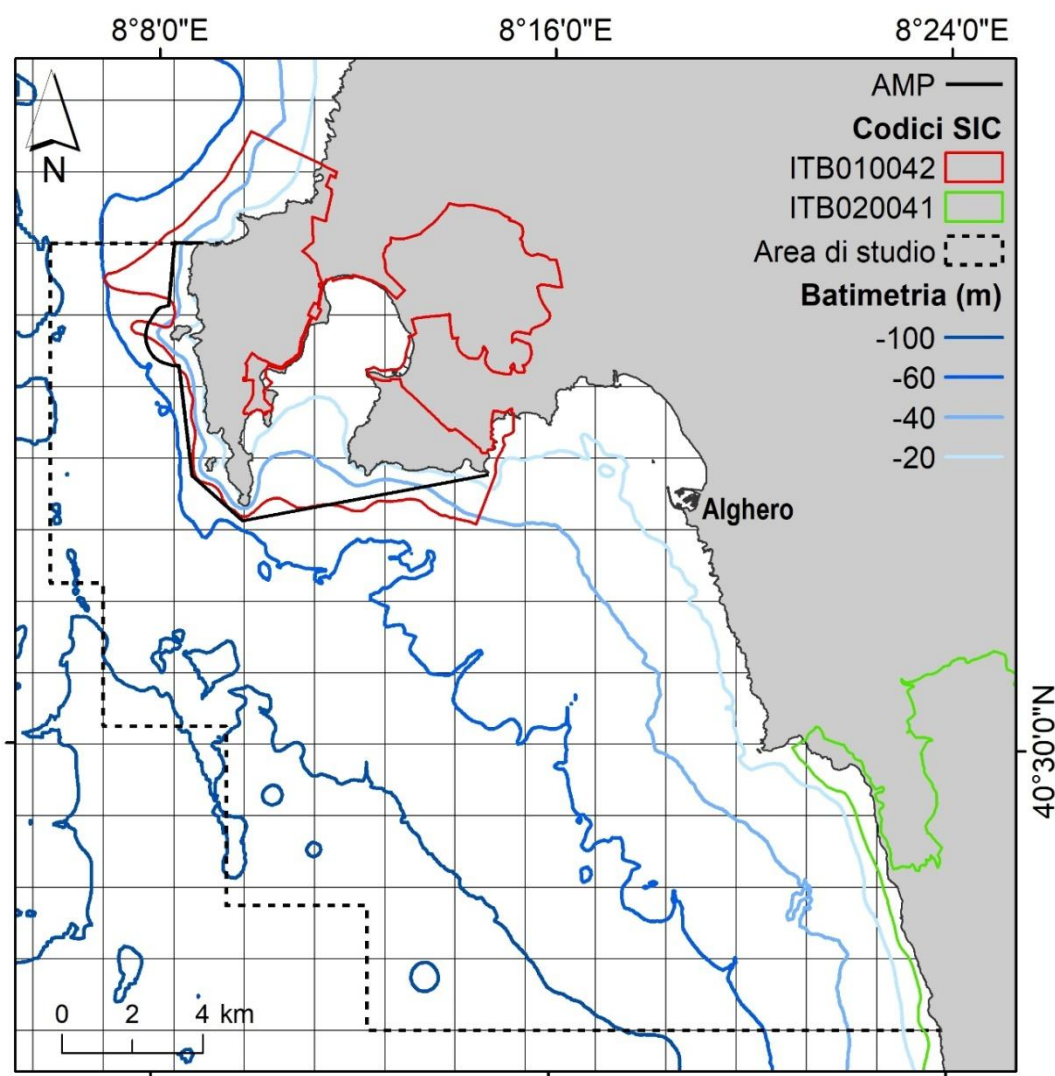


Figura 1 | Mappa area di studio.

2.3 Costruzione del modello

L'approccio basato sul principio di Massima Entropia (MaxEnt, versione 3.4.1, Phillips *et al.*, 2020) si è dimostrato essere uno degli strumenti di modellizzazione più affidabili (Elith *et al.*, 2006, 2011), specialmente quando sono disponibili dati di sola presenza (Guisan and Thuiller, 2005), come nel caso specifico del monitoraggio delle imbarcazioni. MaxEnt è stato quindi utilizzato per modellizzare la distribuzione geografica delle imbarcazioni, calcolando la probabilità di presenza delle stesse a differenti scale temporali e sulla base dei predittori ambientali disponibili: profondità (m), distanza da costa (m), pendenza del fondale (gradi) e aspetto del fondale (Tabella 1). I dati dei predittori ambientali e i punti di presenza delle imbarcazioni, sono stati incorporati all'interno di un Sistema Informativo Geografico (GIS) tramite l'uso del software ESRI ArcMap 10.4.1. Il progetto è stato sviluppato nel sistema di coordinate proiettato WGS84 UTM 32 N. Per il calcolo dei modelli è stata sovrimposta all'area di studio una griglia costituita da celle di 250 m x 250 m. Ciascuna cella è stata caratterizzata secondo i valori dei predittori ambientali scelti.

MaxEnt legge i valori dei predittori ambientali rilevati in corrispondenza dei punti di presenza delle imbarcazioni e li confronta con quelli del *background*, per predire la probabilità di presenza ed elaborare la distribuzione geografica delle imbarcazioni. Nella presente ricerca i dati di *background* corrispondono a tutti gli altri punti dell'area di studio. Prima di procedere al calcolo dei modelli, è stata usata la funzione '*Raster Correlations and Summary Statistics*' del plug-in SDMtoolbox 2.1 per ArcGis per creare una matrice di correlazione dei coefficienti di correlazione di Pearson (r) tra i predittori ambientali (Brown, 2014; Brown *et al.*, 2017). In caso di collinearità (Kumar and Stohlgren, 2009; Kramer-Schadt *et al.*, 2013), solo uno tra i due predittori ambientali è stato incluso nel modello (Kumar and Stohlgren, 2009).

Tabella 1 | Predittori utilizzati per la modellizzazione del traffico marino.

Predittore	Descrizione, fonte e risoluzione
Profondità	La profondità è stata mappata utilizzando i punti registrati ogni 30 s dal GPS di bordo durante uscite di monitoraggio con condizioni del mare molto buone (stato del mare ≤ 1). I punti sono stati utilizzati per costruire una superficie raster batimetrica usando la funzione 'Topo to raster' dello <i>Spatial Analyst tool</i> (risoluzione di 250 m).
Distanza da costa	La distanza da costa è stata calcolata per ogni centroide della cella dalla linea di costa usando la funzione 'Near' dell' <i>Analysis tool</i> in ArcGis (risoluzione 250 m).
Pendenza	La pendenza descrive il gradiente batimetrico lungo l'intera area di studio ed è stata misurata in gradi. La superficie raster del gradiente del fondale è stata derivata dal raster profondità usando la funzione 'Slope' dello <i>Spatial Analyst tool</i> (risoluzione 250 m).
Aspetto	L'aspetto descrive come varia la direzione di pendenza del fondale misurando la massima variazione dei valori di profondità in ogni cella rispetto a quelle confinanti, utilizzando la funzione 'Aspect' dello <i>Spatial Analyst tool</i> in ArcGis. L'aspetto è una variabile categorica con 8 classi codificate come segue: N (1); NE (2); E (3); SE (4); S (5); SW (6); O (7); NW (8).

Per la creazione dei modelli per il calcolo della distribuzione geografica delle imbarcazioni, sono stati usati tutti i punti di presenza delle imbarcazioni accorpati (da diporto, turistiche, da pesca commerciali) rilevati durante le uscite di monitoraggio e i raster di profondità, pendenza e aspetto (Figura 2, Figura 3 e Figura 4). Poiché la distanza da costa e la profondità sono risultati correlati, solo la profondità è stata inclusa nei modelli. I modelli sono stati elaborati usando i dati di presenza di tutte le imbarcazioni accorpate per ogni anno (dal 2015 al 2018) e per l'intero periodo di analisi (2015-2018).

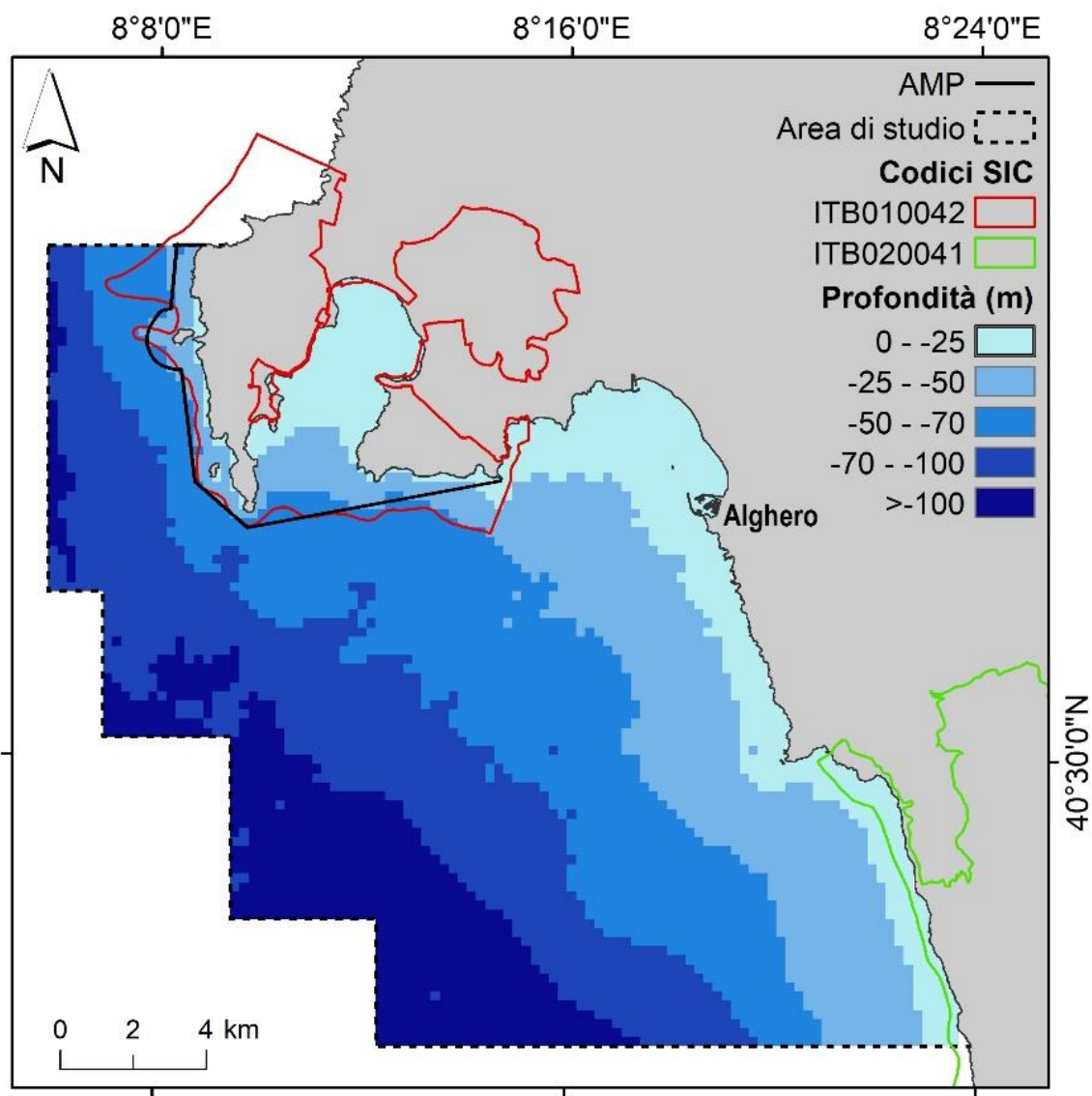


Figura 2 | Predittore ambientale Profondità.

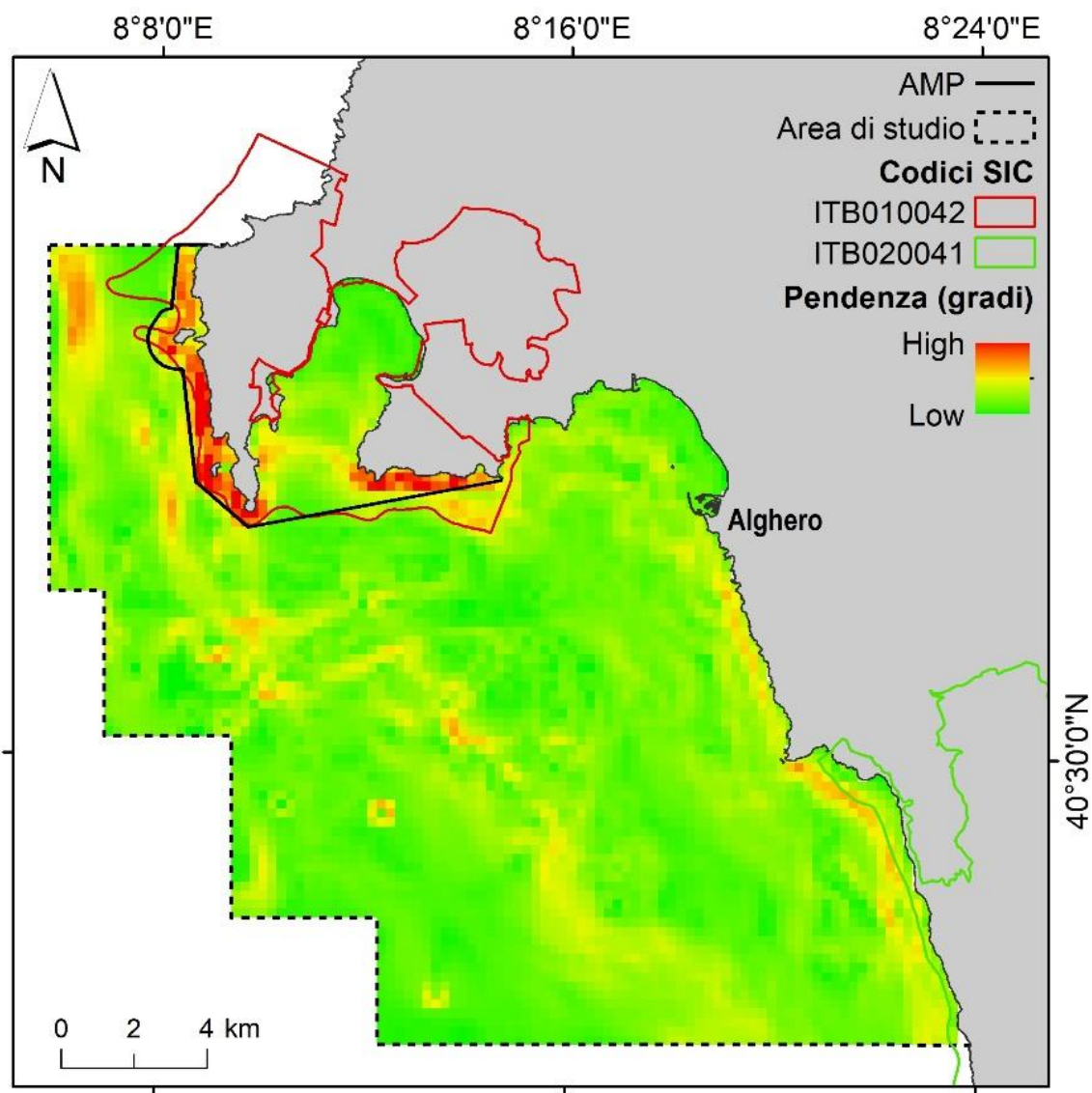


Figura 3 | Predittore ambientale Pendenza.

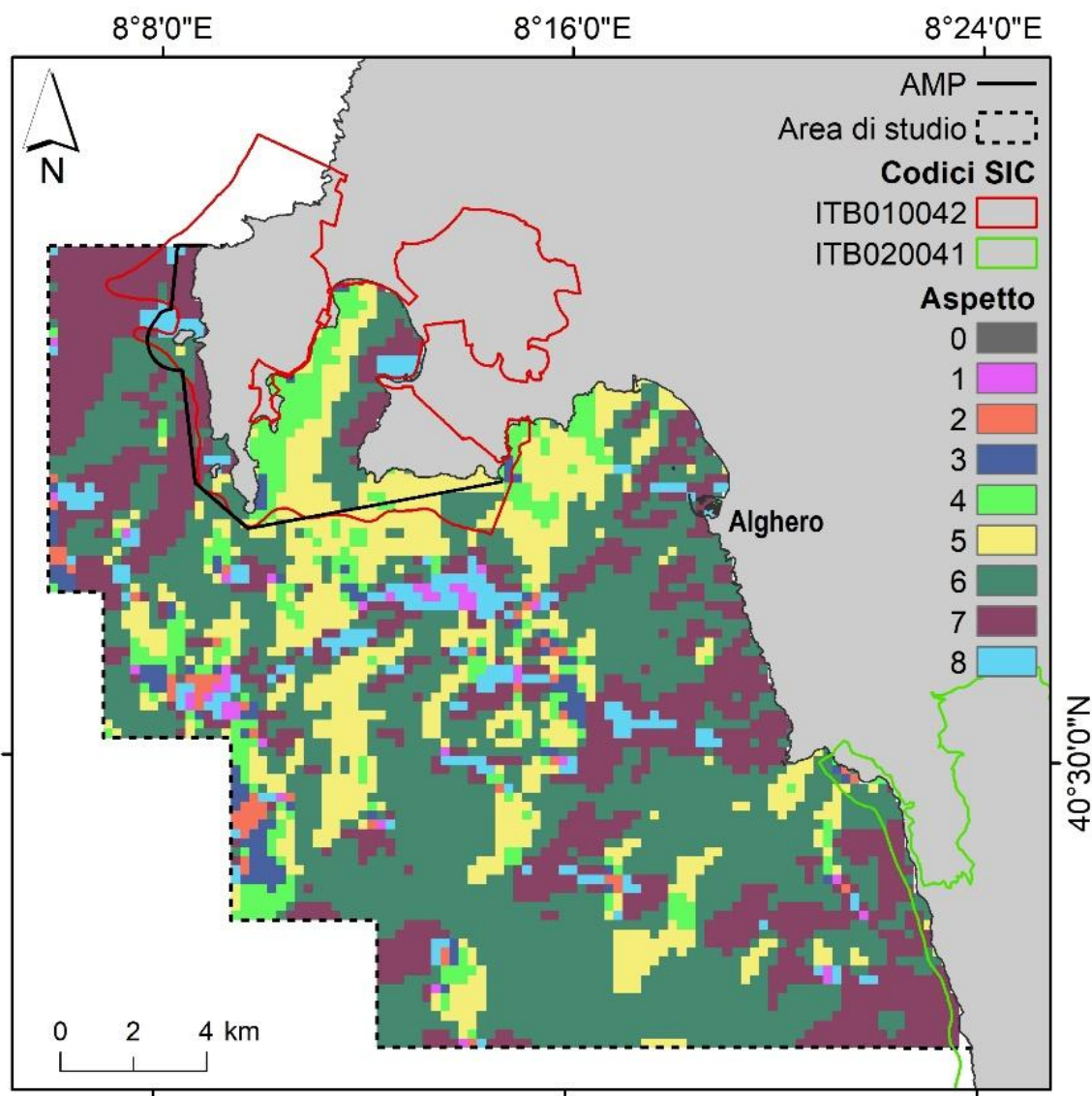


Figura 4 | Predittore ambientale Aspetto.

La decisione di modellizzare la distribuzione geografica delle imbarcazioni calcolando la probabilità di presenza, anziché rappresentarla in funzione della variazione della loro presenza nello spazio secondo una unità spaziale di riferimento (ad esempio numero di imbarcazioni per cella), deriva dal fatto che i movimenti delle imbarcazioni variano spazialmente e temporalmente in funzione del comportamento umano (Cummins *et al.*, 2008; Tallis *et al.*, 2012).

Le impostazioni di MaxEnt per il calcolo dei modelli, sono state determinate in relazione all'obiettivo e per rispondere a specifiche limitazioni dovute al metodo (Merow *et al.*, 2013):

- (i) per il formato di *output* dei modelli è stato scelto il *cloglog* che risulta maggiormente appropriato per la stima della probabilità di presenza (Phillips *et al.*, 2017);
- (ii) *hinge features* (Phillips e Dudík, 2008) come funzione matematica per la trasformazione delle variabili;
- (iii) parametro di regolarizzazione di *default*;
- (iv) *10-fold crossvalidation* per la valutazione del comportamento medio dell'algoritmo del modello attraverso la partizione casuale dei dati di presenza utilizzati in 10 sotto insiemi (Phillips *et al.*, 2006).

L'estensione geografica dei modelli coincide con l'area monitorata e di conseguenza tutti i punti di *background* disponibili sono stati utilizzati al fine di incrementare le prestazioni predittive del modello (Phillips e Dudík, 2008). Il metodo *jack-knife* è stato utilizzato per stimare il contributo fornito da ciascun predittore ambientale durante la costruzione dei modelli, ottenendo una stima dell'importanza dei predittori ambientali per i modelli elaborati. Le prestazioni dei modelli di MAXEnt sono state valutate utilizzando il valore AUC, ovvero l'area sotto la curva ROC (*Area Under the receiver operating characteristic Curve*; Phillips *et al.*, 2006). Il valore di AUC costituisce una misurazione soglia-indipendente di accuratezza del modello e varia tra 0 e 1. Modelli con capacità di discriminazione da moderata a buona corrispondono a valori di AUC superiori a 0.7 (Swets, 1988). In aggiunta abbiamo valutato la robustezza del modello calcolando:

- (i) la deviazione standard (SD) del valore AUC dei modelli di *test*;
- (ii) la differenza tra i valori AUC dei modelli di *training* (utilizzando tutti i dati di presenza delle imbarcazioni) e i valori medi di AUC dei modelli di *test* (*AUC difference*).

Bassi valori di SD di AUC nei modelli di *test* e/o di *AUC difference* sono indicatori di robustezza del modello (Herkt *et al.*, 2016). L'AUC fornisce una valutazione adeguata delle prestazioni dei modelli (Phillips *et al.*, 2006); tuttavia, nel caso di modelli di distribuzione elaborati con dati di sola presenza,

AUC mette a confronto presenze con punti di *background* anziché vere assenze e quindi non può essere considerato una misura perfetta dell'accuratezza del modello (Lobo *et al.*, 2008; Merow *et al.*, 2013). Utilizzando gli output *cloglog* di MaxEnt (Phillips *et al.*, 2017), abbiamo prodotto mappe di probabilità di presenza delle imbarcazioni per ogni anno (dal 2015 al 2018) e per l'intero periodo (2015-2018).

Sono state inoltre create delle mappe binarie utilizzando i valori soglia forniti da MaxEnt. Abbiamo utilizzato il metodo *maximum training sensitivity plus specificity threshold*, un metodo che bilancia la capacità del modello di identificare correttamente le aree maggiormente interessate dal traffico nautico e allo stesso tempo quelle interessate in misura minore dal traffico nautico (Ramirez-Reyes *et al.*, 2016). Massimizzare la somma della sensibilità e della specificità (MSSS) è uno dei metodi migliori per individuare un valore soglia quando si elaborano modelli con dati di sola presenza (Liu *et al.*, 2013). Individuando i valori soglia per i modelli elaborato per ogni anno e sull'intero periodo 2015-2018, abbiamo ottenuto mappe binarie riclassificando i valori di probabilità di presenza usando la funzione 'Reclassify' nello *Spatial Analyst Tool* di ArcGis (York *et al.*, 2011). I valori di probabilità di presenza sotto la soglia MSSS sono stati classificati come 'basso traffico' mentre valori superiori come 'alto traffico'.

Infine, utilizzando i dati di sforzo di monitoraggio e i punti di presenza delle imbarcazioni registrati, è stato calcolato un indice di frequenza di incontro per il periodo 2015 – 2018. I valori sono stati calcolati per ogni cella di una griglia di 2 km x 2 km imposta sopra l'area di studio per normalizzare i dati di presenza delle imbarcazioni raccolti rispetto allo sforzo di campionamento, usando la formula:

$$ER = n/L$$

dove n è il numero di imbarcazioni rilevato all'interno della cella e L i km percorsi in ciascuna cella dall'imbarcazione di ricerca durante le attività di monitoraggio (Bearzi *et al.*, 2008). I valori della frequenza di incontro all'interno delle celle costiere che comprendono porzioni variabili di superficie a terra, sono stati pesati rispetto la proporzione di superficie della cella ricadente a terra moltiplicando i valori per un peso ottenuto dalla seguente formula:

$$Peso = \frac{\text{Area a mare della cella}}{\text{Area totale della cella}}$$

Il valore della frequenza di incontro è stato moltiplicato x 100 per rendere il valore più facilmente interpretabile, descrivendo in definitiva il numero di barche incontrate ogni 100 km di navigazione.

Dall'analisi sono state escluse le celle con uno sforzo di monitoraggio inferiore alla diagonale delle celle (2.82 km).

3. RISULTATI

Durante il periodo di campionamento sono state conteggiate un totale di 5545 barche (Tabella 2, Figura 5). La maggior parte (78%) sono imbarcazioni da diporto, mentre l'8% sono barche commerciali da pesca e il 14% barche che svolgono attività turistiche.

Tabella 2 | Statistica descrittiva imbarcazioni monitorate.

	IMBARCAZIONI DA DIPORTO		BARCHE TURISTICHE		BARCHE DA PESCA COMMERCIALE
	BARCHE A MOTORE	BARCHE A VELA	BARCHE ESCURSIONI	LINEA GROTTE	BARCHE DA PESCA
TOTALE	3465	839	458	329	454
PERCENTAGE %	62%	15%	8%	6%	8%
MEDIA	7.12	1.63	0.90	0.72	1.17
DS	7.52	2.06	1.20	0.85	1.18
RANGE	0-57	0-12	0-5	0-5	0-4

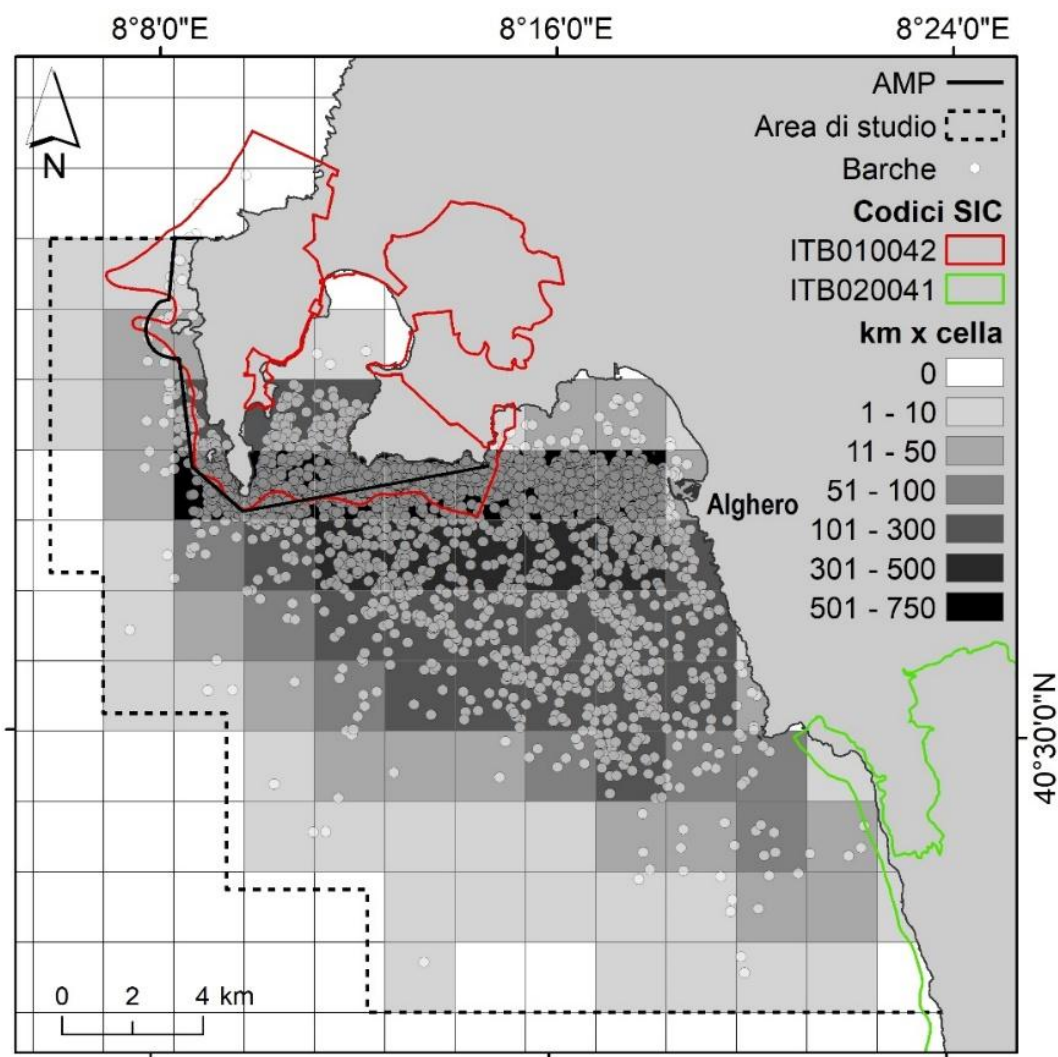


Figura 5 | Mappa area di studio: sforzo di campionamento per ogni cella della griglia (2 km x 2 km) e punti di presenza delle imbarcazioni registrati per l'intero periodo di indagine 2015 - 2018.

Sulla base dei valori di AUC, l'accuratezza dei modelli di MaxEnt nel predire la probabilità di presenza delle imbarcazioni è stata superiore a 0.75 per ogni anno preso in esame (Tabella 3).

Tabella 3 | Previsione della presenza dell'imbarcazione. Contributo percentuale e importanza della permutazione dei contributi relativi delle diverse variabili ai modelli MaxEnt. L'importanza variabile viene presentata come media delle 10 esecuzioni di ogni singo singolo modello. Variabili esplicative di maggiore influenza in grassetto.

	% CONTRIBUTO			IMPORTANZA DELLA PERMUTAZIONE			AUC	AUC DIFFERENZA
	Aspetto	Profondità	Pendenza	Aspetto	Profondità	Pendenza	Mean ± SD	Training - mean test
2015	10.49	81.57	7.93	8.02	86.55	5.43	0.76 ± 0.03	0.010
2016	11.38	80.70	7.92	11.64	82.55	5.80	0.78 ± 0.03	0.010
2017	10.68	81.00	8.31	11.56	80.13	8.31	0.80 ± 0.02	0.007
2018	10.95	84.62	4.43	11.20	83.82	4.98	0.81± 0.02	0.007
2015 2018	7.53	91.52	0.95	11.16	87.18	1.66	0.75 ± 0.02	0.005

Il predittore ambientale con il più alto contributo informativo in termini di costruzione del modello è risultato essere la profondità (Tabella 3), che è correlato alla distanza da costa.

In generale la più alta probabilità di presenza delle imbarcazioni ricade all'interno dei confini dell'AMP e del sito SIC (Figura 6-10). Per semplificare l'interpretazione visiva dei modelli, la probabilità di presenza delle imbarcazioni è stata categorizzata in 5 classi: molto bassa (valori da 0 a 0.2), bassa (0.2 – 0.4), moderata (0.4 – 0.6), alta (0.6 – 0.8), molto alta (0.8 – 1).

La probabilità di trovare imbarcazioni risulta più alta tra i -60 e i -20 m di profondità e diminuisce quando si superano i -80 m o al di sotto dei -20 m, senza distinzione su base annuale (Figura 11-13). Poca influenza hanno invece i predittori “Pendenza”, anche se la presenza delle imbarcazioni diminuisce all'aumentare della pendenza del fondale, e del predittore “Aspetto”.

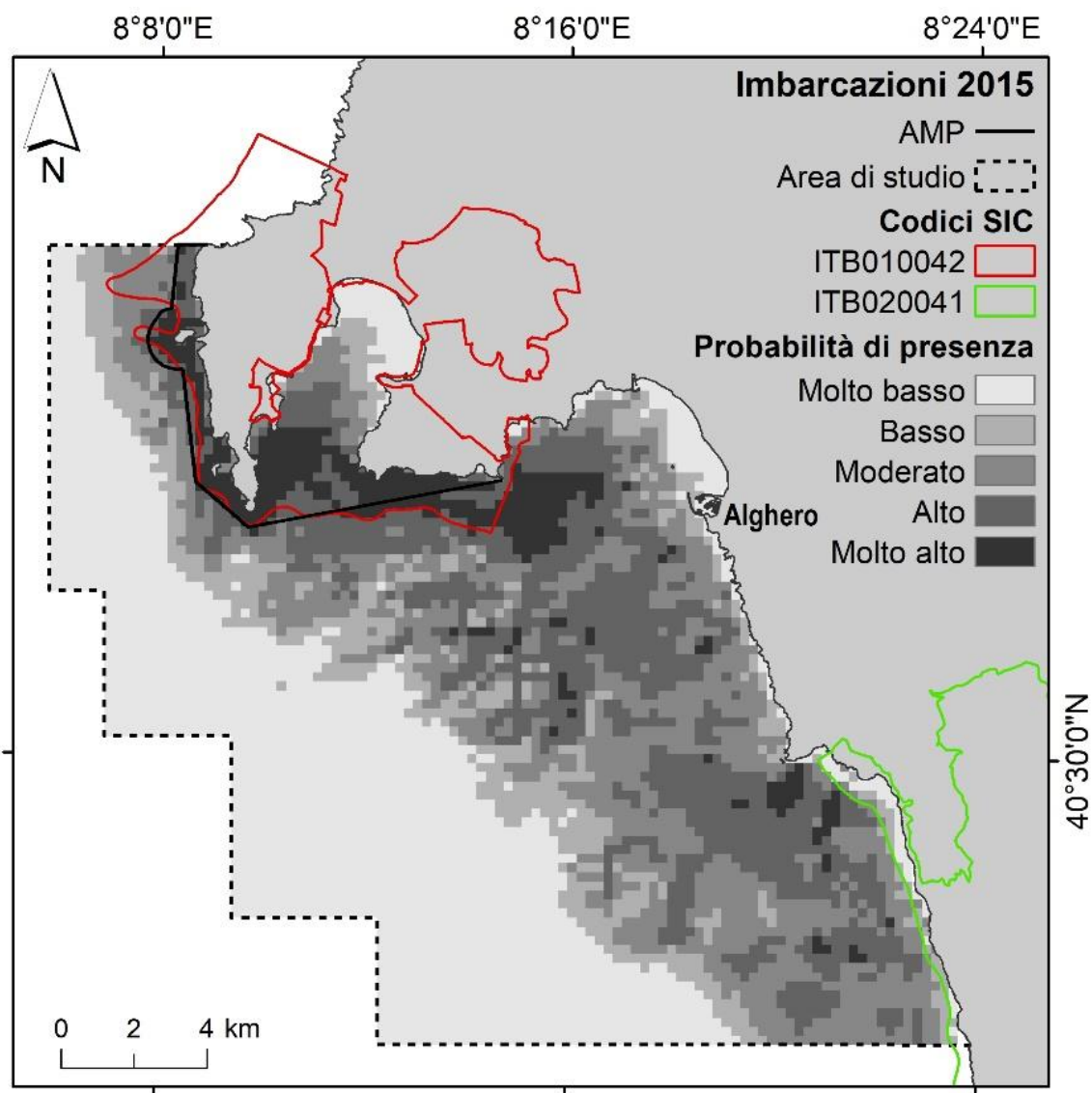


Figura 6 | Probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) in funzione dei predittori ambientali per l'anno 2015.

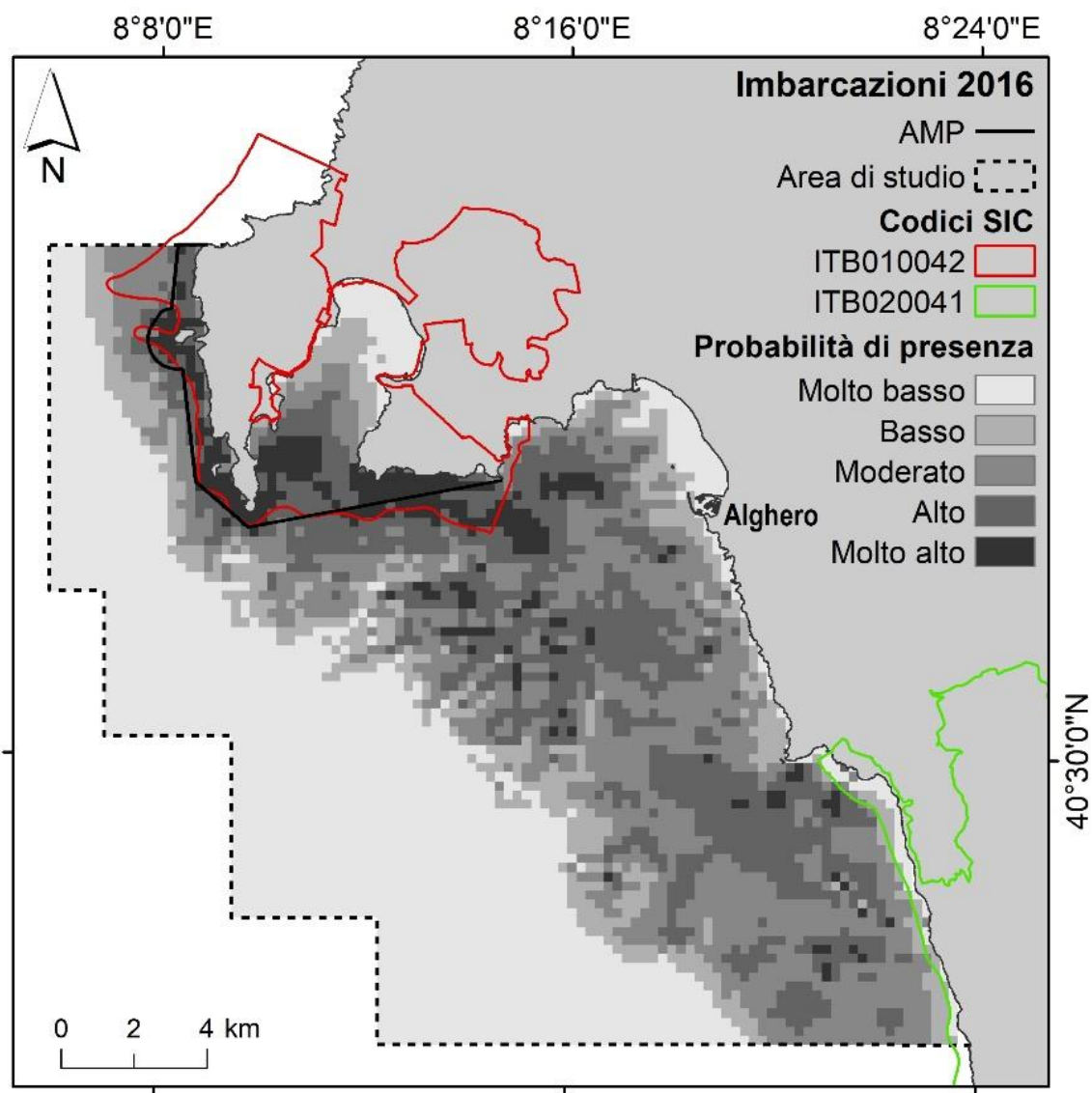


Figura 7 | Probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) in funzione dei predittori ambientali per l'anno 2016.

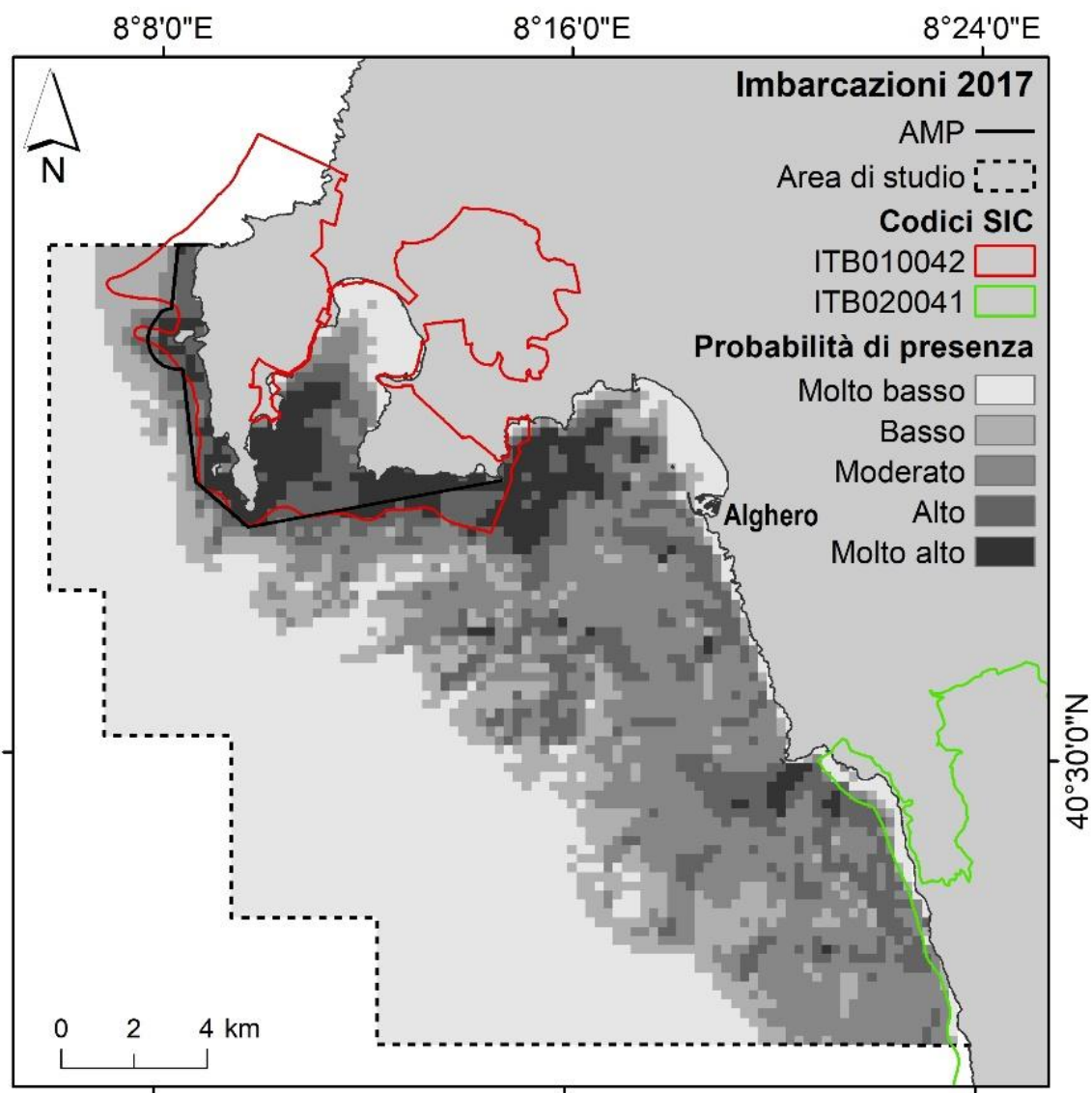


Figura 8 | Probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) in funzione dei predittori ambientali per l'anno 2017.

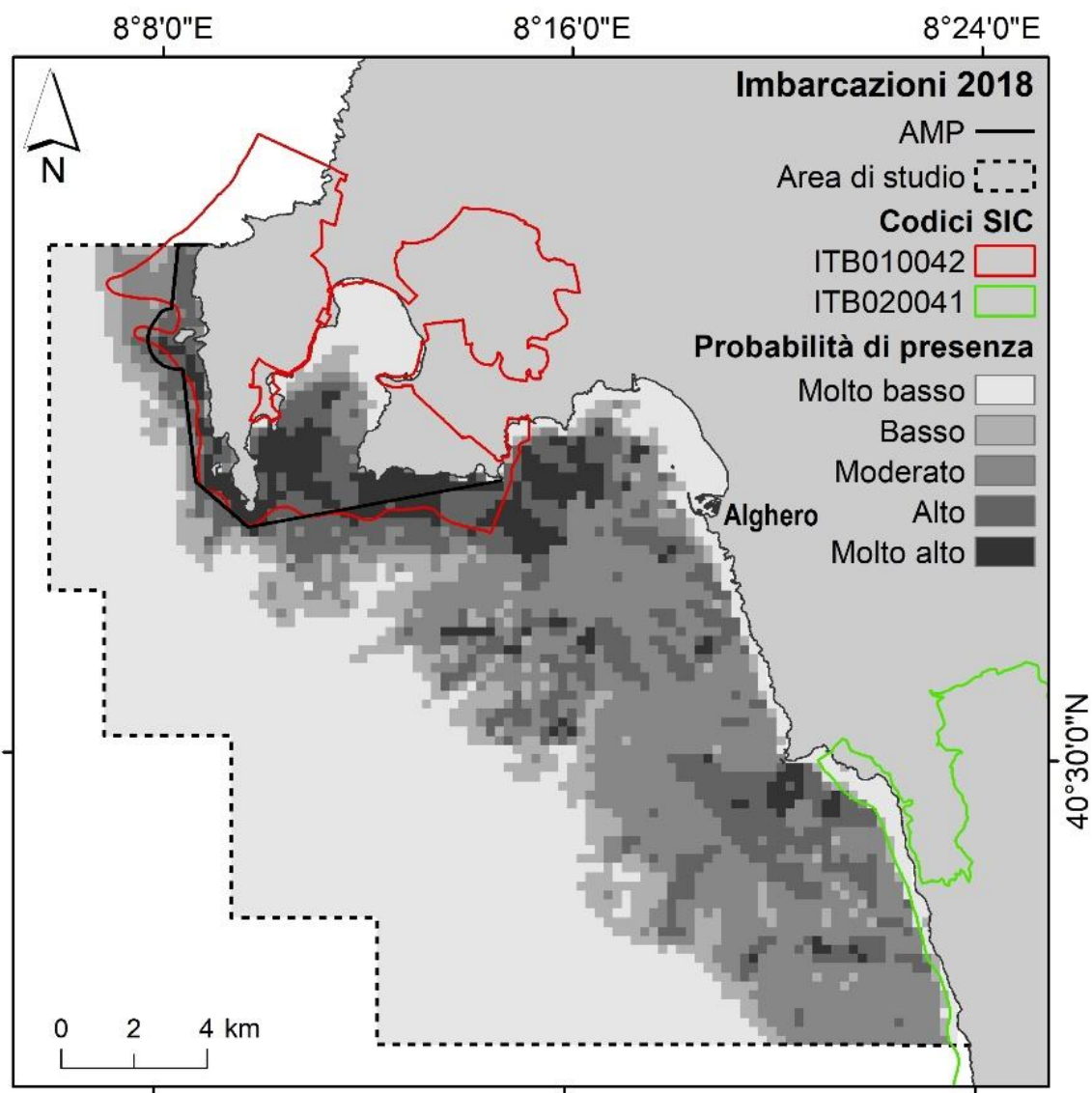


Figura 9 | Probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) in funzione dei predittori ambientali per l'anno 2018.

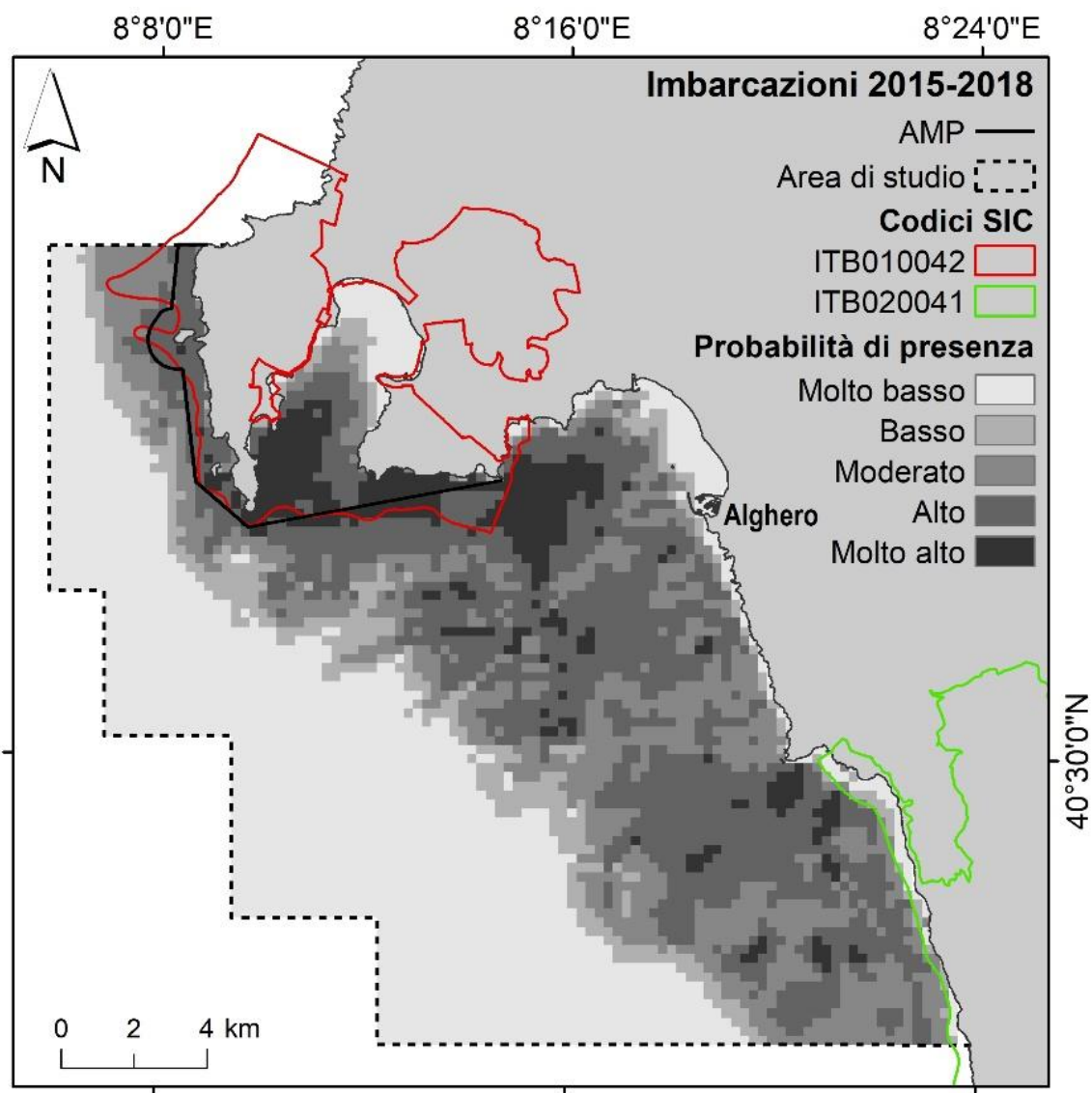


Figura 10 | Probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) in funzione dei predittori ambientali per il periodo 2015-2018.

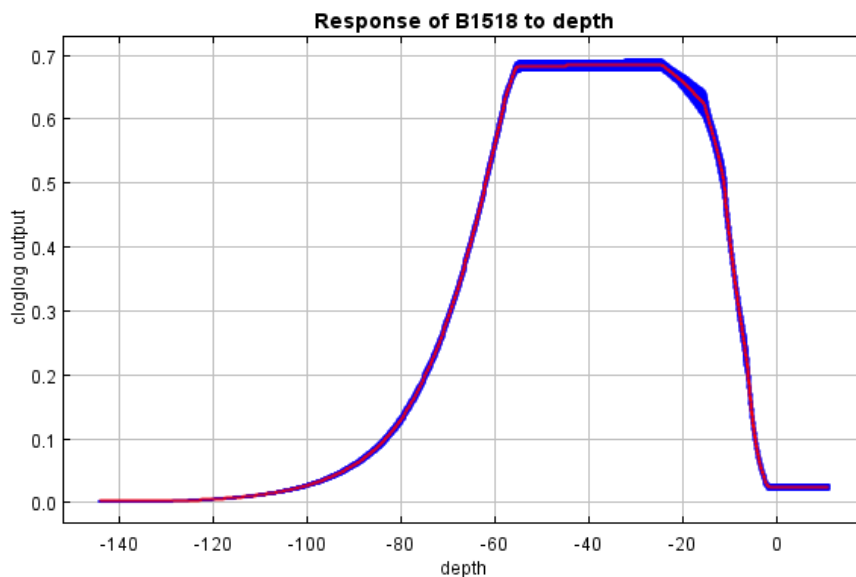


Figura 11 | Effetto del predittore Profondità (depth) sulla probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) per il 2015-2018.

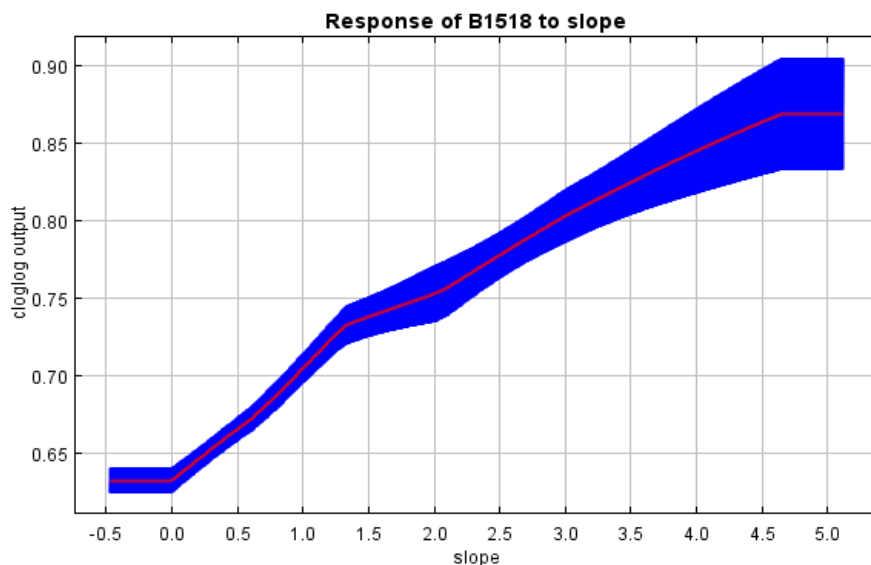


Figura 12 | Effetto del predittore Pendenza (slope) sulla probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) per il 2015-2018.

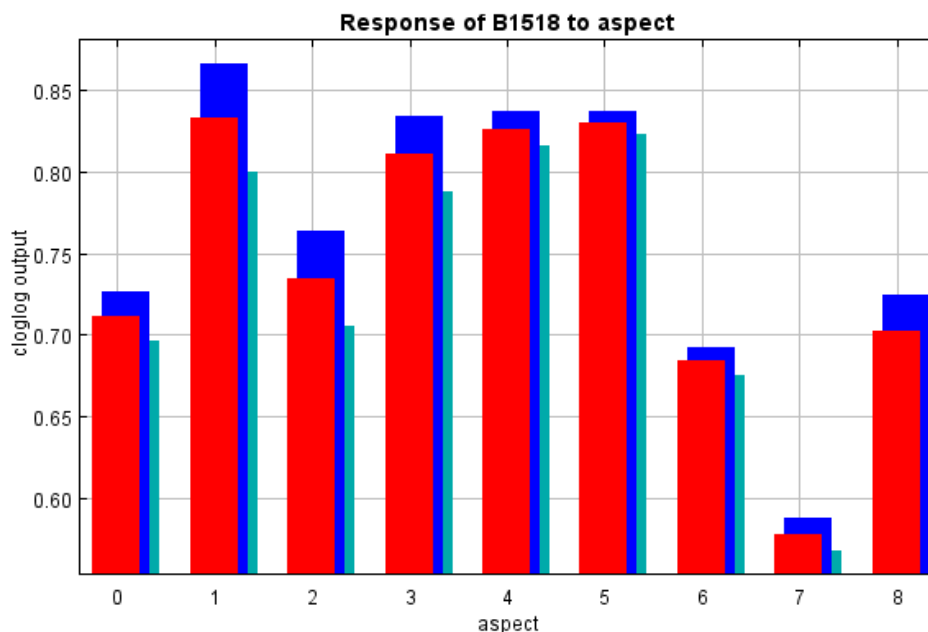


Figura 13 | Effetto del predittore Aspetto (aspect) sulla probabilità di presenza delle imbarcazioni (cloglog output) per il 2015-2018.

L'elaborazione delle mappe binarie consente di distinguere le aree interessate da livelli di traffico nautico elevati rispetto alle aree solo marginalmente interessate (Figura 14). Per valutare in quale misura la presenza delle imbarcazioni impatta sull'AMP e i siti SIC, è stata calcolata la percentuale delle aree sotto tutela ricadenti nelle aree a traffico nautico elevate individuate dal modello binario (Tabella 4). Per i siti SIC è stata considerata la sola superficie ricadente a mare all'interno dell'area di studio. Sull'intero periodo di indagine si rileva che il 72% dell'AMP e il 75% della superficie a mare del sito SIC 'Capo Caccia e Punta del Giglio' ITB010042 sono interessate da fenomeni di traffico marino da moderati a intensi. Il SIC 'Entroterra e zona costiera tra Bosa, Capo Marargiu e Porto Tangone' ITB020041 è marginalmente interessato dal fenomeno per via della ristretta superficie occupata a mare. Tuttavia si nota che i fenomeni di traffico marino più intensi si localizzano immediatamente al di fuori e lungo il confine a mare del SIC ITB020041.

Tabella 4 | Percentuale area sotto tutela interessate da alto livello di traffico nautico.

	2015	2016	2017	2018	2015-2018
AMP	70%	64%	76%	69%	72%
SIC ITB010042	69%	63%	75%	71%	75%
SIC ITB020041	5%	5%	29%	0%	3%

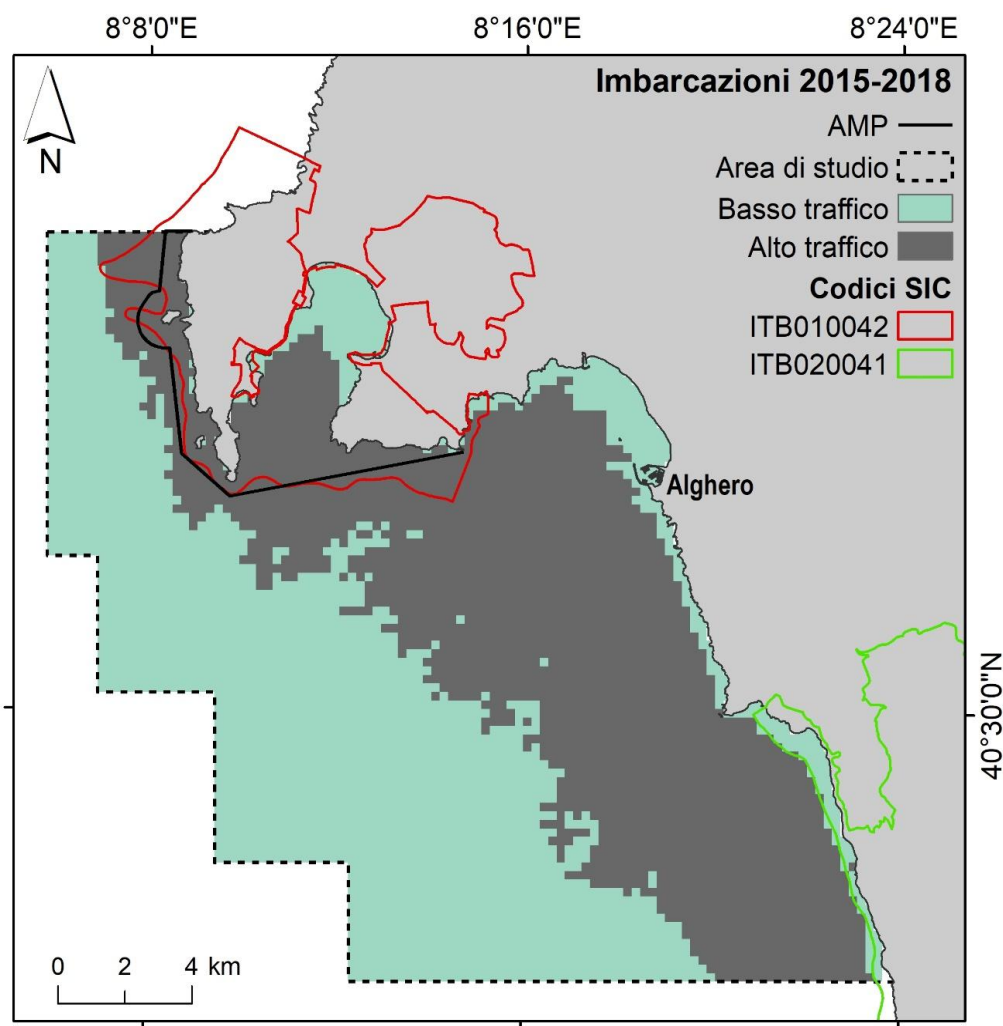


Figura 14 | Area ad alto e basso traffico nautico, anno 2015-2018.

La mappa della frequenza di incontro (Figura 15) mostra, in concordanza con i modelli sviluppati, che le zone più trafficate ricadono all'interno dell'AMP e del sito SIC 'Capo Caccia e Punta del Giglio'. In particolare i valori più alti si concentrano lungo la direttrice Alghero – Capo Caccia, tra la spiaggia delle Bombarde e Capo Galera e attorno al promontorio di Capo Caccia.

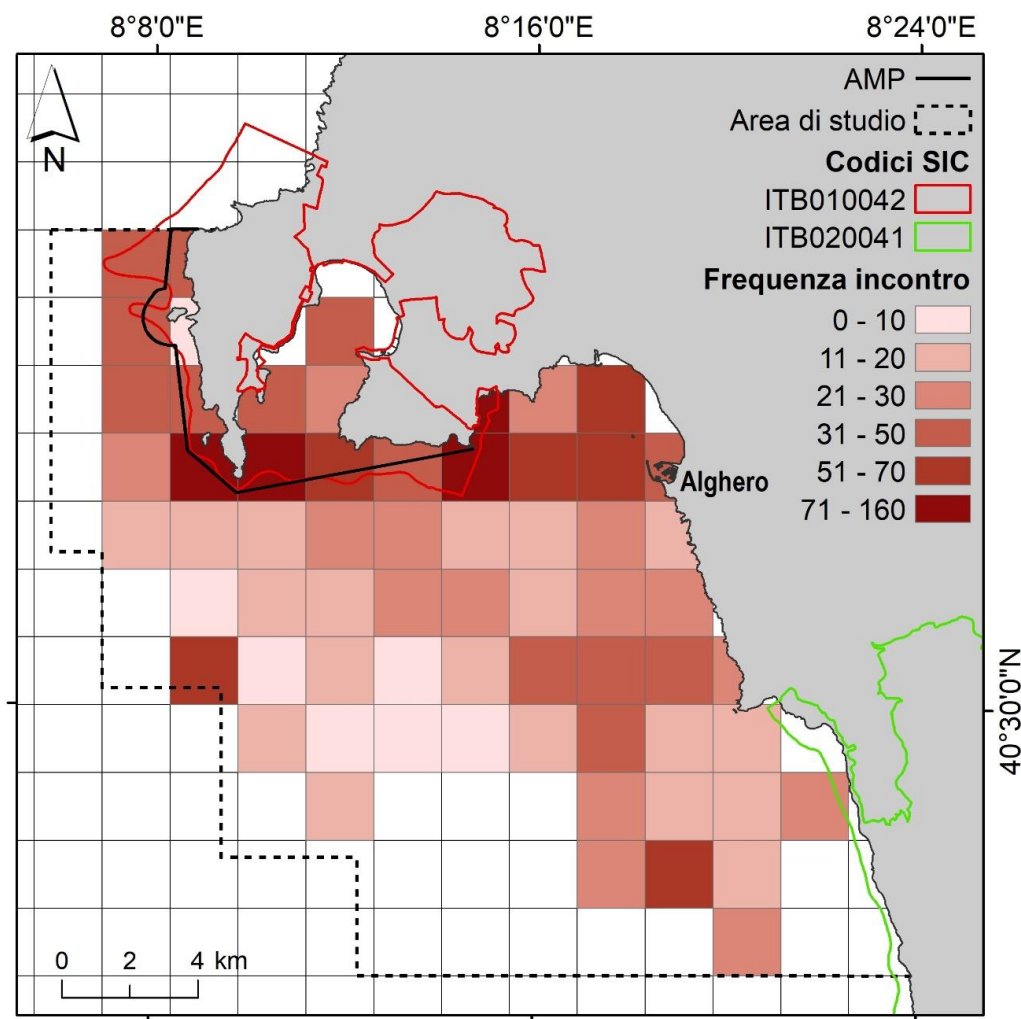


Figura 15 | Frequenza di incontro delle imbarcazioni.

4. CONCLUSIONI

4.1 Distribuzione spaziale del traffico nautico e potenziali impatti sull'ambiente marino

- Nello spazio marino investigato la maggior parte delle imbarcazioni sono piccole imbarcazioni da diporto a motore e da turismo, mentre i pescherecci rappresentano una quota inferiore. Secondo la legislazione italiana, le barche con un motore di potenza inferiore a 50 Hp, non necessitano di una licenza per essere guidate e/o noleggiate. Ciò implica, con un'elevata probabilità, che le piccole imbarcazioni siano utilizzate da persone con poca esperienza e conoscenza della navigazione, con potenziali conseguenze sia per la sicurezza della navigazione che per il rispetto delle normative ambientali. L'analisi spaziale ha mostrato che le imbarcazioni da diporto e turismo sono attratte principalmente da aree costiere poco profonde vicine o interne all'AMP e al SIC, e ciò appare coerente con i modelli di distribuzione di altri studi (Gray *et al.*, 2010; La Manna *et al.*, 2010; Smallwood *et al.*, 2010; Smallwood *et al.*, 2012). Nel complesso, questi risultati sono coerenti con l'andamento delle attività economiche di questa zona, che negli ultimi anni hanno puntato più sul turismo che sulla pesca. L'uso di questo spazio marino da parte di imbarcazioni legate al turismo appare simile o superiore rispetto ad altre aree del Mediterraneo (La Manna *et al.*, 2010; Bracciali *et al.*, 2012; Rako *et al.*, 2013; Venturini *et al.*, 2015). Tuttavia, il traffico nautico viene misurato mediante diversi protocolli di campionamento, non essendone ancora stato elaborato uno standard, il che rende difficile fare confronti tra aree e studi diversi.
- I modelli spaziali del traffico nautico nell'area di studio indicano un potenziale impatto sull'ambiente marino, attraverso diversi meccanismi. Ad esempio, la maggiore densità di diportisti corrisponde alle aree di distribuzione della fanerogama marina *Posidonia oceanica*. Questa specie, la cui conservazione è prioritaria per la Direttiva Habitat, è fondamentale sia per l'habitat marino che costituisce sia per i servizi ecosistemici che fornisce (Costanza *et al.*, 1997). Tra i potenziali danni esercitati dal traffico nautico sulle praterie di posidonia, il danno meccanico diretto da ancoraggio è uno dei più impattanti sugli ambienti costieri.
- Le imbarcazioni da diporto e turistiche hanno la massima distribuzione nelle zone costiere con fondali poco profondi. Pertanto, ancore, nuotatori, snorkelisti o subacquei possono danneggiare

intenzionalmente o inavvertitamente le alghe infralitorali e raccogliere specie animali in via di estinzione (ad esempio *Patella ferruginea*).

- Il rumore prodotto dalle barche durante la navigazione può causare il deterioramento del buono stato di conservazione di molte specie, principalmente pesci e mammiferi marini. L'effetto del rumore delle barche sulla fauna marina è già stato messo in evidenza per esempio sul comportamento delle corvine (*Sciaena umbra*). Uno studio condotto nelle acque dell'AMP ha rilevato una reazione ai passaggi delle imbarcazioni corrispondente a quella di un attacco di predatori. Questo tipo di reazioni anti-predatorie comporta un aumento del dispendio energetico degli individui, con potenziali conseguenze sul bilancio energetico totale e la condizione di salute (La Manna *et al.*, 2016 - ALLEGATO I). Un altro studio realizzato nelle acque di Alghero, comprese quelle dell'AMP/SIC ha messo in evidenza un'alterazione del comportamento acustico dei tursiopi (*Tursiops truncatus*) legato al rumore prodotto dalle imbarcazioni, con potenziali conseguenze negative sulla comunicazione mamma-cucciolo e sul comportamento alimentare (La Manna *et al.*, 2019 - ALLEGATO II). Infine, le aree maggiormente frequentate dalle imbarcazioni si sovrappongono a importanti aree di alimentazione e di nursery dei tursiopi (*Tursiops truncatus*). Lo studio ha evidenziato che i gruppi con cuccioli tendono a evitare le aree più trafficate dell'area marina, rinunciando a potenziali siti di alimentazione (La Manna *et al.*, 2020).

4.2 Implicazioni gestionali

Il turismo balneare esercita una pressione importante sul sistema costiero (Douvere & Ehler, 2007) e conoscere la distribuzione spaziale del turismo nautico, specialmente all'interno delle AMP e dei siti SIC, dovrebbe diventare un prerequisito per la gestione delle attività umane nelle aree turistiche.

I risultati ottenuti nell'area di studio sono stati quindi utilizzati per delineare alcune azioni di gestione e mitigazione del traffico nautico:

1. Azioni di monitoraggio

Per garantire la conservazione della biodiversità dell'AMP/SIC, i monitoraggi delle specie/gruppi di specie (*Tursiops truncatus*, alcune specie target della fauna ittica) e degli habitat (praterie di *Posidonia oceanica*, coralligeno) più soggetti all'impatto negativo del traffico nautico e delle attività turistiche ad

esso legate dovrebbero essere considerati una priorità di gestione in quanto un'elevata pressione antropica, anche concentrata in periodi molto brevi, può portare a rapidi cali delle dimensioni di popolazione, o ad alterazioni della distribuzione e al deterioramento dello stato di conservazione. Inoltre il traffico nautico, insieme ai comportamenti dei diportisti, dovrebbero essere anch'essi oggetto di monitoraggio annuale allo scopo di realizzare serie storiche, fondamentali per la comprensione dell'evoluzione nel tempo di questa attività umana.

2. Azioni di gestione

L'attrattività delle aree per i diportisti dovrebbe essere valutata in relazione al loro valore naturalistico. Il mantenimento di questo valore non riguarda solo l'ambiente, ma deve essere interpretato come uno sforzo per preservare anche la stabilità economica della comunità costiere circostante. In questo senso, si dovrebbero valutare soluzioni utili per ridurre la pressione e l'impatto del traffico nautico, al contempo accettabili dal punto di vista socio-economico, quali ad esempio, l'introduzione di un numero massimo di imbarcazioni autorizzate ad accedere nelle acque dell'AMP, la realizzazione di campi ormeggio e di zone di ancoraggio libero su fondali sabbiosi.

3. Azioni di sorveglianza

Per rendere efficace la gestione delle attività umane, a fronte della generale inosservanza delle restrizioni, dovrebbe essere incrementata la sorveglianza locale, avvalendosi anche delle tecnologie video e della cooperazione tra le diverse forze dell'ordine che agiscono sul territorio. Inoltre, dovrebbe essere messo in campo un piano di monitoraggio dei comportamenti illeciti realizzati all'interno dell'AMP allo scopo di indirizzare efficacemente le azioni di sorveglianza e di educazione dei fruitori.

4. Azioni di comunicazione

Un adeguato piano di comunicazione sulla regolamentazione della nautica, sui comportamenti eco-compatibili dei diportisti e sui loro potenziali benefici per l'ambiente marino dovrebbe essere previsto e condiviso, anche attraverso l'utilizzo dei moderni sistemi di comunicazione (sito web, app, social media). Il piano dovrebbe essere rivolto sia ai diportisti commerciali (immersioni, escursioni e traghetti), sia ai diportisti locali. Particolare attenzione e impegno dovrebbe essere dedicato alle società di noleggio di barche e ai loro ospiti, poiché rappresentano la quota maggiore di diportisti della zona.



MareTerra Onlus
Environmental Research and Conservation
Regione Salondra 9, 07041 Alghero (SS)
www.mareterra-erc.org
mareterra.onlus@gmail.com
mareterra.onlus@pec.it

5. Azioni di valutazione

Un piano di gestione e mitigazione del traffico nautico può essere considerato efficace se i risultati sono periodicamente e frequentemente monitorati, sia in termini di tutela ambientale che di impatto socio/economico sulle comunità.

5. REFERENZE

- Bearzi, G., Agazzi, S., Bonizzoni, S., Costa, M., and Azzellino, A. (2008) Dolphins in a bottle: abundance, residency patterns and conservation of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the semi-closed eutrophic Amvrakikos Gulf, Greece. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18, 130–146.
- Bracciali, C., Campobello, D., Giacoma, C., and Sara, G., (2012). Effects of nautical traffic and noise on foraging patterns of Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*). *PLoS One* 7, e40582.
- Braunisch, V., Patthey, P., and Arlettaz, R. (2011). Spatially explicit modeling of conflict zones between wildlife and snow sports: prioritizing areas for winter refuges. *Ecological Applications* 21, 955–967. doi: 10.1890/09-2167.1
- Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods Ecolo. Evol.* 5, 694–700. doi: 10.1111/2041-210x.12200
- Brown, J. L., Bennett, J. R., and French, C. M. (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ* 5:e4095. doi: 10.7717/peerj.4095
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., and Van den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260
- Cummins, V., Gault, J., and O’Mahony, C. (2008). “Establishing information needs for planning and assessment of recreation activity in the coastal environment: a case study from cork harbour, Ireland,” in *Proceedings of the International Pluridisciplinary Conference “The Littoral: Challenge, Dialogue, Action” - Lille, France.*
- Douvere, F., and Ehler, C. N. (2007). International workshop on marine spatial planning, UNESCO, Paris, 8-10 November 2006: a summary. *Mar. Policy* 31, 582–583. doi: 10.1016/j.marpol.2007.02.001

- Elith, J., Graham, C. H., and Anderson, R. P. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129–151.
- Elith, J., Phillips, S. J., and Hastie, T. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib.* 17, 43–57. doi: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
- Gray, D.L., Canessa, R., Rollins, R., Peter Keller, C., and Dearden, P. (2010). Incorporating Recreational Users into Marine Protected Area Planning: A Study of Recreational Boating in British Columbia, Canada. *Environmental Management* 46, 167–180. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9479-1>
- Guisan, A., and Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett.* 8, 993–1009. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- Juanes, F., Cox, K., Brennan, L., and Dudas, S. (2017). The effect of anthropogenic and biological noise on fish behavior and physiology: A meta-analysis. *J. Acoust. Soc. Am.* 141, 3862–3862. doi: 10.1121/1.4988626
- Kramer-Schadt, S., Niedballa, J., and Pilgrim, J. D. (2013). The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. *Divers. Distribut.* 19, 1366–1379.
- Kumar, S., and Stohlgren, T. J. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *J. Ecol. Nat. Environ.* 1, 94–98.
- La Manna, G., Clò, S., Papale, E., and Sarà, G., (2010). Boat traffic in Lampedusa waters (strait of Sicily, Mediterranean Sea) and its relation to the coastal distribution of common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Cienc. Mar.* 36 (1), 71–81.
- La Manna, G., Manghi, M., Perretti, F., and Sarà, G. (2016). Behavioral response of brown meagre (*Sciaena umbra*) to boat noise. *Marine Pollution Bulletin* 110 (1), 324–334. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.045.
- La Manna, G., Rako-Gòspic, N., Manghi, M., and Ceccherelli, G. (2019). Influence of environmental, social and behavioural variables on the whistling of the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Behav Ecol Sociobiol* 73, 121. <https://doi.org/10.1007/s00265-019-2736-2>

- La Manna, G., Ronchetti, F., and Sarà, G. (2016). Predicting common bottlenose dolphin habitat preference to dynamically adapt management measures from a Marine Spatial planning perspective. *Ocean Coast. Manag.* 130, 317–327. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2016.07.004
- La Manna, G., Ronchetti, F., and Sarà, G., Ruiiu, A., and Ceccherelli, G. (2020). Common Bottlenose Dolphin Protection and Sustainable Boating: Species Distribution Modeling for Effective Coastal Planning. *Front. Mar. Sci.* 7:542648. doi: 10.3389/fmars.2020.542648
- Liu, C., White, M., and Newell, G. (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *J. Biogeogr.* 40, 778–789. doi: 10.1111/jbi.12058
- Lloret, J., Zaragoza, N., Caballero, D., and Riera, V. (2008). Impacts of recreational boating on the marine environment of Cap de Creus (Mediterranean Sea). *Ocean Coast. Manag.* 51, 749–754. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2008.07.001
- Lobo, J. M., Jimenez-Valverde, A., and Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 17, 145–151. doi: 10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x
- Merow, C., Smith, M. J., and Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36, 1058–1069. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x
- Micheli, F., Halpern, B. S., Walbridge, S., Ciriaco, S., Ferretti, F., Fraschetti, S., Lewison, R., Nykjaer, L., and Rosenberg, A.A. (2013). Cumulative human impacts on mediterranean and black sea marine ecosystems: assessing current pressures and opportunities. *PLoS One* 8:e79889. doi: 10.1371/journal.pone.079889
- ONN (2011). Osservatorio Nautico Nazionale, Rapporto sul Turismo Nautico. Genova: Osservatorio Nautico Nazionale.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Miroslav, D., Schapire, R. E., and Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40, 887–893. doi: 10.1111/ecog.03049

- Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190, 231–259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Phillips, S. J., and Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161–175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x
- Phillips, S. J., Dudík, M., and Schapire, R. E. (2020). Maxent Software for Modeling Species Niches and Distributions (Version 3.4.1). Available online at: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ (accessed October 28, 2020).
- Ramirez-Reyes, C., Bateman, B. L., and Radeloff, V. C. (2016). Effects of habitat suitability and minimum patch size thresholds on the assessment of landscape connectivity for jaguars in the Sierra Gorda, Mexico. *Biol. Conserv.* 204, 296–305. doi: 10.1016/j.biocon.2016.10.020
- Rako Gospić, N., Fortuna, C.M., Holcer, D., Mackelworth, P., Nimak-Wood, M., Pleslić, G., Sebastianutto, L., Vilibić, I., Wiemann, A. and Picciulin, M. (2013). Leisure boating noise as a trigger for the displacement of the bottlenose dolphins of the Cres–Lošinj archipelago (northern Adriatic Sea, Croatia). — *Mar. Poll. Bull.* 68: 77-84.
- Slabbekoorn, H., Dooling, R. J., Popper, A. N., and Fay, R. R. (2018). *Effects of Anthropogenic Noise on Animals*. Berlin: Springer.
- Smallwood, C.B. and Beckley, L.E. (2012). Spatial distribution and zoning compliance of recreational fishing in Ningaloo Marine Park, north-western Australia. *Fisheries Research*, 125-126 . pp. 40-50.
- Smallwood, C. B., Thomson, A., Harris, D. and Johnston, D. (2010). The Volunteer Fisheries Liaison Officer (VFLO) program: an analysis of recreational fishing data from 1995 – 2007. Department of Fisheries, Government of Western Australia. 52pp.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240, 1285–1293. doi: 10.1126/science.3287615
- Tallis, H., Lester, S. E., and Ruckelshaus, M. (2012). New metrics for managing and sustaining the ocean's bounty. *Mar. Policy* 36, 303–306. doi: 10.1016/j.marpol. 2011.03.013

- UNESCO-Intergovernmental Oceanographic Commission (2017). MSP Around the Globe. Available online at: <http://msp.ioc-unesco.org/world-applications/overview/> (accessed October 28, 2020).
- Venturini, S., Massa, F., Castellano, M., Costa, S., Lavarello, I., Olivari, E., and Povero, P. (2015). Recreational Boating in Ligurian Marine Protected Areas (Italy): A Quantitative Evaluation for a Sustainable Management. *Environmental Management* 57, 163–175 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0593-y>
- York, P., Evangelista, P., Kumar, S., Graham, G., Flather, C., and Stohlgren, T. (2011). A habitat overlap analysis derived from Maxent for Tamarisk and the South-western Willow Flycatcher. *Front. Earth Sci.* 5:120–129. doi: 10.1007/ s11707-011-0154-155