

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”**

**SCUOLA DI DOTTORATO “SCIENZE DELLA TERRA”  
“Giuseppe De Lorenzo”**

**Dottorato in Scienze ed Ingegneria del Mare**

*in consorzio con*  
**SECONDA UNIVERSITÀ DI NAPOLI  
UNIVERSITÀ “PARTHENOPE” DI NAPOLI**  
*in convenzione con*  
**ISTITUTO PER L’AMBIENTE MARINO COSTIERO – C.N.R.  
STAZIONE ZOOLOGICA “ANTON DOHRN”**

**XXI ciclo**

Tesi di Dottorato

**Sviluppo di basi di dati GIS  
e procedure d’analisi multicriterio  
per la pianificazione e la gestione  
di Aree Marine Protette**

Candidata:  
Dott.ssa Rossana Di Donato

Tutor:  
Prof. Stefano Pierini

Co-Tutor:  
Prof. Giovanni Fulvio Russo

Il Coordinatore del Dottorato: Prof. Bruno D’Argenio

**ANNO 2008**

<b>1</b>	<b>FINALITÀ</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
2.1	AREE MARINE PROTETTE (AMP)	4
2.1.1	<i>Definizione e finalità</i>	4
2.1.2	<i>Contesto internazionale</i>	5
2.1.3	<i>Contesto italiano</i>	6
2.1.3.1	Zonizzazione	8
2.1.3.2	<i>Iter istitutivo</i>	8
2.1.3.3	Problematiche ed efficacia di gestione	9
2.2	PIANIFICAZIONE DI AREE PROTETTE	11
2.2.1	<i>Principi di base</i>	11
2.2.2	<i>Approccio sistematico</i>	13
2.2.2.1	Processo di pianificazione	13
2.2.2.2	Obiettivi e dati	15
2.2.2.3	Algoritmi e software per la selezione di siti	18
2.2.3	<i>Applicazioni dell'approccio sistematico in ambiente marino</i>	23
2.3	TECNOLOGIE GIS E BASI DI DATI GEOGRAFICHE	24
2.3.1	<i>Componenti</i>	24
2.3.2	<i>Funzionalità</i>	26
2.3.3	<i>Modelli di dati</i>	28
<b>3</b>	<b>METODI</b>	<b>32</b>
3.1	AMP DI VENTOTENE E SANTO STEFANO	32
3.1.1	<i>Istituzione</i>	32
3.1.2	<i>Caratteri generali</i>	34
3.2	SOFTWARE	36
3.2.1	<i>Piattaforma ArcGIS</i>	36
3.2.2	<i>MARXAN</i>	37
3.3	REALIZZAZIONE DEL SISTEMA GIS	41
3.3.1	<i>Raccolta dei dati</i>	41
3.3.2	<i>Progettazione della base di dati</i>	42
3.3.3	<i>Implementazione della base di dati</i>	44
3.3.3.1	Acquisizione ed elaborazione dei dati	44
3.3.3.2	Importazione dei dati, compilazione dei <i>metadata</i> e delle mappe	45
3.4	ANALISI MARXAN	47
3.4.1	<i>Definizione degli scenari e compilazione dei dati</i>	47
3.4.2	<i>Calibrazione ed esecuzione del software</i>	59
3.4.3	<i>Valutazione e rappresentazione dei risultati</i>	61

---

<b>4</b>	<b>RISULTATI.....</b>	<b>63</b>
4.1	BASE DI DATI GIS .....	63
4.1.1	<i>Schema logico</i> .....	63
4.1.2	<i>Schema fisico</i> .....	66
4.2	CARATTERISTICHE DELL'AMP .....	69
4.2.1	<i>Aspetti naturalistici</i> .....	69
4.2.2	<i>Aspetti antropici</i> .....	73
4.3	SCENARI DI CONSERVAZIONE .....	76
4.3.1	<i>Efficacia ed efficienza dell'attuale schema di zonizzazione</i> .....	76
4.3.2	<i>Siti prioritari per obiettivi naturalistici</i> .....	80
4.3.2.1	Obiettivi naturalistici senza vincoli .....	80
4.3.2.2	Obiettivi naturalistici con vincolo di inclusione di Zona A .....	86
4.3.3	<i>Siti prioritari per obiettivi naturalistici e socio-economici</i> .....	88
4.3.3.1	Obiettivi naturalistici e socio-economici senza vincoli .....	88
4.3.3.2	Obiettivi naturalistici e socio-economici con vincolo di inclusione di Zona A.....	92
4.3.3.3	Obiettivi naturalistici e socio-economici con vincolo di esclusione di Zona C.....	96
4.3.4	<i>Confronto tra i risultati degli scenari</i> .....	104
4.3.5	<i>Proposta di nuova zonizzazione</i> .....	109
<b>5</b>	<b>DISCUSSIONE.....</b>	<b>112</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>123</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>125</b>
	<b>APPENDICE 1: Modello di dati .....</b>	<b>135</b>
	<b>APPENDICE 2: Elenco delle caratteristiche di conservazione .....</b>	<b>148</b>
	<b>APPENDICE 3: Procedure di analisi sviluppate.....</b>	<b>151</b>

# 1 FINALITÀ

Le Aree Marine Protette (AMP) rappresentano strumenti d'elezione per la conservazione dell'ambiente marino e, nel contesto internazionale, differiscono ampiamente per finalità e regime di tutela.

Le "riserve marine", in cui qualsiasi forma di attività antropica è proibita al fine di preservare la biodiversità, sono piuttosto rare in Mediterraneo ed in genere hanno un'estensione limitata. Più diffuse sono le "aree marine protette", in cui le attività antropiche sono regolamentate, al fine di conciliare le esigenze della conservazione con quelle dello sviluppo sostenibile (Badalamenti *et al.*, 2000). In Italia, difatti, la normativa nazionale prevede la realizzazione di AMP con obiettivi sia naturalistici sia socio-economici e, pertanto, la loro suddivisione in zone caratterizzate da un diverso regime di tutela (Zona A di riserva "integrale", Zona B di riserva "generale" e Zona C di riserva "parziale").

Studi condotti di recente hanno dimostrato che lo schema di zonizzazione ed i piani di gestione di molte AMP italiane sono spesso inadeguati per il pieno conseguimento delle finalità istitutive. Ad esempio, tratti costieri rilevanti per l'elevata biodiversità (Russo *et al.*, 2005; Di Donato *et al.*, 2006) o per lo svolgimento di importanti funzioni ecosistemiche, come aree di *nursery* per il popolamento ittico (Balzano, 2006) o siti interessati dalla presenza di praterie di *Posidonia oceanica* (Fraschetti *et al.*, 2005), non sempre sono adeguatamente tutelati.

L'inefficacia della protezione è attribuibile a molteplici di fattori, come la precarietà dell'Ente Gestore, la disponibilità limitata di finanziamenti (Messina, 2005), l'assenza o l'inadeguatezza del regolamento (Badalamenti *et al.*, 2000; Francour *et al.*, 2001), la sorveglianza inefficiente e sporadica (Guidetti *et al.*, 2008).

Escludendo le problematiche di tipo politico e amministrativo, restano altri importanti aspetti da prendere in considerazione.

In primo luogo è da considerare la mancanza di un quadro conoscitivo completo ed aggiornato sull'area in esame. Infatti, fatto salvo lo studio di fattibilità realizzato in fase istitutiva, che in molti casi precede anche di anni l'effettiva istituzione dell'AMP (Di Stefano e Russo, 2005), indagini sistematiche e periodiche sugli aspetti naturalistici ed antropici del tratto di mare interessato sono del tutto assenti. I dati disponibili, in genere, sono acquisiti in tempi e con modalità differenti nell'ambito di singoli progetti di ricerca e, pertanto, si presentano frammentari, eterogenei e, quindi, difficilmente utilizzabili in un contesto decisionale.

La tecnologia dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) può offrire un valido supporto alla gestione di un'AMP, consentendo di integrare, gestire ed analizzare informazioni di varia natura sia spaziali sia descrittive (Peverieri, 1995). Nonostante i GIS siano ormai ampiamente diffusi presso le pubbliche amministrazioni, sono ancora poche in Italia le AMP che possiedono una

base di dati geografici, nella maggior parte dei casi realizzata senza una preliminare ed accurata fase di progettazione (Di Donato, 2008).

Negli ultimi anni la società ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), azienda d'avanguardia nello sviluppo di applicativi GIS, ha promosso, in collaborazione con esperti della comunità scientifica, lo sviluppo di modelli di dati, ovvero schemi di riferimento per la rappresentazione dell'informazione geografica in diversi settori applicativi. Di recente realizzazione è il modello di dati marini (*Marine Data Model*), uno schema generico e flessibile per la rappresentazione di tipologie "comuni" di dati marini, utilizzato oltreoceano in diversi casi di studio che riguardano l'ambiente oceanico e costiero (Wright *et al.*, 2007).

Un altro importante aspetto da esaminare, riguardo alle politiche di pianificazione e gestione di un'AMP, è rappresentato dalle scelte decisionali, spesso attuate sulla base di valutazioni che non considerano l'insieme degli aspetti rilevanti per la risoluzione di determinate problematiche. Procedure di analisi multicriterio, che differiscono per approccio e metodologia adottata, sono state applicate solo di recente per la pianificazione di AMP.

In Italia sono state impiegate prevalentemente metodologie che utilizzano pesi e criteri per definire il valore di conservazione di un'area (Chemello e Russo, 2001; Villa *et al.*, 2002; Tunesi *et al.*, 2007). Tali metodologie, tuttavia, oltre ad essere difficilmente implementabili, sono spesso inefficaci, dal momento che non assicurano la tutela dell'intera biodiversità di un'area.

Negli ultimi anni è stato introdotto un nuovo approccio alla conservazione, noto nella letteratura anglosassone come *Systematic Conservation Planning* (Margules e Pressey, 2000). Tale approccio è basato sulla definizione esplicita e quantitativa degli obiettivi da realizzare e sulla selezione di siti complementari per le caratteristiche rappresentate. I siti da tutelare sono individuati utilizzando algoritmi matematici di ottimizzazione, che cercano di rappresentare la biodiversità di un'area al minor costo possibile (Possingham *et al.*, 2000), risolvendo un problema noto in conservazione come "problema della minima rappresentazione" (Kirkpatrick, 1983). L'approccio sistematico, finora, è stato impiegato per lo più per individuare "reti" di riserve marine lungo estesi tratti costieri, ma spesso trascurando importanti fattori socio-economici (Beck e Odaya, 2001; Sala *et al.*, 2002; Airamé *et al.*, 2003, Leslie *et al.*, 2003; Klein *et al.*, 2008a e b).

La finalità del progetto di dottorato, pertanto, è stata quella di individuare, valutare ed implementare metodologie e strumenti che potessero essere di supporto alle attività di pianificazione e gestione di un'AMP, dall'integrazione dei dati in un sistema GIS al loro utilizzo nell'ambito di un'analisi multicriterio.

In particolare, si è voluto:

- verificare la validità del modello di dati marini (*Marine Data Model*) per la rappresentazione, in una base di dati geografica, delle informazioni rilevanti e specifiche per la gestione di un'AMP;

- sperimentare l'efficacia dei principi e dei metodi dell'approccio sistematico per la pianificazione di un'AMP con finalità naturalistiche e socio-economiche, da un lato ad una scala di maggior dettaglio rispetto a quella di normale utilizzo (per la zonizzazione su scala locale piuttosto che per la localizzazione su scala regionale), dall'altro considerando i costi di conservazione connessi all'uso del territorio marino (ignorati in gran parte delle applicazioni);
- sviluppare strumenti e procedure informatizzate di supporto all'archiviazione, integrazione ed utilizzo dei dati nell'ambito di un processo di pianificazione sistematica.

Come caso di studio è stata scelta l'AMP di Ventotene e Santo Stefano, situata nell'arcipelago Pontino (Lazio). Quest'ultima, infatti, oltre a costituire un esempio emblematico di molte AMP del Mediterraneo, situate per lo più su piccole isole (Francour *et al.*, 2001), rappresenta una delle poche aree marine costiere per cui si dispone di una discreta quantità di dati, che riguardano aspetti non solo naturalistici ma anche socio-economici.

## 2 INTRODUZIONE

### 2.1 AREE MARINE PROTETTE (AMP)

#### 2.1.1 Definizione e finalità

La necessità di tutelare l'ambiente marino è emersa, per la prima volta nel dibattito internazionale, solo verso la metà del secolo scorso.

Per molto tempo la tutela del mare è stata considerata esclusivamente come salvaguardia degli ecosistemi marini dall'inquinamento e solo negli anni ottanta il concetto di area marina protetta (AMP) è apparso nel contesto giuridico, sia a livello internazionale sia nazionale.

L'estraneità dell'uomo all'ambiente acquatico e la difficoltà nel condurre attività di ricerca e monitoraggio a mare, infatti, hanno contribuito a porre la conservazione della biodiversità marina in secondo piano rispetto a quella terrestre (NRC, 2001). Non è un caso, quindi, che il primo parco nazionale terrestre del mondo (*Yellowstone Park*, Wyoming, USA) sia stato istituito nel lontano 1872, mentre il primo parco marino (*Everglades National Park*, Florida, USA) sia nato più di 50 anni dopo, nel 1934.

L'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN, *International Union for Conservation of Nature*) definisce un'area protetta come “un'area di terra e/o mare particolarmente dedicata alla protezione della diversità biologica e delle risorse naturali e culturali associate, e gestita con mezzi legali o altrimenti efficaci”. Coerentemente, un'Area Marina Protetta (AMP) è definita come “un'area di substrato intertidale o subtidale, insieme con l'acqua sovrastante e le caratteristiche di flora, fauna, storiche e culturali associate, che è stata riservata con mezzi legali o altrimenti efficaci per proteggere una parte o l'intero ambiente presente” (Kelleher, 1999).

Ne consegue che il termine AMP è generico e raggruppa diverse tipologie di aree protette, che differiscono per vari aspetti, come l'estensione, la distanza dalla costa, l'autorità di gestione, le finalità e il regime di tutela imposto (Francour *et al.*, 2001).

Ogni AMP ha una designazione nazionale ed, in alcuni casi, internazionale (come i Siti del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO e le Aree Specialmente Protette d'Importanza per il Mediterraneo della Convenzione di Barcellona). L'IUCN, inoltre, ha stabilito delle categorie generiche in cui ogni tipologia di AMP può essere ricondotta (Kelleher, 1999).

Generalmente si usa attribuire il termine di “riserva marina” ad aree protette in cui qualsiasi forma di attività antropica è proibita, con l'intento principale di tutelare la biodiversità e le risorse ittiche. AMP di questo tipo sono piuttosto rare nel Mediterraneo e di solito di piccola estensione (Ballantine, 2006). Più diffuse, invece, sono le AMP in cui le attività antropiche sono

regolamentate, al fine di conciliare le esigenze della conservazione con quelle dello sviluppo sostenibile (Badalamenti *et al.*, 2000).

Il vertice mondiale sullo sviluppo sostenibile ha fissato il 2012 come data entro la quale realizzare sul pianeta una vera e propria “rete” di aree protette, rappresentativa della biodiversità marina e costiera, indipendentemente dai confini nazionali dei singoli paesi (Laffoley, 2006).

### 2.1.2 Contesto internazionale

Il numero delle AMP presenti nel mondo è cresciuto rapidamente negli ultimi anni; infatti, queste ultime, oltre a garantire la conservazione della biodiversità marina, producono benefici economici di varia natura, con effetti positivi non solo sulla pesca, grazie all’incremento della biomassa e delle classi di taglia delle specie ittiche di importanza commerciale (Guidetti e Sala, 2007), ma anche sul turismo, con l’aumento del numero di visitatori che praticano attività come la subacquea ed il diportismo (Badalamenti *et al.*, 2000).

Attualmente nel contesto giuridico internazionale è possibile individuare diverse convenzioni aventi ad oggetto la protezione dell’ambiente marino e la realizzazione di AMP.

La *Convenzione sulla Diversità Biologica (Convention on Biological Diversity o CBD)*, entrata in vigore nel 1993, fornisce un quadro di riferimento per la conservazione della biodiversità, l’uso sostenibile delle risorse biologiche e la condivisione dei benefici provenienti dall’uso della diversità biologica. I paesi che hanno sottoscritto la convenzione sono obbligati a sviluppare strategie per identificare e tutelare la biodiversità nazionale, anche attraverso la realizzazione di aree protette. Nel 1995 le parti contraenti hanno ulteriormente affermato, con il Mandato di Jakarta, la necessità di tutelare la biodiversità marina e costiera.

La *Convenzione per la Protezione dell’Ambiente Marino e la Regione Costiera del Mediterraneo*, nota anche come *Convenzione di Barcellona*, è stata revisionata nel 1995, anno in cui è stato incluso il *Protocollo sulle Aree Specialmente Protette e la Diversità Biologica in Mediterraneo (SPA-BD)*. L’implementazione del protocollo è sostenuta dal *Centro di Attività Interregionale per le Aree Specialmente Protette (RAC/SPA)* di Tunisi.

La *Convenzione sulla Protezione del Patrimonio Mondiale Culturale e Ambientale (World Heritage Convention)* è stata sottoscritta nel 1975 e prevede un supporto finanziario da parte dell’UNESCO ai siti naturali e/o culturali che sono stati inseriti nella lista del *Patrimonio Mondiale dell’Umanità (World Heritage List)*. L’UNESCO riconosce anche le cosiddette Riserve Biosfera, ovvero aree protette con finalità multiple per le quali è prevista una suddivisione in zone con un diverso regime di tutela.

La *Direttiva Habitat (1992)* sostiene la realizzazione di una rete europea di aree protette (Natura 2000), sulla base della presenza di 200 tipologie di habitat e 700 specie di piante animali e



vegetali ritenute di importanza per la conservazione. Solo una piccola parte della rete include siti marini, che sono peraltro di ridotta estensione.

La *Convenzione di Ramsar (Ramsar o Wetlands Convention)* prende in considerazione le aree umide, anche in funzione della loro importanza per gli uccelli migratori. Attualmente circa la metà dei siti, individuati in accordo alla convenzione, comprende zone costiere.

### **2.1.3 Contesto italiano**

L'Italia è la nazione con la maggiore concentrazione di AMP del Mediterraneo e tra le prime del mondo (Russo e Di Stefano, 2005).

Nel nostro paese è prevista la realizzazione di ben 52 AMP (L. 979/82 art. 31, 394/91 art. 36, 344/97 art. 4, 426/98 art. 2, 93/01 art. 8) ma attualmente ne sono state istituite solo 30; di queste 2 sono parchi nazionali con estensioni a mare (arcipelago Toscano e della Maddalena), 2 sono parchi sommersi di rilevanza archeologica (Baia e Gaiola) ed 1 è una riserva pelagica (il santuario internazionale per la salvaguardia dei mammiferi marini) (Figura 1). Per 2 AMP, in realtà, il Decreto Istitutivo non è stato ancora pubblicato (Santa Maria di Castellabate e Costa degli Infreschi e della Masseta) (cfr. 2.1.3.2).

Secondo la legge (L. 979/82 e 394/91) le AMP sono ambienti con un importante valore storico, archeologico, ambientale e/o culturale. Tali ambienti includono le acque, i fondali e i tratti di costa di superfici marine, che possiedono un rilevante interesse per le caratteristiche naturali, geomorfologiche, fisiche, biochimiche, con particolare riguardo alla flora e alla fauna marina e costiera, e per l'importanza scientifica, ecologica, culturale, educativa ed economica che rivestono.

Le AMP italiane, pertanto, hanno fini multipli: dalla salvaguardia dell'ambiente naturale (ad es. protezione di specie rare o habitat di pregio naturalistico) allo sviluppo di attività socio-economiche ecocompatibili (ad es. pesca artigianale, ecoturismo, ricerca ed educazione ambientale).



Figura 1 – AMP istituite in Italia.

### 2.1.3.1 Zonizzazione

Al fine di conciliare le esigenze della conservazione con quelle dello sviluppo sostenibile le AMP, generalmente, sono suddivise al loro interno in tre tipologie di zone, caratterizzate da un diverso grado di tutela. Tali zone sono denominate: Zona A (di riserva integrale), Zona B (di riserva generale) e Zona C (di riserva parziale) (Tunesi e Diviacco, 1993).

La finalità della Zona A è assicurare la massima protezione degli ambiti di maggior valore ambientale, attraverso il divieto di tutte le attività che possano arrecare danno o disturbo all'ambiente marino, eccetto quelle connesse alla ricerca e alla gestione. Questa zona, in genere, ha un'estensione ridotta.

La finalità della Zona B e della Zona C è coniugare le esigenze della conservazione con la fruizione e l'uso sostenibile delle risorse marine.

Nella Zona B sono consentite, disciplinate e/o autorizzate dall'organismo di gestione, una serie di attività che determinano il minor impatto possibile sull'ambiente. Esempi di attività consentite sono: la balneazione, le immersioni, le visite guidate, la navigazione a velocità ridotta, l'ormeggio e l'ancoraggio in zone individuate. La Zona B di solito non è molto estesa.

Nella Zona C sono consentite e/o disciplinate dall'organismo di gestione le attività che determinano un modesto impatto sull'ambiente. Esempi di attività consentite sono: la navigazione delle imbarcazioni a motore, l'ormeggio, l'ancoraggio e la pesca sportiva. La Zona C, in genere, è la più estesa dell'AMP.

Le tre tipologie di zone sono delimitate da coordinate geografiche, riportate sulla cartografia allegata al Decreto Istitutivo pubblicato in Gazzetta Ufficiale.

### 2.1.3.2 Iter istitutivo

Il percorso per l'istituzione di un'AMP è piuttosto complesso e richiede, innanzitutto, che essa sia individuata per legge come area di reperimento. Affinché il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con i suoi organi competenti, possa valutare se esistono elementi naturalistici e socio-economici che sono sufficienti per istituire un'AMP, occorre realizzare uno studio di fattibilità. Tale studio, che può essere commissionato a istituti scientifici, laboratori o enti di ricerca, deve fornire un quadro aggiornato di conoscenze sull'ambiente d'interesse. Lo studio di fattibilità si articola generalmente in due fasi: nella prima fase viene esaminata la letteratura già esistente; nella seconda fase vengono effettuati gli approfondimenti necessari per un quadro conoscitivo concreto ed esaustivo. In genere si acquisiscono informazioni su vari aspetti (climatologia, oceanografia, geomorfologia, bionomia, ecologia, zone di pesca, rotte di navigazione, ricettività turistica, scarichi a mare, servizi e infrastrutture costiere, ecc.) al fine di individuare zone d'interesse naturalistico e/o socio-economico e zone critiche (Russo e Di Stefano, 2005).

Al termine dello studio di fattibilità gli esperti della Segreteria Tecnica per le Aree Marine Protette (STAMP, L. 426/1998 art. 2) possono avviare l'istruttoria istitutiva. In questa fase gli esperti della STAMP arricchiscono l'indagine con sopralluoghi mirati e con confronti con gli enti e con le comunità locali. Alla fine dell'istruttoria è redatto uno schema di Decreto Istitutivo, con la denominazione e la delimitazione dell'area, gli obiettivi e la disciplina di tutela cui è finalizzata la protezione.

Sullo schema di decreto vengono sentiti, nell'ambito della Conferenza Unificata (D. Lgs. 112/98 art. 77), la Regione e gli enti locali interessati, per l'ottenimento di un concreto ed armonico consenso locale. A questo punto, il Ministro dell'Ambiente, d'intesa con il Ministro dell'economia e delle finanze, procede all'effettiva istituzione dell'AMP, autorizzando anche il finanziamento per far fronte alle prime spese relative all'istituzione (L. 394/91 art.18 e L. 93/01 art.8). Il Decreto Istitutivo, se non diversamente specificato, entra in vigore il giorno successivo dalla pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale. Nel decreto è indicato anche l'Ente Gestore, che può essere rappresentato da enti pubblici, istituzioni scientifiche e associazioni ambientaliste riconosciute (L. 426/98 art. 2).

### **2.1.3.3 Problematiche ed efficacia di gestione**

Da un esame dettagliato di quanto avviene nelle AMP italiane e, più in generale, nelle aree protette del bacino del Mediterraneo, emerge che molte di esse sono inefficaci nel perseguire i propri obiettivi istitutivi ed, in particolare, nell'assicurare un'adeguata tutela della biodiversità marina.

Le cause di questa inefficacia sono molteplici ed interessano diversi aspetti del ciclo di vita di un'AMP, dalla pianificazione alla gestione ordinaria.

La pianificazione di un'AMP, infatti, raramente viene realizzata ricorrendo a criteri ecologici e metodologie quantitative, in grado di valutare tutti gli aspetti, sia naturalistici sia antropici, del territorio marino interessato; le applicazioni di analisi multicriterio per la definizione dello schema di zonizzazione sono confinate a singoli casi di studio (Chemello e Russo, 2001; Villa *et al.*, 2002; Tunesi *et al.*, 2007), in cui sono state utilizzate tecniche che, oltre ad essere difficilmente implementabili, non garantiscono la tutela dell'intera biodiversità dell'area (cfr. 2.2). Ne consegue che in molte AMP siti rilevanti per la conservazione, caratterizzati da un elevato numero di specie (Di Donato *et al.*, 2006; Russo *et al.*, 2005) od importanti per lo svolgimento di funzioni ecosistemiche, come le aree di *nursery* per il popolamento ittico (Balzano, 2006) e le praterie di *Posidonia oceanica* (Fraschetti *et al.*, 2005), risultano collocati in zone di protezione parziale. La stessa zona di protezione integrale, inoltre, spesso ha dimensioni troppo ridotte per assicurare un adeguato recupero degli *stock* ittici (Claudet *et al.*, 2008); d'altra parte gli effetti ecologici prodotti da differenti dimensioni, forma ed isolamento non sono mai stati presi in considerazione nella pianificazione delle AMP del Mediterraneo (Francour *et al.*, 2001).

La gestione di un'AMP, allo stesso tempo, è resa inefficace da svariate cause, soprattutto di tipo politico-amministrativo.

Innanzitutto, la notevole diversità strutturale e organizzativa degli enti gestori determina un diverso grado di stabilità dei quadri dirigenti, da cui scaturisce una maggiore o minore efficacia operativa; la permanenza di presidenti e direttori, infatti, è spesso precaria e la mancanza di personale strutturato impedisce di mantenere nel tempo figure che hanno acquisito esperienze preziose e difficilmente sostituibili.

Un altro problema è rappresentato dalla disponibilità di fondi, dal momento che gran parte dei finanziamenti di un'AMP sono assegnazioni del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, le quali sono concesse quasi sempre con un notevole ritardo e sulla base di una programmazione che, essendo limitata ad un anno, non può essere abbastanza incisiva (Messina, 2005).

Molte AMP, inoltre, mancano di una regolamentazione degli usi del territorio marino, nonostante la redazione del regolamento sia prevista per legge; questa mancanza di controllo sulle attività antropiche, anche a basso impatto come la subacquea, può produrre effetti negativi sulle comunità naturali (Sala *et al.*, 1996). Le norme che disciplinano le attività socio-economiche, anche se presenti, non sono sempre sufficientemente rese note, così come i limiti delle diverse zone di protezione (Francour *et al.*, 2001).

La sorveglianza sporadica dell'AMP, infine, contribuisce ulteriormente alla riduzione degli effetti positivi della protezione sulla biodiversità e sul ripristino dei popolamenti ittici (Guidetti *et al.*, 2008).

Un altro importante aspetto, che concorre all'inefficacia sia della pianificazione che della gestione, è l'assenza di conoscenze approfondite ed aggiornate sulle caratteristiche e gli usi del territorio interessato dall'AMP, nonché la difficoltà a reperire ed ad utilizzare i dati disponibili. Gran parte delle informazioni su di un'AMP è acquisita nell'ambito dello studio di fattibilità (Di Stefano e Russo, 2005); altri dati, invece, sono raccolti mediante programmi di ricerca specifici o nel corso di sporadici piani di monitoraggio (Di Donato e Russo, 2004; Balzano *et al.*, 2006). Questi studi, peraltro, riguardano soprattutto aspetti naturalistici, mentre poche sono le indagini di tipo economico, sociale e culturale (Badalamenti *et al.*, 2000). Tutto ciò comporta non solo una carenza ma anche un'estrema eterogeneità dei dati disponibili (Di Donato, 2008), che, una volta acquisiti, restano per lo più rilegati in centinaia di pagine di elaborati cartacei o, nel migliore dei casi, memorizzati in pile di supporti digitali, come CD o DVD, senza peraltro essere resi pubblici.

## 2.2 PIANIFICAZIONE DI AREE PROTETTE

La principale finalità di un'area protetta è la tutela della biodiversità e di tutti quei processi che ne assicurano la persistenza nel tempo.

Se si analizza il sistema di aree protette attualmente presente nel mondo, tuttavia, emerge immediatamente che esso non è rappresentativo dell'intera biodiversità planetaria. Molte specie di cui è nota la distribuzione, ad esempio, non ricadono in alcuna zona protetta (Rodrigues *et al.*, 2004).

Le prime aree protette, d'altronde, sono state individuate secondo un approccio ad *hoc*, per il solo valore estetico, per proteggere poche specie "carismatiche" o "ombrello"<sup>1</sup> (Simberloff, 1998) o, ancora, per farne un uso privato, come è accaduto con le riserve di caccia.

Frequenti sono i casi di riserve sorte in località per le quali non erano possibili altre destinazioni d'uso, ovvero nelle cosiddette terre di nessuno (*The land nobody wanted*) (Pressey *et al.*, 1993). In Italia molte aree protette terrestri sono state istituite in territori di estensione ridotta ed ad altitudini elevate (Boitani *et al.*, 2003), mentre numerose aree protette marine sono state realizzate intorno a piccole isole od in zone economicamente depresse, come del resto in tutto il Mediterraneo (Badalamenti *et al.*, 2000; Francour *et al.*, 2001).

Un primo approccio quantitativo alla pianificazione di aree protette è stato adottato verso la metà degli anni 70', con lo sviluppo di metodologie che utilizzano pesi e criteri per definire il valore di conservazione di un'area (Smith e Theberge, 1987). Questo tipo di approccio, ancora oggi impiegato da organizzazioni internazionali che si occupano di conservazione, presenta diversi svantaggi, connessi principalmente alla difficoltà di quantificare e combinare i criteri in modo appropriato. Tali metodologie, inoltre, spesso non sono né efficaci né efficienti dal momento che tendono a selezionare siti che condividono alcune specie, trascurandone altre (Williams *et al.*, 2004). Ciò è dovuto al fatto che ogni sito è valutato indipendentemente dagli altri, non tenendo conto che l'intero è molto più della somma delle parti (Wilson *et al.*, 2008).

Negli ultimi anni si è diffuso un nuovo approccio alla pianificazione di aree protette, noto con il termine anglosassone di *Systematic Conservation Planning* (Margules e Pressey, 2000). Tale approccio si basa sulla definizione esplicita e quantitativa degli obiettivi da realizzare e sulla selezione di siti complementari per le caratteristiche rappresentate.

### 2.2.1 Principi di base

Diversi principi dovrebbero informare il processo di pianificazione di un'area protetta, secondo quanto espresso dalla teoria scientifica attuale e dalle opinioni degli esperti (Stewart *et al.*, 2003; Wilson *et al.*, 2008). I principi di base sono descritti di seguito.

---

<sup>1</sup> Una specie si definisce "ombrello" quando attraverso la sua protezione viene assicurata anche la tutela di altre specie. Il dattero di mare è una tipica specie ombrello, in quanto proteggendo questa specie, peraltro banale, si evita la distruzione del substrato roccioso dove s'insediano moltri altri organismi.

**Complementarità**

Un'area protetta dovrebbe comprendere siti complementari per le caratteristiche da tutelare, ad esempio per composizione in specie o habitat. Questo è uno dei principi di base dell'approccio sistematico e che consente di realizzare il principio di comprensività nel modo più efficiente possibile (Justus e Sarkar, 2002).

**Comprensività**

Un'area protetta dovrebbe rappresentare tutti gli aspetti della biodiversità di una determinata regione, a livello qualitativo (ad es. diversità ecosistemica, specifica e genetica) e funzionale (ad es. processi ecologici ed evolutivi, come riproduzione, reclutamento, cambiamenti nelle preferenze di habitat durante il ciclo vitale delle specie) (Noss, 1990). La realizzazione di un sistema di aree protette di questo tipo non è fattibile, dal momento che richiede la conoscenza della distribuzione spaziale di tutti gli aspetti che caratterizzano la biodiversità e, pertanto, è necessario ricorrere a dei surrogati ambientali (Rodrigues e Brooks, 2007).

**Rappresentatività**

Il termine rappresentatività è spesso confuso con quello di comprensività. In realtà esso definisce quanto bene un'area protetta è rappresentativa di una determinata caratteristica di rilievo per la conservazione (ad es. quanto bene è in grado di catturare la variabilità di una determinata tipologia di habitat).

**Efficienza**

L'efficienza è raggiunta quando un sistema di aree protette realizza gli obiettivi di conservazione al minore costo possibile, consentendo di ridurre i conflitti dovuti alla presenza di attività socio-economiche.

**Compattezza e connessione**

Un'area protetta compatta, ovvero con un basso rapporto perimetro-area, offre diversi benefici dal punto di vista sia ecologico che gestionale. Dal punto di vista ecologico, infatti, aree protette lunghe e sottili sono più vulnerabili alla diffusione di malattie e più sensibili all'effetto margine rispetto ad aree più compatte (Fagan *et al.*, 1999). Dal punto di vista economico, invece, l'estensione dei confini di un'area protetta influenza notevolmente i costi di gestione, soprattutto quelli connessi alle attività di sorveglianza (Roberts *et al.*, 2003).

**Adeguatezza**

Idealmente un sistema di aree protette dovrebbe assicurare la persistenza della biodiversità presente, considerando aspetti come la popolazione minima vitale, le interazioni tra le specie, le dinamiche di paesaggio. Ad esempio, aree protette localizzate in corrispondenza di popolazioni "sorgente", possono contenere sufficienti reclute per sostenere le popolazioni locali, con un *surplus* di larve esportate verso altre zone. Aree protette localizzate, invece, in corrispondenza di popolazioni "pozzo" possono dipendere dal rifornimento di reclute provenienti da alti luoghi,

quindi con minori possibilità di sopravvivenza delle popolazioni nel lungo periodo (Pulliam e Danielson, 1991).

### **Connettività**

La realizzazione di un sistema di aree protette è preferibile alla creazione di aree protette isolate, in quanto può garantire la connettività funzionale tra gli ecosistemi e compensare gli effetti di catastrofi localizzate (Allison *et al.*, 2003; Roberts *et al.*, 2003). L'isolamento di un'area protetta a mare, ad esempio, può ritardare il recupero di quelle specie il cui reclutamento dipende in larga parte da uova e larve provenienti da sorgenti esterne (Harmelin e Marinopoulos, 1993).

### **Flessibilità**

La flessibilità è resa possibile dalla "ridondanza" delle caratteristiche da tutelare, il che consente di individuare sistemi alternativi di aree protette. La disponibilità di più alternative decisionali fornisce la possibilità di risolvere in modo ragionevole i conflitti d'uso delle risorse (Kelleher e Kenchington, 1992).

## **2.2.2 Approccio sistematico**

### **2.2.2.1 Processo di pianificazione**

Il processo di pianificazione di un'area protetta in accordo all'approccio sistematico coinvolge diversi stadi (Margules e Pressey, 2000; Smith *et al.*, 2006; WCPA/IUCN, 2007), che sono di seguito illustrati.

#### **Identificazione e coinvolgimento dei gruppi di interesse**

I portatori di interesse (*stakeholders*) sono tutti coloro che sono coinvolti o che hanno interessi nel processo di pianificazione. La loro partecipazione è fondamentale sia per reperimento di dati sia per la riduzione dei conflitti nella fase di implementazione dell'area protetta (Badalamenti *et al.*, 2000; Morin, 2001; Francour *et al.*, 2001).

L'interesse di uno *stakeholder* può essere non solo economico, ma anche sociale, politico o addirittura spirituale. Ad esempio, portatori di interesse nella pianificazione di un'AMP sono gli enti governativi, i pescatori, i diportisti, i turisti, i residenti, le associazioni ambientaliste, che possono partecipare al processo decisionale a differenti livelli, fornendo informazioni o anche assumendo decisioni (Canessa *et al.*, 2008).

#### **Definizione degli obiettivi**

La definizione esplicita degli obiettivi da realizzare è una delle principali caratteristiche che distingue l'approccio sistematico dagli altri impiegati in conservazione della natura.

Nella letteratura anglosassone gli obiettivi sono spesso distinti in *goals* (obiettivi generali) e *objectives* (obiettivi specifici).



Gli obiettivi possono essere sia naturalistici, se finalizzati alla protezione e al ripristino della biodiversità, sia socio-economici, se relativi all'uso del territorio. Questi ultimi, in genere, sono inclusi nel processo di pianificazione come fattori di costo.

### **Compilazione dei dati**

In questa fase, sulla base degli obiettivi precedentemente definiti, si identificano e rappresentano su mappa i limiti dell'area di studio, le caratteristiche da tutelare (*conservation features*), le unità di pianificazione (*planning units*), i costi connessi alla gestione e all'uso del territorio, eventuali minacce e/o vincoli connessi alla realizzazione dell'area protetta (cfr. 2.2.2.2).

Le cartografie possono essere prodotte sulla base dei dati disponibili o raccolti all'uopo.

### **Definizione del livello di rappresentazione**

Per ciascuna caratteristica di conservazione viene definito un ammontare da tutelare (*target*), sulla base di studi condotti o di considerazioni ecologiche. Tale ammontare, a seconda della caratteristica di conservazione, può essere espresso in differenti unità. Ad esempio per una tipologia di habitat può essere dichiarato come percentuale della superficie totale, mentre per una specie può essere indicato dal numero di popolazioni (cfr. 2.2.2.2).

In questa fase si definiscono anche le dimensioni, la forma e il grado di connettività desiderato per il sistema di aree protette.

### **Valutazione di aree protette esistenti**

In questa fase, sulla base del livello di rappresentazione desiderato e della distribuzione spaziale delle caratteristiche di conservazione, si valuta la rappresentatività del sistema di aree protette eventualmente presente, evidenziando possibili lacune (*gap analysis*).

### **Selezione di nuove aree protette**

La selezione di nuove aree da proteggere è finalizzata a colmare eventuali lacune identificate nella fase precedente, ed, in genere, è realizzata con l'ausilio di software che implementano algoritmi di ottimizzazione. Tali algoritmi risolvono un problema noto in letteratura come "problema della minima rappresentazione" e che consiste nell'individuare dei siti che rappresentano adeguatamente la biodiversità di un'area al minor costo possibile (cfr. 2.2.2.3).

### **Implementazione, gestione e monitoraggio**

In queste fasi si definiscono i confini dell'area protetta e le forme di gestione più opportune, anche sulla base di considerazioni che non sono state incluse in precedenza.

Il monitoraggio è indispensabile per valutare lo stato del sistema ed il raggiungimento degli obiettivi di conservazione.

### 2.2.2.2 Obiettivi e dati

Le fasi di raccolta, compilazione dei dati e definizione quantitativa degli obiettivi da raggiungere sono tra le più dispendiose dell'intero processo di pianificazione, in quanto richiedono un'approfondita conoscenza dell'area di studio ed il coinvolgimento di esperti e gruppi di interesse. Come precedentemente accennato, in questa fase si individuano i confini dell'area di studio, si scelgono le caratteristiche da tutelare, si tracciano le unità di pianificazione, si quantificano i costi e si stabilisce il livello di rappresentazione desiderato per ogni caratteristica.

#### Area di studio

I limiti dell'area di studio, ovvero della regione da pianificare, sono per lo più definiti sulla base di fattori politici, in quanto i piani di conservazione sono in genere implementati da enti nazionali, provinciali o locali. In realtà sarebbe opportuno individuarli sulla base di considerazioni ecologiche, dal momento che aree sottoposte a tutela in un determinato paese potrebbero dipendere funzionalmente da siti non protetti nei paesi confinanti (Erasmus *et al.*, 1999); tuttavia, definire i limiti di un'ecoregione può essere problematico (McDonald *et al.*, 2005).

#### Caratteristiche di conservazione

Le caratteristiche di conservazione<sup>2</sup> (*conservation features*) rappresentano gli elementi da tutelare nell'area protetta e possono riguardare non solo aspetti naturalistici, ma anche socio-economici e culturali. Tali caratteristiche sono individuate in accordo agli obiettivi dell'area protetta, ma la loro scelta è condizionata dall'effettiva disponibilità di dati. Una caratteristica di conservazione, infatti, deve essere non solo misurabile ma anche spazialmente definibile nell'area di studio (Lieberkenecth *et al.*, 2008).

Idealmente, si dovrebbero considerare tutti gli elementi che rappresentano la biodiversità e le loro interazioni. Di fatto, si scelgono solo alcune caratteristiche che agiscono come surrogati di biodiversità. Questi ultimi cercano di rappresentare informazioni sugli habitat e sugli ecosistemi presenti in un'area (ad es. mappe di elevazione e di pendenza, dei tipi di substrato e di vegetazione, di uso del suolo). La scelta dei surrogati più "opportuni" è ancora controversa (Cowling *et al.*, 2004) e, verosimilmente, dipende dalle caratteristiche dell'area di studio e dai dati disponibili.

Nelle applicazioni, in genere, si usa integrare le conoscenze sulle caratteristiche ambientali che riguardano l'intera regione da pianificare (*coarse filter*) con dati più dettagliati su specie e processi ecologici (*fine filter*) (Airamé *et al.*, 2003).

I dati riguardanti la presenza di specie possono essere disponibili sia su scala grossolana sia su scala di dettaglio. I primi, tipicamente ottenuti da atlanti di biodiversità, si limitano alla conoscenza della distribuzione di gruppi di specie ben conosciuti, come uccelli e mammiferi. I

---

<sup>2</sup> In letteratura sono spesso indicate erroneamente con il termine di *target*.

secondi, invece, sono relativi alla conoscenza della distribuzione di specie su territori meno estesi e, quindi, risentono maggiormente degli errori di campionamento. E' pratica comune scegliere un ridotto numero di specie (ad es. specie minacciate, endemiche, di importanza ecosistemica, economica o culturale) e stimare la loro distribuzione sulla base di osservazioni di campo e/o pareri di esperti.

Ai fini della persistenza della biodiversità nel lungo periodo è importante preservare anche i luoghi in cui si svolgono importanti processi ecosistemici, come i corridoi ecologici, i sistemi idrologici e dunali, le zone di *upwelling*.

### **Unità di pianificazione**

Le unità di pianificazione (*planning units*) individuano i siti candidati per la realizzazione di un'area protetta. La scelta delle dimensioni e della forma delle unità di pianificazione dipende da diversi fattori, tra cui la scala dei dati disponibili e le esigenze gestionali.

E' possibile utilizzare unità di pianificazione sia "reali", come sottobacini idrografici e unità catastali, sia "artificiali", come griglie regolari di esagoni, rombi e quadrati.

I sottobacini sono spesso utilizzati nelle stime di conservazione che riguardano le acque dolci sia per motivi gestionali sia perché la raccolta dei dati avviene a questo livello. I confini catastali possono essere utili quando la pianificazione riguarda anche territori che sono proprietà di privati (Pierce *et al.*, 2005).

Le griglie regolari possono essere vantaggiose sia perché consentono di realizzare valutazioni senza enfatizzare l'importanza di proprietà individuali sia perché facilitano l'assegnazione dei costi a ciascuna unità di pianificazione.

La forma ideale dipende dai dati disponibili e da come i risultati saranno rappresentati: le griglie di quadrati sono più adeguate per mappe in formato raster, mentre gli esagoni tendono a individuare aree protette più compatte.

La scelta delle dimensioni, invece, dipende dai dati disponibili e dalla capacità di calcolo dell'elaboratore che si ha a disposizione. Le unità piccole, comunque, offrono diversi vantaggi: evitano la selezione di siti non idonei, scelti esclusivamente perché interessati in minima parte da un'importante caratteristica di conservazione; rappresentano meglio gli habitat frammentati; si adattano bene ai confini di aree protette esistenti (Araújo, 2004); producono mappe con caratteristiche estetiche migliori e, quindi, più comprensibili dai gruppi di interesse.

In alcune applicazioni è stata adottata strategia mista nella scelta delle unità di pianificazione, integrando unità reali, come i limiti di aree protette esistenti, con unità artificiali. Tale strategia consente stime più accurate delle caratteristiche da includere od escludere nell'area protetta, oltre ad assicurare la connettività spaziale degli elementi che ricadono all'interno di più unità di forma regolare.

## Costi

Gli obiettivi socio-economici sono generalmente tradotti in un costo assegnato a ciascuna unità di pianificazione.

Diversi sono i fattori che determinano il costo di un'unità di pianificazione, tra cui il costo di acquisizione (Pence *et al.*, 2003), di gestione (Moore *et al.*, 2004) e di opportunità (Stewart e Possingham, 2005). Quest'ultimo può essere definito come “*il reddito e altri benefici provenienti dall'uso del suolo, da investimenti ed opportunità di sviluppo preclusi o ridotti dalla necessità di conservare la biodiversità*” (Naidoo *et al.*, 2006). Talvolta, la vulnerabilità alle minacce antropiche è considerata come un ulteriore fattore che contribuisce al costo di conservazione di un'unità di pianificazione (Wilson *et al.*, 2005).

Nelle applicazioni il costo è espresso raramente in termini monetari (Pence *et al.*, 2003); più spesso si utilizzano fattori rappresentativi di singoli costi di conservazione, come l'estensione superficiale dell'area protetta, la densità della popolazione umana (Luck *et al.*, 2004), le catture di aragoste (Stewart e Possingham, 2005). L'organizzazione *Nature Conservancy* del Canada ha prodotto una “superficie di costo” combinando tra loro diversi fattori mediante opportuni pesi (Pryce *et al.*, 2006).

## Livello minimo di rappresentazione

La traduzione degli obiettivi in termini quantitativi e operazionali è una delle caratteristiche che contraddistingue l'approccio sistematico da altre metodologie adottate nella pianificazione di aree protette (Margules e Pressey, 2000).

L'ammontare minimo da tutelare (*target*) per una determinata caratteristica può essere espresso in differenti unità di misura. Ad esempio: per una tipologia di habitat, il livello di rappresentazione desiderato può essere definito come percentuale dell'estensione totale; per una specie, invece, può essere indicato dal numero di popolazioni da includere nell'area protetta.

La quantità minima da includere nell'area protetta per una determinata caratteristica di conservazione dovrebbe essere rappresentativa della sua variabilità ed in grado di assicurarne la persistenza nel tempo; tuttavia, riuscire a stimare il livello adeguato di rappresentazione è piuttosto complicato e, pertanto, si ricorre per lo più al parere di esperti.

Se si dispone di sufficienti dati di campo, la superficie minima da tutelare per una determinata tipologia di habitat può essere ottenuta dalla *curva area-specie*, calcolando la percentuale di habitat nell'area di studio che include la maggior parte delle specie associate (Desmet e Cowling, 2004). Il numero minimo di individui da proteggere per ciascuna specie, invece, può essere determinato con la stima della *popolazione minima vitale* (Cabeza e Moilanen, 2001).

Il livello minimo di rappresentazione può essere definito anche sulla base dello stato di conservazione di specie ed habitat, attribuendo valori più elevati a specie minacciate o a

comunità considerate meritevoli di protezione, segnalate da liste riconosciute a livello internazionale o locale (Lieberknecht *et al.*, 2008).

Se si vuole reintrodurre una specie o ripristinare un habitat minacciato, la quantità da proteggere può essere determinata sulla base della distribuzione potenziale della caratteristica di conservazione piuttosto che su quella reale (Smith *et al.*, 2007).

### **2.2.2.3 Algoritmi e software per la selezione di siti**

La selezione di aree protette in accordo all'approccio sistematico è un problema piuttosto complesso, risolvibile in alcuni casi solo ricorrendo ad algoritmi matematici.

Questi algoritmi, in genere, sono utilizzati per risolvere un problema noto in letteratura come "problema della minima rappresentazione" (Kirkpatrick, 1983) e che consiste nell'individuare il minor numero di siti in grado di rappresentare adeguatamente la biodiversità di un'area.

Tipicamente sono utilizzate due tipologie di algoritmi: algoritmi esatti e algoritmi non esatti (anche detti euristici). I primi forniscono la soluzione ottimale, ma non possono essere utilizzati per risolvere problemi complessi in tempi ragionevoli. I secondi, invece, individuano più di una buona soluzione in tempi relativamente rapidi, fornendo quindi più alternative decisionali per i pianificatori ed i gruppi di interesse (Possingham *et al.*, 2000; McDonnell *et al.*, 2002).

#### **Problema della minima rappresentazione**

Il problema della minima rappresentazione nasce dall'idea che, mentre da una prospettiva conservazionistica si vorrebbe massimizzare l'estensione di un'area protetta, fattori di tipo sociale ed economico limitano in pratica la superficie da destinare alla protezione (Possingham *et al.*, 2000). Il criterio di base, quindi, è tutelare quanta più biodiversità è possibile nel più piccolo numero di siti (Pressey *et al.*, 1993).

Un'area protetta potrà essere considerata un sistema "efficace ed efficiente" se costituita da un insieme di siti che consentono la realizzazione degli obiettivi di conservazione al minore costo possibile. In letteratura i siti sono indicati anche come unità di pianificazione, mentre gli obiettivi di conservazione sono espressi in termini di livello minimo di rappresentazione per alcune caratteristiche selezionate, come tipologie di habitat e di specie. Il costo, invece, dipende da diversi fattori e può essere espresso in valori monetari o con altri indicatori (cfr. 2.2.2.2).

L'esempio che segue, proposto da Possingham *et al.* (2000), chiarisce in che modo il criterio della minima rappresentazione può guidare la selezione dei siti da includere in un'area protetta. Nella regione del Columbia Plateau (U.S.) ci sono 10 specie di interesse per la conservazione. La presenza o l'assenza di queste specie è nota in 8 siti. L'obiettivo della conservazione è tutelare almeno una popolazione di ciascuna specie. Il problema della minima rappresentazione si risolve trovando il più piccolo numero di siti in cui ogni specie sia rappresentata almeno una volta. Il numero di siti, infatti, determina il costo da minimizzare, mentre l'occorrenza di almeno una popolazione di ogni specie rappresenta il livello minimo di rappresentazione desiderato.

Dalla Tabella 1 si può osservare che la soluzione migliore include solo 2 siti (i siti contrassegnati dai numeri 3 e 5). In questo caso la soluzione è stata individuata semplicemente esaminando la matrice, ma, aumentando il numero di specie (ovvero il numero di caratteristiche da conservare) o di siti (ovvero di unità di pianificazione), ciò diventa impossibile. Nel caso di 20 siti, infatti, le configurazioni da esaminare sono 1048576 ( $2^{20}$ ) ed è necessario formulare il problema in termini matematici ed utilizzare un algoritmo numerico.

Specie	Siti								Frequenza
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>Loggerhead Shrike</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	7
<i>Western Burrowing Owl</i>	1	1	1	1	0	0	0	1	5
<i>Grasshopper Sparrow</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	5
<i>Ferruginous Hawk</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	5
<i>Sage Thrasher</i>	1	1	1	1	0	0	1	0	5
<i>Western Sage Grouse</i>	1	0	0	0	1	1	1	0	4
<i>Sage Sparrow</i>	1	0	1	1	0	0	0	0	3
<i>American White Pelican</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	3
<i>Bald Eagle</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	2
<i>Forster's Tern</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<b>Ricchezza specifica</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>40</b>

**Tabella 1 – Distribuzione delle specie in otto siti della regione del *Columbia Plateau* (da Possingham *et al.*, 2000).**

Il problema dell'esempio precedente può essere espresso in termini matematici come:

$$\text{Minimizzare } \sum_{i=1}^M x_i \text{ con } \sum_{i=1}^M a_{ij} x_i \geq 1 \text{ per } j=1, \dots, N \text{ dove } a_{ij}, x_i \in \{0,1\}$$

dove  $M$  è il numero dei siti,  $N$  è il numero delle specie,  $x_i$  sono gli elementi di un vettore  $X$  di dati binari che indica se il sito  $i$ -esimo è escluso o incluso nell'area protetta,  $a_{ij}$  sono gli elementi di una matrice  $A$  di dati binari che indica la presenza o l'assenza della specie  $j$ -esima nel sito  $i$ -esimo. La funzione da minimizzare è rappresentata dal numero di siti che compongono l'area protetta, mentre la condizione che deve essere verificata richiede che ogni specie deve essere presente almeno una volta.

Il problema della minima rappresentazione risulta, quindi, un problema di ottimizzazione con dei vincoli, che può essere risolto con diverse tipologie di algoritmi.

### **Metodi matematici per la risoluzione del problema della minima rappresentazione**

Gli algoritmi per la selezione di un'area protetta possono essere divisi in due categorie: algoritmi esatti e non esatti (Game e Grantham, 2008).

Gli algoritmi esatti risolvono il problema della selezione di un'area protetta come Programma Lineare Intero (ILP) e, quindi, utilizzano tecniche di programmazione matematica standard (come il metodo *branch and bound*) per trovare la soluzione ottimale (Church *et al.*, 1996).

Gli algoritmi di programmazione lineare forniscono soluzioni migliori di quelli euristici (Pressey *et al.*, 1997), ma falliscono quando il numero di unità di pianificazione è elevato (più di poche centinaia), in quanto richiedono elevati tempi di calcolo (Possingham *et al.*, 2000). Questi algoritmi, inoltre, forniscono una sola soluzione ottimale, ma nel contesto della pianificazione di un'area protetta è desiderabile disporre di più alternative decisionali. Infine, se l'obiettivo è quello di realizzare un sistema di aree protette che non sia frammentato nello spazio, occorre aggiungere altre variabili che rendono tali algoritmi di tipo non lineare, richiedendo così tempi di esecuzione ancora maggiori (Leslie *et al.*, 2003).

Gli algoritmi non esatti (euristici) non individuano la soluzione ottimale ed hanno tempi di calcolo relativamente rapidi. Esistono diversi tipi di algoritmi euristici che differiscono per tempo di esecuzione, qualità della soluzione finale, possibilità di inserire vincoli spaziali.

I metodi euristici più semplici inizialmente classificano in ranghi i siti dell'area di studio in base ad un insieme di criteri, selezionando il sito con il rango più elevato. I siti restanti sono classificati di nuovo e il processo continua finché tutti gli obiettivi di conservazione non sono raggiunti. Algoritmi di questo tipo sono quelli di *greedy* e di *rarity*.

Gli algoritmi di *greedy* sono chiamati così perché cercano di raggiungere l'obiettivo di conservazione nel minor tempo possibile. Se si considera l'esempio del paragrafo precedente, un algoritmo di questo tipo selezionerà prima il sito con il maggior numero di specie, poi analizzerà i siti restanti selezionando quello che aggiunge più specie a quelle già incluse nel sistema. Alla fine, l'algoritmo sceglierà 3 siti, che rappresentano una soluzione sub-ottimale, visto che in realtà sono sufficienti 2 siti per proteggere almeno una popolazione di ogni specie presente nell'area di studio (Possingham *et al.*, 2000).

Gli algoritmi di *rarity* sono chiamati così perché selezionano subito i siti che sono necessari per raggiungere gli obiettivi di conservazione. Se si considera l'esempio precedente, un algoritmo di questo tipo selezionerà prima il sito che presenta delle specie esclusive, poi analizzerà i siti restanti selezionando quello che aggiunge più specie a quelle già incluse nel sistema. Alla fine l'algoritmo sceglierà 2 siti, fornendo una soluzione migliore di quella ottenuta con l'algoritmo di *greedy*.

Entrambi gli algoritmi hanno tempi relativamente rapidi di soluzione e sono piuttosto intuitivi, ma generano una sola soluzione che con una bassa probabilità sarà quella ottimale (Pressey *et al.*, 1997).

Un algoritmo euristico abbastanza potente, sia per flessibilità che per tempi di esecuzione, è l'algoritmo di *simulated annealing*, che si ispira al processo di ricottura (*annealing*) dei metalli e del vetro (Metropolis *et al.*, 1953; Kirkpatrick *et al.*, 1983). Tale processo consiste nel sottoporre

un metallo a riscaldamento e nel raffreddarlo lentamente, al fine di incrementare la dimensione dei cristalli e ridurre le imperfezioni. Analogamente, l'algoritmo di *simulated annealing* cerca di minimizzare una funzione, detta *funzione obiettivo*, che esprime il costo del sistema riserva, utilizzando un parametro globale, detto appunto *temperatura*, che diminuisce gradualmente ad ogni iterazione. Inizialmente, l'algoritmo seleziona dei siti a caso da includere nell'area protetta. Successivamente, realizza dei cambiamenti nel sistema, inserendo od escludendo dei siti scelti a caso e valutando i cambiamenti nel valore della funzione obiettivo. Quando la temperatura è alta, il sistema accetta anche cambiamenti che incrementano il valore della funzione obiettivo, evitando di scegliere il primo minimo locale. Man mano che il processo continua e la temperatura decresce, l'algoritmo diventa sempre più selettivo, accettando cambiamenti che determinano solo una diminuzione del valore della funzione obiettivo.

I vantaggi di questo metodo sono molteplici: l'algoritmo non solo non si ferma al primo minimo locale ma, nell'ambito di più esecuzioni, restituisce più di una soluzione ottimale; le soluzioni sono migliori di quelle ottenute con gli altri metodi euristici, con un numero di siti più basso o equivalente; è possibile includere nell'algoritmo anche complessi vincoli spaziali (Ball, 2000; Possingham *et al.*, 2000) (Tabella 2).

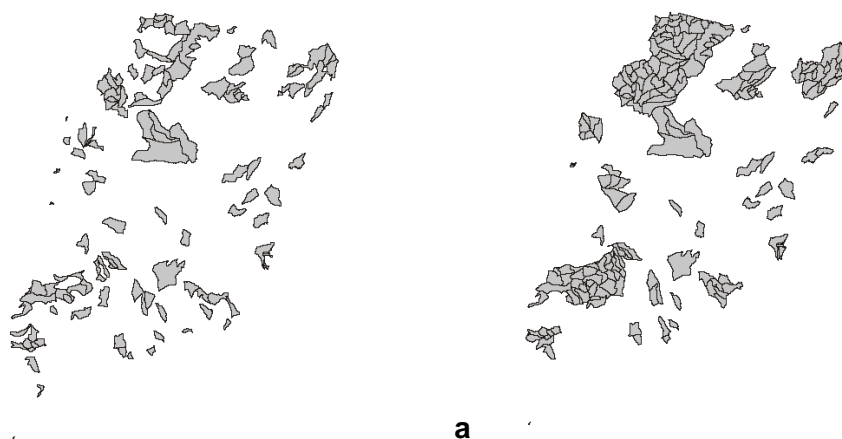
Algoritmo	Vantaggi	Svantaggi
Algoritmi esatti (programmazione lineare)	- Soluzione ottimale	- Tempo di esecuzione elevato con molti siti da valutare - Soluzione unica - Impossibilità di inserire complessi vincoli spaziali
Algoritmi euristici ( <i>greedy</i> e <i>rarity</i> )	- Procedura di calcolo intuitiva - Tempo di esecuzione breve	- Soluzione unica e sub-ottimale - Impossibilità di inserire complessi vincoli spaziali
Algoritmi euristici ( <i>simulated annealing</i> )	- Soluzioni multiple - Possibilità di inserire complessi vincoli spaziali	- Soluzioni sub-ottimali - Tempo di esecuzione abbastanza breve

**Tabella 2 – Confronto tra differenti algoritmi utilizzati per la selezione di aree protette.**

L'assenza di vincoli spaziali nel problema della minima rappresentazione, infatti, determina che l'area protetta risulti il più delle volte frammentata e quindi inappropriata, sia dal punto di vista ecologico che gestionale (cfr. 2.2.1).



Per risolvere il problema della frammentazione esistono diversi approcci: si possono imporre dei vincoli di adiacenza (Nicholls e Margules, 1993), oppure si può cercare di minimizzare il perimetro dell'area protetta. Questo secondo approccio è stato adottato da Possingham *et al.* (2000) che hanno introdotto nella funzione obiettivo implementata dall'applicativo MARXAN un ulteriore fattore di costo rappresentato dal perimetro dell'area protetta (Ball e Possingham, 2000) (Figura 2).



**Figura 2 – Sistema di riserve selezionato nella regione del *Columbia Plateau* escludendo (a) ed includendo (b) il perimetro dell'area protetta nel costo di conservazione (da Possingham *et al.*, 2000).**

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi software che implementano algoritmi matematici di ottimizzazione per la selezione di aree protette (ad es. SPEXAN, C-PLAN, MARXAN), per i quali sono state prodotte anche interfacce grafiche per l'utilizzo in ambiente GIS (ad es. SITES, CLUZ, PANDA, MARZONE).

Il primo software ad essere sviluppato è stato SPEXAN (*SPatially EXplicit ANnealing*), che implementa diversi algoritmi euristici, incluso l'algoritmo di *simulated annealing* (Ball e Possingham, 1999). La versione successiva del programma, indirizzata inizialmente alla selezione di riserve marine, è stata denominata MARXAN (*MARine Reserve EXplicit ANnealing*) (Ball e Possingham, 2000).

Come precedentemente accennato, nell'algoritmo di *simulated annealing* implementato da MARXAN è possibile introdurre diversi vincoli spaziali, come il livello di frammentazione dell'area protetta e la dimensione minima delle chiazze di habitat da tutelare. Il programma, inoltre, restituisce la frequenza con cui le unità di pianificazione sono selezionate nell'ambito di più di esecuzioni dell'algoritmo, consentendo di identificare siti prioritari per la realizzazione di un sistema efficiente di aree protette.

Attualmente sono in fase di sviluppo nuove versioni di MARXAN, che consentono di inserire informazioni probabilistiche su minacce e catastrofi (Game *et al.*, 2008) e di pianificare aree protette con finalità multiple (cfr. 3.2.2).

### **2.2.3 Applicazioni dell'approccio sistematico in ambiente marino**

In ambiente terrestre esistono numerosi esempi dell'uso di algoritmi matematici di ottimizzazione ai fini della pianificazione di aree protette (ad es. Cocks e Baird, 1989; Pressey *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2006).

In ambiente marino questi metodi sono stati adottati solo di recente, prevalentemente per individuare sistemi di riserve marine rappresentativi della biodiversità lungo estesi tratti costieri (Ardron *et al.*, 2001; Beck e Odaya, 2001; Sala *et al.*, 2002; Leslie *et al.*, 2003).

Gran parte degli studi, inoltre, sono stati condotti al di fuori del Mediterraneo, con un'unica applicazione riguardante le coste italiane (D'Ambrosio *et al.*, 2006).

Gli obiettivi naturalistici sono prioritari in quasi tutte le applicazioni, mentre gli aspetti socio-economici sono trascurati o analizzati a posteriori, per le difficoltà connesse sia alla loro rappresentazione cartografica sia al reperimento di dati (Stewart e Possingham, 2005). Tra gli obiettivi naturalistici si pone quasi sempre in primo piano la tutela degli habitat sottomarini (Leslie *et al.*, 2003; D'Ambrosio *et al.*, 2006), ma in alcune applicazioni sono considerati di rilievo per la conservazione anche i siti in cui si svolgono importanti processi ecologici e/o sono presenti specie di cui si conosce la distribuzione spaziale (Sala *et al.*, 2002).

Gli studi che considerano esplicitamente gli obiettivi socio-economici, invece, esprimono il costo per lo più in funzione dell'impatto della conservazione sulla pesca, utilizzando diversi indicatori come la distanza dalle zone portuali (Clark e Lombard, 2007), il numero di pescherecci (Sala *et al.*, 2002), la quantità di aragoste catturate (Stewart e Possingham, 2005). Klein *et al.* (2008a e b), recentemente, hanno formulato un indice rappresentativo dell'impatto relativo della conservazione sulle attività di pesca commerciali e tradizionali, ai fini della realizzazione di un sistema di aree protette lungo le coste della California Centrale.

L'approccio sistematico, quindi, è stato applicato in ambiente marino prevalentemente per la pianificazione di sistemi di riserve, lungo estesi tratti costieri e spesso trascurando importanti fattori sia ecologici che socio-economici.

## 2.3 TECNOLOGIE GIS E BASI DI DATI GEOGRAFICHE

I Sistemi Informativi Geografici (GIS), anche noti come Sistemi Informativi Territoriali (SIT), nascono alla fine degli anni 80', come strumenti per la gestione e l'analisi dell'informazione geografica (Peverieri, 1995).

Attualmente i GIS rappresentano un importante strumento di supporto alle decisioni in ambito territoriale, trovando applicazione in svariati settori come la difesa militare, la protezione civile, l'urbanistica, il trasporto pubblico, il turismo, il *geomarketing*, la gestione delle reti tecnologiche, la conservazione della natura e la ricerca.

### 2.3.1 Componenti

Un GIS è un insieme organizzato di hardware, software, dati, procedure e persone progettato per acquisire, archiviare, manipolare, analizzare e rappresentare in modo efficiente tutte le forme di informazione geografica (Figura 3).

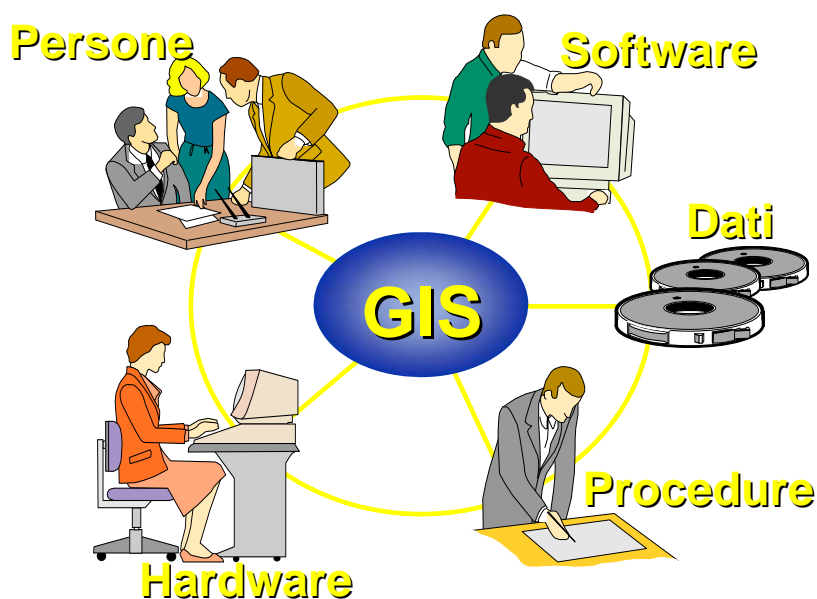


Figura 3 – Componenti di un GIS.

L'informazione geografica è riferita ad oggetti del mondo reale o che possono essere posizionati in esso.

L'hardware di un sistema GIS, in genere, è composto da un calcolatore ad elevate prestazioni, collegato eventualmente in rete con altri computer, e fornito di speciali periferiche per l'acquisizione dei dati (come *scanner* e *digitizer*) e per la restituzione cartografica (come stampanti e *plotter*). E' importante che il calcolatore possieda un'elevata capacità di memoria (RAM) ed una scheda video di buone prestazioni, nonché un masterizzatore CD/DVD per

l'archiviazione dei dati. In ogni caso, la scelta dei componenti hardware è legata a diversi fattori, come la tipologia di dati da gestire, la compatibilità con il software da adoperare, la disponibilità di risorse economiche e l'eventuale utilizzo di macchine già esistenti.

Un software GIS dovrebbe presentare caratteristiche basilari come velocità, affidabilità, modularità, facilità d'uso ed interfacciabilità con altri programmi. La facilità d'uso e l'interfacciabilità sono assicurate, rispettivamente, attraverso l'utilizzo di interfacce intuitive (*user friendly*) e l'adozione di standard aperti. Attualmente sono disponibili software sia commerciali che gratuiti; questi ultimi, tuttavia, presentano spesso funzionalità limitate o difficoltà nell'utilizzo. I dati di un sistema GIS possono essere geografici o descrittivi.

I dati geografici esprimono la configurazione dei luoghi in due o tre dimensioni e sono disponibili nei formati digitali raster e vettoriale (Figura 4). Nel formato raster le entità geografiche sono rappresentate da una matrice di celle (*pixel*), a ciascuna delle quali è associato un valore intero o decimale; nel formato vettoriale, invece, gli elementi territoriali sono rappresentati da primitive geometriche sia semplici (punti, linee, poligoni) che complesse (nodi ed archi). I dati vettoriali hanno dimensioni ridotte (in termini di *byte*), possono essere organizzati in livelli informativi (*layer*) e collegati all'archivio dei dati descrittivi, ma forniscono una rappresentazione semplificata della realtà e richiedono tempi lunghi per la digitalizzazione. I dati raster, invece, sono di facile acquisizione e ricchi di dettagli descrittivi, tuttavia spesso presentano grandi dimensioni e sono difficilmente modificabili. I formati vettoriale e raster sono complementari e, quindi, impiegati simultaneamente in molte applicazioni.

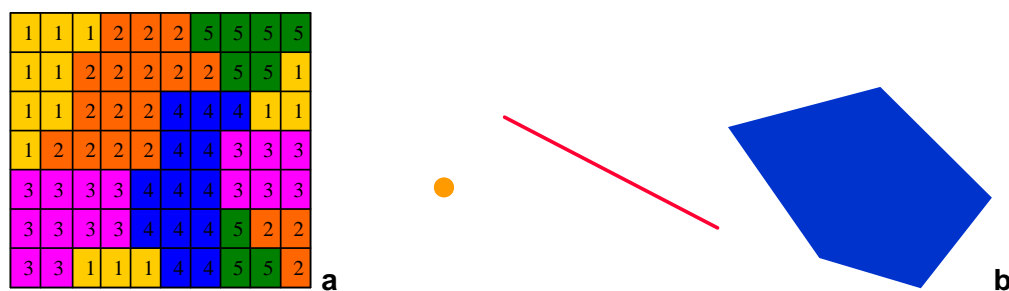


Figura 4 – Dati di tipo raster (a) e vettoriale (b).

I dati descrittivi o attributi sono associati ai dati vettoriali ed esprimono: le proprietà intrinseche delle primitive geometriche, come perimetro, area e ubicazione (*attributi metrici*); le modalità di rappresentazione, come colore, spessore e stile delle linee (*attributi grafici*); informazioni di varia natura come testi, numeri, suoni e immagini (*attributi descrittivi e complessi*).

Dati geografici e descrittivi sono corredati dai *metadata*, ovvero informazioni relative ai dati stessi, come descrizioni sui tempi e le modalità d'acquisizione, sull'accuratezza e la precisione, sul significato degli attributi, sulle norme di utilizzo, ecc...

Le procedure GIS comprendono la sequenza di operazioni necessarie per l'acquisizione, l'archiviazione, l'elaborazione e la restituzione dei dati; tali operazioni sono realizzate utilizzando sia funzionalità disponibili nei software GIS che sviluppate da programmatori.

Le persone che adoperano un GIS possono essere semplici utenti, come studenti, ricercatori, funzionari pubblici, dipendenti di società private, o programmatori che personalizzano programmi già esistenti e realizzano applicazioni dedicate.

### **2.3.2 Funzionalità**

I software GIS dispongono di funzioni di base, applicative e di programmazione per la gestione dei dati geografici e descrittivi.

Le funzioni di base, presenti in ogni software GIS, consentono l'acquisizione, la georeferenziazione, la strutturazione, l'editing e l'interrogazione dei dati, nonché la rappresentazione dei risultati.

Le funzioni applicative, disponibili in genere come estensioni del software di base, consentono delle operazioni aggiuntive, come la conversione, la stampa e l'analisi spaziale.

Le funzioni di programmazione rendono possibile la personalizzazione delle interfacce e delle procedure di analisi, nonché l'integrazione con i modelli numerici nelle fasi di pre-processamento e post-processamento dei dati.

#### **Acquisizione e georeferenziazione**

I dati geografici possono essere acquisiti da formato digitale (immagini telerilevate, dati GPS) o da supporto cartaceo (tavole topografiche). Nel primo caso i dati possono essere importati direttamente o previa conversione di formato; nel secondo caso è necessaria un'operazione di numerizzazione, ovvero di scansione o vettorializzazione. La scansione è eseguita tramite scanner e restituisce dati di tipo raster, la vettorializzazione, invece, può essere eseguita da monitor o tramite *digitizer* e restituisce dati di tipo vettoriale.

I dati descrittivi possono essere acquisiti da file o immessi utilizzando una tastiera o degli strumenti più sofisticati come i lettori ottici.

I dati geografici richiedono di essere georeferiti, ovvero collocati in un sistema di riferimento cartografico. I software GIS forniscono diverse funzioni di georeferenziazione, a seconda della tecnica che si vuole utilizzare; tali tecniche sono l'assegnazione diretta di coordinate, la segmentazione dinamica e la geocodifica. L'assegnazione diretta di coordinate richiede che siano note le coordinate iniziali e finali di un numero finito di punti (almeno un paio) detti punti di controllo e comporta una trasformazione o deformazione dei dati. La segmentazione dinamica consente di collocare entità puntuali o lineari lungo delle linee, utilizzando progressive chilometriche. La geocodifica, infine, rende possibile la collocazione geografica di un oggetto in base ad un indirizzo testuale. Queste ultime due tecniche di georeferenziazione si applicano esclusivamente a dati vettoriali.

### Archiviazione ed interrogazione

Nei GIS i dati geografici sono strutturati e memorizzati nei formati raster o vettoriale, mentre i dati descrittivi sono strutturati secondo i modelli logici implementati dai sistemi per la gestione delle basi di dati (*Data Base Management System* o DBMS).

Esistono 4 tipologie di modelli per la realizzazione di una base di basi di dati: gerarchico, reticolare, relazionale, ad oggetti. I software GIS adottano generalmente il modello relazionale ed associano l'archivio descrittivo a quello grafico mediante dei codici (cfr. 2.3.3).

L'archivio grafico-alfanumerico è consultabile con interrogazioni per criteri di attributo, per criteri geografici e di aggregazione. Le interrogazioni per criteri di attributo si basano sul valore dei dati descrittivi associati ai dati geografici ed impiegano la sintassi del linguaggio SQL (*Structured Query Language*). Le interrogazioni per criteri geografici, invece, si basano sulle relazioni spaziali tra i dati geografici come adiacenza, intersezione, inclusione. Le interrogazioni per criteri di aggregazione, infine, aggregano le entità geografiche o descrittive sulla base dei valori di un attributo, applicando funzioni statistiche ai valori degli altri attributi.

### Editing ed analisi spaziale

I software GIS consentono di creare o modificare i dati vettoriali mediante funzioni di *editing* presenti anche negli applicativi per il disegno automatico (*Computer Aided Design*, CAD). La generazione di nuovi dati, tuttavia, può essere anche il risultato dell'applicazione di una procedura di analisi spaziale.

L'analisi spaziale (*geoprocessing*) è un processo che permette di definire e comprendere le relazioni spaziali che sussistono tra elementi geografici e può essere applicata sia a dati vettoriali che raster.

L'analisi spaziale sui dati vettoriali si applica ad uno o più livelli informativi. Tale tipo di analisi comprende, ad esempio, funzioni per la creazione di aree di rispetto (*buffer*) e per la sovrapposizione (*overlay*) tra elementi geometrici. I buffer sono creati intorno a singoli oggetti geografici, in base ad una distanza definita dall'utente o ricavata da uno o più attributi. Le funzioni di sovrapposizione consentono, ad esempio, l'unione e l'intersezione tra più livelli informativi.

L'analisi spaziale sui dati raster si applica ad uno o più livelli informativi. In quest'ultimo caso è possibile combinare i valori di più celle applicando operatori matematici e funzioni.

Un altro tipo di analisi spaziale è quella che si applica ai dati tridimensionali sia di tipo vettoriale (*Triangular Irregular Network* o TIN) che raster (*Digital Elevation Model* o DEM). Tale tipo di analisi consente di estrarre informazioni da una superficie, come il volume, l'estensione areale, le curve isovalore, i profili altimetrici, la visibilità, la pendenza, l'orientamento, ecc.

Analisi spaziali più complesse sono l'analisi statistica spaziale e l'analisi di rete. Le funzioni di statistica spaziale analizzano la distribuzione di oggetti geografici, attraverso l'uso di parametri statistici e consentono di eseguire test sulla significatività dei risultati. Tali funzioni si basano sul

principio che le entità vicine sono più simili tra loro delle entità lontane (Tobler, 1970) e consentono di interpolare dei punti campionati attraverso la stima dell'autocorrelazione spaziale. Le funzioni per l'analisi di rete, invece, si applicano a grafi di archi e nodi e permettono, ad esempio, di calcolare il carico di una rete ed il percorso ottimale tra due punti.

### Visualizzazione e restituzione cartografica

La visualizzazione dei dati in un GIS è dinamica, in quanto esistono strumenti che consentono di modificare la rappresentazione grafica, la scala di osservazione e il taglio cartografico delle mappe, i cui livelli informativi possono essere accesi o spenti.

I software GIS offrono una ricca simbologia per la resa grafica dei dati raster e vettoriali, anche in tre dimensioni, sulla base degli attributi ad essi associati, come colori graduati e simboli proporzionali.

Le mappe possono essere arricchite con ulteriori elementi grafici che facilitano la lettura e l'interpretazione dei contenuti, come cartigli, reticolati geografici, barre di scala, frecce del nord e legende.

Le mappe realizzate possono essere stampate su supporto cartaceo tramite *plotter*, esportate in formati grafici vettoriali (ad es. WMF) o fotografici (ad es. JPEG, TIFF) oppure consultate tramite programmi di visualizzazione (visori) o *web browser*.

### 2.3.3 Modelli di dati

Una base di dati ben strutturata richiede un'attenta progettazione, a sua volta preceduta da un'accurata raccolta ed analisi dei requisiti. Questi ultimi, espressi in linguaggio naturale, definiscono sia il contenuto della base di dati che le operazioni che saranno realizzate su di essa.

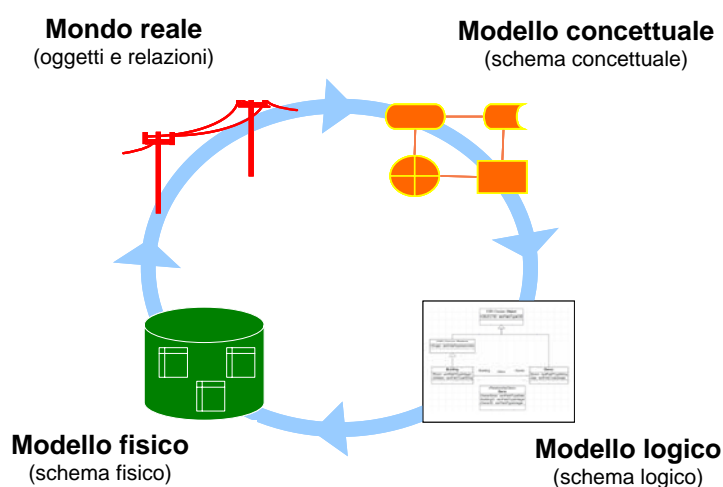
La progettazione comprende diverse fasi, caratterizzate da un livello crescente di astrazione (Atzeni *et al.*, 1999; MacDonald, 2001) (Figura 5).

Nella fase di progettazione concettuale lo schema della base di dati GIS è descritto ad un elevato livello di astrazione, indipendentemente dai dettagli implementativi. I contenuti sono spesso modellati in uno schema concettuale di tipo Entità-Relazione (ER), in cui le informazioni da archiviare sono rappresentate come entità caratterizzate da attributi e relazioni.

Nella fase di progettazione logica, invece, lo schema concettuale è tradotto in uno schema logico, indipendente dai dettagli fisici di implementazione, ma basato su un determinato modello logico. Il modello logico più diffuso è quello relazionale. In una base di dati relazionale (RDBMS) i dati sono organizzati in tabelle, dove le righe sono denominate *record* e le colonne sono indicate come *campi*. Le tabelle sono collegate tra loro ed ai dati vettoriali attraverso campi comuni denominati *chiavi*. I legami non sono fissi ma generati quando servono e questa caratteristica rende il sistema facilmente modificabile. Più efficiente del modello relazionale è il più recente modello ad oggetti, che consente di gestire dati geografici e descrittivi in un unico

archivio centralizzato e di definire per essi delle regole comportamentali, come relazioni, associazioni topologiche ed elenchi di valori predefiniti per gli attributi. In una base di dati ad oggetti (OODBMS) ogni entità del mondo reale è considerata un *oggetto* a cui è associato un *identificatore* unico. Per ogni oggetto è possibile definire gli attributi ed i metodi che ne consentono l'accesso e la manipolazione. Tutti gli oggetti che condividono gli stessi attributi e metodi costituiscono una *classe*, le cui proprietà possono essere ereditate da altre classi di gerarchia superiore (Peverieri, 1995).

Nella fase di progettazione fisica, infine, sulla base delle caratteristiche del software e dell'hardware, si definisce lo schema della base di dati, successivamente popolato con i dati disponibili.



**Figura 5 – Fasi della progettazione di una base di dati.**

Al fine di facilitare la realizzazione di basi di dati geografiche, negli ultimi anni la ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), società d'avanguardia nello sviluppo di applicativi GIS, ha promosso, in collaborazione con esperti della comunità scientifica, lo sviluppo di modelli di dati (*data model*), ovvero schemi di riferimento per la rappresentazione dell'informazione geografica in diversi settori applicativi. Un modello di dati semplifica l'implementazione di una base di dati GIS ed offre una struttura comune per la condivisione delle informazioni e lo sviluppo di applicazioni (*interoperabilità*).

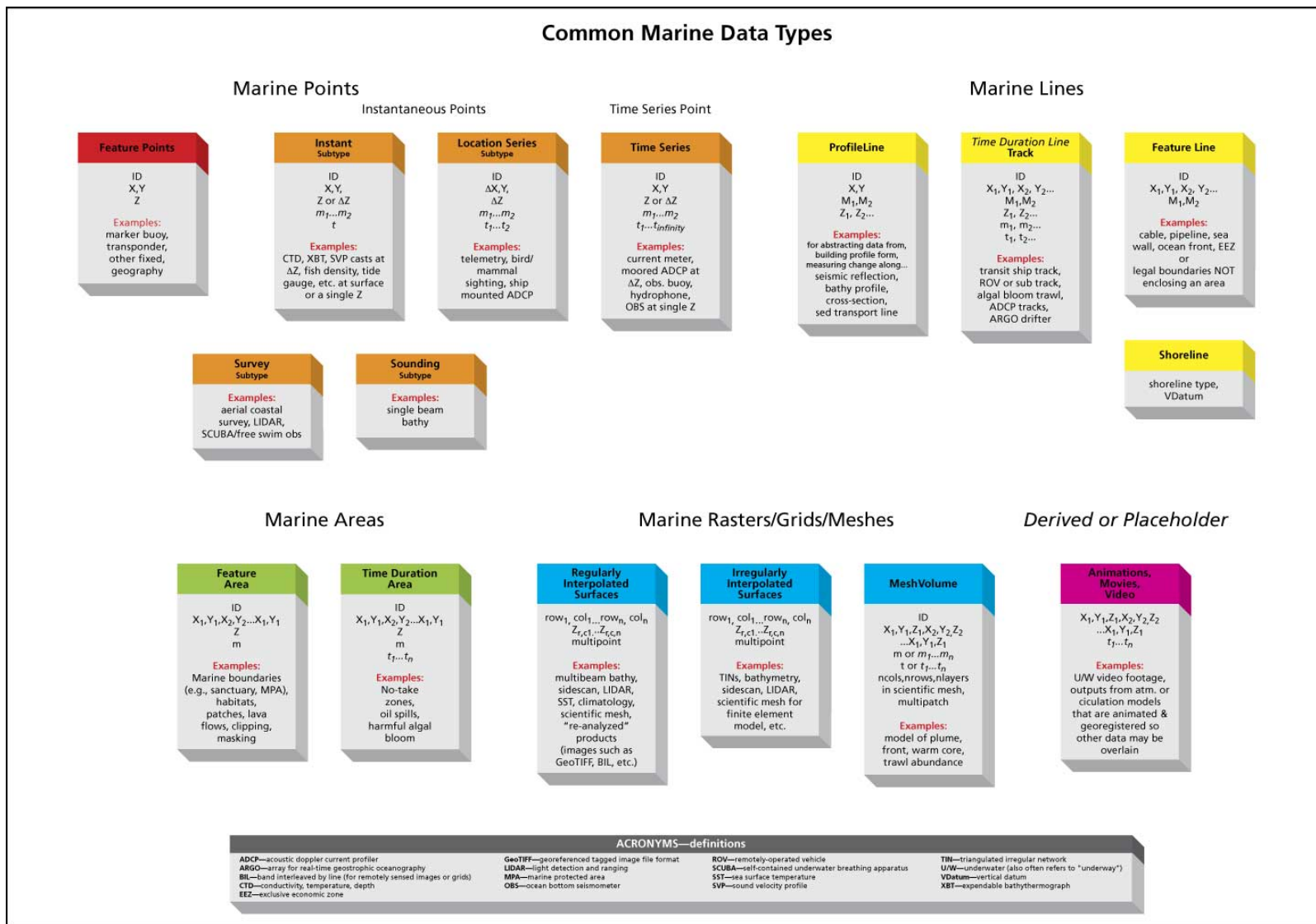
I modelli di dati della ESRI sono stati prodotti in un linguaggio grafico standard noto come *Universal Modeling Language* o UML, ampiamente impiegato per lo sviluppo di applicativi software. I diagrammi UML rappresentano con elementi grafici lo schema della base di dati, indipendentemente dall'applicativo GIS utilizzato.

Attualmente sono disponibili diversi modelli per la rappresentazione di dati inerenti numerosi settori applicativi (trasporti, idrologia, conservazione, geologia, cartografica di base, servizi energetici, ecc.), scaricabili gratuitamente dalla rete (<http://support.esri.com/datamodels>). Tra i



modelli è disponibile anche un diagramma UML per la rappresentazione di tipologie comuni di dati marini (Breman *et al.*, 2002; Wright *et al.* 2007).

Il modello di dati marini (*Marine Data Model*, *ArcMarine* o MDM) è stato sviluppato con l'intento di fornire uno schema generico e flessibile per rappresentare la natura tridimensionale e la variabilità temporale dei sistemi marini in un geodatabase ARCGIS (Zeiler, 2000) (cfr. 3.2.1). Tale modello, ad esempio, propone classi per rappresentare *punti istantanei*, ovvero osservazioni realizzate in un punto in un determinato tempo (come i rilievi con CTD) o *percorsi*, ovvero traiettorie seguite da un oggetto in movimento (come i tracciati ROV) (Figura 6).



## 3 METODI

### 3.1 AMP DI VENTOTENE E SANTO STEFANO

Al fine di valutare metodologie e strumenti, è stata scelta come area di studio l'AMP di Ventotene e Santo Stefano, sita nell'arcipelago Pontino (Lazio, Italia).

Diverse sono state le motivazioni che hanno indotto alla scelta di quest'area. Innanzitutto, le isole di Ventotene e Santo Stefano rappresentano una delle poche AMP per le quali sono disponibili numerosi dati, su aspetti non solo naturalistici ma anche socio-economici, in genere difficilmente reperibili. Questi dati sono stati acquisiti negli anni con diversi progetti, di cui alcuni finalizzati a fornire un quadro conoscitivo dell'area (ad es. Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005), altri a valutare gli effetti della protezione (Guidetti *et al.*, 2008). Gran parte delle informazioni disponibili, inoltre, sono state fornite direttamente dall'Ente Gestore, nell'ambito del progetto per l'implementazione del GIS dell'AMP, realizzato dall'Università degli Studi di Napoli Parthenope, come Unità Locale di Ricerca (ULR) del Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare (CoNISMa) (Russo *et al.*, 2007). L'area di studio, infine, si può considerare rappresentativa di altre AMP presenti in Mediterraneo, istituite per lo più su isole di piccole dimensioni (Francour *et al.*, 2001).

#### 3.1.1 Istituzione

L'area naturale marina protetta "Isole di Ventotene e Santo Stefano" comprende le acque che circondano le isole di Ventotene e Santo Stefano, le quali, insieme alle isole di Ponza, Zannone e Palmarola, costituiscono l'arcipelago Pontino (Figura 7).

L'AMP è stata istituita il 12 dicembre 1997 dal Ministero dell'Ambiente, ai sensi della legge quadro sulle aree protette n. 394/91. In seguito, la tutela è stata estesa anche a terra con il decreto ministeriale dell'11 maggio 1999, che ha sancito la nascita dell'omonima Riserva Naturale Terrestre.

In accordo al decreto istitutivo, le finalità dell'AMP sono:

- a. la protezione ambientale dell'area marina interessata;
- b. la tutela e la valorizzazione delle risorse biologiche e geomorfologiche della zona;
- c. la diffusione e la divulgazione della conoscenza dell'ecologia e della biologia degli ambienti marini e costieri dell'area naturale protetta e delle peculiari caratteristiche ambientali e geomorfologiche della zona;
- d. l'effettuazione di programmi di carattere educativo per il miglioramento della cultura generale nel campo dell'ecologia e della biologia marina;
- e. la realizzazione di programmi di studio e di ricerca scientifica nei settori dell'ecologia, della biologia marina e della tutela ambientale, al fine di assicurare la conoscenza sistematica dell'area;

- f. la promozione di uno sviluppo socio-economico compatibile con la rilevanza naturalistico-paesaggistica dell'area, anche privilegiando attività tradizionali locali già presenti.

L'AMP si estende per circa 2800 ha di superficie marina, con 10 km di costa ed un limite esterno verso il largo che per lo più segue la batimetrica dei 100 m.

Come in altre AMP italiane, la superficie dell'area protetta è suddivisa in zone caratterizzate da un differente regime di tutela (Figura 7).

La Zona A, a protezione integrale, è sita lungo il versante meridionale dell'isola di Santo Stefano e si estende per circa 400 ha di superficie marina ed 1 km di costa. La Zona B, a protezione generale, si estende per lo più lungo il versante occidentale e meridionale dell'isola di Ventotene, per circa 1600 ha di superficie marina e 6 km di costa. La Zona C, a protezione parziale, si estende lungo il versante nord-orientale dell'isola di Ventotene, per circa 800 ha e 3 km di costa.

Nell'ambito delle tre zone alcune attività sono vietate, altre invece sono soggette a limitazioni e/o autorizzazioni (Tabella 3).

Attualmente la gestione dell'AMP è affidata al Comune di Ventotene, mentre la sorveglianza è esercitata dalla Capitaneria di Porto di Gaeta e dalle polizie degli enti locali delegati alla gestione (art. 19, co. 7, L. 394/1991; art. 2, co. 17, L. 426/1998).

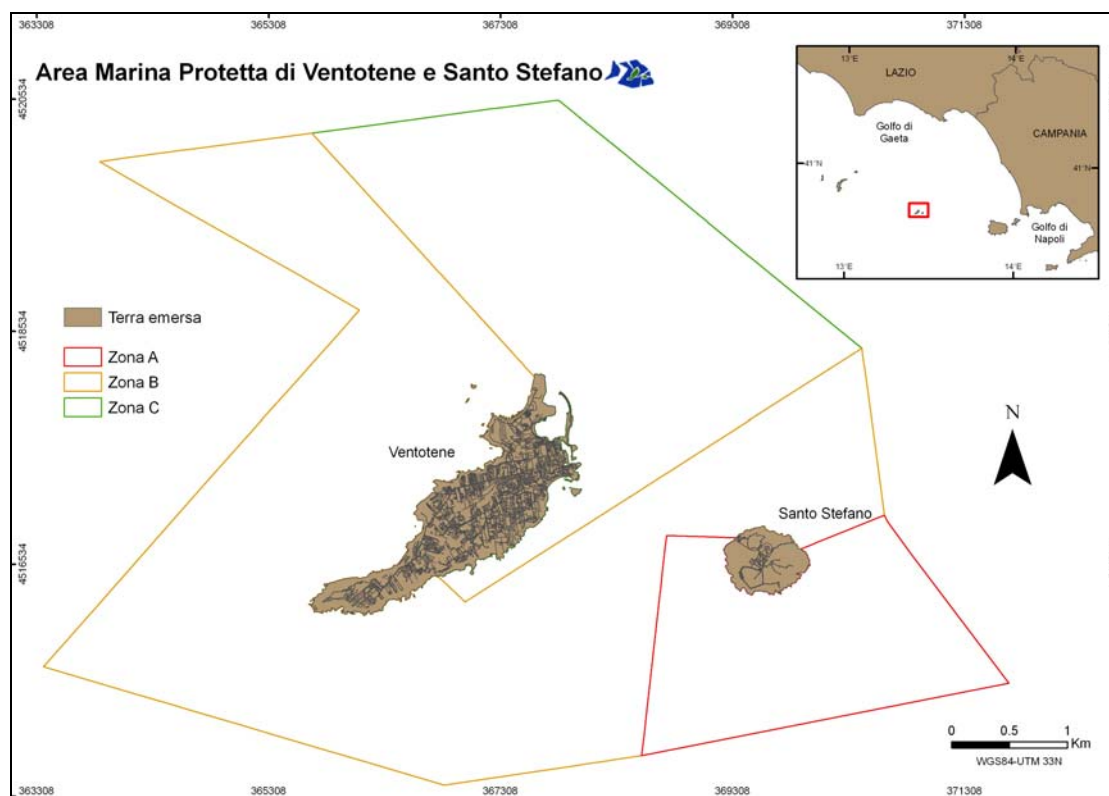



Figura 7 – Inquadramento territoriale dell'AMP di Ventotene e Santo Stefano.

	Navigazione	Ancoraggio	Balneazione	Pesca professionale	Pesca sportiva	Visite guidate	Immersioni con ARA
<b>ZONA A</b>	L/A	N	S	N	N	N	L/A
<b>ZONA B</b>	L/A	L	S	L/A	L/A	A	A
<b>ZONA C</b>	S	L	S	L/A	L/A	A	S

- L** attività soggetta a limitazioni  
**A** attività consentita con autorizzazione  
**S** attività consentita  
**N** attività non consentita

**Tabella 3 - Regolamentazione delle attività.**

### 3.1.2 Caratteri generali

Tutte le isole dell'arcipelago Pontino sono di origine vulcanica; Ventotene e Santo Stefano sono le più recenti e risalgono a circa 800000 anni fa.

Ventotene è quasi completamente costituita da tufi gialli, ad eccezione della costa compresa tra Punta dell'Arco e Punta Pascone, dove sono presenti estesi affioramenti di lave acide trachitiche e basaltiche. Santo Stefano, invece, è principalmente composta da basalto.

Si ritiene che si siano verificate circa 27 eruzioni, alcune a carattere effusivo ed altre a carattere esplosivo, intervallate da periodi di calma. L'ultima eruzione vulcanica, di tipo esplosivo, risale a 0.15-0.3 Ma (milioni di anni) ed è testimoniata da un deposito di prodotti piroclastici, di circa 30 m di spessore, chiamato *Tufo di Parata Grande* (Barberi *et al.*, 1967; Metrich *et al.*, 1988) (Figura 8). E' stato ipotizzato che, proprio in seguito a questa eruzione, si sia formata una depressione calderica; l'isola di Ventotene dovrebbe rappresentare ciò che resta di questa antica depressione (Zitellini *et al.*, 1984; Bellucci *et al.*, 1999).

I fondali marini che circondano le isole di Ventotene e Santo Stefano sono estremamente eterogenei, il che favorisce l'insediamento di popolamenti bentonici diversificati. La presenza di falesie, cavità e piccole grotte consente l'insediamento di organismi sciafili (amanti della luce) già a pochi metri di profondità. Di notevole rilievo naturalistico sono anche le praterie della fanerogama marina *Posidonia oceanica*, che, sebbene meno estese rispetto a quelle presenti intorno alle altre isole pontine, raggiungono qui profondità maggiori (oltre i 40 m), grazie all'elevata trasparenza delle acque. Le numerose franate, tipiche delle falesie tufacee, costituiscono importanti luoghi di reclutamento per specie ittiche (Figura 9). Altro aspetto di

rilievo è il passo stagionale di specie pelagiche di grosse dimensioni, quali tonni, palamite, ricciole e grossi cetacei (Ministero Marina Mercantile, 1990; Di Stefano, 2004).

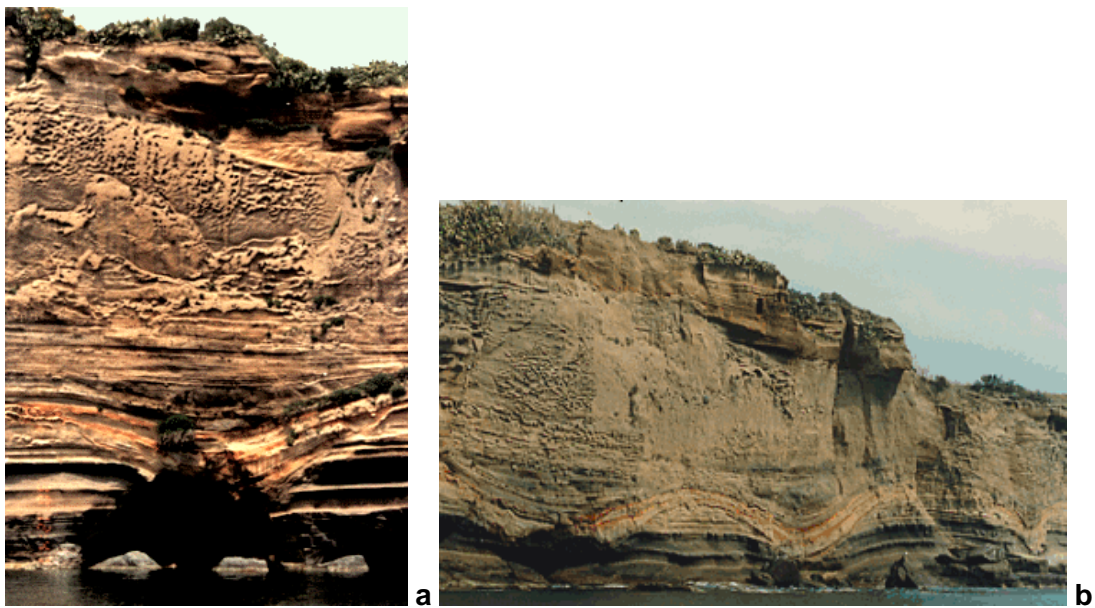


Figura 8 - Tufo di Parata Grande (a) e falesia di Ventotene con paleosuoli e prodotti dell'ultima eruzione (b).

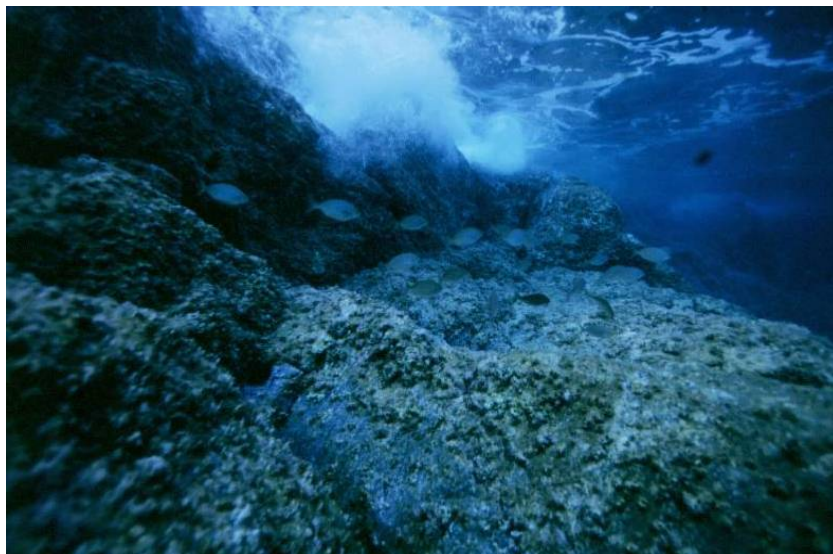


Figura 9 - Paesaggio subacqueo in Zona A (Santo Stefano).

## 3.2 SOFTWARE

Nell'ambito del progetto di ricerca sono stati utilizzati diversi software.

Nella fase di progettazione della base di dati GIS è stato impiegato l'applicativo VISIO 2003 (Microsoft Office). Tale software, che fornisce strumenti per generare diverse tipologie di diagrammi, è stato utilizzato per produrre lo schema della base di dati GIS nella notazione UML. Nella fase di implementazione del sistema GIS ed analisi spaziale dei dati sono stati adoperati gli applicativi desktop della piattaforma ARCGIS 9.1. I dati elaborati sono stati poi impiegati in MARXAN 2.0.2, per individuare siti prioritari per la conservazione in accordo a differenti scenari. L'ambiente di calcolo MATLAB 7, il software di statistica PRIMER 6 e l'applicativo GRAPHER 3 sono stati altresì utilizzati per rappresentare ed analizzare i risultati ottenuti per i differenti scenari di conservazione.

Di seguito è fornita una breve descrizione della piattaforma ARCGIS e dell'applicativo MARXAN.

### 3.2.1 Piattaforma ARCGIS

La piattaforma ARCGIS, sviluppata dalla ESRI, offre diverse tipologie di applicativi per l'acquisizione, l'archiviazione, l'analisi e la visualizzare dell'informazione geografica.

La scelta di tale piattaforma è legata a diversi fattori, tra cui l'elevato numero di funzionalità offerte rispetto ad altri applicativi GIS (soprattutto quelli *open source*) e l'ampio utilizzo presso le pubbliche amministrazioni. Gli applicativi ARCGIS, inoltre, condividono lo stesso modello ad oggetti o *geodatabase* (Zeiler, 2000), preferibile al modello relazionale per l'integrazione di dati spaziali e descrittivi. Lo stesso modello di dati (*Marine Data Model*), utilizzato come schema di riferimento per la progettazione della base di dati geografica, è stato prodotto per la rappresentazione delle informazioni in un geodatabase ARCGIS (cfr. 2.3.3 e 3.3.2). Dalla versione 9, inoltre, ARCGIS fornisce un ambiente di sviluppo grafico, detto MODEL BUILDER, che consente di automatizzare i flussi di lavoro e di realizzare interfacce grafiche per le procedure sviluppate. Infine, diversi strumenti di analisi, a supporto della conservazione della natura, sono stati sviluppati per l'impiego sia diretto che indiretto in ARCGIS ed, in genere, nei software ESRI. La piattaforma ARCGIS è disponibile con tre livelli di licenza (ARCVIEW, ARCEEDITOR e ARCCINFO), caratterizzati rispettivamente da un numero crescente di funzionalità offerte.

Nell'ambito del progetto di dottorato sono stati utilizzati gli applicativi desktop della piattaforma ARCGIS 9.1 (licenza ARCCINFO) ed, in particolare: ARCCATALOG per implementare il geodatabase, ARCMAP per digitalizzare dati e produrre mappe, ARCTOOLBOX per realizzare analisi spaziali.

Nel geodatabase ARCGIS i dati geografici e descrittivi sono memorizzati in un unico file di sistema (MDB). I dati geografici sono rappresentati in classi di elementi (*feature class*) di differente geometria (ad es. punti, linee, poligoni), eventualmente riuniti in gruppi di classi (*feature dataset*) che condividono lo stesso riferimento spaziale (sistema di coordinate ed



estensione). I dati descrittivi, invece, sono raggruppati all'interno di classi di oggetti (*object class*). All'interno del geodatabase possono essere definite relazioni descrittive (*relationships class*) e topologiche tra le classi di oggetti (*topology*), valori predefiniti per gli attributi (*domain*) ed altre regole comportamentali (Perencsik *et al.*, 2004). Le classi di elementi possono essere utilizzate per produrre livelli informativi (*layer*), che definiscono le modalità di rappresentazione e di consultazione dei dati. I livelli informativi, infatti, specificano i simboli e la scala di visualizzazione dei dati geografici, nonché eventuali collegamenti ipertestuali a risorse esterne. I livelli informativi possono essere creati in ARCMAP e sovrapposti per produrre un documento mappa (*map*).

ARCTOOLBOX è l'interfaccia di ARCGIS agli strumenti di analisi spaziale (*tools*) forniti dal sistema. In aggiunta agli strumenti offerti, è possibile implementare ulteriore funzionalità di analisi, utilizzando semplici linguaggi di scripting come il Python (Beri, 2007), o il linguaggio grafico del MODEL BUILDER, dove funzioni e dati sono rappresentati con specifici simboli concatenati mediante frecce. Alcune procedure d'analisi utilizzate in questo studio sono state implementate con il MODEL BUILDER, al fine di produrre strumenti dedicati a supporto della gestione di aree protette.

### 3.2.2 MARXAN

MARXAN è il software più utilizzato al mondo nell'ambito della pianificazione sistematica di aree protette, dalla selezione di siti prioritari per la conservazione alla valutazione di aree già sottoposte a tutela (Stewart *et al.*, 2003).

Il programma è stato sviluppato presso l'Università del Queensland per ridefinire lo schema di zonizzazione della Grande Barriera Corallina Australiana (Possingham, 2000), utilizza l'ambiente DOS ed è completamente gratuito. L'applicativo, attualmente alla versione 2.0.2, è in continuo sviluppo ed a breve saranno disponibili versioni in grado di considerare fattori stocastici e costi multipli.

MARXAN implementa diversi algoritmi di ottimizzazione, tra cui quello di *simulated annealing*, per risolvere una particolare classe di problemi connessi alla pianificazione di aree protette (*Minimum Set Problems*), che consiste nell'individuare dei siti che assicurino la tutela di un ammontare minimo di biodiversità al minor costo possibile (McDonnell *et al.*, 2002) (cfr. 2.2.2.3).

In particolare, gli algoritmi minimizzano la seguente funzione (*objective function*):

$$\sum_{PUs} Cost + BLM \sum_{PUs} Boundary + \sum_{ConValue} SPF * Penalty + CostThresholdPenalty$$

Il primo termine rappresenta il costo totale dell'area protetta, ottenuto sommando il costo (*Cost*) associato a ciascuna unità di pianificazione (PU) inclusa nell'area protetta.

Il secondo termine, opzionale, rappresenta il costo associato al grado di frammentazione dell'area protetta, ottenuto sommando la lunghezza dei confini dell'area protetta per un fattore



di peso (*Boundary Length Modifier* o BLM). La lunghezza del confine è determinata dalla somma della lunghezza dei bordi che le unità protette condividono con le unità non protette. Il valore da attribuire al parametro BLM viene individuato in modo sperimentale (in quanto dipende dalla geometria e dai costi associati alle singole unità di pianificazione), ma, in generale, al crescere di questo valore aumenta il peso assegnato al costo di frammentazione e, quindi, la compattezza dell'area protetta.

Il terzo termine rappresenta la penalità da pagare quando le caratteristiche di conservazione non sono adeguatamente rappresentate. Tale penalità è un'approssimazione del costo da pagare per raggiungere il livello minimo di rappresentazione. Il parametro SPF o *Species Penalty Factor*, come il parametro BLM, è un fattore di peso determinato empiricamente per ciascuna caratteristica di conservazione; infatti, se valori troppo bassi del parametro possono impedire il raggiungimento del livello di rappresentazione desiderato, valori troppo elevati riducono la capacità del programma di trovare soluzioni efficienti (ovvero compatte ed a basso costo).

L'ultimo termine, infine, è opzionale e rappresenta la penalità da pagare quando il costo dell'area protetta supera una certa soglia (Game e Grantham, 2008).

Marxan richiede e restituisce dati in formato ASCII. La maggior parte dei file contiene variabili delimitate da separatori di campo.

I file di input necessari ed opzionali sono elencati in Tabella 4.

File	Richiesto
<i>Input Parameter File</i>	Si
<i>Conservation Feature File</i>	Si
<i>Planning Unit File</i>	Si
<i>Planning Unit versus Conservation Feature File</i>	Si
<i>Boundary Length File</i>	No
<i>Block Definition File</i>	No

**Tabella 4 – File di input richiesti dall'applicativo MARXAN.**

Il file dei parametri di input (*Input Parameter File*) è utilizzato per definire i valori dei parametri che regolano l'esecuzione di MARXAN (ad es. BLM, numero di iterazioni e di esecuzioni dell'algoritmo di *simulated annealing*) ed il percorso dei file di input e di output. Questo file può essere prodotto utilizzando un'interfaccia grafica (*Inedit.exe*).

Il file delle caratteristiche di conservazione (*Conservation Feature File*) contiene informazioni su ciascuna caratteristica, come l'identificativo numerico, la denominazione, i requisiti di rappresentazione e la penalità da pagare se i requisiti non sono soddisfatti (SPF).

Il file delle unità di pianificazione (*Planning Unit File*) contiene le informazioni associate a ciascuna unità di pianificazione, come l'identificativo numerico, il costo, la posizione geografica e lo stato. Le unità, infatti, possono essere incluse o escluse a priori dall'area protetta.

Il file delle unità di pianificazione rispetto alle caratteristiche di conservazione (*Planning Unit versus Conservation Feature File*) contiene informazioni sull'ammontare delle caratteristiche di conservazione in ciascuna unità di pianificazione.

Il file della lunghezza del confine (*Boundary Length File*) contiene informazioni sulla lunghezza reale o "effettiva" dei limiti condivisi tra le unità di pianificazione. Non è un file necessario ma utile per incrementare la compattezza dell'area protetta.

Il file per la definizione a blocchi (*Block Definition File*) è opzionale e consente di definire i requisiti di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione raggruppandole in tipologie.

MARXAN produce fino ad 8 tipologie di file di output, in base a quanto specificato nel file di configurazione (Tabella 5). Le informazioni contenute in tali file possono essere importate in un programma GIS per produrre mappe. Dal momento che l'algoritmo di *simulated annealing* può essere eseguito più volte per un determinato scenario di conservazione, alcuni file di output contengono informazioni relative a singole soluzioni, mentre altri riassumono i risultati ottenuti nell'ambito di tutte le esecuzioni.

File
<i>Solution for each run</i>
<i>Best solution from all runs</i>
<i>Missing value information for each run</i>
<i>Missing value information for the best run</i>
<i>Summary information</i>
<i>Scenario details</i>
<i>Summed solution</i>
<i>Screen log file</i>
<i>Snapshot files</i>

**Tabella 5 – File di output prodotti dall'applicativo MARXAN.**

Il file della soluzione per ciascuna esecuzione (*Solution for each run*), elenca le unità di pianificazione selezionate nella soluzione relativa ad una singola esecuzione.

Il file della soluzione migliore tra tutte le esecuzioni (*Best solution from all runs*) elenca le unità di pianificazione selezionate nella soluzione migliore, ovvero nella soluzione con il valore più basso della funzione obiettivo, ottenuta nell'ambito di più esecuzioni del programma.

Il file dei valori mancati per ogni esecuzione (*Missing value information for each run*), contiene informazioni su come le caratteristiche di conservazione sono rappresentate nella soluzione

prodotta ad ogni esecuzione, ovvero riporta il livello minimo di rappresentazione richiesto per ogni caratteristica in relazione a quello effettivamente rappresentato.

Il file dei valori mancati per la soluzione migliore (*Missing value information for the best run*) contiene le stesse informazioni del file descritto precedentemente, ma relative alla soluzione con il valore più basso della funzione obiettivo.

Il file di riepilogo (*Summary information*) contiene un riepilogo di informazioni per le soluzioni prodotte ad ogni esecuzione, come il valore della funzione obiettivo, il costo totale, la lunghezza del perimetro dell'area protetta, il numero di caratteristiche di conservazione non adeguatamente rappresentate.

Il file con i dettagli sullo scenario (*Scenario details*) contiene una lista dei valori dei principali parametri utilizzati dal programma, tra cui il fattore BLM ed il numero di esecuzioni.

La soluzione sommata (*Summed Solution*) contiene la frequenza di selezione di ciascuna unità di pianificazione nell'ambito di più esecuzioni del programma. Questo file fornisce informazioni sull'importanza di ciascuna unità per realizzare un'area protetta efficace ed efficiente.

Il file di registro (*Screen log file*) contiene le informazioni che il programma visualizza sullo schermo del computer in fase di esecuzione.

Il file dell'istantanea (*Snapshot files*) rappresenta la soluzione prodotta dal programma in un dato istante della procedura di ottimizzazione. Questo file è utile per valutare come l'algoritmo di *simulated annealing* lavora al variare dei parametri di ingresso.

### 3.3 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA GIS

#### 3.3.1 Raccolta dei dati

Un'indagine ed analisi della bibliografia esistente sulle isole di Ventotene e Santo Stefano è stata condotta al fine di avere un quadro completo della tipologia dei dati acquisiti nell'area di studio e della loro effettiva reperibilità e utilità. A tal fine sono state consultate varie fonti, come pubblicazioni scientifiche, relazioni tecniche, tesi di laurea e di dottorato, libri divulgativi, opuscoli e siti internet (ad es. Zitellini *et al.*, 1984; Ministero Marina Mercantile, 1990; Rinaldi, 1994; Bellucci *et al.*, 1999; Ravenna e Coraggio, 2000; Matrone, 2006; Guidetti *et al.*, 2008).

Gran parte dei dati sono stati forniti direttamente dall'Ente Gestore per l'implementazione del GIS dell'AMP (Russo *et al.*, 2007) ed acquisiti nell'ambito dei progetti riportati in Tabella 6.

Progetto	Dati acquisiti	Anno
Progetto Afrodite	Dati sulla batimorfologia dei fondali e sui popolamenti bentonici ed ittici della Zona A	2002-2003
Mappatura batimorfologica delle aree B e C dell'AMP "Isole di Ventotene e Santo Stefano"	Dati sulla batimorfologia dei fondali delle Zone B e C	2004
Redazione della mappa delle biocenosi bentoniche e della valenza naturalistica dell'AMP "Isole di Ventotene e Santo Stefano"	Dati sui popolamenti bentonici ed ittici delle Zone B e C e sull'uso del territorio marino nell'AMP	2005

**Tabella 6 – Principali fonti di dati.**

Il progetto *Afrodite*, realizzato negli anni 2002-2003, è stato finalizzato alla valutazione dell'effetto riserva nell'AMP ed ha riguardato l'acquisizione di dati sulla batimorfologia e sui popolamenti bentonici ed ittici dell'attuale Zona A (Carrada e Russo, 2003).

Il progetto *Mappatura batimorfologica delle aree B e C dell'AMP "Isole di Ventotene e Santo Stefano"*, invece, è stato realizzato alla fine dell'anno 2004 dalla GeoLab S.r.l per acquisire dati sulla batimetria, sulla geomorfologia e sulla tipologia dei fondali marini nelle Zone B e C dell'AMP (GeoLab, 2005).

Il progetto *Redazione della mappa delle biocenosi bentoniche e della valenza naturalistica dell'AMP "Isole di Ventotene e Santo Stefano"*, infine, è stato svolto nel 2005 dalla Cooperativa

Nautilus di Vibo Valentia e dal Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo dell'Università "La Sapienza" di Roma al fine di fornire informazioni sulla distribuzione dei popolamenti bentonici ed ittici nelle Zone B e C e sull'uso del territorio marino nell'AMP (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005). Le informazioni sull'uso del territorio marino sono state integrate con i dati acquisiti nell'ambito di una tesi di laurea avente ad oggetto il monitoraggio delle attività diportistiche e della piccola pesca, realizzata presso il Dipartimento di Scienze per l'Ambiente dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope (Matrone, 2006).

E' importante sottolineare che non è stato possibile reperire tutti i dati acquisiti nei progetti precedenti (come il mosaico *Side Scan Sonar* e *Multibeam* dei fondali marini), in quanto di proprietà degli enti che li hanno prodotti e non disponibili presso l'Ente Gestore.

La Figura 10 illustra i siti indagati nei progetti di ricerca su citati.

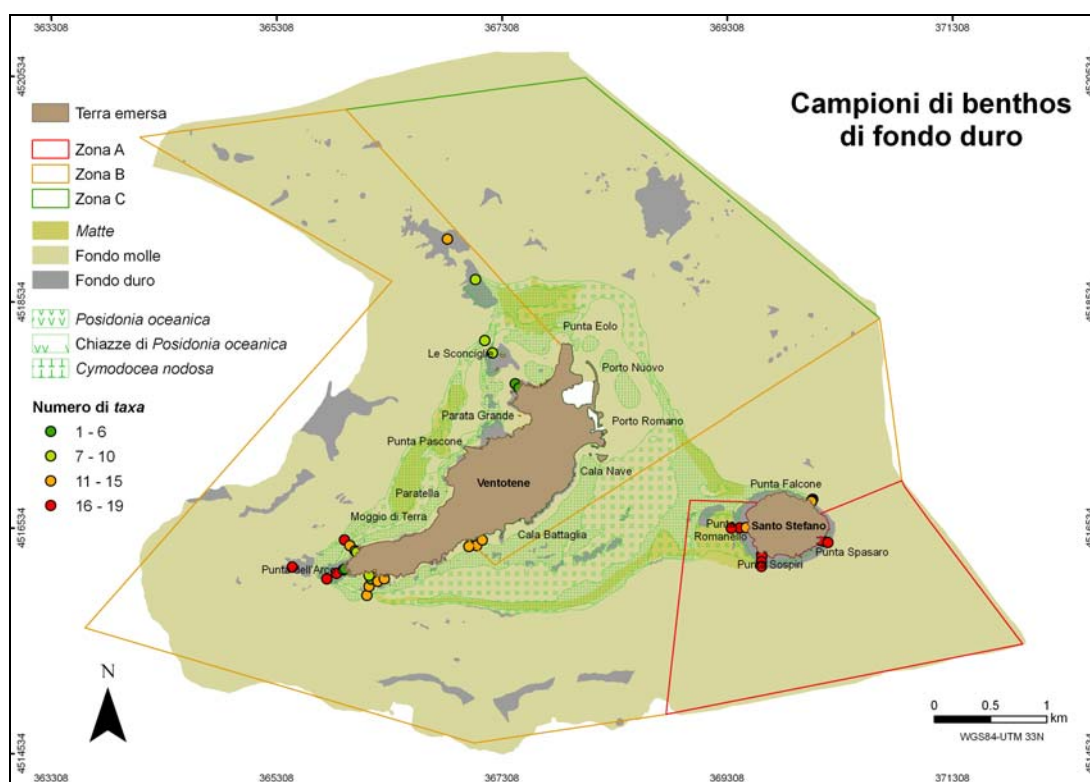


Figura 10 – Siti di campionamento e di rilievo del fondo marino.

### 3.3.2 Progettazione della base di dati

La raccolta dei dati è stata seguita da un'attenta fase di progettazione della base di dati geografica, in cui si è tenuto conto delle finalità e dei contenuti del sistema informativo (Atzeni *et al.*, 1999) (cfr. 2.3.3).

La progettazione è stata realizzata in UML (*Unified Modeling Language*), un linguaggio grafico nato per la progettazione del software, utilizzando come schema di riferimento il modello proposto dalla società ESRI per la rappresentazione di tipologie "comuni" di dati marini (*Marine*

*Data Model*) in un geodatabase ARCGIS (Wright *et al.*, 2007) (cfr. 3.2.1). Il *Marine Data Model* è uno schema logico di base di dati, realizzato in VISIO 2003 adoperando la notazione dei *diagrammi delle classi* UML. Le classi di oggetti, pertanto, sono state rappresentate con *classi statiche*, che ereditano proprietà da due classi principali, le quali raffigurano rispettivamente oggetti descrittivi (*object class*) e geografici (*feature class*) (Perencsik *et al.*, 2005). L'ereditarietà è stata rappresentata con *generalizzazioni*, mentre le relazioni sono state raffigurate con *associazioni*. Domini e gruppi di classi (*dataset*) sono stati resi con *classi statiche stereotipate*.

Dal momento che il modello di dati marini è stato concepito per la rappresentazione di tipologie generiche di dati marini, tale schema è stato integrato con ulteriori elementi per la modellazione di specifiche informazioni. Ad esempio, sono state create classi e relazioni per rappresentare sia dati biologici, come i campionamenti di benthos ed i censimenti visivi della fauna ittica, sia informazioni riguardanti l'uso del territorio marino, come la pesca e il diportismo. Alle classi di oggetti è stata assegnata una geometria adatta per una scala di rappresentazione medio-grande. Per gli attributi di alcune classi sono stati definiti elenchi di valori predefiniti (domini), al fine di ridurre gli errori di battitura nella fase di inserimento dei dati ed uniformare l'informazione disponibile. Ad esempio, per i popolamenti bentonici è stato creato un dominio in accordo all'elenco degli habitat proposto dal RAC-SPA di Tunisi (Relini, 2000) (cfr. 2.1.2). Per i gruppi tassonomici, invece, è stato realizzato un elenco di valori predefiniti che fa riferimento al Registro Mondiale delle Specie Marine (*World Register of Marine Species* o WMRS); quest'ultimo nasce dalla fusione del Registro Europeo delle Specie Marine (*European Register of Marine Species* o ERMS) con altri database gestiti presso l'Istituto Marino di *Flanders* (VLIZ) ([www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org)). Il WMRS fornisce una lista autorevole e comprensiva di nomi di organismi marini, con eventuali sinonimi, ed identifica i gruppi tassonomici con un codice numerico (codice *Aphia*), che può essere utilizzato come chiave per il collegamento ad altri database biologici (ad es. *AlgaeBase*).

Nella fase di progettazione è stato scelto anche il sistema di riferimento cartografico. In particolare, si è deciso di utilizzare il sistema WGS84-UTM, sia perché largamente impiegato a livello internazionale per la rappresentazione della fascia costiera, sia perché consente un utilizzo immediato dei dati acquisiti in campo con il GPS, evitando complesse procedure di conversione, che possono introdurre errori nella precisione delle posizioni. Lo stesso Istituto Geografico Militare (IGM), d'altronde, ha adottato questo sistema di riferimento, denominato più correttamente ETRF89-UTM, nella sua ultima produzione cartografica (Cantile, 2004).

Lo schema modificato, infine, è stato esportato in un file XML (*eXtensible Markup Language*), utilizzando gli strumenti di automazione *Computer Aided Software Engineering* (CASE) sviluppati dalla ESRI per l'uso in VISIO 2003 (Perencsik *et al.*, 2005). L'XML è un linguaggio di descrizione estensibile, basato su marcatori che possono essere personalizzati (Canducci,

2005). In particolare, il documento XML è stato utilizzato per generare in automatico lo schema fisico (file MDB) della base di dati, adoperando lo strumento *Case Schema Creation* di ARCCATALOG. In questa fase sono stati definiti i parametri che determinano l'estensione spaziale dei gruppi delle classi nel geodatabase.

### 3.3.3 Implementazione della base di dati

#### 3.3.3.1 Acquisizione ed elaborazione dei dati

Nella fase di implementazione del sistema GIS i dati disponibili sono stati sottoposti ad opportune elaborazioni in ARCMAP e ARCTOOLBOX, al fine di adattare la loro struttura allo schema del geodatabase. Altre informazioni, invece, sono state derivate dai dati acquisiti, attraverso procedure di analisi spaziale.

I dati geografici di tipo vettoriale, disponibili per lo più nel formato grafico CAD, sono stati convertiti nel formato SHP e proiettati nel sistema di riferimento cartografico WGS84-UTM. Essendo questo sistema coincidente con quello dei file di origine, non sono state necessarie procedure di conversione tra *datum*.

I dati georeferenziati, quindi, sono stati sottoposti a controllo e correzione topologica, al fine di individuare e correggere eventuali errori di configurazione spaziale, come sovrapposizioni o buchi tra poligoni. Questa fase ha richiesto un lungo lavoro di elaborazione, in quanto tutti i file vettoriali erano "topologicamente sporchi". E' stato necessario, inoltre, realizzare una procedura di controllo e modifica degli attributi associati ai dati geografici, sia per adattare i valori ai domini definiti in fase di progettazione, sia per eliminare eventuali incoerenze tra i differenti livelli informativi. Evidenti incongruenze, ad esempio, erano presenti nella mappa bionomica, che riportava la presenza di popolamenti di fondo duro in zone in cui la mappa batimorfologica mostrava fondi incoerenti; pertanto, per le tipologie di substrato, sono state considerate attendibili le informazioni della mappa batimorfologica, mentre, per l'estensione delle coperture a fanerogame, sono state impiegate quelle riportate nella mappa bionomica.

Altri dati vettoriali, come le zone di pesca, le aree portuali, i siti di ancoraggio, sono stati digitalizzati direttamente su monitor, utilizzando tecniche di geocodifica (cfr. 2.3.2). Le aree interessate da balneazione sono state individuate tramite una procedura di analisi spaziale implementata con il MODEL BUILDER (cfr. 3.4.1). Le tipologie litologiche della costa sono state digitalizzate sulla base della carta geologica delle isole di Ventotene e Santo Stefano (Bellucci *et al.*, 1999).

I dati geografici di tipo raster, rappresentanti il fotomosaico e la profondità dei fondali dell'AMP, sarebbero dovuti essere importati in formato GRID da file (ASCII e GEOTIFF) disponibili presso l'AMP. Questi file, tuttavia, sono risultati illeggibili e, pertanto, si è ritenuto opportuno riprodurre

la superficie del fondo marino (DTM) per interpolazione delle curve batimetriche (con intervallo - 5 m) attraverso l'uso di un modello vettoriale (TIN).

I dati descrittivi sono stati acquisiti sia da formato digitale (ad es. importando tabelle DBF, immagini), sia da supporto cartaceo (ad es. inserendo valori direttamente da tastiera). Gli attributi che esprimono caratteristiche geometriche degli elementi vettoriali (area, perimetro, coordinate cartografiche) sono stati calcolati invece utilizzando script in *Visual Basic* scaricati dalla rete ([http://www.ian-ko.com/free/free\\_arcgis.htm](http://www.ian-ko.com/free/free_arcgis.htm)). I dati descrittivi, che non erano strutturati in forma tabellare (documenti PDF, immagini, video), invece, sono stati archiviati in cartelle di sistema.

### 3.3.3.2 Importazione dei dati, compilazione dei *metadata* e delle mappe

I dati, dopo essere stati opportunamente elaborati, sono stati importati nello schema fisico del geodatabase utilizzando lo strumento *Load Data* di ARCCATALOG.

Per ciascuna delle classi contenute nel geodatabase sono stati quindi compilati i relativi *metadata*, specificando informazioni come la data e le modalità di acquisizione, il sistema di riferimento cartografico (cfr. 2.3.1). I *metadata* sono stati redatti in accordo allo standard ISO19115 utilizzando la procedura guidata fornita da ARCCATALOG.

Le informazioni archiviate, infine, sono state utilizzate per produrre livelli informativi (*layer*) e mappe sui diversi aspetti che caratterizzano l'AMP, come lo schema di zonizzazione, la distribuzione dei popolamenti bentonici, la geomorfologia dei fondali, l'uso del territorio marino, al fine di fornire una base conoscitiva di supporto alle attività gestionali.

Le mappe sono state prodotte sulla base di uno stile cartografico realizzato *ad hoc*, secondo criteri di leggibilità e rappresentatività. I popolamenti bentonici, in particolare, sono stati cartografati con simboli evocativi dei colori del paesaggio subacqueo, mentre le praterie di posidonia sono state rappresentate con dei retini trasparenti che ricordano la forma della fanerogama marina e che consentono l'individuazione dei popolamenti sottostanti (Di Stefano *et al.*, 2006; Russo *et al.*, 2008). Diversi autori, difatti, riconoscono nelle coperture vegetali almeno due stratocenosi: una associata alle fronde, costituita da specie vagili, caratteristiche esclusive o preferenziali di questi sistemi; l'altra, associata allo strato dei rizomi, costituita da una miscela di specie sedentarie, tipiche del substrato d'impianto (Russo *et al.*, 1986; Di Donato e Russo, 2004).

I simboli sono stati prodotti con gli strumenti di grafica vettoriale forniti dallo *Style Manager* di ARCMAP e memorizzati in un foglio di stile (file STYLE), dove ogni simbolo è caratterizzato da una categoria e da un nome che identifica la tipologia dell'oggetto da rappresentare (Figura 11). Ogni mappa è corredata da elementi necessari per la localizzazione geografica degli oggetti rappresentati, come la freccia del nord, la barra di scala e il reticolato cartografico. Le mappe sono state prodotte sia in formato MXD, per l'uso in ARCMAP, sia in formato PMF, per la consultazione con l'applicativo gratuito ARCREADER.



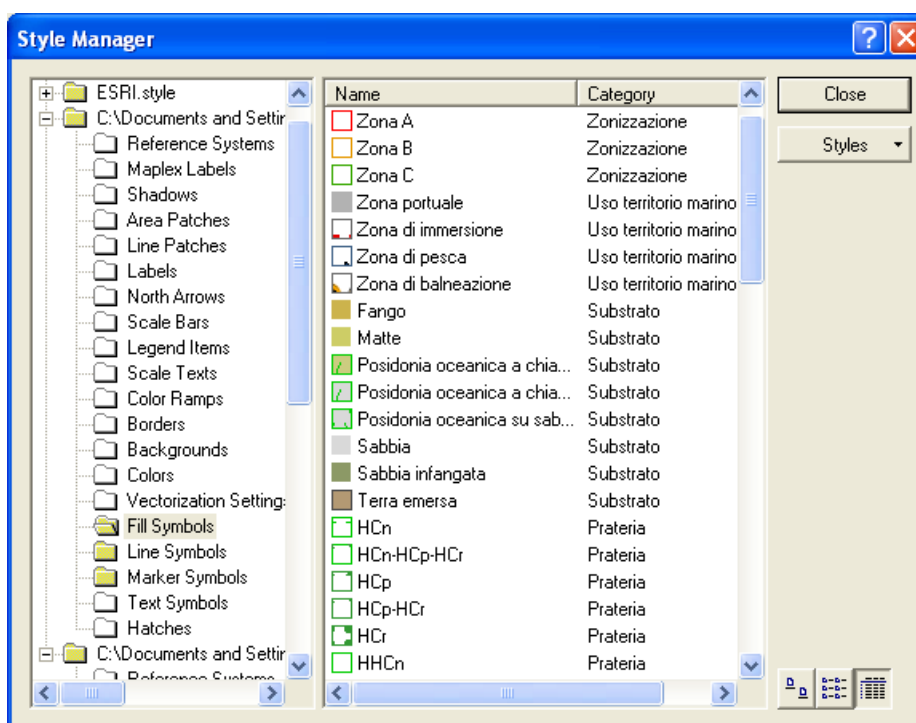


Figura 11 – Stile per la rappresentazione dei dati geografici.

### 3.4 ANALISI MARXAN

Al fine di valutare l'efficacia dei principi e dei metodi dell'approccio sistematico per la pianificazione di AMP con finalità naturalistiche e socio-economiche, è stato utilizzato l'applicativo MARXAN. Quest'ultimo, infatti, oltre ad essere scaricabile gratuitamente dalla rete, implementa l'algoritmo di *simulated annealing*, che, rispetto ad altri algoritmi di ottimizzazione, consente di inserire complessi vincoli spaziali e di ottenere, per un determinato scenario di conservazione, soluzioni alternative in tempi relativamente brevi (cfr. 2.2.2.3).

MARXAN risolve problemi di tipo binario, ovvero consente di selezionare siti da proteggere o da escludere dalla protezione, sulla base di obiettivi che sono espressi in termini di livello minimo di rappresentazione per le caratteristiche di conservazione e costi da minimizzare.

L'uso del programma richiede l'individuazione delle caratteristiche da conservare, la conoscenza della loro distribuzione spaziale nell'area di studio e l'attribuzione di un'unica misura di costo ad ogni unità di pianificazione (cfr. 3.2.2).

A causa dell'incertezza associata alla definizione quantitativa del livello minimo di rappresentazione per le caratteristiche di conservazione e dell'assenza di una metodologia consolidata per sintetizzare più fattori in un'unica misura di costo (cfr. 2.2.2.2), sono stati definiti diversi scenari di conservazione, che differiscono per obiettivi naturalistici, socio-economici e vincoli.

Inizialmente, in relazione agli obiettivi definiti per i vari scenari, è stata valutata l'efficacia e l'efficienza della zonizzazione attuale dell'AMP di Ventotene e Santo Stefano; successivamente, sulla base dell'analisi comparativa dei risultati prodotti da MARXAN, è stato proposto un nuovo schema di zonizzazione (Figura 12).

#### 3.4.1 Definizione degli scenari e compilazione dei dati

Ad ogni scenario è stato assegnato un codice alfanumerico. I primi due caratteri del codice identificano le caratteristiche di conservazione (Tabella 7), il terzo indica eventuali vincoli (Tabella 8), gli ultimi due individuano i fattori di costo (Tabella 9).

A titolo di esempio, il codice T1aCter identifica lo scenario di conservazione il cui obiettivo è rappresentare adeguatamente le caratteristiche naturalistiche del gruppo T1, includendo a priori le unità di pianificazione che ricadono nell'attuale Zona A e minimizzando, in modo imparziale, l'impatto sulla gestione e sulle attività antropiche.

La zona portuale è esclusa in tutti gli scenari di conservazione.

La Tabella 7 include solo una parte delle caratteristiche di conservazione considerate per gli scenari T4, T5, T6 (l'elenco completo è riportato in Appendice 2).

Nei paragrafi che seguono sono descritti in dettaglio i dati utilizzati in ogni scenario.

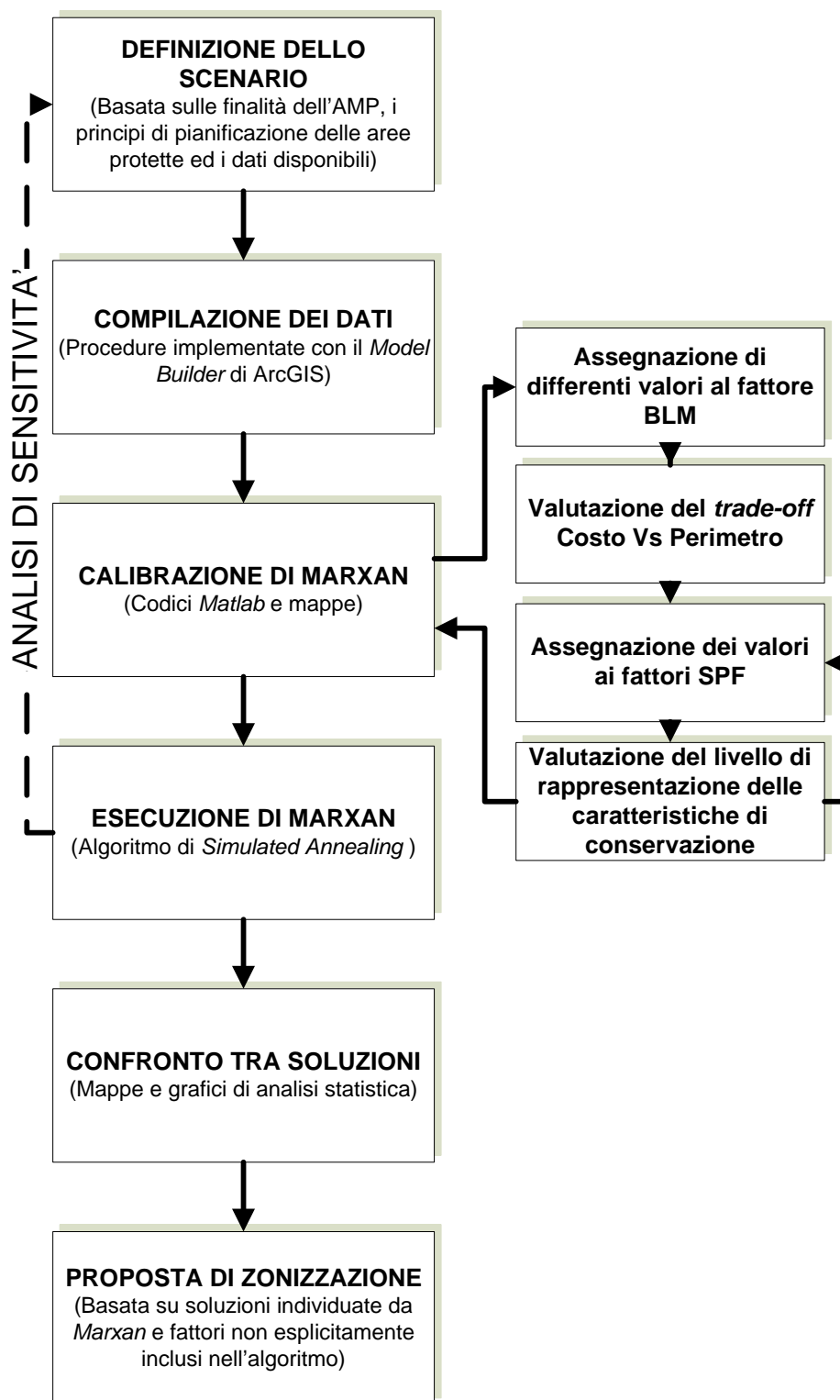


Figura 12 – Diagramma di flusso della procedura di analisi condotta con l'applicativo MARXAN.

ID	Caratteristica di conservazione	Tipologia	Ammontare totale	Unità di misura	T1 T4 %	T2 T5 %	T3 T6 %
101	Alghe infralitorali (AP)	Biocenosi bentonica	188477	m <sup>2</sup> (in 3D)	30	20	20
102	Coralligeno (C)	Biocenosi bentonica	1053691	m <sup>2</sup> (in 3D)	40	30	40
103	Detritico costiero (DC)	Biocenosi bentonica	727508	m <sup>2</sup> (in 3D)	30	20	20
104	Detritico infangato (DE)	Biocenosi bentonica	14037420	m <sup>2</sup> (in 3D)	30	20	20
105	<i>Cymodocea nodosa</i> (HCn)	Biocenosi bentonica	64804	m <sup>2</sup> (in 3D)	40	30	40
106	<i>Posidonia oceanica</i> su matte (HPm)	Biocenosi bentonica	571294	m <sup>2</sup> (in 3D)	40	30	40
107	<i>Posidonia oceanica</i> su roccia (HPr)	Biocenosi bentonica	213272	m <sup>2</sup> (in 3D)	40	30	40
108	<i>Posidonia oceanica</i> su sabbia (HPs)	Biocenosi bentonica	1353956	m <sup>2</sup> (in 3D)	40	30	40
110	Sabbie fini ben calibrate (SFBC)	Biocenosi bentonica	577070	m <sup>2</sup> (in 3D)	30	20	20
111	Sabbie grossolane e ghiaie fini soggette a correnti di fondo (SGCF)	Biocenosi bentonica	2102169	m <sup>2</sup> (in 3D)	30	20	20
115	Fanghi terrigeni costieri (VTC)	Biocenosi bentonica	5800059	m <sup>2</sup> (in 3D)	30	20	20
201	<i>Pock-mark</i>	Elemento geomorfologico	3	occorrenza	40	30	40
202	Biocostruzione	Elemento geomorfologico	27	occorrenza	40	30	40
206	Costa di roccia lavica	Elemento geomorfologico	7499	m	30	20	20
208	Costa di roccia piroclastica	Elemento geomorfologico	8338	m	30	20	20
207	Costa di ciottoli	Elemento geomorfologico	177	m	30	20	20
209	Costa di sabbia	Elemento geomorfologico	401	m	30	20	20
215	Fondale ad elevata complessità	Elemento geomorfologico	3464790	m <sup>2</sup>	30	20	20

**Tabella 7 – Ammontare totale e livello minimo di rappresentazione richiesto per le caratteristiche di conservazione nei differenti scenari.**

Codice	Vincolo
n	Nessuna unità inclusa od esclusa a priori, fatta eccezione per quelle ricadenti nella zona portuale.
a	Unità ricadenti nell'attuale Zona A incluse a priori.
c	Unità ricadenti nell'attuale Zona C escluse a priori.

**Tabella 8 – Codici rappresentativi delle unità di pianificazione vincolate.**

Codice	Costo di conservazione
Ca	Il costo è espresso dalla sola superficie dell'area protetta.
Cb	Il costo è espresso dal solo perimetro dell'area protetta.
Cab	Il costo è espresso sia dal perimetro sia dalla superficie dell'area protetta.
Cter	Il costo è espresso dalla combinazione di più fattori (distanza da zona portuale, estensione superficiale, importanza per le attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca) ai quali sono assegnati pesi equivalenti.
Ctpc	Il costo è espresso dalla combinazione di più fattori (distanza da zona portuale, estensione superficiale, importanza per le attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca) ai quali sono assegnati pesi differenti, determinati con il confronto a coppie.

**Tabella 9 – Codici rappresentativi dei differenti costi di conservazione.**

### **Delimitazione dell'area di studio e scelta delle caratteristiche di conservazione**

I confini dell'area di studio sono stati individuati dai limiti della mappa batimorfologica, che determina l'estensione spaziale per la quale è disponibile la maggior parte dei dati (Lieberkenecth *et al.*, 2008).

Le caratteristiche da tutelare, invece, sono state scelte in accordo ai dati naturalistici disponibili ed ai principi adottati nelle procedure di pianificazione delle aree protette (cfr. 2.2.1).

In accordo al principio di comprensività, si è scelto di includere tra le caratteristiche di conservazione tutte le tipologie di habitat presenti nell'AMP, fatta eccezione per le zone caratterizzate dalla presenza di praterie a chiazze di *Posidonia oceanica* o da *matte* morta. Per tipologie di habitat, in questa sede, si intendono i popolamenti bentonici classificati in accordo all'elenco adottato dal RAC-SPA di Tunisi (Relini, 2000). Le praterie di posidonia sono state distinte in tre tipologie, a seconda del substrato di impianto (*matte*, roccia e sabbia) per meglio

riprodurre la variabilità dell'habitat nell'area di studio, in accordo al principio di rappresentatività (cfr. 2.2.1.). La mappa con le tipologie di habitat è stata ottenuta dalla sovrapposizione dei livelli informativi rappresentanti la distribuzione dei popolamenti bentonici e delle coperture vegetali nell'AMP. A tal fine è stata utilizzata la funzione di analisi spaziale *Union*. I poligoni troppo piccoli (con superficie minore di 4 m<sup>2</sup>) o troppo sottili (*slivers*) sono stati uniti ai poligoni adiacenti.

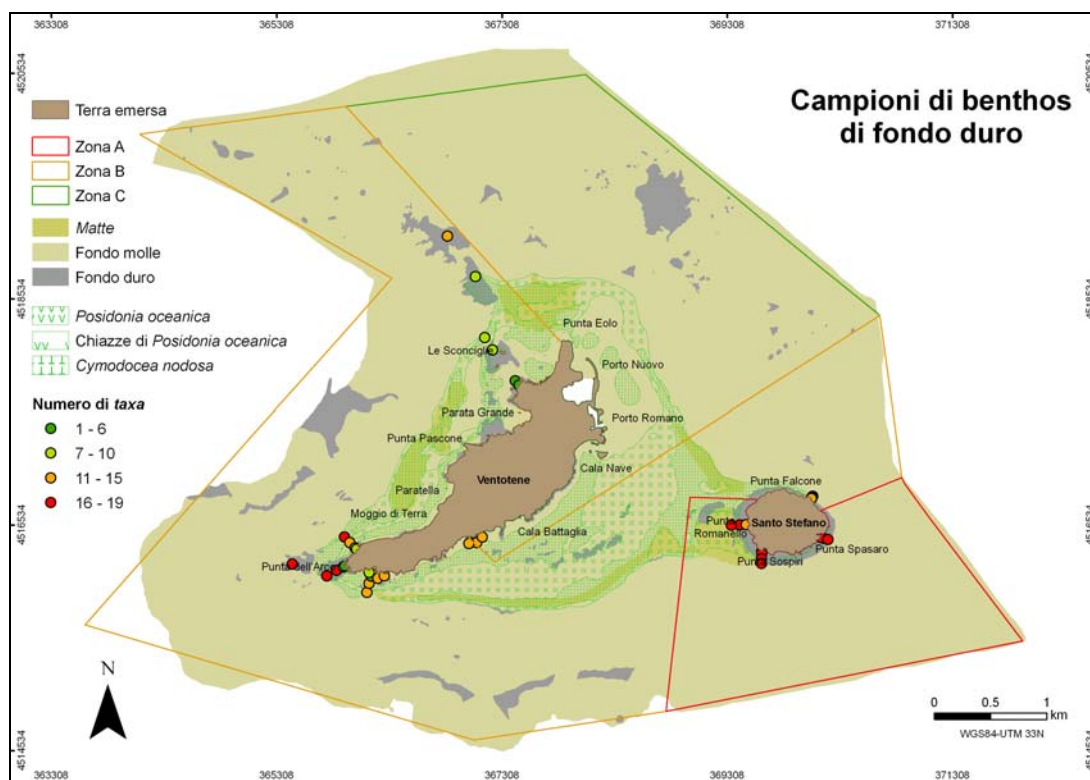
Tra le caratteristiche di conservazione sono stati inclusi anche alcuni elementi geomorfologici, come le biocostruzioni e i *pock-marks*, ovvero depressioni circolari che testimoniano la risalita di gas intrappolato nei sedimenti (GeoLab, 2005). Tali elementi, infatti, sono rappresentativi di micro-habitat con associazioni biologiche peculiari.

Non disponendo di informazioni sui popolamenti bentonici che caratterizzano il sopralitorale e il mesolitorale (Pérès e Picard, 1964), ovvero la fascia costiera interessata rispettivamente dagli spruzzi del moto ondoso e dall'azione della marea, si è scelto di utilizzare come surrogati di biodiversità le tipologie della costa (roccia lavica, piroclastica, ciottoli e sabbia), individuate dalle unità litostratigrafiche della mappa geologica di Bellucci *et al.* (1999). Infatti, se in prospicienza di un fondale sabbioso è presente una falesia rocciosa poco profonda ed ad elevata pendenza, essa potrebbe non essere stata rappresentata nella mappa bionomica per motivi di scala cartografica.

Tra gli elementi di rilievo per la conservazione sono state inserite anche le aree caratterizzate da fondali con un'elevata complessità del rilievo, in accordo a Ardron (2002). La complessità del fondo è espressa dal numero di variazioni di pendenza del fondale per unità di superficie e può essere considerata un buon *proxy* di biodiversità, dal momento che habitat complessi offrono un maggiore numero di rifugi per le specie. La procedura per il calcolo della complessità è stata implementata con il MODEL BUILDER. Inizialmente, il modello digitale del fondo marino (DTM) è stato moltiplicato per un fattore 20, al fine di evidenziare anche i piccoli cambiamenti di profondità; successivamente è stata calcolata la variazione della pendenza del rilievo con la funzione *Slope*. Il raster ottenuto è stato riclassificato in 4 intervalli, rimuovendo la metà con i valori più bassi. Le celle rimanenti sono state raggruppate in 2 classi (assegnando un peso 2 ai valori più alti ed un peso 1 a quelli più bassi) e convertite in punti, dei quali è stata calcolata la densità, con la funzione *kernel*. È stato scelto un raggio di ricerca pari a 500 m, che metteva meglio in evidenza gli andamenti nella distribuzione della complessità. Le aree ad elevata complessità sono state individuate classificando il raster di densità in 3 intervalli con il metodo *natural breaks* e selezionando le celle che ricadevano nella classe con i valori più elevati (Appendice 3).

Negli scenari di conservazione che escludono a priori l'attuale Zona C, sono stati inclusi tra le caratteristiche di conservazione anche i gruppi tassonomici di fondo duro, rilevati nell'ambito di progetti realizzati in anni differenti ma nella stessa stagione di campionamento e con la stessa

metodologia (protocollo Afrodite) (Carrada e Russo, 2003; Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005). Queste informazioni non sono state inserite in altri scenari, dal momento che la distribuzione dei punti di campionamento consente di avere un dato abbastanza rappresentativo della biodiversità bentonica per i soli fondi duri situati nelle Zone A e B dell'AMP (Figura 13).



**Figura 13 – Mappa di distribuzione dei siti di campionamento di fondo duro in relazione all'attuale schema di zonizzazione.**

### **Definizione delle unità di pianificazione e dei vincoli**

Le unità di pianificazione sono state individuate utilizzando una griglia regolare costituita da quadrati di lato 100 m x 100 m. Tale griglia è stata ritagliata con confini dell'area di studio, ottenendo così un file vettoriale costituito da 3103 unità di pianificazione, con superfici variabili da valori prossimi allo zero a circa 1 ettaro.

La forma e le dimensioni delle unità sono state scelte sulla base della risoluzione dei dati disponibili e delle limitazioni computazionali del programma (Game e Grantham, 2008). Dimensioni più piccole avrebbero determinato un aumento del numero di unità di pianificazione rallentando o addirittura impedendo l'esecuzione di MARXAN. Dimensioni più grandi, invece, avrebbero potuto determinare la scelta di siti con scarso valore per la conservazione, selezionati solo perché interessati in minima parte da caratteristiche di conservazione rare.

Le unità di pianificazione sono state generate utilizzando la funzione *Vector Grid* dell'applicativo ET GEOWIZARD, scaricabile gratuitamente da Internet, ed uno strumento sviluppato con *il MODEL*

BUILDER (*Create Planning Unit Class*), che ritaglia un file vettoriale di poligoni con i confini dell'area di studio (Appendice 3).

A seconda dello scenario di conservazione, alcune unità di pianificazione sono state escluse od incluse a priori dall'insieme dei siti che possono essere selezionati da MARXAN. In tutti gli scenari sono state escluse le unità che ricadono nel Porto Nuovo e nel Porto Romano e nelle loro immediate vicinanze (100 m), in alcuni sono state incluse le unità che ricadono in Zona A, in altri sono state escluse anche le unità che ricadono in Zona C (Figura 14).

Le unità da includere o escludere sono state individuate e selezionate con gli strumenti *Calculate Protected Area in Each Planning Unit* e *Change Planning Unit Status*, realizzati con il MODEL BUILDER (Appendice 3).

La classe di elementi che rappresenta le unità di pianificazione è stata esportata nel corrispondente file di testo richiesto da MARXAN (*Planning Unit File*), utilizzando lo strumento *Export to Marxan Unit File* sviluppato con il MODEL BUILDER (Appendice 3).

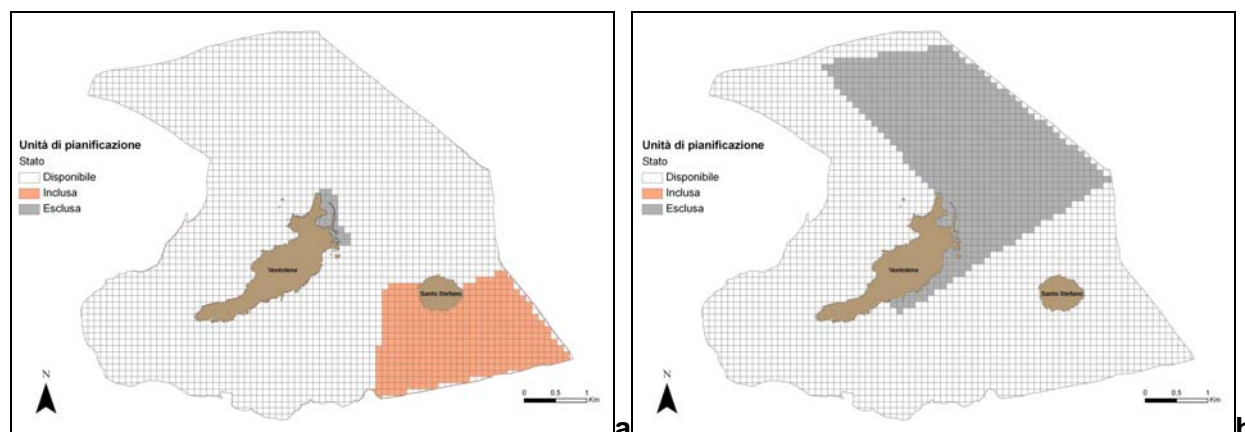


Figura 14 – Mappa delle unità di pianificazione per gli scenari che includono l'attuale Zona A (a) o escludono l'attuale Zona C (b).

### Distribuzione delle caratteristiche di conservazione

L'ammontare delle caratteristiche di conservazione in ciascuna unità di pianificazione è stato stimato mediante procedure di analisi spaziale implementate con il MODEL BUILDER. Tali procedure utilizzano funzioni di intersezione (*overlay*) e calcolano, per ciascuna unità di pianificazione, l'estensione superficiale (*Calculate Feature Area in each Planning Unit*), lineare (*Calculate Feature Length in each Planning Unit*) e il numero di occorrenze (*Calculate Feature Point Occurrence in each Planning Unit*) di caratteristiche che hanno rispettivamente una geometria poligonale (ad es. gli habitat), lineare e puntuale (ad es. gli elementi geomorfologici) (Appendice 3).

Per quanto riguarda gli habitat sottomarini si è ritenuto opportuno calcolare l'estensione in termini di superficie tridimensionale (D'Ambrosio *et al.*, 2006), dal momento che quest'ultima differisce da quella bidimensionale, soprattutto su fondali ad elevata pendenza.



L'ammontare delle caratteristiche di conservazione in ciascuna unità di pianificazione è stato memorizzato in una tabella (*Distribution Table*), successivamente esportata nel corrispondente file di testo richiesto da MARXAN. A tal fine è stato utilizzato lo strumento *Export to Marxan Unit File* sviluppato con il MODEL BUILDER (Appendice 3).

Il file ottenuto è stato ordinato per valori crescenti dell'identificativo numerico delle unità di pianificazione e delle caratteristiche di conservazione. L'ordinamento crescente in base all'identificativo delle unità di pianificazione è un requisito dell'ultima versione di MARXAN (2.0.2), mentre l'ordinamento crescente delle caratteristiche di conservazione riduce il tempo di elaborazione dell'algoritmo di *simulated annealing*.

### **Definizione dei costi**

Diversi fattori concorrono alla definizione del costo di conservazione di un'area protetta, dagli oneri gestionali alla perdita dei profitti associati all'uso del territorio marittimo (cfr. 2.2.2.2).

Dal momento che MARXAN consente di associare un'unica misura di costo ad ogni singola unità di pianificazione, è stato necessario implementare una metodologia che consentisse di esprimere il contributo di tali fattori in un unico valore.

A tal fine sono state utilizzate tecniche proprie dell'analisi spaziale multicriterio (SMCDA o *Spatial Multicriteria Decision Analysis*), che consentono di valutare delle alternative decisionali sulla base di criteri conflittuali e incommensurabili (Malczewski, 1999). Tali criteri sono tipicamente normalizzati e combinati mediante opportuni pesi.

In particolare, in base ai dati disponibili, sono stati individuati come fattori che contribuiscono al costo di un'unità di pianificazione:

- il numero di siti di immersione, pesato sul livello di accessibilità;
- il numero di siti di balneazione, pesato sulla frequentazione turistica;
- il numero di imbarcazioni da pesca;
- il numero di imbarcazioni da diporto;
- la vicinanza ai porti;
- l'estensione superficiale.

Il numero di siti di immersione, pesato sul livello di accessibilità, può essere considerato indicativo dell'importanza di un'unità di pianificazione per la subacquea. Siti di immersione accessibili anche a principianti, infatti, sono sicuramente più frequentati rispetto a siti di immersione ad elevata difficoltà. I principali siti di immersioni sono stati monitorati nell'estate 2005 (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005), ma non è stato possibile accedere alle informazioni sull'effettiva frequentazione turistica di ogni sito. L'importanza di un sito per la subacquea è stata stimata con un numero intero tra 1 e 3, secondo una scala crescente di accessibilità (Tabella 10).

Sito	Difficoltà	Accessibilità
Grotta dei Gamberi	3	1
La Molara	2	2
Le Sconcioglie	1	3
Punta Cannucce	2	2
Punta dell'Arco	2	2
Punta Falcone	3	1
Relitto Santa Lucia	3	1
Scalo 4	3	1
Scogli di Capri	3	1

**Tabella 10 – Principali siti di immersione classificati in base all'accessibilità.**

Il numero di siti di balneazione, pesato sulla frequentazione turistica, può essere considerato rappresentativo dell'importanza di un'unità di pianificazione per la balneazione. Ai fini del lavoro sono state considerate esclusivamente le spiagge accessibili da terra, dal momento che non è stata realizzata alcuna indagine sulle attività di balneazione nell'AMP. In realtà, lungo la costa esistono piccole calette e scogliere rocciose utilizzate da bagnanti, che vi arrivano da mare sia con imbarcazioni proprie che con visite guidate. Per individuare e cartografare le zone di balneazione è stata implementata una procedura di analisi spaziale con il MODEL BUILDER, che seleziona le aree che si trovano entro una certa profondità (-5 m) e distanza dalla costa (100 m) (Appendice 3). Il livello di frequentazione di ogni sito è stato stimato combinando più criteri, quali l'estensione, la tipologia (roccia, ciottoli, sabbia) e l'accessibilità della spiaggia. Ad ogni criterio è stato assegnato un punteggio intero tra 1 e 3. I punteggi sono stati sommati assegnando ad ogni criterio lo stesso peso (0.33) (Tabella 11).

Nome	Accesso	Tipo	Estensione	Frequentazione
Cala Nave	3	3	3	3.0
Cala Rossano	3	3	2	2.7
Parata Grande	2	3	2	2.2
Peschiera Romana	3	1	1	1.8
Punta Eolo	1	1	1	1.0

**Tabella 11 – Principali siti di balneazione, classificati in base all'accessibilità, la tipologia e l'estensione della spiaggia.**

Il numero di imbarcazioni da pesca è un buon indicatore dell'importanza economica che un'unità di pianificazione riveste per il settore pesca (Klein *at al.*, 2008a e b). Le principali zone ed il numero di battute di pesca, sia professionale che ricreativa, sono state individuati sulla base di interviste a pescatori condotte nel 2005 (31 rilievi tra maggio e ottobre) (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005; Matrone, 2006). I confini delle zone di pesca sono stati tracciati sulla base delle informazioni fornite dai pescatori, come località, tipologia di fondale ed intervallo batimetrico.

Il numero di imbarcazioni da diporto è un buon indicatore dell'importanza di un'unità di pianificazione per il diportismo. Le zone frequentate dai diportisti sono state monitorate nella stagione estiva 2005, con rilievi sul campo del numero di imbarcazioni ancorate (33 rilievi da luglio a settembre) (Matrone, 2006).

La vicinanza ai porti può essere considerata un indicatore sia dell'impatto che questi possono avere sull'ambiente circostante sia dell'interesse antropico (Clark e Lombard, 2007). La distanza dai porti è stata calcolata utilizzando la funzione di analisi spaziale *Cost Distance* ed utilizzando come dataset di costo l'area di studio. In questo modo la distanza di un sito dal porto più vicino non è stata calcolata in linea retta, ma tenendo conto dell'ostacolo che la terra emersa pone alla navigazione e alle correnti marine (Figura 15).

L'estensione superficiale, infine, è rappresentativa del costo di gestione di un'unità di pianificazione, dal momento che un'area più estesa richiede uno sforzo maggiore in termini di sorveglianza e monitoraggio.

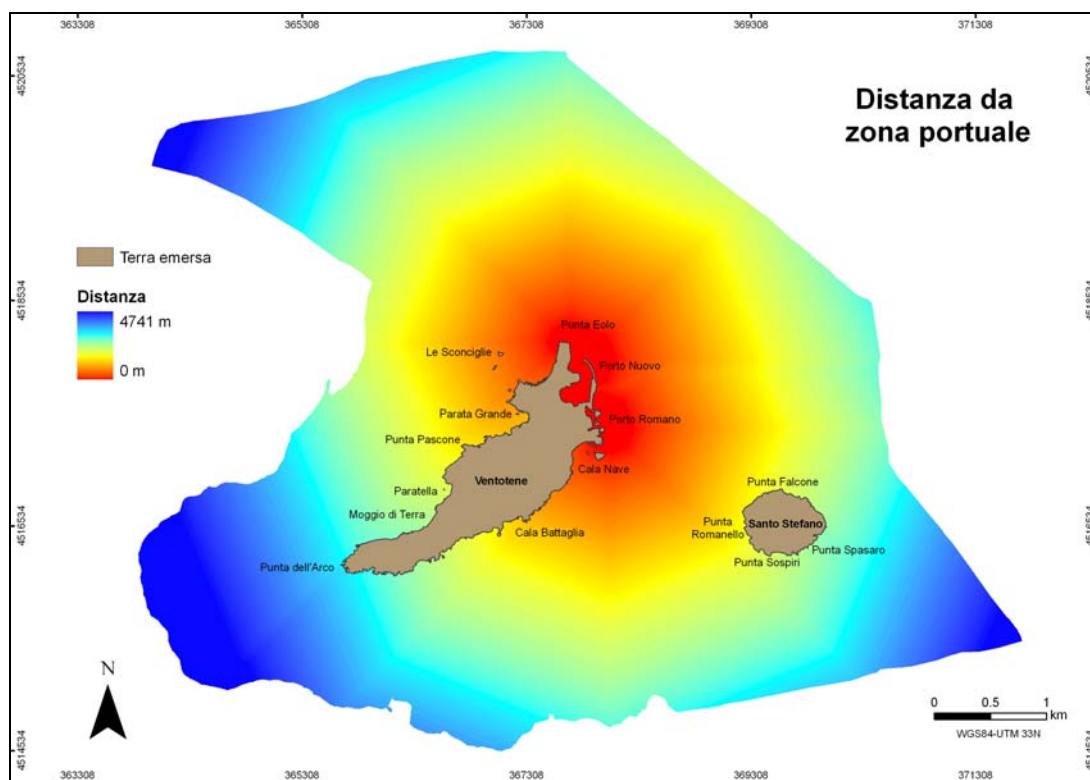


Figura 15 – Mappa della distanza dalla zona portuale.

I fattori di costo sono stati successivamente standardizzati rispetto al totale, al fine di rendere i valori comparabili. Questa tecnica di standardizzazione ha consentito, altresì, di esprimere i fattori di costo associati ad ogni unità di pianificazione in termini di importanza relativa per ciascuna attività antropica (Klein *et al.*, 2008a).

I valori ottenuti sono stati poi combinati con una somma pesata. Dal momento che l'assegnazione dei pesi è in parte soggettiva, si è ritenuto opportuno definire due indici di costo. Il primo indice è stato calcolato assegnando lo stesso peso ad ogni fattore; il secondo indice, invece, è stato ottenuto sommando i fattori di costo con dei pesi determinati con il confronto a coppie (*pairwise comparison procedure*) (Saaty, 1980). Inizialmente, i fattori di costo sono stati confrontati a coppie assegnando dei valori interi compresi tra 1 e 9, che rappresentano la preferenza di un criterio rispetto ad un altro. Successivamente, dalla matrice ottenuta, tramite opportuni calcoli, è stato calcolato il peso associato a ciascun criterio e stimato il rapporto di consistenza (Malcevski, 1991) (Tabella 12).

<b>Fattore</b>	<b>Distanza da zona portuale</b>	<b>Balneazione</b>	<b>Diportismo</b>	<b>Subacquea</b>	<b>Pesca</b>	<b>Superficie</b>	<b>Peso</b>
<b>Distanza da zona portuale</b>	1.00	2.00	3.00	5.00	6.00	7.00	0.36
<b>Balneazione</b>	0.50	1.00	3.00	6.00	7.00	8.00	0.30
<b>Diportismo</b>	0.33	0.33	1.00	4.00	5.00	6.00	0.17
<b>Subacquea</b>	0.20	0.17	0.25	1.00	4.00	5.00	0.09
<b>Pesca</b>	0.17	0.14	0.20	0.25	1.00	3.00	0.05
<b>Superficie</b>	0.14	0.13	0.17	0.20	0.33	1.00	0.03

**Tabella 12 – Confronto a coppie tra i fattori di costo.**

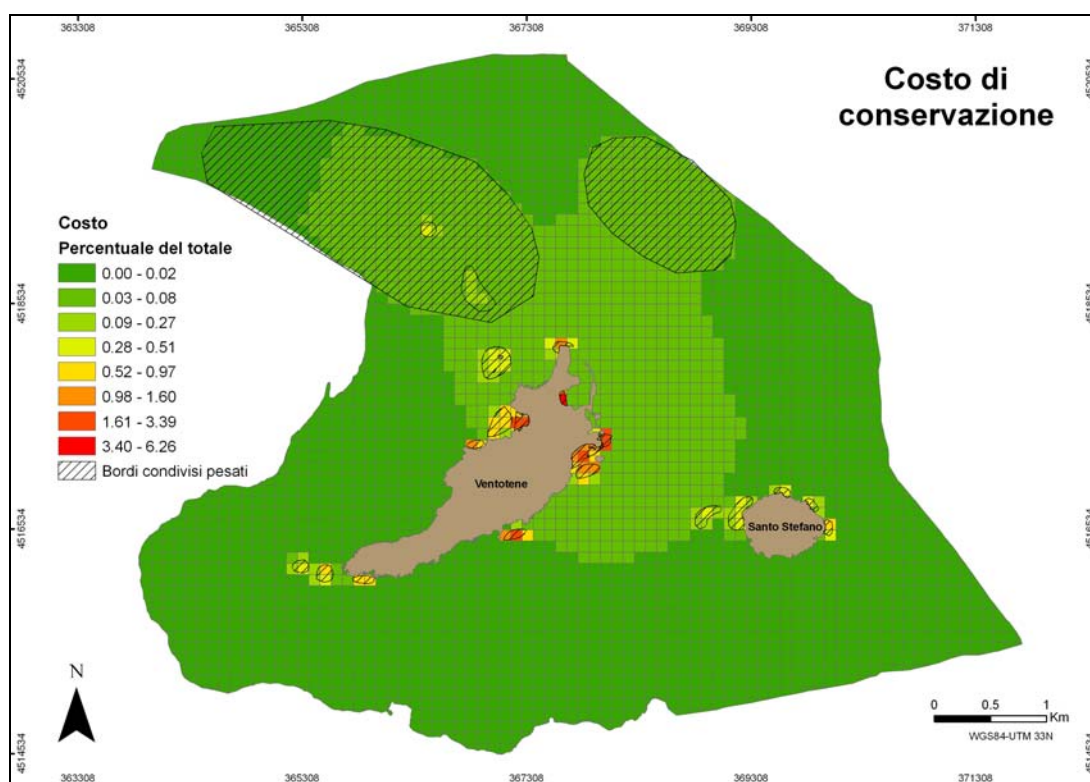
### **Requisiti spaziali**

Nella maggior parte degli scenari di conservazione è stato incluso tra i fattori di costo la lunghezza del confine dell'area protetta, al fine di ottenere soluzioni meno frammentate e quindi più significative da un punto di vista sia ecologico che gestionale.

Il costo è stato determinato assegnando un opportuno valore al parametro BLM (cfr. 3.4.2) e calcolando la lunghezza dei bordi condivisi tra le unità di pianificazione. Si è scelto di includere nel costo anche i confini "irrimovibili", ovvero i bordi delle unità che si trovano ai margini dell'area di studio, per evitare che ci fosse una preferenza nella loro selezione.

Negli scenari in cui sono state considerate le attività socio-economiche nella definizione del costo di conservazione, la lunghezza dei bordi condivisi dalle unità di pianificazione che ricadono nella stessa zona di uso del territorio marino è stata moltiplicata per un fattore 2 (Figura 16). L'assegnazione di un peso maggiore alla lunghezza di questi bordi, infatti, incrementa la possibilità che tutte le unità che ricadono nello stesso sito siano escluse dalla selezione, assicurando un certo grado di connettività funzionale (Lötter *et al.*, 2008).

La lunghezza dei bordi condivisi tra le unità di pianificazione è stata calcolata utilizzando l'estensione JNCC per ARCGIS ([www.jncc.gov.uk](http://www.jncc.gov.uk)). Per pesare i bordi, invece, si è ricorso alla funzione *Create bound.dat* di CLUZ (<http://www.mosaic-conservation.org/cluz/>). CLUZ è un'interfaccia a MARXAN per ARCVIEW 3.2, un applicativo GIS che, nonostante non sia più sviluppato dalla ESRI, è ancora in uso presso alcune agenzie per la conservazione della natura.



**Figura 16 - Mappa del costo di conservazione ottenuta assegnando lo stesso peso ai fattori di costo.**

#### **Definizione del livello minimo di rappresentazione per le caratteristiche di conservazione**

L'ammontare minimo da tutelare per ciascuna caratteristica (*target*) è stato stabilito sia sulla base dei dati utilizzati in letteratura (cfr. 2.2.3) sia sul valore di conservazione.

In particolare, le tipologie di popolamento bentonico sono state classificate in habitat determinanti e habitat rilevanti, sulla base di differenti criteri quali il valore naturalistico, il valore economico, il valore estetico, la rarità e la vulnerabilità, in accordo alla classificazione proposta dal RAC-SPA (Relini, 2000; Bianchi, 2007). Tale metodologia, che si ispira a sua volta ad un

approccio sviluppato in Francia per la valutazione degli spazi naturali terrestri nell'ambito dell'applicazione della Direttiva Habitat (Bardat *et al.*, 1997), assegna ad ogni habitat un punteggio da 1 (alto rango) a 3 (basso rango) per ciascun criterio. Gli habitat per i quali almeno 2 criteri valgono 1 sono considerati determinanti, mentre quelli per cui un solo criterio vale 1 sono rilevanti. Tutti gli altri sono non rilevanti. E' importante sottolineare che nell'assegnazione dei punteggi ai vari criteri si considera il valore di ciascuna caratteristica per l'intero Mediterraneo (Tabella 13). I punteggi in parentesi per gli habitat DC e SGCF sono quelli riportati in letteratura (Relini, 2000), ma che non sono stati utilizzati ai fini del lavoro dal momento che si ritiene sottostimino il valore di questi habitat rispetto agli altri.

Il livello minimo di rappresentazione richiesto per ogni caratteristica di conservazione nei differenti scenari è riportato in Tabella 7. L'ammontare per le tipologie di habitat è sempre superiore al 20%, valore minimo consigliato dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (Stewart e Possingham, 2005).

Il livello di rappresentazione richiesto per le caratteristiche di conservazione è stato memorizzato in una tabella (*Target Table*), successivamente esportata nel corrispondente file di testo richiesto da MARXAN con lo strumento *Export to Target File* sviluppato con il MODEL BUILDER (Appendice 3).

Habitat	Valore naturalistico	Vulnerabilità	Rarità	Valore estetico	Valore economico	Rango
AP	1	2	2	2	2	2
C	1	1	2	1	2	1
DC	1 (2)	2	2	3	2	2
DE	2	3	2	3	1	2
HCn	1	1	1	2	2	1
HP	1	1	2	1	1	1
SFBC	1	2	3	3	2	2
SGCF	1 (2)	2	2	3	3	2
VTC	2	3	3	3	1	2

Tabella 13 – Definizione del valore di conservazione degli habitat.

### 3.4.2 Calibrazione ed esecuzione del software

La calibrazione è un processo indispensabile affinché MARXAN restituisca soluzioni ragionevoli ed efficienti e deve essere realizzata ad ogni variazione dei dati in ingresso (Fischer e Church, 2005).

Per ogni scenario di conservazione i parametri BLM e SPF (cfr. 3.2) sono stati opportunamente calibrati, al fine di scalare in modo appropriato i valori dei differenti termini della funzione obiettivo (Game e Grantham, 2008).

Il valore del parametro BLM è stato scelto in accordo alla procedura consigliata da Stewart e Possingham 2005, la quale consiste nel rappresentare graficamente il costo dell'area protetta in funzione del perimetro, valutando i *trade-off* tra i valori dei due parametri. Per ogni scenario, si è scelto il valore del BLM che determina una notevole riduzione del confine dell'area protetta producendo un piccolo incremento del costo totale (Figura 17), osservando anche il livello di frammentazione della soluzione su mappa.

Il valore adeguato del parametro SPF per ciascuna caratteristica di conservazione è stato stimato in accordo alla procedura suggerita in Fischer *et al.* (2008). In un primo momento è stato assegnato lo stesso valore al parametro SPF di tutte le caratteristiche di conservazione. In particolare, sono stati individuati i due valori per i quali il programma restituisce, nell'ambito di 100 esecuzioni, rispettivamente un numero basso e molto alto di soluzioni fattibili (ovvero soluzioni nelle quali tutte le caratteristiche di conservazione raggiungono il livello minimo di rappresentazione desiderato). Successivamente, ad ogni esecuzione, il parametro SPF delle caratteristiche di conservazione non adeguatamente rappresentate è stato incrementato per valori compresi in questo intervallo.

La calibrazione è stata realizzata con l'ausilio di codici MATLAB sviluppati all'uopo (Appendice 3).

Dopo aver calibrato il software, il programma è stato eseguito per ogni scenario 1000 volte, con un numero di iterazioni per ogni esecuzione pari a 1000000. L'uso di 1000 esecuzioni produce un campione abbastanza rappresentativo delle soluzioni possibili, mentre l'impiego di 1000000 di iterazioni aumenta la probabilità di individuare una soluzione con un valore della funzione obiettivo vicino al minimo globale. Ogni esecuzione è stata replicata 4 volte, ottenendo così 4 soluzioni migliori e 4 soluzioni sommate per ogni scenario.

Il programma è stato eseguito utilizzando l'algoritmo di *simulated annealing* seguito da un altro algoritmo euristico indicato con il nome di *iterative improvement*. Il primo algoritmo indaga lo spazio delle soluzioni in modo efficiente, mentre il secondo assicura che la soluzione rappresenti la migliore opzione nelle immediate vicinanze dello spazio decisionale (Fisher *et al.*, 2008).

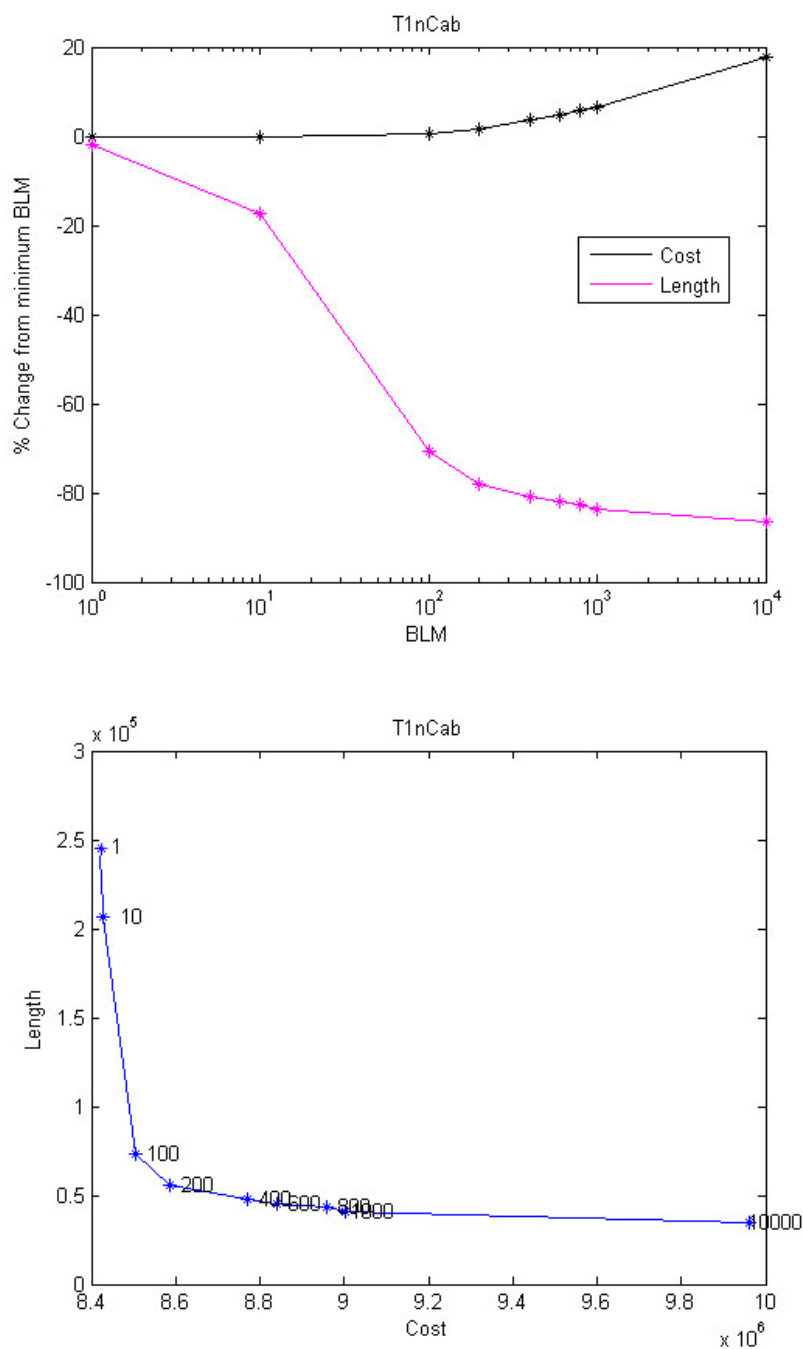


Figura 17 – Rappresentazioni del *trade-off* tra il costo ed il perimetro dell'area protetta.

### 3.4.3 Valutazione e rappresentazione dei risultati

Per valutare qualitativamente e quantitativamente le soluzioni prodotte da MARXAN per i vari scenari, i risultati sono stati sia rappresentati con mappe sia analizzati con tecniche di statistica descrittiva e multivariata.

A tal fine sono stati implementati dei codici in ambiente MATLAB che importano i file di testo generati da MARXAN, eseguono opportune analisi statistiche e producono dei file che possono essere importati direttamente in ARCMAP per la realizzazione di carte tematiche (Appendice 3). L'attuale versione di MARXAN, infatti, restituisce file di testo compatibili solo con ARCVIEW 3.2.



Le mappe sono state prodotte in ARCMAP, relazionando la classe di elementi che rappresenta le unità di pianificazione ai file contenenti la soluzione sommata e la soluzione migliore per ogni scenario di conservazione.

La soluzione migliore comprende le unità di pianificazione che determinano il valore più basso della funzione obiettivo, ovvero che consentono di raggiungere il livello minimo di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione al minor costo possibile. Nella mappa sono riportate in rosso le unità selezionate, in bianco le unità non selezionate, in grigio ed in rosa le unità rispettivamente incluse ed escluse a priori dalla soluzione finale.

La soluzione sommata riporta la frequenza di selezione delle unità di pianificazione, rappresentativa dell'importanza (priorità) che ciascuna di esse riveste per il raggiungimento degli obiettivi definiti in ogni scenario. Nella mappa le unità sono rappresentate in base alla frequenza di selezione, classificata in 5 intervalli di ampiezza definita (0-200, 201-400, 401-600, 601-800, 801-1000), con una scala graduata di colori che variano dal rosso (per le unità più frequenti e quindi più importanti) al verde (per le unità meno frequenti e quindi meno importanti). Nella mappa della soluzione sommata sono raffigurate anche le unità selezionate il 100% delle volte (con un retino di colore nero) e le unità caratterizzate da una frequenza di selezione superiore a quella casuale (con un bordo rosso), considerate "insostituibili" secondo la definizione di Stewart e Possingham (2005). Per individuare le unità insostituibili si è assunto che ogni unità ha un'uguale probabilità,  $p$ , di essere selezionata pari a:

$$p = (C - R)/(T - R)$$

Dove  $C$  rappresenta il numero medio di unità selezionate nell'ambito di un certo numero di esecuzioni del programma,  $T$  è il numero totale di unità di pianificazione,  $R$  è il numero di unità incluse o escluse a priori dalla selezione. Il numero di volte con cui un'unità con probabilità  $p$  di essere selezionata appare in un certo numero di esecuzioni avrà una distribuzione binomiale, se la selezione è casuale. Per tale frequenza è stato stimato l'intervallo di confidenza del 95%, utilizzando le funzioni di analisi statistica fornite da MATLAB (Appendice 3). Le unità con una frequenza di selezione maggiore del limite superiore dell'intervallo di confidenza sono state considerate insostituibili.

Le soluzioni migliori sono state confrontate rappresentando con degli istogrammi a barre i valori medi (sulle 4 repliche) della lunghezza del perimetro, dell'estensione superficiale e dell'impatto sulle attività antropiche per ogni scenario di conservazione. L'impatto sulle attività antropiche è stato calcolato sommando l'importanza relativa per le attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca di tutte le unità di pianificazione incluse nella soluzione migliore.

Le soluzioni sommate sono state confrontate con grafici di distribuzione delle frequenze medie di selezione (*box-plot*) e con una classificazione gerarchica, realizzata con il software PRIMER, selezionando la distanza euclidea come indice di somiglianza ed il legame medio come parametro per la creazione dei gruppi del dendrogramma.

## 4 RISULTATI

### 4.1 BASE DI DATI GIS

#### 4.1.1 Schema logico

Lo schema logico in UML della base di dati GIS è riportato in Appendice 1. Le classi di elementi già presenti nel modello di dati marini (*Marine Data Model*) sono in bianco, mentre gli elementi aggiunti per rappresentare specifiche informazioni sono in azzurro. I nomi delle classi e degli attributi sono in inglese, per conformità al modello di dati marini.

Il modello è disponibile sia come file VST (diagramma Visio) sia come file XML; quest'ultimo può essere usato per automatizzare la definizione dello schema fisico di un geodatabase ARCGIS attraverso strumenti CASE.

Il diagramma comprende due pacchetti logici (*packages*), *Folders* e *Geodatabase*, che definiscono, rispettivamente, l'organizzazione dei dati all'interno delle cartelle di sistema e del database ad oggetti. Il pacchetto *Folders*, infatti, racchiude altri pacchetti per l'archiviazione di dati che non possono essere memorizzati direttamente nel geodatabase come foto, video e documenti di vario formato. Il pacchetto *Geodatabase* contiene altri 2 pacchetti, *MPA Data* e *Mesh Data*, che raggruppano elementi per la rappresentazione di caratteristiche naturalistiche ed antropiche dell'AMP e di dati ottenuti da modelli numerici. Il pacchetto *MPA Data*, a sua volta, contiene i pacchetti *MPA Features*, *MPA Domains* e *MPA Objects*, che contengono rispettivamente classi per la rappresentazione di dati geografici, valori predefiniti per gli attributi e dati descrittivi (Figura 18). Le classi rappresentanti oggetti geografici e descrittivi ereditano gli attributi da due classi genitrici (*Object* e *Features*). L'ereditarietà è rappresentata da frecce che puntano verso la classe da cui sono ereditati gli attributi. Nel modello esistono anche classi astratte, il cui nome è indicato in corsivo. Queste classi non rappresentano istanze di oggetti ma tipologie logiche. Le relazioni tra le classi sono indicate con dei connettori alle cui estremità è riportato il tipo di relazione (uno a uno, uno a molti, molti a molti).

In Figura 19 sono raffigurate le classi per la rappresentazione della zonizzazione e degli habitat dell'AMP (*Zoning* e *Habitat*); le classi, di geometria poligonale, ereditano parte dei propri attributi dalla classe astratta *MPAFeature*, rappresentativa di un generico oggetto geografico. Per tali classi sono definite i domini *ZoneType* e *HabitatList*. Quest'ultima contiene le tipologie di habitat della lista del RAC-SPA (Relini, 2000), che per brevità non sono state riportate.

Le classi in Figura 20, invece, sono state utilizzate per archiviare i dati relativi ai campionamenti di benthos. Le classi *Instantaneous Point* e *Measurement* (già presenti nel modello di dati marini) rappresentano la data di acquisizione e la posizione geografica dei campioni, mentre *BenthosSample* e *SampledBenthicTaxon* memorizzano informazioni generali sul campione (ad

es. codice, numero di replica, substrato, intervallo batimetrico) e sui gruppi tassonomici campionati (ad es. nome ed abbondanza del *taxon*).

Le classi in Figura 21, invece, rappresentano le informazioni relative ai censimenti visivi del benthos (*BenthicTaxonObservation*) acquisite lungo percorsi lineari (*Track*); queste informazioni, memorizzate in tabelle, possono essere georeferenziate conoscendo la loro posizione lungo il percorso, attraverso tecniche di segmentazione dinamica (Di Donato e Russo, 2004).

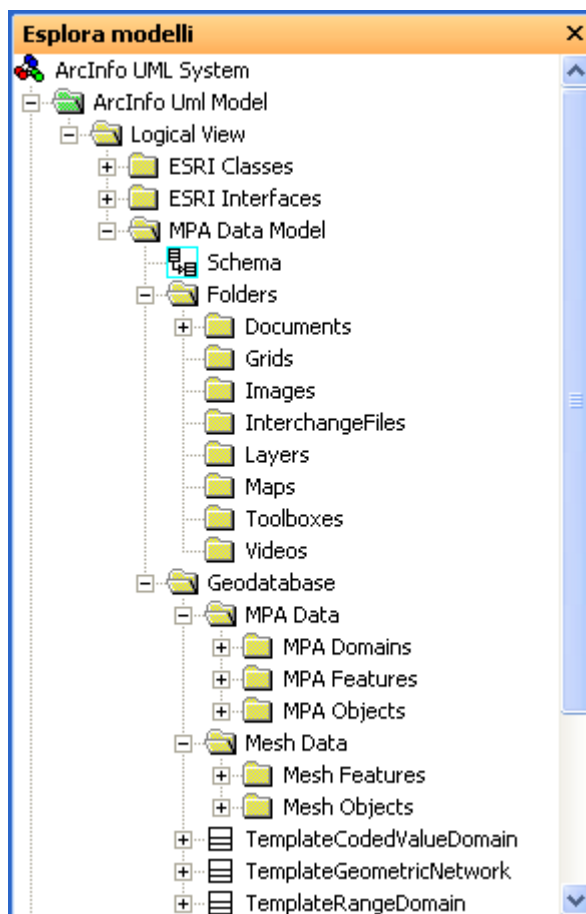


Figura 18 – Organizzazione logica degli elementi nel modello di dati.

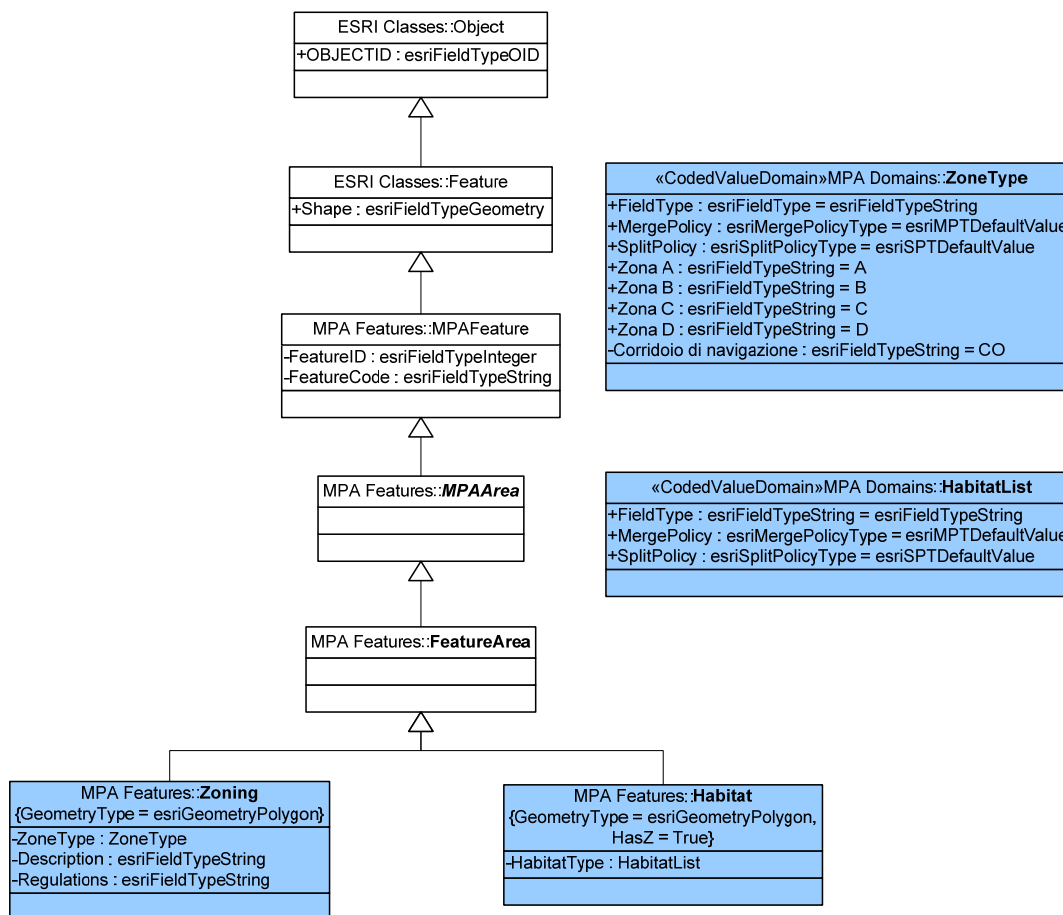


Figura 19 – Classi per la rappresentazione della zonizzazione, degli habitat e dei relativi domini.

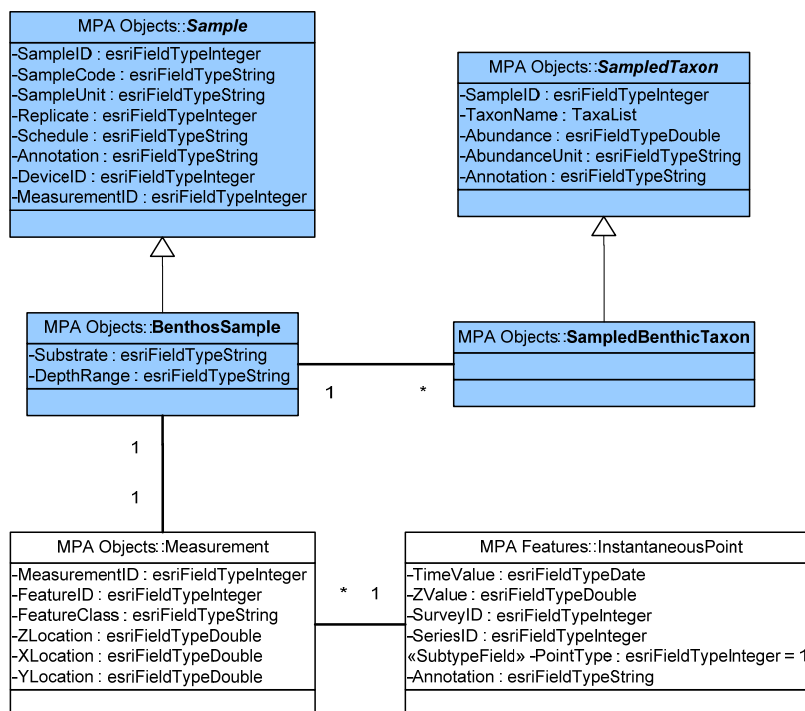


Figura 20 – Classi per la rappresentazione delle informazioni associate ai campioni di benthos.

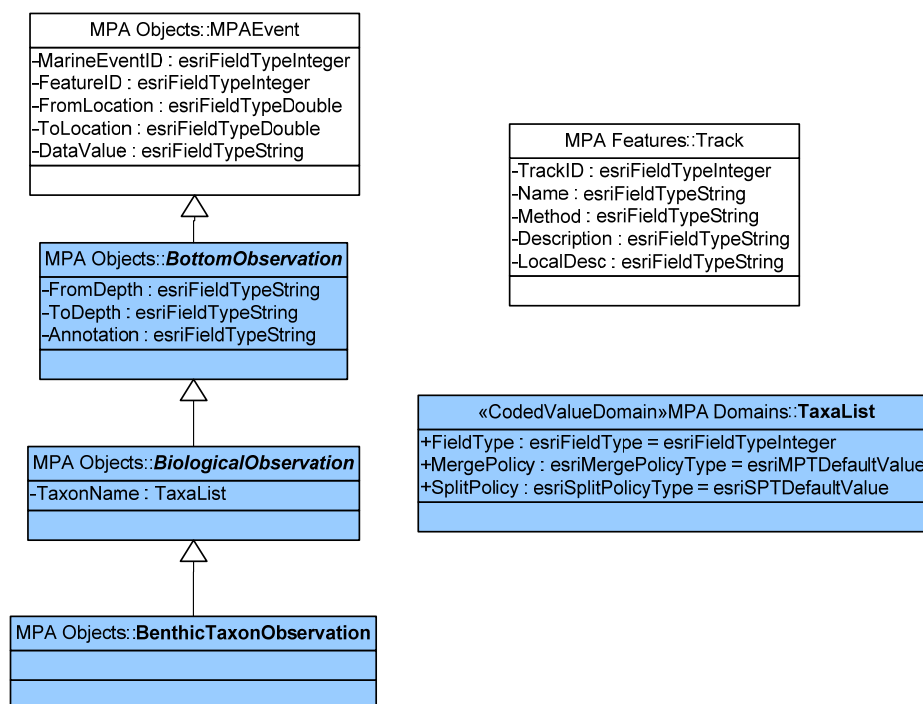


Figura 21 – Classi per la rappresentazione delle informazioni associate ai censimenti visivi di benthos.

#### 4.1.2 Schema fisico

Lo schema fisico della base di dati GIS si compone di un geodatabase ARCGIS e di diverse cartelle di sistema per la memorizzazione di informazioni di varia natura, come documenti, immagini, foto, mappe, livelli informativi e procedure di calcolo.

Il geodatabase è costituito da due gruppi di classi di elementi, *Mesh Features* e *MPA Feature*, che, in conformità al modello di dati marini, contengono classi per rappresentare rispettivamente dati ottenuti da modelli numerici e caratteristiche antropiche e naturalistiche rappresentabili con punti, linee e poligoni.

Nella Figura 22 è riportata una parte dello schema fisico della base di dati. Alcune classi sono quelli presenti nel modello di dati marini (ad es. *FeatureArea*, *Shoreline*, *Track*), altre, invece, sono state aggiunte per rappresentare specifiche informazioni (ad es. *Habitat*, *MooringZone*, *Substrate*, *BenthosSample*). Sono visibili anche le relazioni tra classi di oggetti, come la relazione *BenthosSampleHasTaxa*, che consente di accedere agli elenchi di specie associate ad un campione di benthos. La cartella *Layers* contiene i livelli informativi ed il foglio di stile per la rappresentazione cartografica degli oggetti contenuti nel geodatabase (Tabella 14).

Le cartografie prodotte per i differenti aspetti che caratterizzano l'AMP sono illustrate nei paragrafi successivi.

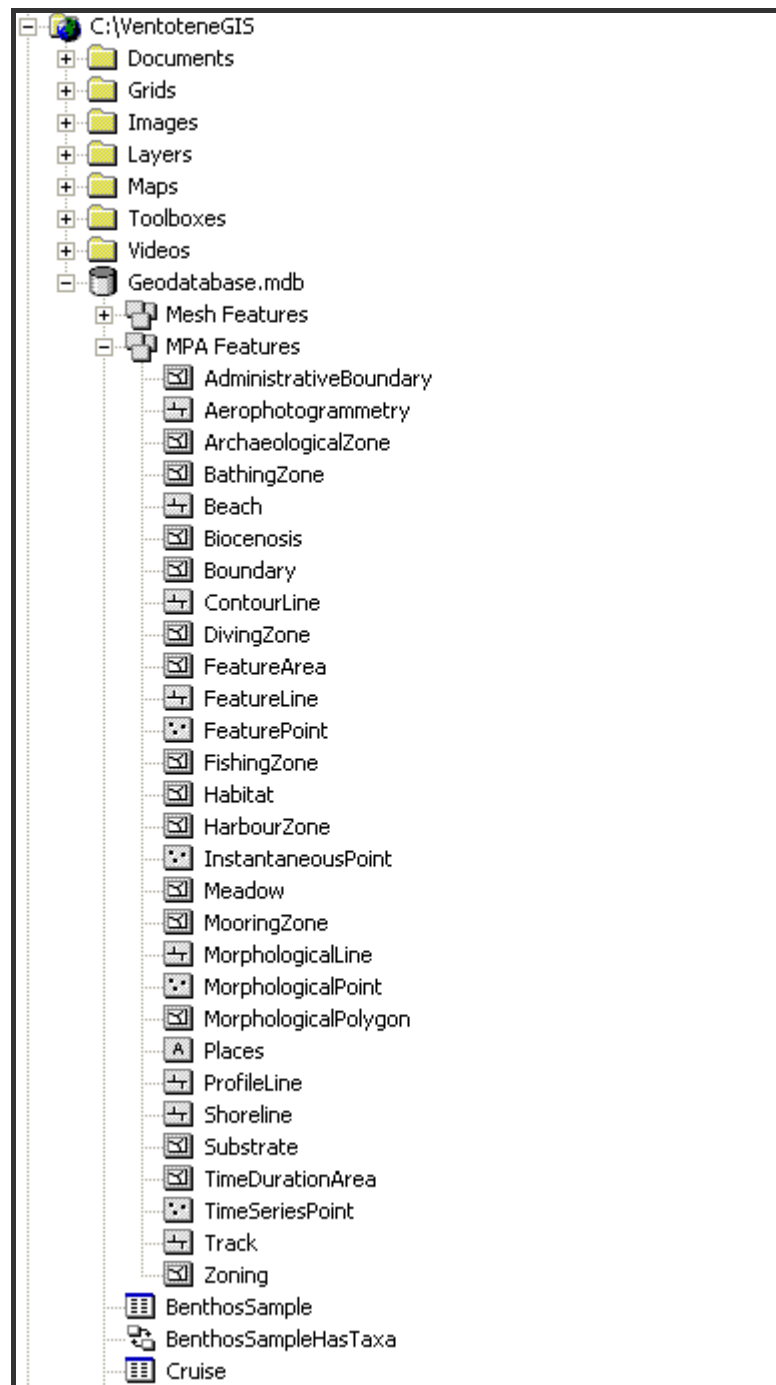












Figura 22 – Schema fisico della base di dati GIS (la figura rappresenta solo una parte dello schema).

Simbolo	Codice Pantone	Habitat	Acronimo	Codice RAC-SPA	Descrizione
	DE1-3C	Biocenosi delle sabbie fini ben calibrate	SFBC	III.2.2.	Popolamento costituito da specie che vivono su sabbie fini a granulometria omogenea e di origine prevalentemente terrigena, in genere tra i 2.5 m e i 25 m di profondità.
	DE272-C	Prateria a <i>Cymodocea nodosa</i>	HCn	III.2.2.1. III.2.3.4.	Praterie della fanerogama marina <i>Cymodocea nodosa</i> presente su sabbie infangate superficiali in acque riparate o su sabbie fini ben calibrate.
	DE325-8C	Biocenosi delle sabbie grossolane e ghiaie fini sotto l'influenza di correnti di fondo	SGCF	III.3.2. e IV.2.4.	Popolamento costituito da specie che vivono tra sabbie grossolane e ghiaie fini, dominate da elementi organogeni (gusci calcarei) trasportati da correnti di fondo. E' presente tra i 20 m e i 50 m di profondità.
	DE272-1C	Prateria a <i>Posidonia oceanica</i>	HP	III.5.1.*	Praterie della fanerogama marina endemica del Mediterraneo <i>Posidonia oceanica</i> .
	DE272-1C	Prateria a chiazze di <i>Posidonia oceanica</i>	THP		Praterie della fanerogama marina endemica del Mediterraneo <i>Posidonia oceanica</i> con copertura a chiazze.
	DE4-4C	Biocenosi delle alghe infralitorali	AP	III.6.1.	Popolamento costituito da specie fotofile di fondo duro, in prevalenza vegetali, presenti nei livelli più superficiali di zone riparate o esposte alle mareggiate.
	DE12-3C	Biocenosi dei fanghi terrigeni costieri	VTC	IV.1.1.	Popolamento costituito da specie di fondo molle a granulometria fine presenti in profondità. I fanghi possono derivare dalla decantazione delle frazioni più fini del materiale terrigeno scaricato in mare dai corsi d'acqua.
	DE14-6C	Biocenosi dei fondi detritici infangati	DE	IV.2.1.	Popolamento costituito da specie che vivono su fondo molle caratterizzato da una maggiore quantità di sedimento fine rispetto a quelli del DC, in quanto presente a profondità maggiori.
	DE330-4C	Biocenosi del detritico costiero	DC	IV.2.2.	Popolamento costituito da specie che vivono su fondo molle costituito sia da ghiaia e sabbia, derivanti dalla degradazione delle rocce in loco, che da bioclasti (frammenti di organismi) provenienti da formazioni coralligene.
	DE88-1C	Biocenosi del coralligeno	C	IV.3.1.*	Popolamento costituito da specie sciafile di fondo duro, in prevalenza animali sessili, presenti sia lungo le pareti rocciose (coralligeno di falesia) sia al largo come bioconcrezionamenti isolati (coralligeno di piattaforma).

**Tabella 14 - Simboli per la rappresentazione delle associazioni bentoniche; le biocenosi prioritarie per la protezione sono indicate con un asterisco accanto al codice RAC-SPA (da Russo *et al.*, 2008).**

## 4.2 CARATTERISTICHE DELL'AMP

### 4.2.1 Aspetti naturalistici

L'AMP di Ventotene e Santo Stefano si estende intorno alle isole di Ventotene e Santo Stefano per circa 2800 ha, dalla battigia fino ad una profondità di circa 100 m (Figura 23).

La parte emersa dell'isola di Ventotene si erge su un "terrazzo" marino posto tra la costa ed una profondità di circa 30 m. Questo pianoro è costituito prevalentemente da sabbie grossolane, ampiamente colonizzate da praterie più o meno fitte della fanerogama marina *Posidonia oceanica* e puntellato da franate rocciose, in particolare nel settore nord-occidentale (Figura 25). A profondità maggiori la sabbia si arricchisce di elementi più fini. Le conoidi, formate laddove l'apporto sedimentario da parte della "terraferma" è maggiore (ad es. in corrispondenza di falesie in continuo crollo), sono più frequenti nel settore nord-occidentale dell'isola. I *mega-ripples*, ovvero onde di sabbia di lunghezza decametrica e altezza pari a 1-2 m, si osservano tra 60 e 100 m di profondità, laddove l'idrodinamismo è maggiore (ad es. a ridosso delle scarpate morfologiche). Depressioni circolari dovute a risalita di gas (*pock-marks*) sono presenti a profondità elevate (intorno a 80-100 m) a nord-est dell'isola, dove sono state rilevate anche numerose biocostruzioni di diametro fino a 10 m (GeoLab, 2005).

La mappa della complessità del fondo, espressa dalla variazione di pendenza per unità di superficie (Ardron, 2002), evidenzia diverse zone caratterizzate da un'elevata complessità del rilievo, soprattutto a nord di Punta Eolo e in prossimità di Punta dell'Arco (Figura 24).

I popolamenti bentonici di fondo molle sono ben rappresentati dalla biocenosi del Detritico Infangato (DE), che costituisce circa la metà (49%) dei fondali che circondano le due isole<sup>3</sup> (Figura 26 e Figura 27). Tale popolamento si arricchisce di specie tipiche della biocenosi del Detritico Costiero (DC) nel settore nord-orientale dell'isola ed è sostituita dalla biocenosi dei Fanghi Terrigeni Costieri (VTC) intorno ai 100 m di profondità. I popolamenti di fondo duro, invece, sono caratterizzati da associazioni tipiche del Coralligeno (C), presente sia al largo che lungo la costa, e della Biocenosi delle Alghe Infralitorali (AP) che costituiscono rispettivamente il 3.7% e 0.7% dell'area di studio. Le praterie di *Posidonia oceanica* rappresentano il 7.4% dei fondali e sono presenti intorno tutta l'isola di Ventotene, prevalentemente su sabbia, ma anche su roccia e *matte* (Figura 28), e fino ad una profondità di 40 m. La *matte* è costituita dai rizomi delle piante, da vecchio fogliame e da materiale sedimentario e organico intrappolato insieme ad una certa percentuale di detrito fine che viene trattenuta. Abbastanza frequenti (7% della superficie totale) sono i fondali caratterizzati da posidonia a chiazze, presente prevalentemente su sabbia tra le isole di Ventotene e Santo Stefano. I valori di superficie riportati nel testo sono relativi all'estensione tridimensionale dei popolamenti bentonici nell'area di studio (Tabella 15).

<sup>3</sup> Le stime in percentuale si riferiscono all'estensione totale della mappa bionomica.



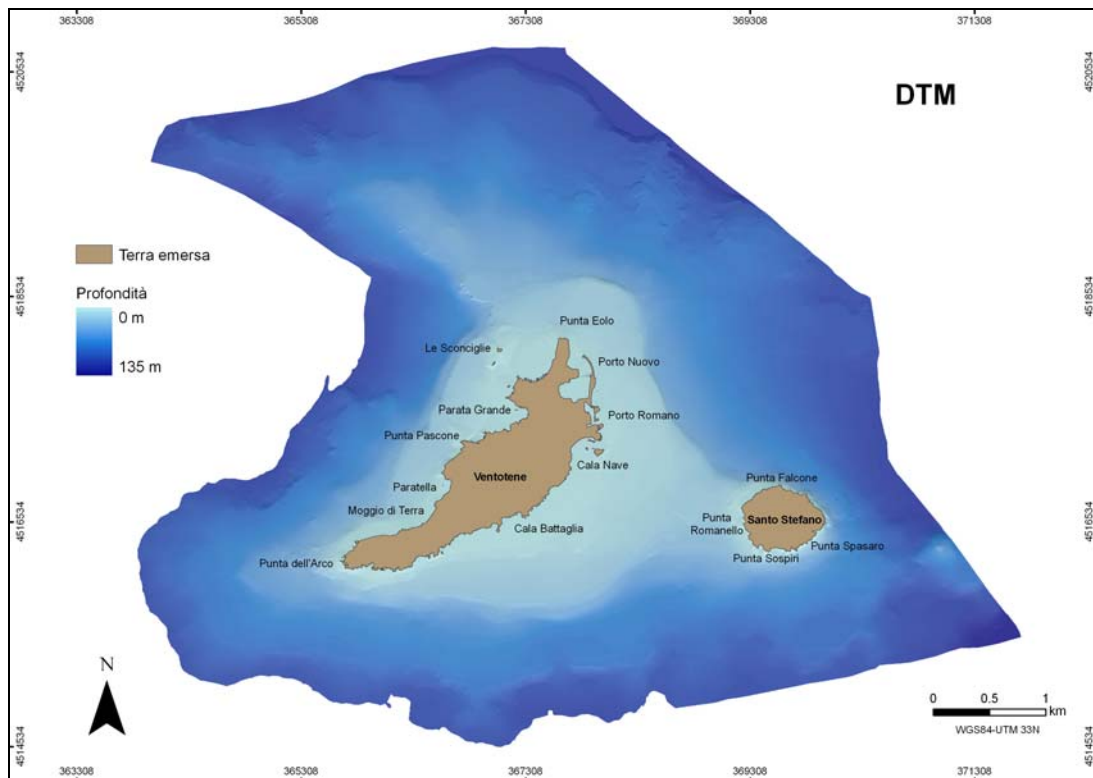


Figura 23 – Mappa del modello digitale del fondo marino (*Digital Terrain Model* o DTM).

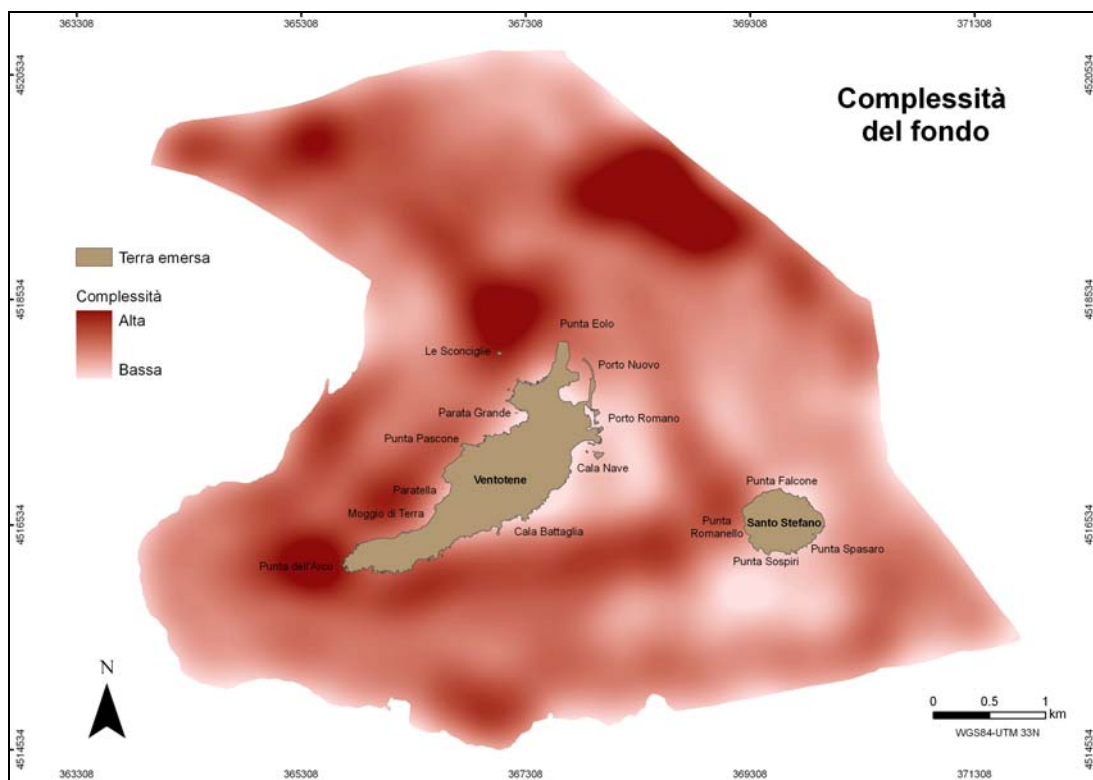


Figura 24 –Mappa della complessità del fondo ottenuta con la procedura di Ardron (2002).

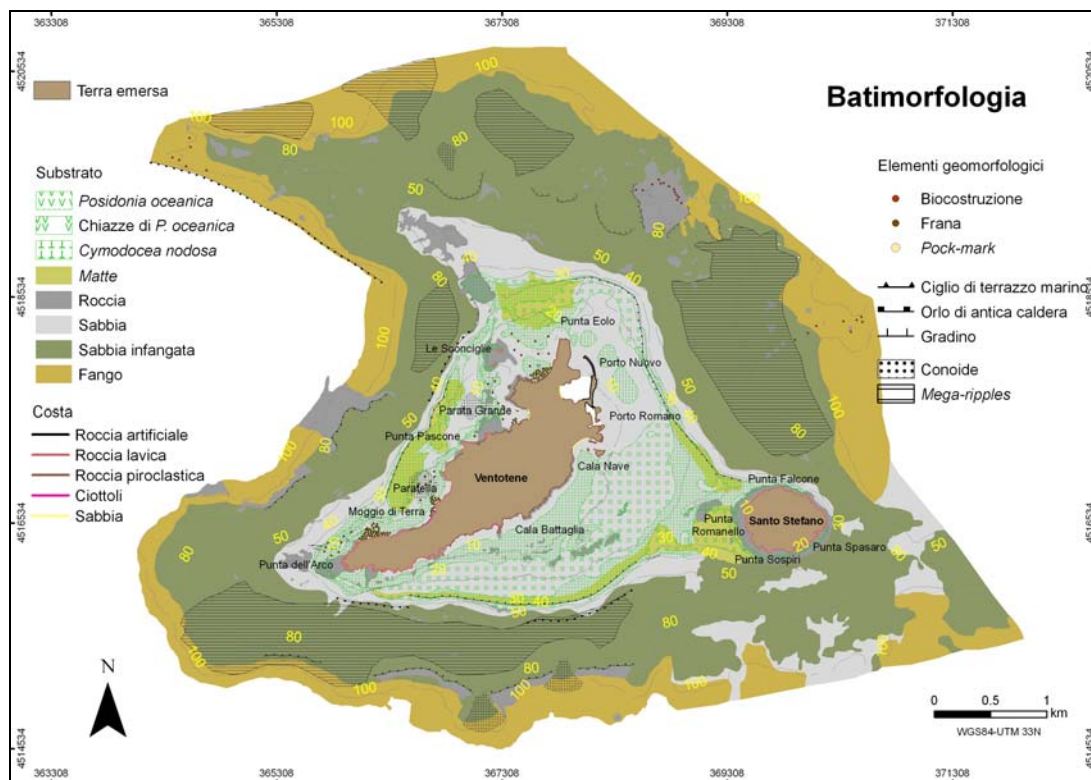


Figura 25 – Mappa di distribuzione delle tipologie di costa e della batimorfologia del fondo.

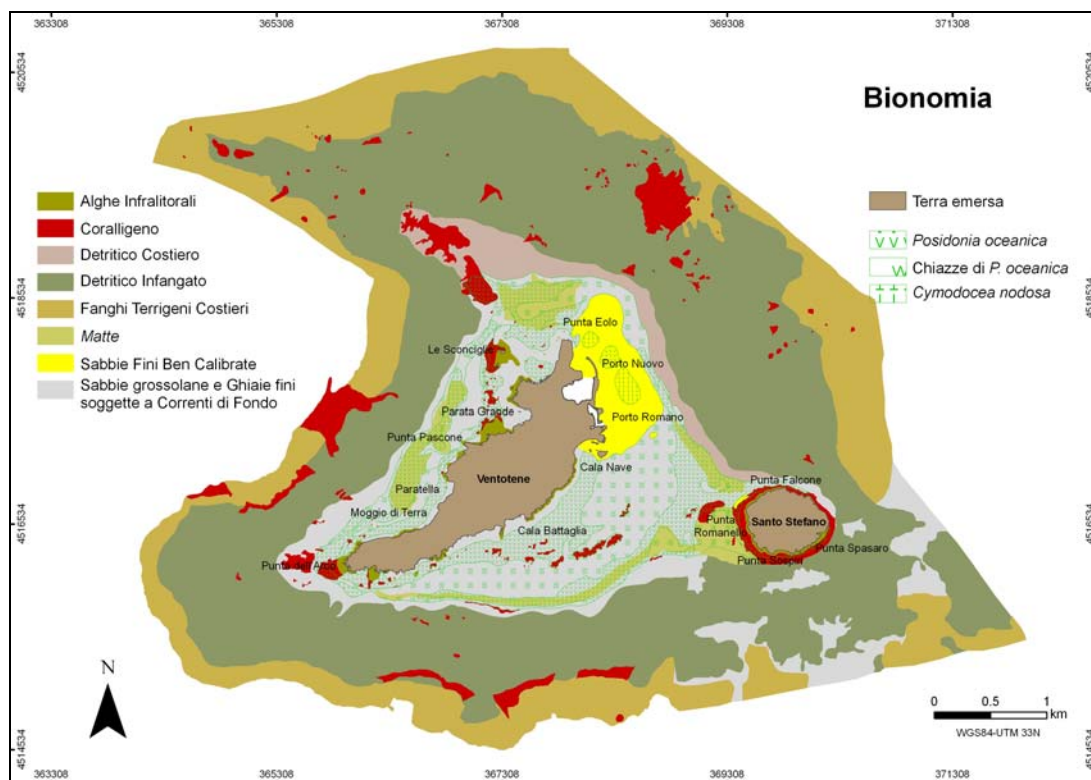


Figura 26 – Mappa di distribuzione delle principali biocenosi bentoniche (bionomica).

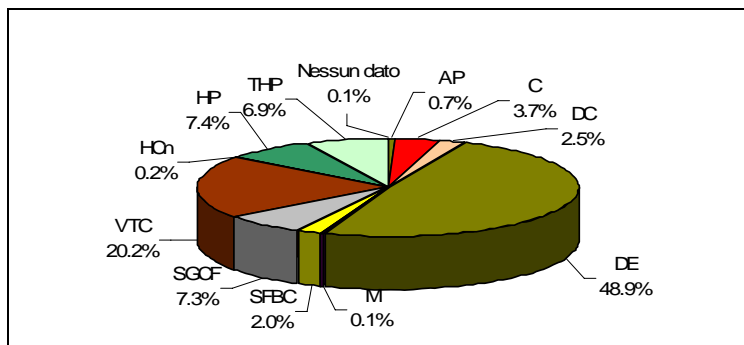


Figura 27 – Estensione percentuale delle tipologie di biocenosi.

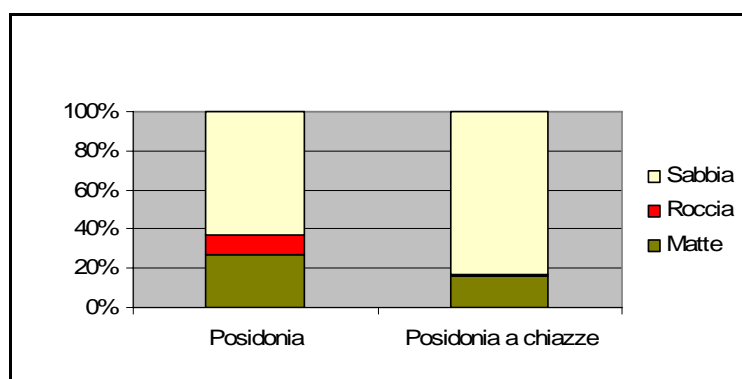


Figura 28 – Estensione percentuale del substrato d'impianto delle praterie di *Posidonia oceanica*.

Habitat	Superficie 2D (m <sup>2</sup> )	Superficie 3D (m <sup>2</sup> )	Differenza (m <sup>2</sup> )	Errore relativo (%)
AP	183058	188840	5782	3.06
C	1036270	1053805	17535	1.66
DC	707352	712685	5334	0.75
DE	13988503	14036741	48238	0.34
HCn	64785	64804	19	0.03
HPm	568862	571327	2465	0.43
HPr	209630	213309	3679	1.72
HPs	1344672	1353995	9323	0.69
M	39574	39863	290	0.73
SFBC	574442	577191	2749	0.48
SGCF	2086415	2103686	17270	0.82
THPm	325135	326224	1089	0.33
THPr	16734	16777	43	0.26
THPs	1641907	1648919	7012	0.43
VTC	5778762	5793418	14656	0.25

Tabella 15 – Estensione, come superficie bidimensionale e tridimensionale, delle tipologie di biocenosi.

## 4.2.2 Aspetti antropici

Gli usi del territorio marino sono illustrati nella mappa di Figura 30, dove sono raffigurati i principali siti di balneazione, ancoraggio, immersione e pesca, individuati sulla base delle indagini realizzate nella stagione estiva 2005 (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005; Matrone, 2006).

I principali siti di balneazione sono le spiagge sabbiose di Cala Nave, di Cala Rossano (nel Porto Nuovo) e di Parata Grande (accessibile mediante una lunga scalinata). Anche le scogliere di Punta Eolo e Cala Nave sono frequentate da bagnanti, ma in numero inferiore rispetto a siti su citati (Figura 31). In realtà lungo la costa esistono diverse calette, come Cala Battaglia e Moggio di Terra, che sono raggiungibili solo da mare.

I principali siti di ancoraggio sono localizzati in prossimità di Parata Grande, Punta Pascone, Punta dell'Arco, Cala Battaglia, Cala Nave e Santo Stefano. Il sito di gran lunga più frequentato è Cala Battaglia, dove ha ancorato il 33% delle imbarcazioni rilevate nella stagione estiva del 2005 (Matrone, 2006) (Figura 32).

Nell'AMP esistono numerosi siti di immersione, di cui i principali sono Punta dell'Arco, Grotta dei Gamberi, le Sconcioglie, il relitto di Santa Lucia e gli scogli di Capri a Ventotene; Punta Falcone, Scalo 4, la Molara e Punta Cannucce a Santo Stefano (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005) (Figura 33).

La pesca non rappresenta un'attività rilevante per l'economia locale, dal momento che solo due imbarcazioni svolgono pesca professionale e per lo più all'esterno dei confini dell'AMP. All'interno dell'AMP si individuano due principali zone di pesca, caratterizzate da fondo roccioso misto a fango, situate rispettivamente a nord-est (intorno ai 100 m) e a nord-ovest (tra i 50 e i 100 m) dell'isola di Ventotene (Figura 29).

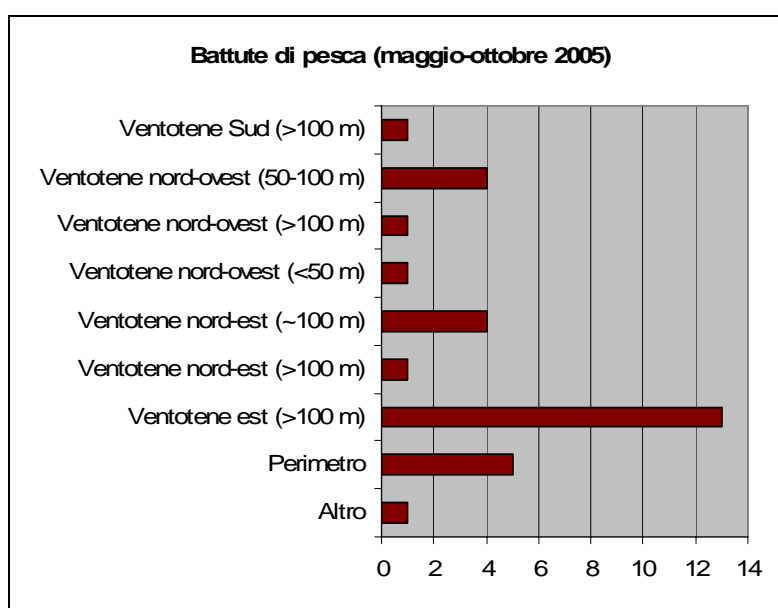


Figura 29 – Numero di imbarcazioni per zona di pesca.

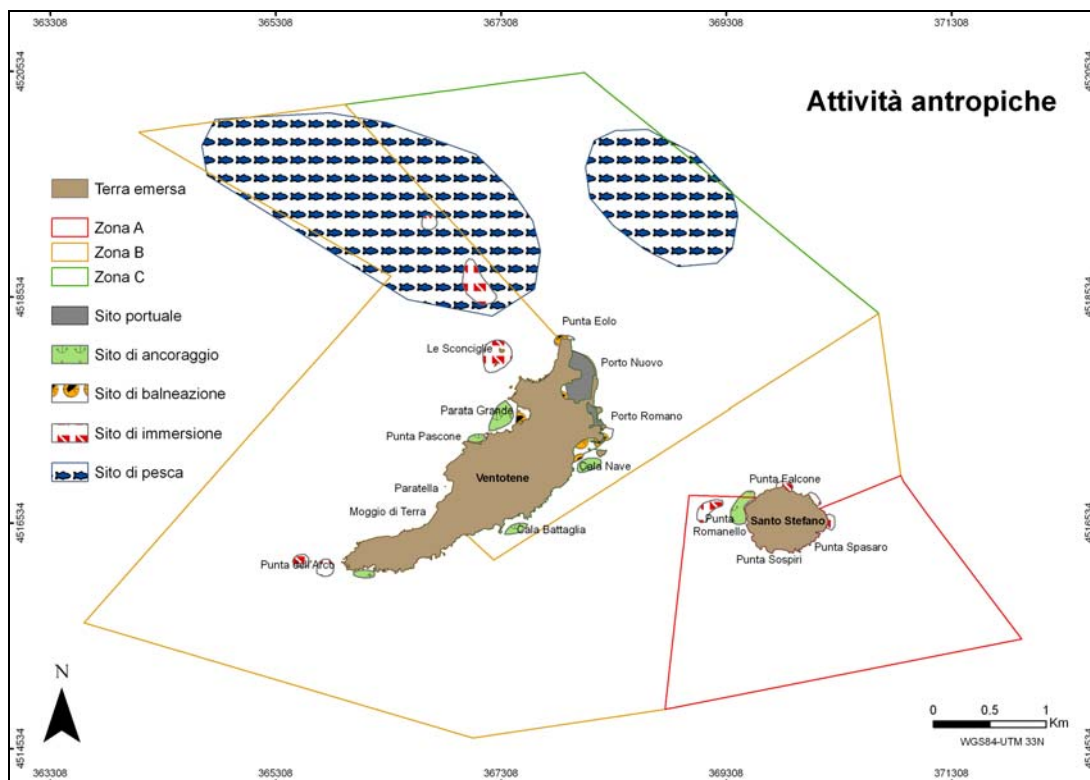


Figura 30 – Mappa dell’uso del territorio marino.

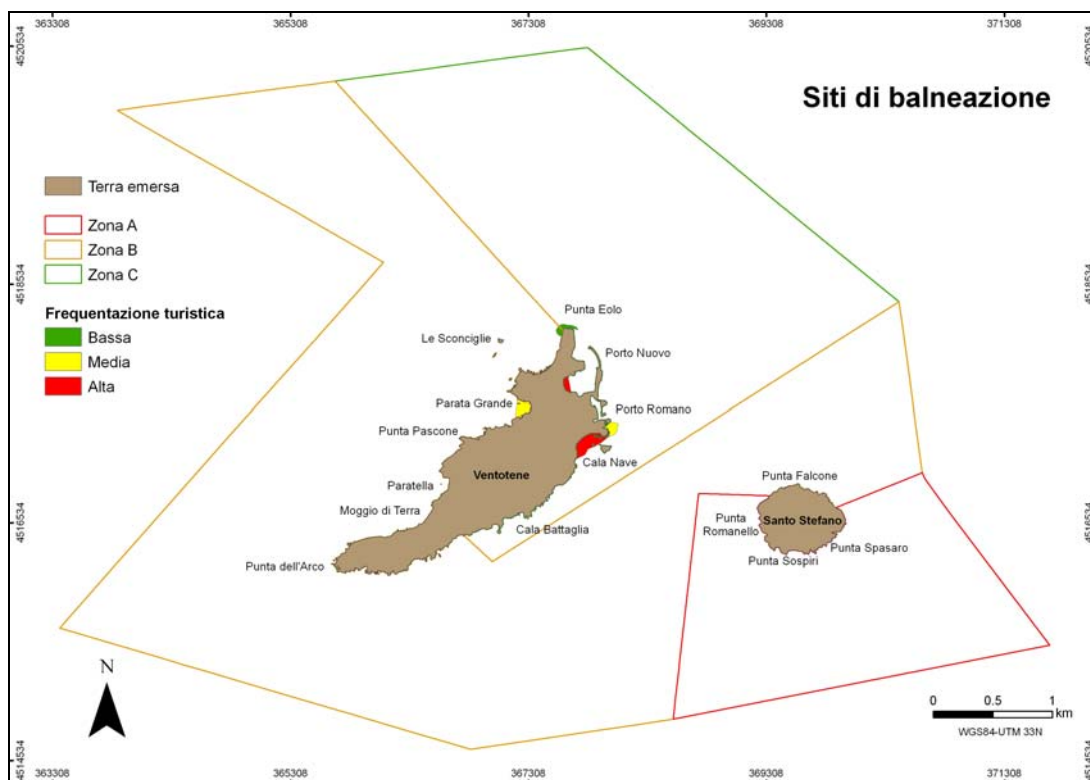


Figura 31 – Mappa dei siti di balneazione accessibili da terra rappresentati in base alla frequentazione turistica della spiaggia.



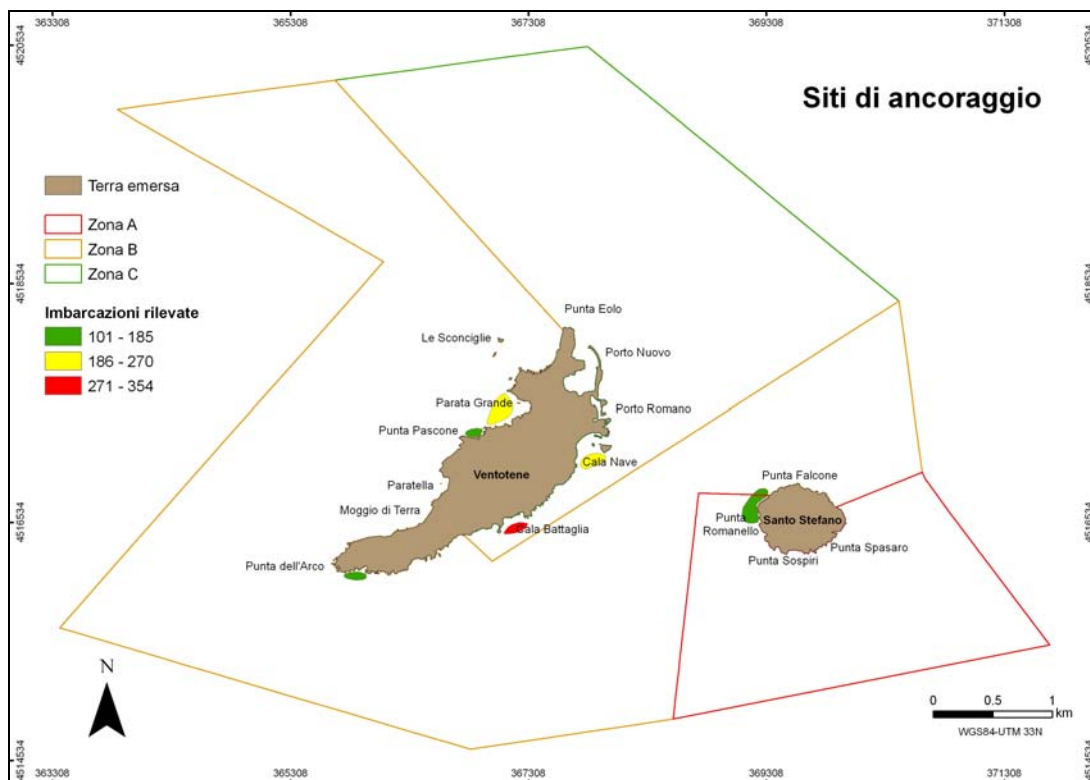


Figura 32 – Mappa dei principali siti di ancoraggio rappresentati in base al numero totale di imbarcazioni rilevate.

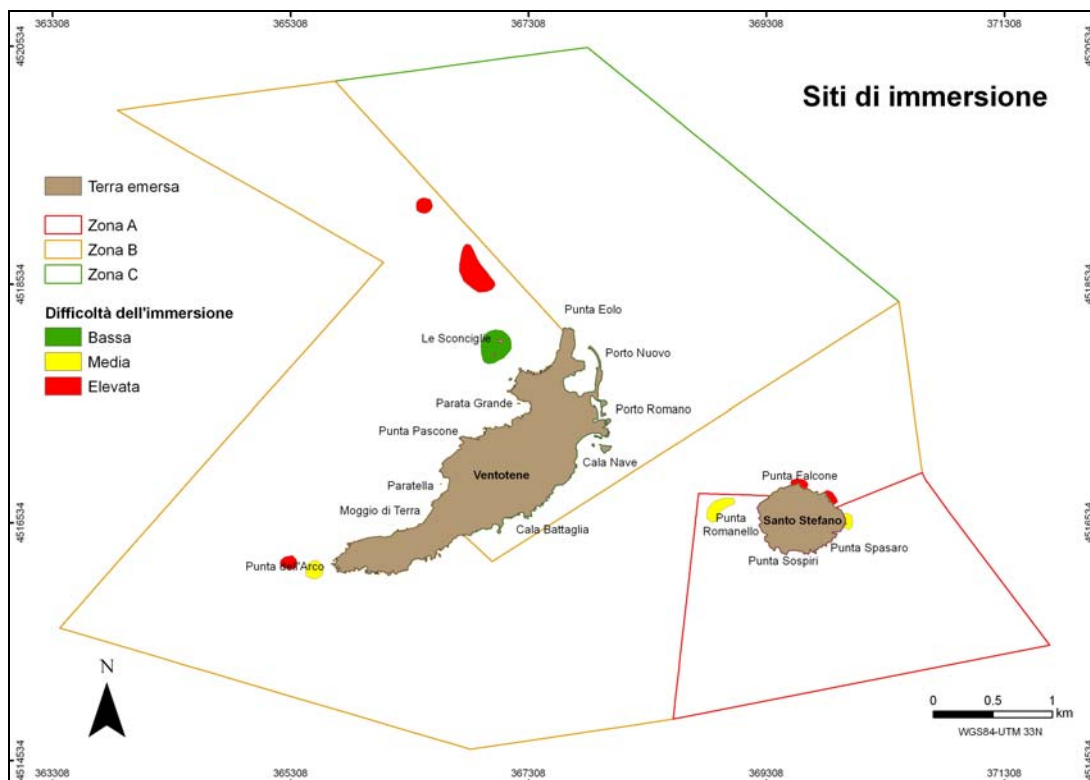


Figura 33 – Mappa dei principali siti di immersione rappresentati in base al livello di difficoltà.

## 4.3 SCENARI DI CONSERVAZIONE

In questo paragrafo sono illustrati i risultati ottenuti eseguendo l'applicativo MARXAN per i differenti scenari di conservazione, sotto forma di mappe e grafici.

In relazione agli obiettivi definiti negli scenari, viene fornita una valutazione dell'efficacia ed efficienza dello schema di zonizzazione attuale, mentre, sulla base dei risultati ottenuti, si propone un nuovo schema di zonizzazione dell'AMP.

Come già specificato nel capitolo dei metodi, ogni scenario è individuato da un codice alfanumerico (cfr. 3.4.1). I primi due caratteri del codice identificano le caratteristiche di conservazione (Tabella 7), il terzo indica eventuali vincoli (Tabella 8), gli ultimi due individuano i fattori di costo (Tabella 9).

A titolo di esempio, il codice T1aCter identifica lo scenario di conservazione il cui l'obiettivo è rappresentare adeguatamente le caratteristiche naturalistiche del gruppo T1, includendo a priori le unità di pianificazione che ricadono nell'attuale Zona A e minimizzando, in modo imparziale, l'impatto sulla gestione e sulle attività antropiche. In questo, come in tutti gli altri scenari, la zona portuale è stata esclusa dalla selezione.

Per ogni scenario sono fornite le mappe della soluzione migliore e della relativa soluzione sommata prodotte da MARXAN nell'ambito delle 4 repliche delle 1000 esecuzioni dell'algoritmo di *simulated annealing*.

La soluzione migliore comprende le unità di pianificazione che determinano il valore più basso della funzione obiettivo, ovvero che consentono di raggiungere il livello minimo di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione al minor costo possibile. Nella mappa sono riportate in rosso le unità selezionate, in bianco le unità non selezionate, in rosa ed in grigio le unità rispettivamente incluse ed escluse a priori dalla soluzione migliore.

La soluzione sommata riporta la frequenza di selezione di ciascuna unità, rappresentativa dell'importanza (priorità) che ciascuna di esse riveste per il raggiungimento degli obiettivi definiti in ogni scenario. Nella mappa le unità sono rappresentate in base alla frequenza di selezione, classificata in 5 intervalli di ampiezza definita (0-200, 201-400, 401-600, 601-800, 801-1000), utilizzando una scala graduata di colori che variano dal rosso (per le unità più frequenti) al verde (per le unità meno frequenti). La mappa della soluzione sommata mostra anche le unità selezionate il 100% delle volte (con un retino di colore nero) e le unità caratterizzate da una frequenza di selezione superiore a quella casuale (con un bordo rosso), che sono considerate "insostituibili" secondo la definizione di Stewart e Possingham (2005) (cfr. 3.4.3).

### 4.3.1 Efficacia ed efficienza dell'attuale schema di zonizzazione

La distribuzione delle associazioni bentoniche e degli elementi geomorfologici ritenuti di rilievo per la conservazione è illustrata nel grafico di Figura 36, dove l'estensione superficiale di ciascuna caratteristica di conservazione è raffigurata in relazione all'attuale schema di

zonizzazione dell'AMP (Figura 34 e Figura 35) ed al livello minimo di rappresentazione definito per i differenti scenari. L'estensione, in percentuale, delle caratteristiche di conservazione è rappresentata con degli istogrammi a barre, mentre il livello di rappresentazione richiesto è indicato con dei marcatori di differente forma e colore.

Nell'attuale zona di protezione integrale (Zona A) i popolamenti bentonici sono presenti con una percentuale quasi sempre inferiore a quella minima richiesta negli scenari di conservazione, fatta eccezione per la biocenosi SGCF. Alcune tipologie di habitat, peraltro, non sono presenti affatto, come le biocenosi DC, SFBC e HCn, che appaiono prevalentemente nella zona di protezione parziale (Zona C).

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, l'unico elemento di rilievo in Zona A è rappresentato dalle falesie di roccia basaltica, che costituiscono circa il 22% dell'estensione totale di questa tipologia costiera nell'area di studio.

Dal grafico emerge anche che una certa percentuale delle caratteristiche di conservazione ricade al di fuori dell'attuale schema di zonizzazione, in quanto, verso il largo, i confini dell'AMP non sono perfettamente coincidenti con quelli dell'area di studio.

Per quanto riguarda la composizione in specie dei popolamenti bentonici di fondo duro, nell'attuale Zona A è presente circa l'80% dei gruppi tassonomici campionati (46/59). Nell'elenco dei gruppi tassonomici non appare nessuna specie di interesse per la conservazione, fatta eccezione per la madrepora *Astroides calycularis*, specie endemica del Mediterraneo e protetta in Italia. Quest'ultima finora è stata campionata solo in Zona B.

L'uso del territorio marino in relazione all'attuale zonizzazione dell'AMP è illustrato in Figura 37. I valori percentuali sono indicativi dell'importanza relativa di ciascuna zona per le attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca (cfr 3.4.1).

La balneazione e la pesca si svolgono prevalentemente in Zona C (77% e 63%). La subacquea interessa soprattutto la Zona B (72%) ed in parte anche la Zona A (28%), dove si trovano due siti di immersione. Il diportismo si distribuisce più o meno equamente tra la Zona B (41%) e la Zona C (52%), con un sito di ancoraggio che ricade parzialmente nell'attuale zona di protezione integrale.



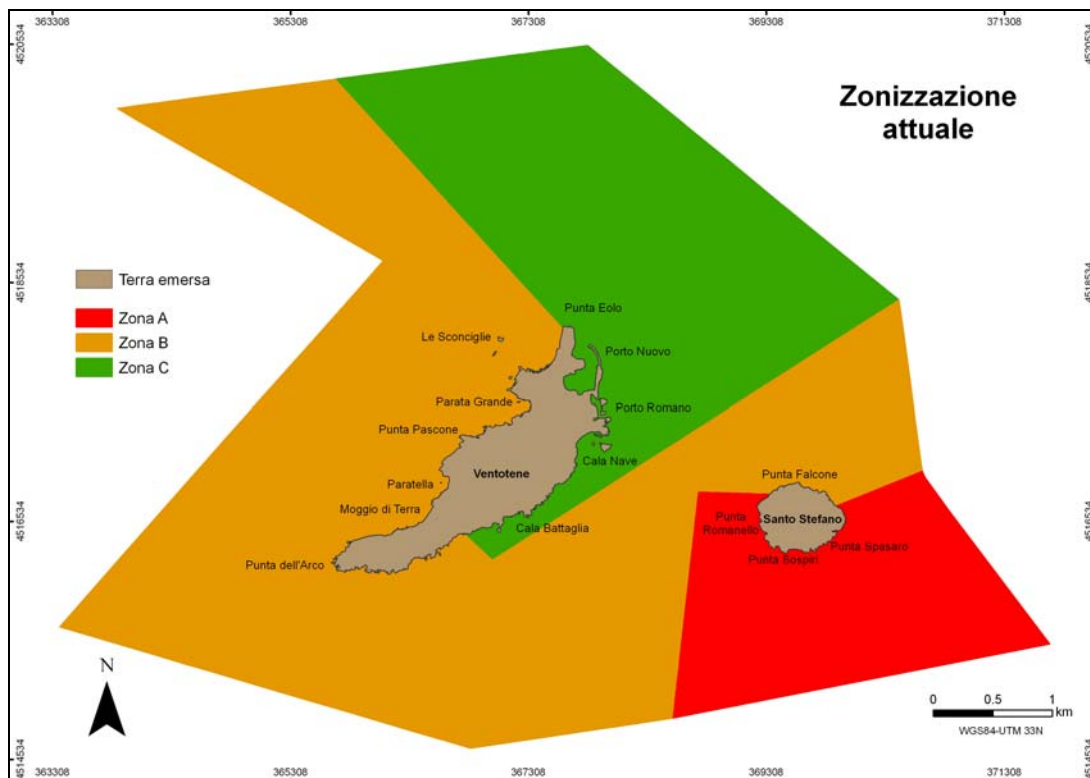


Figura 34 – Mappa della zonizzazione attuale.



Figura 35 – Estensione percentuale delle Zone A, B e C in base alla zonizzazione attuale.

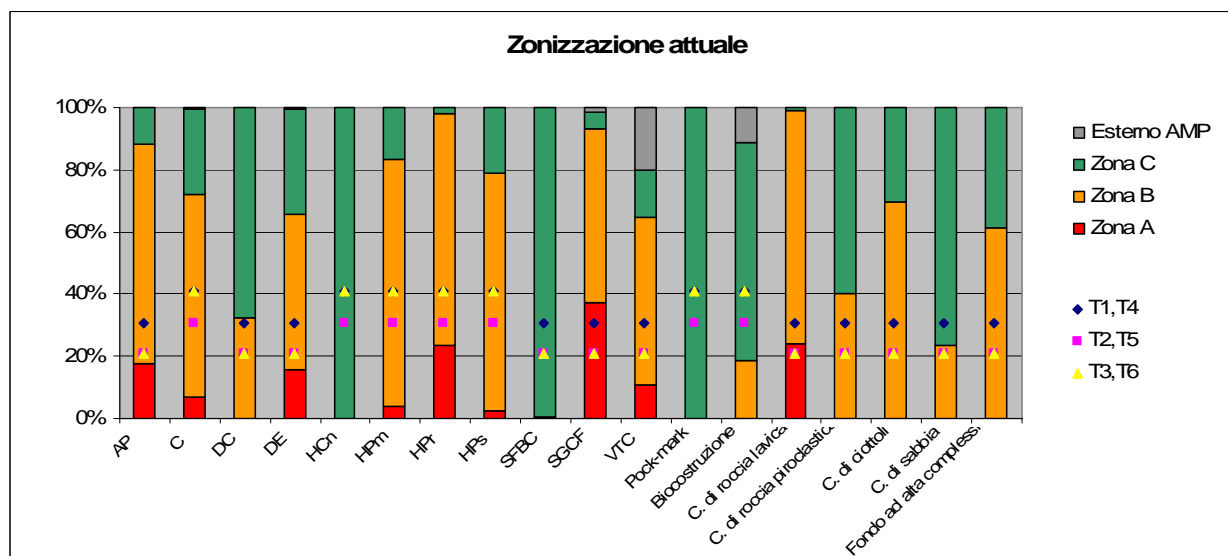


Figura 36 – Distribuzione delle caratteristiche di conservazione in relazione alla zonizzazione attuale ed agli obiettivi di conservazione.

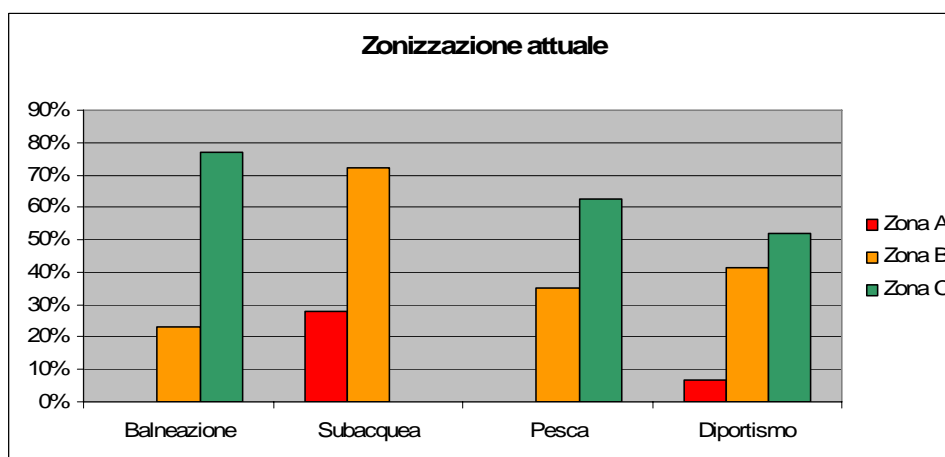


Figura 37 – Importanza relativa delle Zone A, B e C per lo svolgimento delle attività antropiche in relazione alla zonizzazione attuale.

### 4.3.2 Siti prioritari per obiettivi naturalistici

L'obiettivo di questi scenari è rappresentare adeguatamente le caratteristiche naturalistiche definite nella Tabella 7, senza tener conto degli usi del territorio marino. Il costo è funzione della sola estensione superficiale e/o del perimetro dell'area protetta. L'area portuale è esclusa dalla selezione in ogni scenario di conservazione.

#### 4.3.2.1 Obiettivi naturalistici senza vincoli

##### Scenario T1nCa

La soluzione migliore comprende  $920 \pm 27$  unità, per una superficie complessiva di  $827 \pm 21$  ha (29% dell'area di studio), un perimetro di  $245 \pm 5$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $29 \pm 13\%$ ,  $33 \pm 15\%$ ,  $37 \pm 9\%$  e  $34 \pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 105 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 0 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nella fascia batimetrica più superficiale delle isole di Ventotene e Santo Stefano (Figura 38).

##### Scenario T2nCa

La soluzione migliore comprende  $652 \pm 9$  unità, per una superficie complessiva di  $570 \pm 0$  ha (20% dell'area di studio), un perimetro di  $192 \pm 2$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $29 \pm 11\%$ ,  $22 \pm 3\%$ ,  $33 \pm 8\%$  e  $22 \pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 11 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 0 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nella fascia batimetrica più superficiale delle isole di Ventotene e Santo Stefano (Figura 38).

##### Scenario T3nCa

La soluzione migliore comprende  $684 \pm 3$  unità, per una superficie complessiva di  $605 \pm 0$  ha (21% dell'area di studio), un perimetro di  $198 \pm 2$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $21 \pm 6\%$ ,  $33 \pm 16\%$ ,  $43 \pm 5\%$  e  $25 \pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 137 unità con frequenza media di selezione maggiore di 500 ed 1 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nella fascia batimetrica più superficiale delle isole di Ventotene e Santo Stefano (Figura 38).

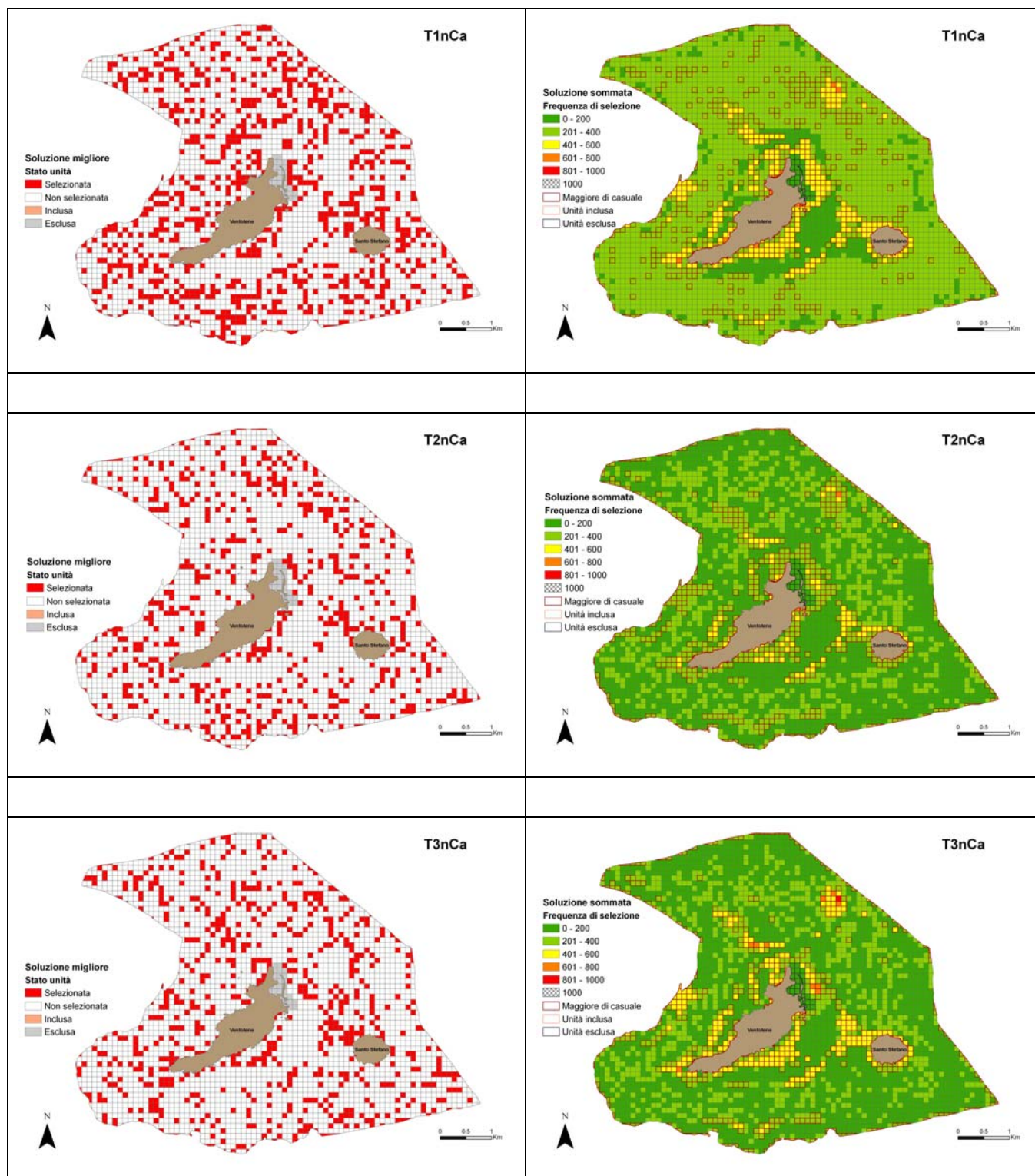


Figura 38 - Soluzione migliore e sommata (nessun vincolo e costo rappresentato dalla sola superficie dell'area protetta).

**Scenario T1nCb**

La soluzione migliore comprende  $1222\pm 70$  unità, per una superficie complessiva di  $1176\pm 60$  ha (44% dell'area di studio), un perimetro di  $21\pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $21\pm 6\%$ ,  $57\pm 9\%$ ,  $34\pm 15\%$  e  $30\pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 1146 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 19 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore settentrionale ed orientale dell'isola di Ventotene (Figura 39).

**Scenario T2nCb**

La soluzione migliore comprende  $884\pm 64$  unità, per una superficie complessiva di circa  $850\pm 67$  ha (30% dell'area di studio), un perimetro di  $17\pm 00$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $24\pm 8\%$ ,  $28\pm 1\%$ ,  $28\pm 13\%$  e  $33\pm 10\%$ . La soluzione sommata individua 359 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 2 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore settentrionale ed orientale dell'isola di Ventotene (Figura 39).

**Scenario T3nCb**

La soluzione migliore comprende  $1035\pm 23$  unità, per una superficie complessiva di circa  $1007\pm 23$  ha (35% dell'area di studio), un perimetro di  $18\pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $16\pm 10\%$ ,  $47\pm 18\%$ ,  $25\pm 15\%$  e  $37\pm 8\%$ . La soluzione sommata individua 773 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 23 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore settentrionale ed orientale dell'isola di Ventotene (Figura 39).



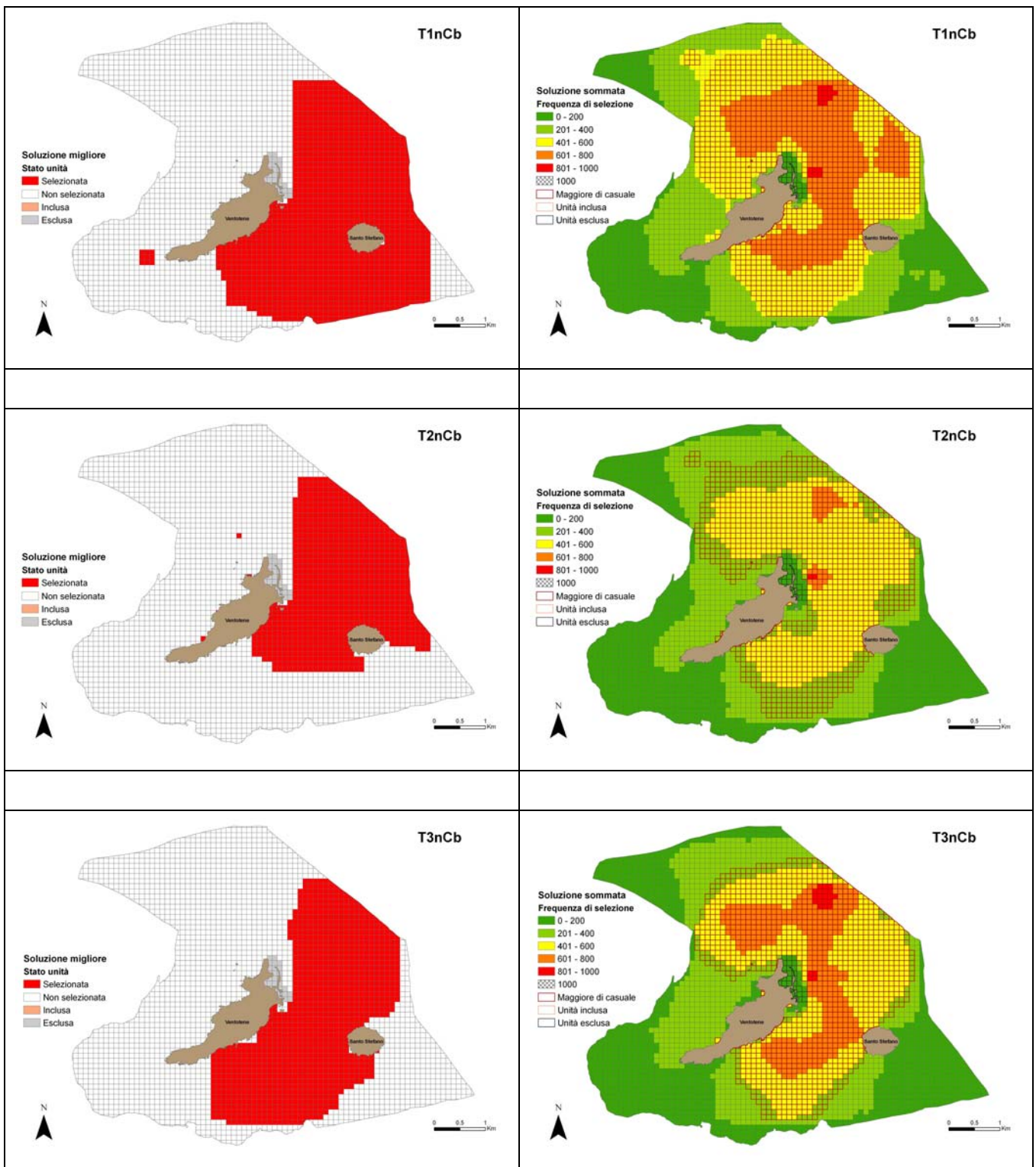


Figura 39 – Soluzione migliore e sommata (nessun vincolo e costo rappresentato dal solo perimetro dell'area protetta).

**Scenario T1nCab**

La soluzione migliore comprende  $946\pm 30$  unità, per una superficie complessiva di  $903\pm 33$  ha (32% dell'area di studio), un perimetro di  $28\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $32\pm 9\%$ ,  $37\pm 9\%$ ,  $43\pm 10\%$  e  $43\pm 12\%$ . La soluzione sommata individua 241 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 ed 8 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene ed in prossimità di Cala Battaglia (Figura 40).

**Scenario T2nCab**

La soluzione migliore comprende  $651\pm 21$  unità, per una superficie complessiva di  $622\pm 23$  ha (22% dell'area di studio), un perimetro di  $23\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $17\pm 4\%$ ,  $16\pm 13\%$ ,  $42\pm 12\%$  e  $30\pm 11\%$ . La soluzione sommata individua 46 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 ed 1 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene ed in prossimità di Cala Battaglia (Figura 40).

**Scenario T3nCab**

La soluzione migliore comprende  $710\pm 26$  unità, per una superficie complessiva di  $679\pm 30$  ha (24% dell'area di studio), un perimetro di  $25\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $21\pm 5\%$ ,  $21\pm 10\%$ ,  $43\pm 8\%$  e  $32\pm 13\%$ . La soluzione sommata individua 167 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 ed 16 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene ed in prossimità di Cala (Figura 40).

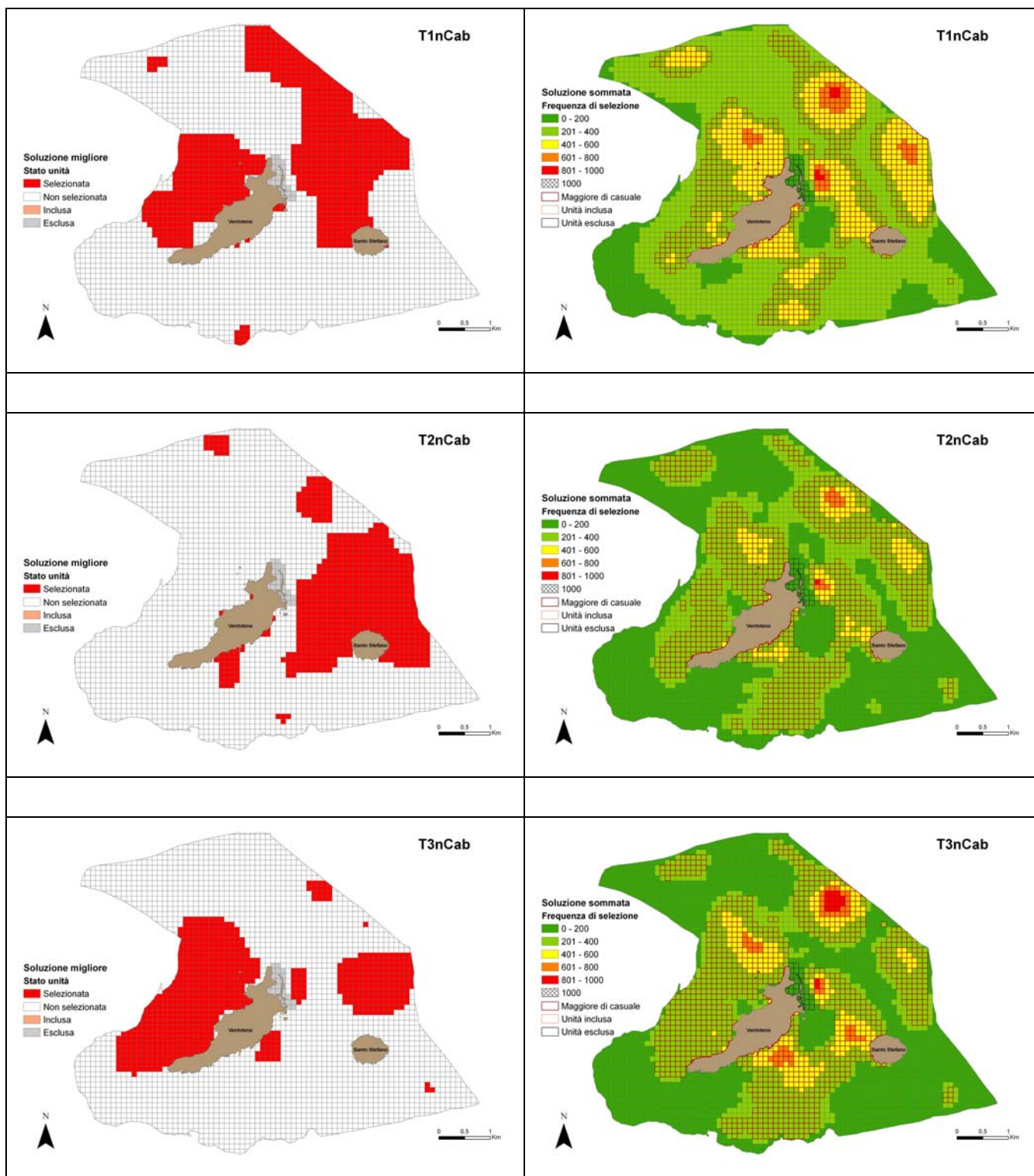


Figura 40 - Soluzione migliore e sommata (nessun vincolo e costo rappresentato sia dal perimetro che dalla superficie dell'area protetta).



### 4.3.2.2 Obiettivi naturalistici con vincolo di inclusione di Zona A

L'obiettivo di questi scenari è rappresentare adeguatamente le caratteristiche naturalistiche definite nella Tabella 7, includendo l'attuale zona di protezione integrale (Zona A) e senza tener conto degli usi del territorio marino. Il costo è funzione dell'estensione superficiale e del perimetro dell'area protetta. L'area portuale è esclusa dalla selezione in tutti gli scenari di conservazione.

#### Scenario T1aCab

La soluzione migliore comprende  $1082 \pm 70$  unità, per una superficie complessiva di  $1013 \pm 73$  ha (35% dell'area di studio), un perimetro di  $28 \pm 2$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $29 \pm 8\%$ ,  $32 \pm 6\%$ ,  $51 \pm 6\%$  e  $26 \pm 7\%$ . La soluzione sommata individua 683 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 605 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene, in prossimità di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 41).

#### Scenario T2aCab

La soluzione migliore comprende  $814 \pm 14$  unità, per una superficie complessiva di  $758 \pm 15$  ha (26% dell'area di studio), un perimetro di  $22 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $29 \pm 7\%$ ,  $28 \pm 1\%$ ,  $29 \pm 0\%$  e  $23 \pm 2\%$ . La soluzione sommata individua 578 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 500 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene, in prossimità di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 41).

#### Scenario T3aCab

La soluzione migliore comprende  $910 \pm 49$  unità, per una superficie complessiva di  $853 \pm 51$  ha (30% dell'area di studio), un perimetro di  $24 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $21 \pm 13\%$ ,  $31 \pm 17\%$ ,  $32 \pm 4\%$  e  $18 \pm 7\%$ . La soluzione sommata individua 628 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 516 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente nel settore nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene, in prossimità di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 41).

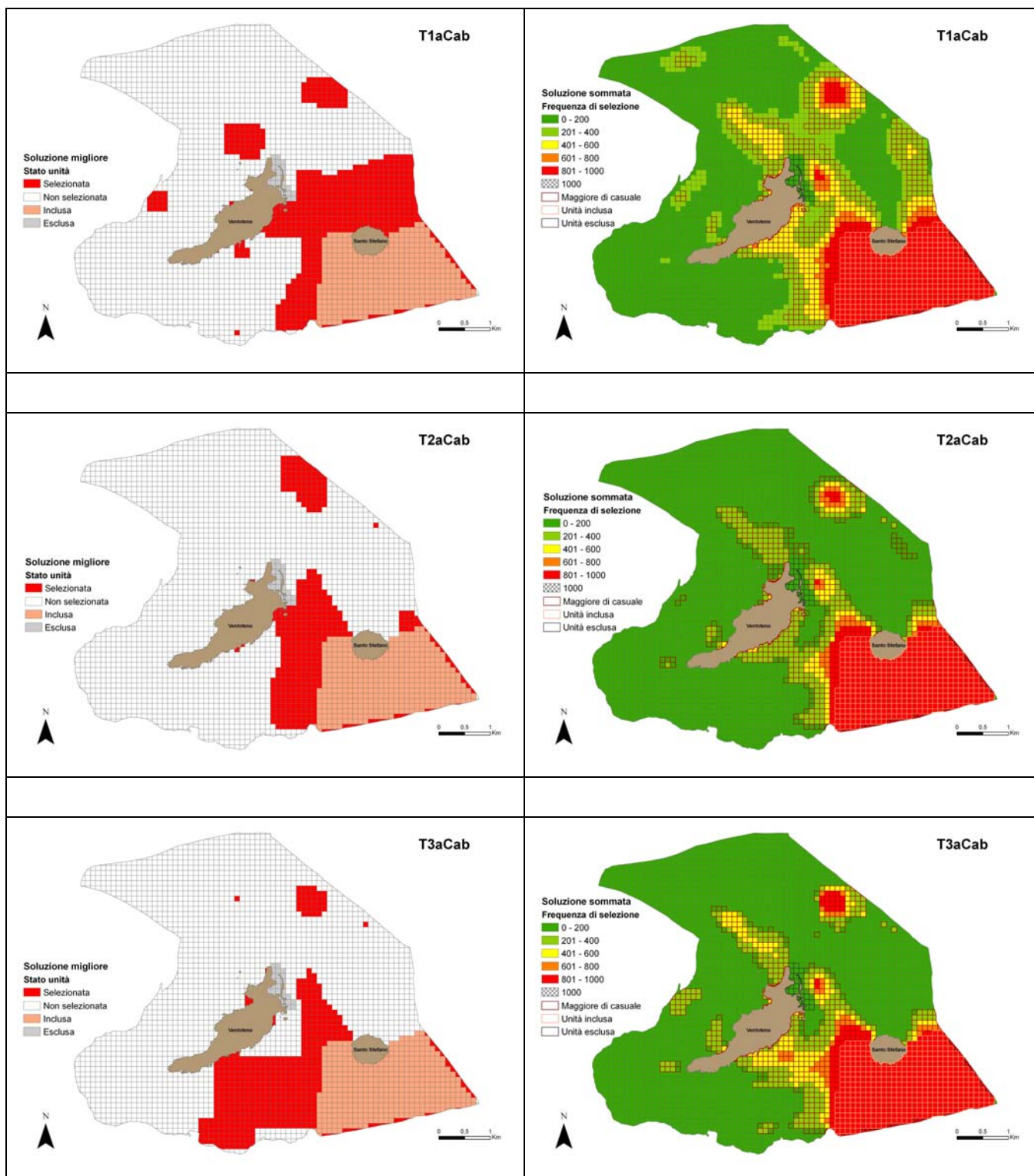


Figura 41 - Soluzione migliore e sommata (con vincolo di inclusione dell'attuale Zona A e costo rappresentato sia dal perimetro che dalla superficie dell'area protetta).

### 4.3.3 Siti prioritari per obiettivi naturalistici e socio-economici

Le soluzioni illustrate di seguito sono relative agli scenari il cui obiettivo è rappresentare adeguatamente le caratteristiche naturalistiche definite nella Tabella 7, minimizzando gli impatti sulle attività gestionali e socio-economiche. Il costo di ogni unità è determinato dalla somma pesata di più fattori. L'area portuale è esclusa dalla selezione in tutti gli scenari di conservazione.

#### 4.3.3.1 Obiettivi naturalistici e socio-economici senza vincoli

##### Scenario T1nCter

La soluzione migliore comprende  $978 \pm 10$  unità, per una superficie complessiva di  $930 \pm 5$  ha (32% dell'area di studio), un perimetro di  $36 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5 \pm 0\%$ ,  $0 \pm 0\%$ ,  $2 \pm 1\%$  e  $1 \pm 0\%$ . La soluzione sommata individua 804 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 258 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud ed in prossimità di Cala Battaglia, in prossimità del Porto Nuovo e lungo la costa meridionale di Santo Stefano (Figura 42).

##### Scenario T2nCter

La soluzione migliore comprende  $676 \pm 10$  unità, per una superficie complessiva di  $650 \pm 7$  ha (23% dell'area di studio), un perimetro di  $26 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $6 \pm 1\%$ ,  $0 \pm 0\%$ ,  $0 \pm 0\%$  e  $0 \pm 0\%$ . La soluzione sommata individua 454 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 73 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud ed in prossimità di Cala Battaglia, in prossimità del Porto Nuovo e lungo la costa meridionale di Santo Stefano (Figura 42).

##### Scenario T3nCter

La soluzione migliore comprende  $707 \pm 10$  unità, per una superficie complessiva di  $678 \pm 10$  ha (24% dell'area di studio), un perimetro di  $29 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5 \pm 0\%$ ,  $0 \pm 0\%$ ,  $2 \pm 1\%$  e  $1 \pm 0\%$ . La soluzione sommata individua 563 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 162 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud ed in prossimità di Cala Battaglia, in prossimità del Porto Nuovo e lungo la costa meridionale di Santo Stefano (Figura 42).

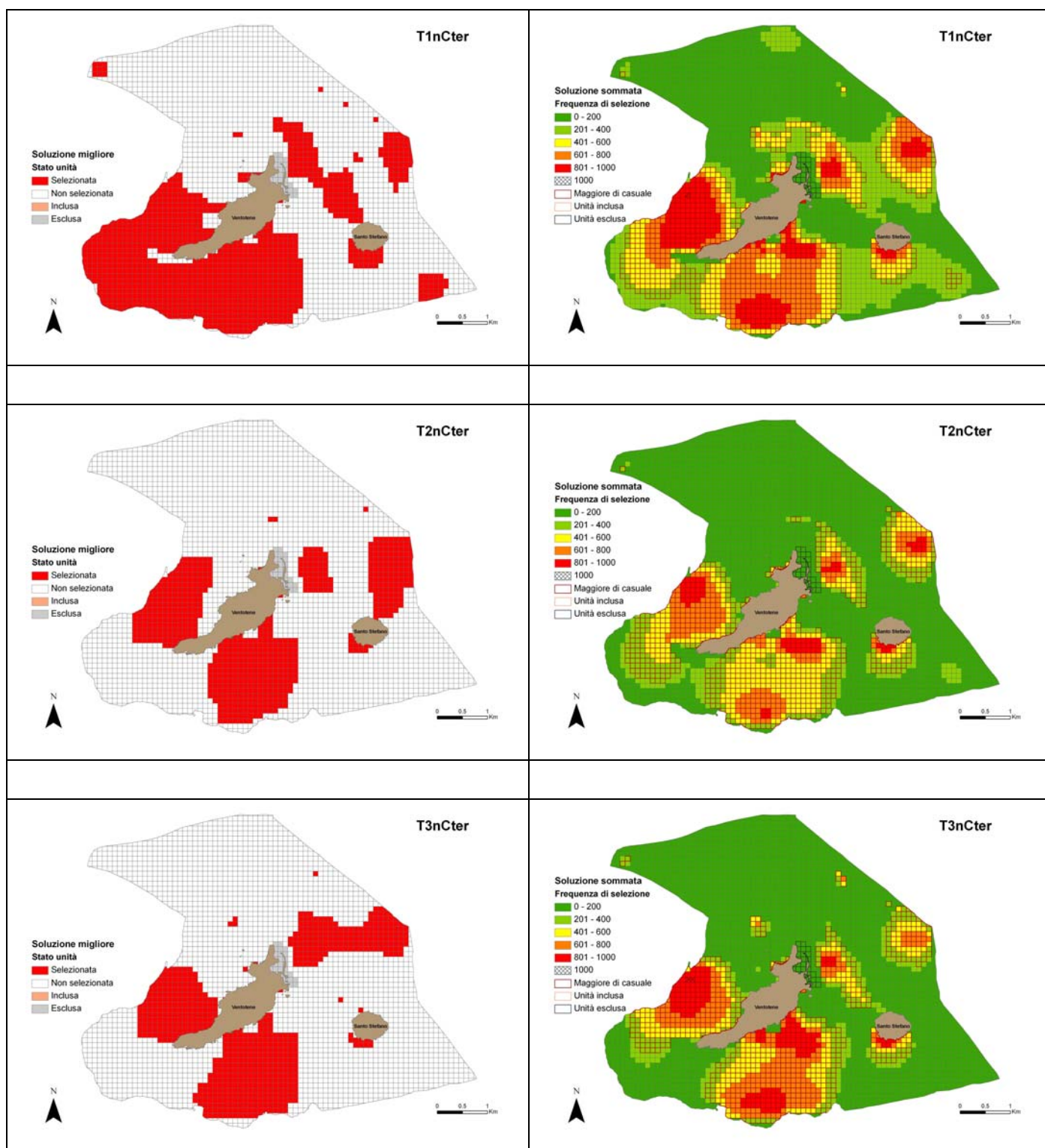


Figura 42 – Soluzione migliore e sommata (nessun vincolo e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi equivalenti).

**Scenario T1nCtpc**

La soluzione migliore comprende  $973\pm 13$  unità, per una superficie complessiva di  $925\pm 13$  ha (32% dell'area di studio), un perimetro di  $36\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5\pm 0\%$ ,  $1\pm 1\%$ ,  $10\pm 8\%$  e  $2\pm 2\%$ . La soluzione sommata individua 764 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 107 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud ed in prossimità di Cala Battaglia, in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, a nord-ovest di Punta Eolo e lungo la costa meridionale di Santo Stefano (Figura 43).

**Scenario T2nCtpc**

La soluzione migliore comprende  $660\pm 16$  unità, per una superficie complessiva di  $630\pm 21$  ha (22% dell'area di studio), un perimetro di  $28\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5\pm 0\%$ ,  $0\pm 0\%$ ,  $2\pm 67\%$  e  $1\pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 391 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 30 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud ed in prossimità di Cala Battaglia, in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, a nord-ovest di Punta Eolo e lungo la costa meridionale di Santo Stefano (Figura 43).

**Scenario T3nCtpc**

La soluzione migliore comprende  $706\pm 13$  unità, per una superficie complessiva di  $668\pm 10$  ha (23% dell'area di studio), un perimetro di  $31\pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5\pm 0\%$ ,  $0\pm 0\%$ ,  $5\pm 3\%$  e  $5\pm 4\%$ . La soluzione sommata individua 432 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 61 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud ed in prossimità di Cala Battaglia, in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, a nord-ovest di Punta Eolo e lungo la costa meridionale di Santo Stefano (Figura 43).



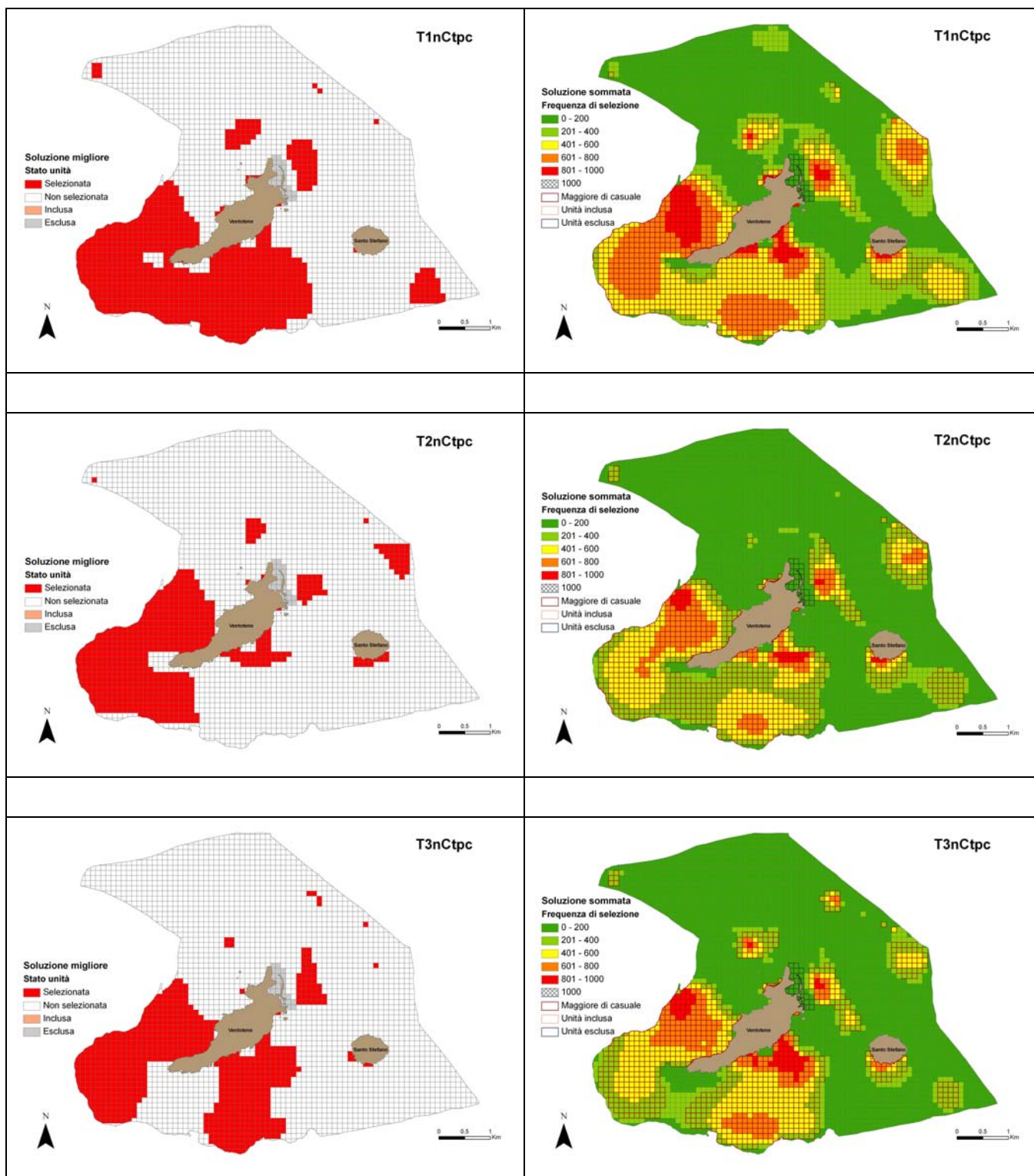


Figura 43 – Soluzione migliore e sommata (nessun vincolo e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi differenti).

### 4.3.3.2 Obiettivi naturalistici e socio-economici con vincolo di inclusione di Zona A

#### Scenario T1aCter

La soluzione migliore comprende  $1139\pm 43$  unità, per una superficie complessiva di  $1071\pm 45$  ha (37% dell'area di studio), un perimetro di  $35\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5\pm 0\%$ ,  $7\pm 0\%$ ,  $29\pm 0\%$  e  $1\pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 975 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 642 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, tra Punta dell'Arco e Moggio di Terra, in prossimità e al largo di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 44).

#### Scenario T2aCter

La soluzione migliore comprende  $804\pm 21$  unità, per una superficie complessiva di  $745\pm 22$  ha (26% dell'area di studio), un perimetro di  $28\pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5\pm 0\%$ ,  $7\pm 1\%$ ,  $30\pm 1\%$  e  $0\pm 0\%$ . La soluzione sommata individua 668 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 511 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, tra Punta dell'Arco e Moggio di Terra, in prossimità ed al largo di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 44).

#### Scenario T3aCter

La soluzione migliore comprende  $946\pm 63$  unità, per una superficie complessiva di  $889\pm 63$  ha (31% dell'area di studio), un perimetro di circa  $29\pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $6\pm 2\%$ ,  $7\pm 1\%$ ,  $29\pm 0\%$  e  $2\pm 1\%$ . La soluzione sommata individua 801 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 572 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, tra Punta dell'Arco e Moggio di Terra, in prossimità e al largo di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 44).

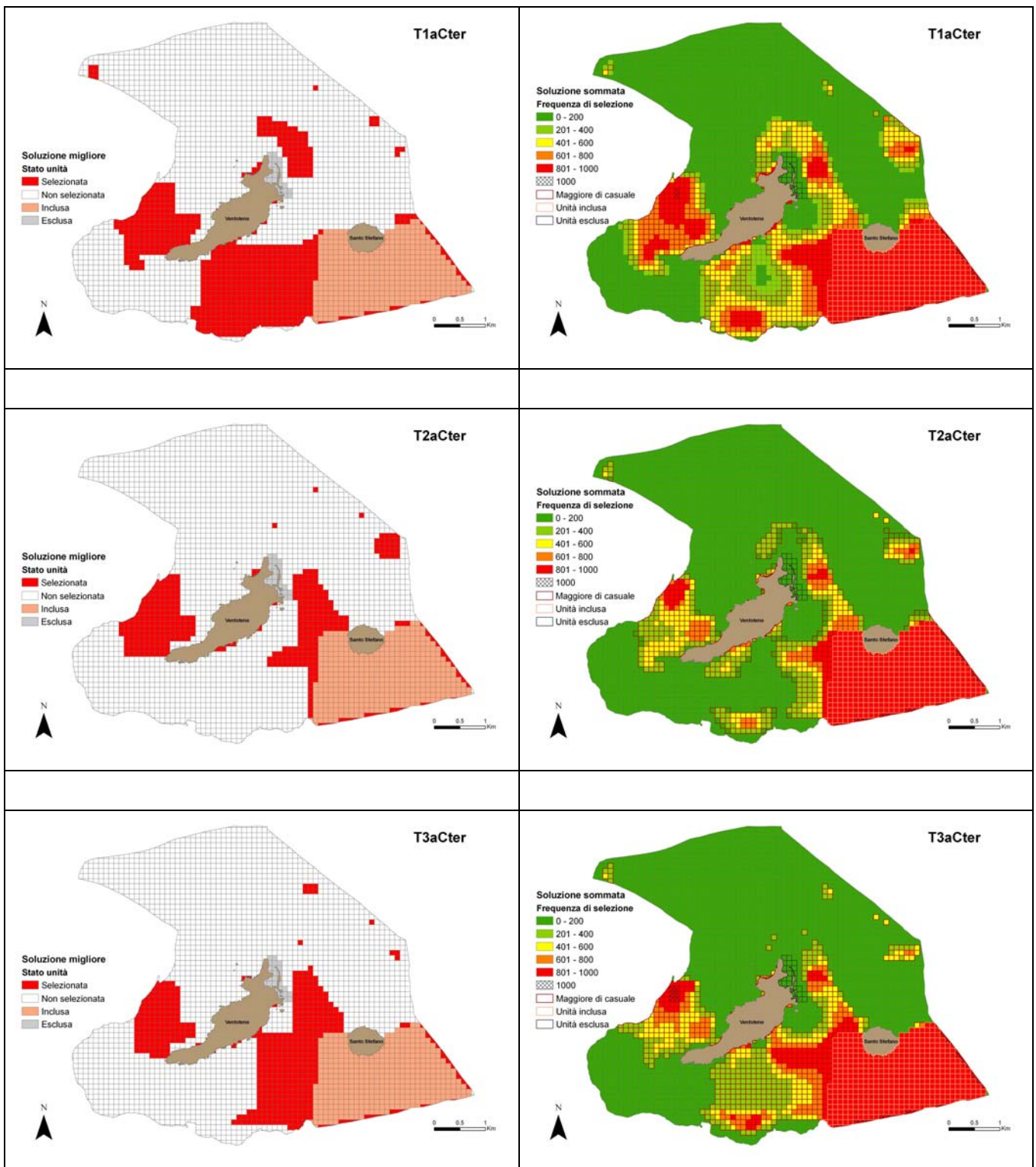


Figura 44 – Soluzione migliore e sommata (con vincolo di inclusione dell’attuale Zona A e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi equivalenti).



**Scenario T1aCtpc**

La soluzione migliore comprende  $1076 \pm 26$  unità, per una superficie complessiva di circa  $1011 \pm 25$  ha (35% dell'area di studio), un perimetro di  $34 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5 \pm 0\%$ ,  $7 \pm 0\%$ ,  $30 \pm 5\%$  e  $15 \pm 13\%$ . La soluzione sommata individua 861 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 561 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, tra Punta dell'Arco e Moggio di Terra, in prossimità e al largo di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 45).

**Scenario T2aCtpc**

La soluzione migliore comprende  $778 \pm 23$  unità, per una superficie complessiva di  $722 \pm 23$  ha (25% dell'area di studio), un perimetro di  $29 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $5 \pm 0\%$ ,  $7 \pm 1\%$ ,  $33 \pm 4\%$  e  $0 \pm 0\%$ . La soluzione sommata individua 618 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 500 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, tra Punta dell'Arco e Moggio di Terra, in prossimità ed al largo di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 45).

**Scenario T3aCtpc**

La soluzione migliore comprende  $899 \pm 26$  unità, per una superficie complessiva di  $848 \pm 27$  ha (27% dell'area di studio), un perimetro di  $28 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $6 \pm 1\%$ ,  $7 \pm 0\%$ ,  $29 \pm 0\%$  e  $13 \pm 10\%$ . La soluzione sommata individua 702 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 542 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800 (di cui ben 409 sono incluse in Zona A). Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente in prossimità ed al largo del Porto Nuovo, tra Punta dell'Arco e Moggio di Terra, in prossimità e al largo di Cala Battaglia ed intorno all'attuale Zona A (Figura 45).

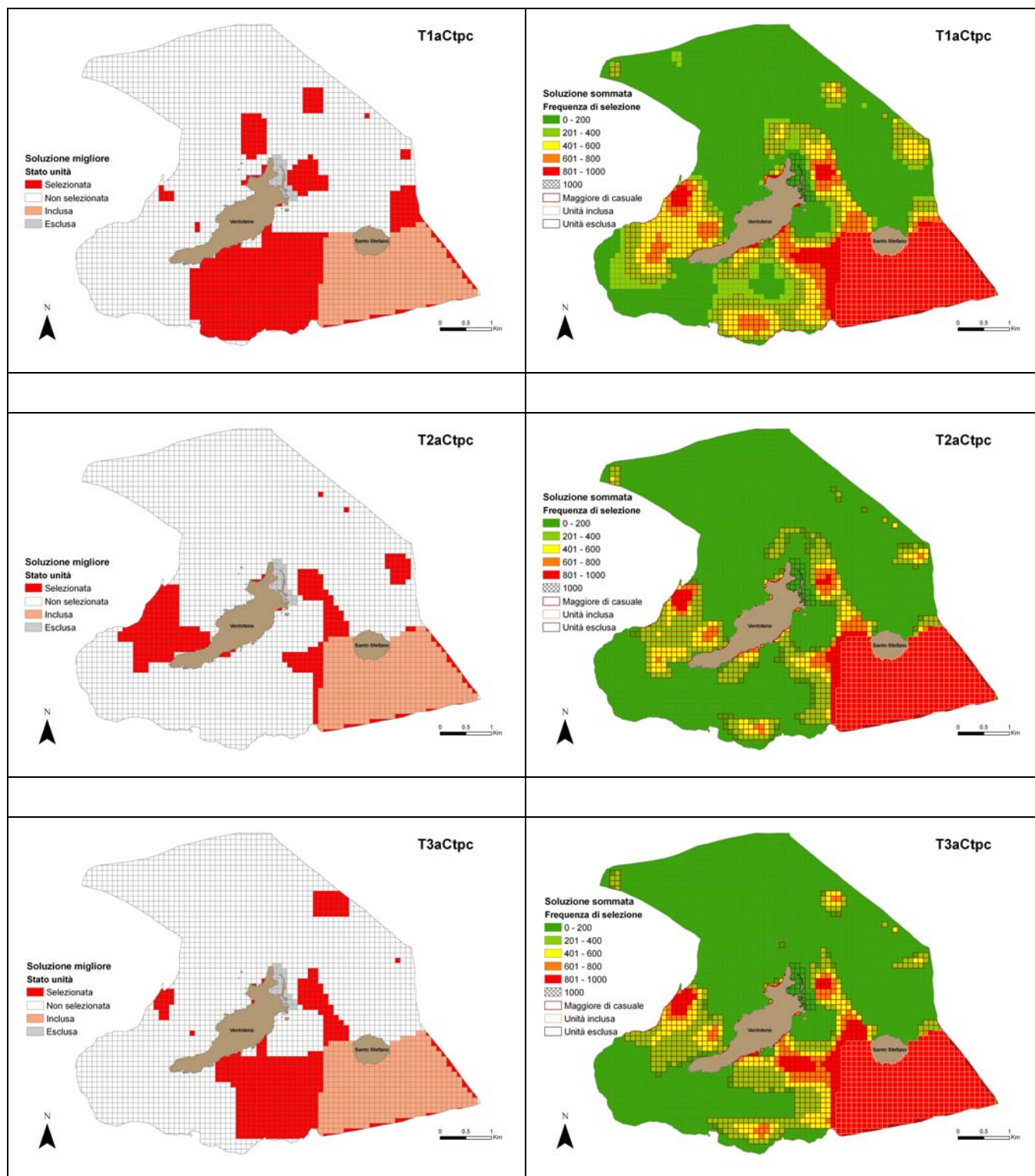


Figura 45 – Soluzione migliore e sommata (con vincolo di inclusione dell’attuale Zona A e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi differenti).

### 4.3.3.3 Obiettivi naturalistici e socio-economici con vincolo di esclusione di Zona C

#### Scenario T1cCter

La soluzione migliore comprende  $934 \pm 16$  unità, per una superficie complessiva di  $878 \pm 22$  ha (31% dell'area di studio), un perimetro di  $37 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $9 \pm 1\%$ ,  $7 \pm 2\%$ ,  $8 \pm 1\%$  e  $9 \pm 0\%$ . L'esclusione della Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 5 caratteristiche di conservazione: i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; la costa sabbiosa e le biocostruzioni sono presenti in quantità inferiori al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 924 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 261 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 46).

#### Scenario T2cCter

La soluzione migliore comprende  $655 \pm 15$  unità, per una superficie complessiva di circa  $620 \pm 21$  ha (22% dell'area di studio), un perimetro di circa  $29 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $9 \pm 0\%$ ,  $5 \pm 1\%$ ,  $1 \pm 0\%$  e  $2 \pm 0\%$ . L'esclusione della Zona C impedisce di rappresentare del tutto 3 caratteristiche di conservazione, ovvero i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC. La soluzione sommata individua 466 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 91 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 46).

#### Scenario T3cCter

La soluzione migliore comprende  $705 \pm 18$  unità, per una superficie complessiva di  $673 \pm 17$  ha (23% dell'area di studio), un perimetro di  $29 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $8 \pm 0\%$ ,  $5 \pm 1\%$ ,  $4 \pm 1\%$  e  $4 \pm 1\%$ . L'esclusione della Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 4 caratteristiche di conservazione: i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; le biocostruzioni sono presenti in quantità inferiore al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 575 unità con una frequenza di selezione maggiore di 500 e 283 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 46).

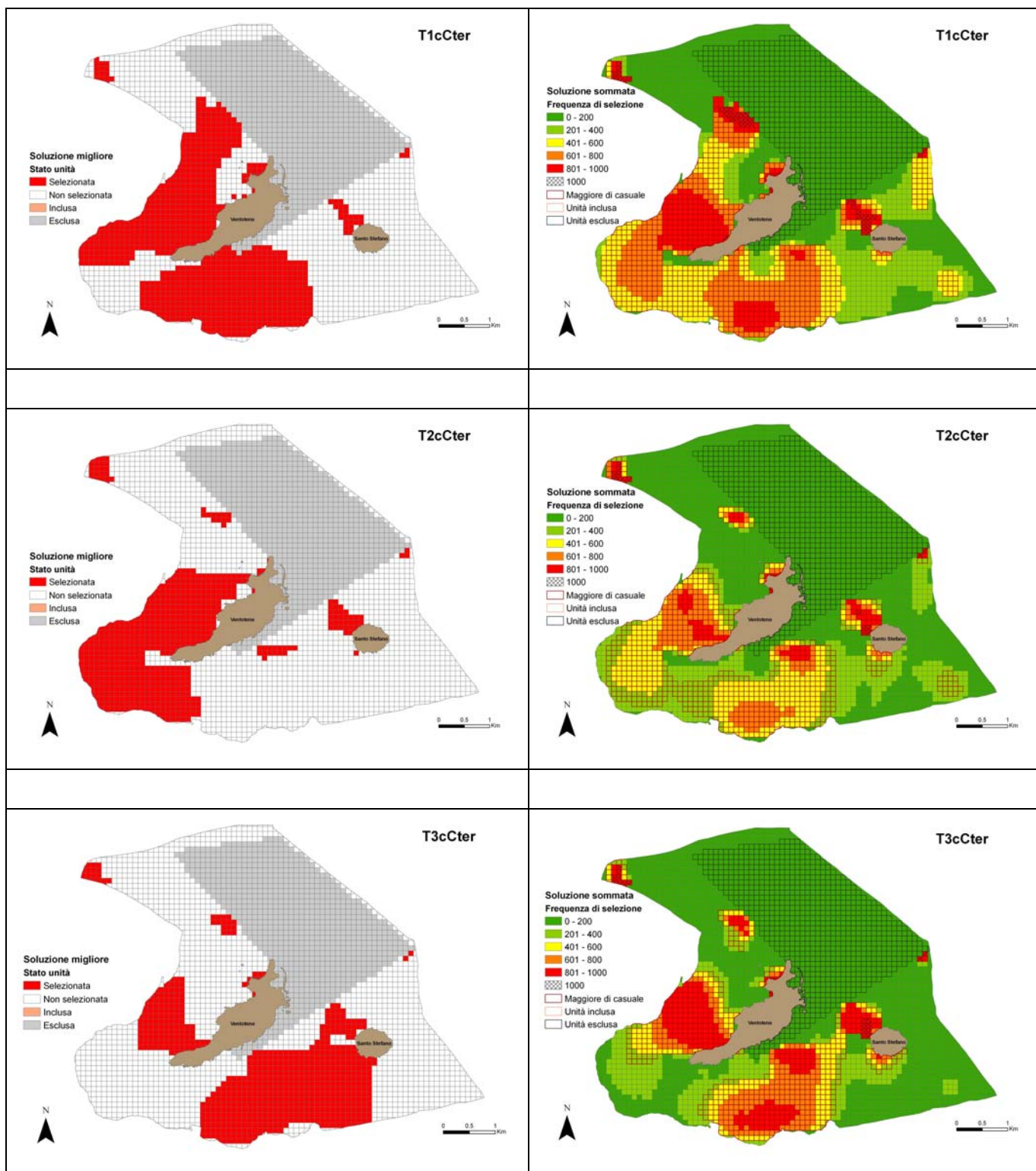


Figura 46 – Soluzione migliore e sommata (con vincolo di esclusione dell'attuale Zona C e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi equivalenti).

**Scenario T4cCter**

La soluzione migliore comprende  $958 \pm 20$  unità, per una superficie complessiva di  $905 \pm 17$  ha (32% dell'area di studio), un perimetro di  $37 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $10 \pm 1\%$ ,  $6 \pm 1\%$ ,  $8 \pm 1\%$  e  $8 \pm 2\%$ . L'esclusione della Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 7 caratteristiche di conservazione: le alghe *Asparagopsis* sp. e *Tricleocarpa fragilis*, i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; la costa sabbiosa e le biocostruzioni sono presenti in quantità inferiori al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 928 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 246 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 47).

**Scenario T5cCter**

La soluzione migliore comprende  $647 \pm 20$  unità, per una superficie complessiva di  $611 \pm 18$  ha (21% dell'area di studio), un perimetro di  $30 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $8 \pm 0\%$ ,  $6 \pm 2\%$ ,  $3 \pm 2\%$  e  $3 \pm 1\%$ . L'esclusione della Zona C impedisce di rappresentare del tutto 5 caratteristiche di conservazione, ovvero le alghe *Asparagopsis* sp. e *Tricleocarpa fragilis*, i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC. La soluzione sommata individua 430 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 98 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 47).

**Scenario T6cCter**

La soluzione migliore comprende  $697 \pm 26$  unità, per una superficie complessiva di  $667 \pm 31$  ha (23% dell'area di studio), un perimetro di  $31 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $8 \pm 0\%$ ,  $7 \pm 1\%$ ,  $5 \pm 2\%$  e  $3 \pm 0\%$ . L'esclusione della Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 6 caratteristiche di conservazione: le alghe *Asparagopsis* sp. e *Tricleocarpa fragilis*, i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; le biocostruzioni sono presenti in quantità inferiore al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 571 unità con frequenza media di selezione maggiore di 500 e 220 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 47).



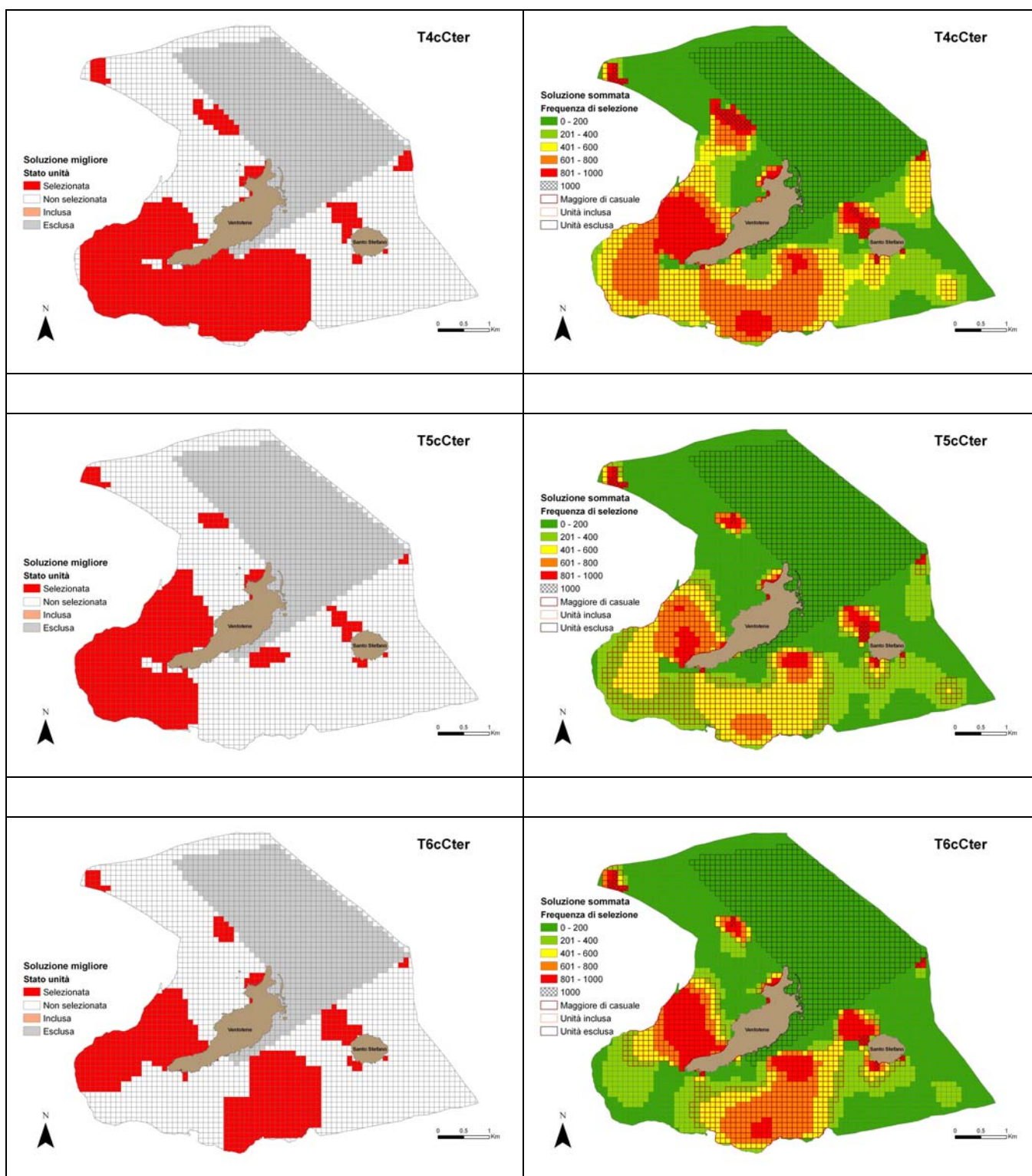


Figura 47 – Soluzione migliore e sommata (con vincolo di esclusione dell’attuale Zona C e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi equivalenti).

### Scenario T1cCtpc

La soluzione migliore comprende  $935 \pm 17$  unità, per una superficie complessiva di  $883 \pm 17$  ha (31% dell'area di studio), un perimetro di  $36 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $9 \pm 1\%$ ,  $6 \pm 0\%$ ,  $15 \pm 3\%$  e  $10 \pm 0\%$ . L'esclusione dell'attuale Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 5 caratteristiche di conservazione: i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; la costa sabbiosa e le biocostruzioni sono presenti in quantità inferiori al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 909 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 326 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 48).

### Scenario T2cCtpc

La soluzione migliore comprende  $626 \pm 17$  unità, per una superficie complessiva di  $584 \pm 15$  ha (20% dell'area di studio), un perimetro di  $28 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $9 \pm 1\%$ ,  $5 \pm 1\%$ ,  $13 \pm 5\%$  e  $6 \pm 2\%$ . L'esclusione dell'attuale Zona C impedisce di rappresentare del tutto 3 caratteristiche di conservazione, ovvero i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC. La soluzione sommata individua 467 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 69 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 48).

### Scenario T3cCtpc

La soluzione migliore comprende  $686 \pm 4$  unità, per una superficie complessiva di  $653 \pm 7$  ha (23% dell'area di studio), un perimetro di  $30 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $8 \pm 0\%$ ,  $5 \pm 1\%$ ,  $8 \pm 2\%$  e  $5 \pm 2\%$ . L'esclusione dell'attuale Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 4 caratteristiche di conservazione: i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; le biocostruzioni sono presenti in quantità inferiore al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 569 unità con frequenza media di selezione maggiore di 500 e 196 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 48).

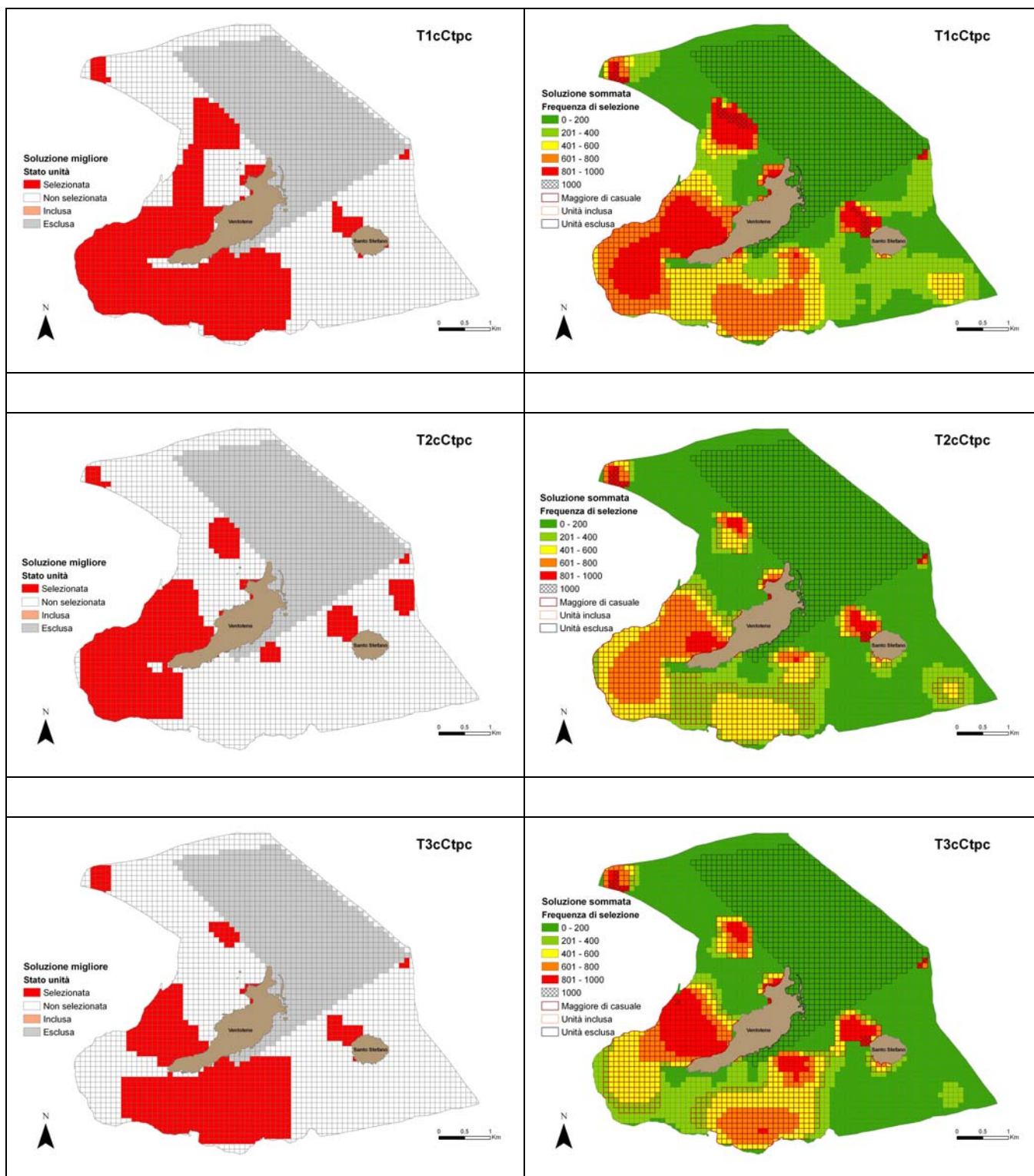


Figura 48 – Soluzione migliore e sommata (con vincolo di esclusione dell’attuale Zona C e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi differenti).



### Scenario T4cCtpc

La soluzione migliore comprende  $921 \pm 8$  unità, per una superficie complessiva di  $865 \pm 7$  ha (30% dell'area di studio), un perimetro di  $38 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $9 \pm 1\%$ ,  $6 \pm 1\%$ ,  $15 \pm 3\%$  e  $10 \pm 0\%$ . L'esclusione dell'attuale Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 7 caratteristiche di conservazione: le alghe *Asparagopsis* sp. e *Tricleocarpa fragilis*, i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; la costa sabbiosa e le biocostruzioni sono rappresentate in quantità inferiori al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 872 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 320 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 49).

### Scenario T5cCtpc

La soluzione migliore comprende  $619 \pm 11$  unità, per una superficie complessiva di  $579 \pm 8$  ha (20% dell'area di studio), un perimetro di  $30 \pm 1$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $8 \pm 0\%$ ,  $5 \pm 1\%$ ,  $10 \pm 1\%$  e  $5 \pm 2\%$ . L'esclusione dell'attuale Zona C impedisce di rappresentare del tutto 5 caratteristiche di conservazione: le alghe *Asparagopsis* sp. e *Tricleocarpa fragilis*, i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC. La soluzione sommata individua 458 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 75 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene ed a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 49).

### Scenario T6cCtpc

La soluzione migliore comprende  $663 \pm 12$  unità, per una superficie complessiva di  $622 \pm 11$  ha (21% dell'area di studio), un perimetro di  $31 \pm 0$  km ed un impatto sulle attività di balneazione, diportismo, subacquea e pesca rispettivamente di  $8 \pm 0\%$ ,  $5 \pm 1\%$ ,  $11 \pm 3\%$  e  $9 \pm 0\%$ . L'esclusione dell'attuale Zona C impedisce di rappresentare adeguatamente 6 caratteristiche di conservazione: le alghe *Asparagopsis* sp. e *Tricleocarpa fragilis*, i *pock-marks* e gli habitat HCn e SFBC sono del tutto assenti; le biocostruzioni sono rappresentate in quantità inferiori al livello minimo desiderato. La soluzione sommata individua 562 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 500 e 194 unità con una frequenza media di selezione maggiore di 800. Le unità selezionate più di frequente sono localizzate prevalentemente a nord-ovest di Punta Eolo, tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a sud-est dell'isola di Ventotene e a nord-ovest dell'isola di Santo Stefano (Figura 49).

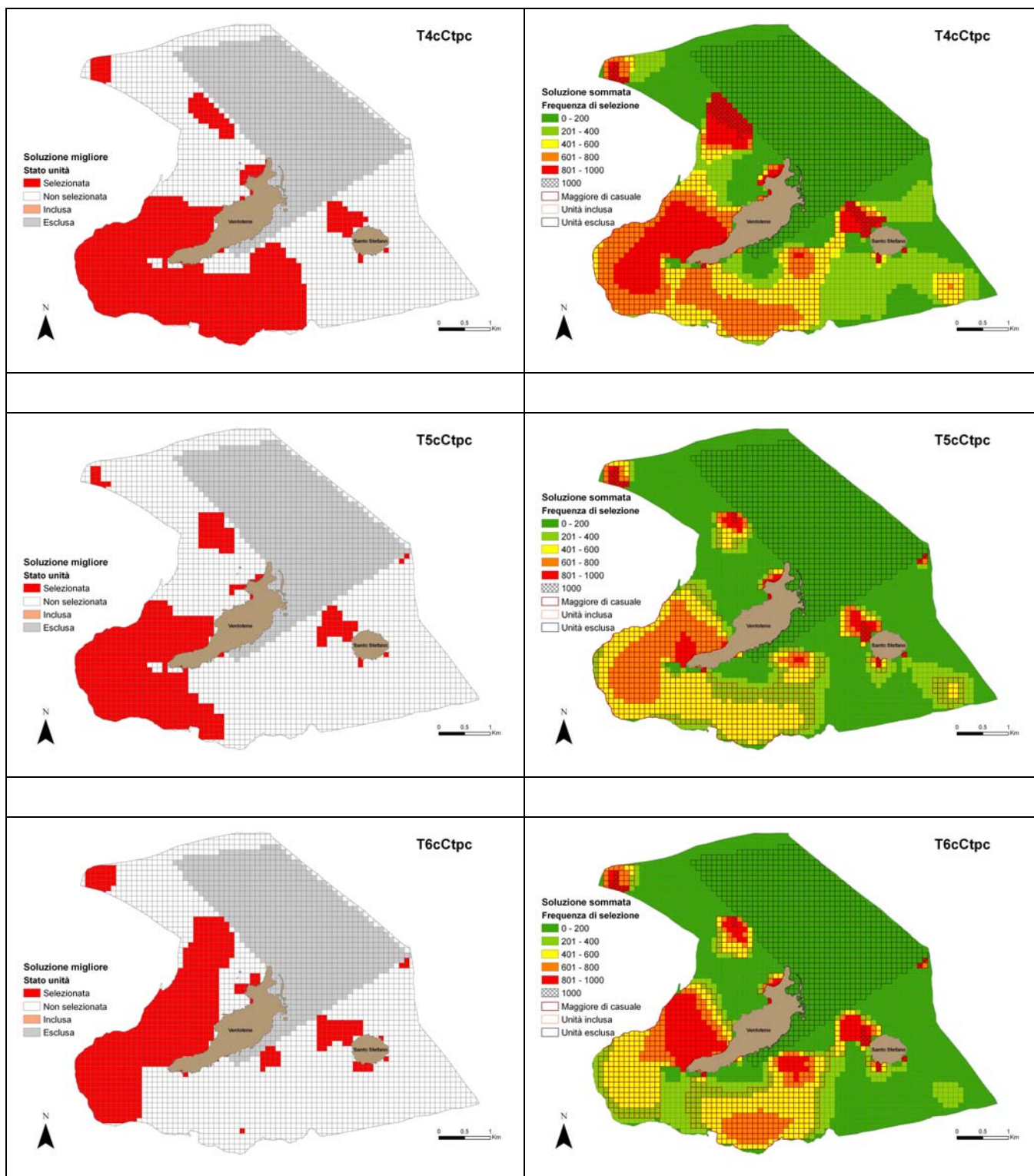


Figura 49 –Soluzione migliore e sommata (con vincolo di esclusione dell’attuale Zona C e costo ottenuto dalla combinazione di più fattori socio-economici ai quali sono stati assegnati pesi differenti).

#### 4.3.4 Confronto tra i risultati degli scenari

Le soluzioni migliori con i valori medi più elevati della lunghezza del perimetro sono quelle associate agli scenari in cui il costo è rappresentato dalla sola superficie dell'area protetta (T1nCa, T2nCa, T1nCa); tali valori sono superiori di circa un ordine di grandezza rispetto a quelli delle soluzioni prodotte dagli altri scenari, che invece presentano lunghezze del perimetro comparabili (Figura 50 e Figura 52). La lunghezza del perimetro più elevata è associata allo scenario T1nCa ( $245\pm 5$  km), mentre quella più bassa allo scenario T2nCb ( $17\pm 0$  km).

Le soluzioni migliori con i valori medi più elevati dell'estensione superficiale sono associate agli scenari in cui il costo è rappresentato dal solo perimetro dell'area protetta (T1nCb, T2nCb, T1nCb) (Figura 51 e Figura 52). A parità di definizione dei costi e dei vincoli, si osserva una certa tendenza nella distribuzione dei dati, con valori decrescenti dell'estensione superficiale per gli scenari contraddistinti rispettivamente dagli obiettivi T1, T3 e T2. Questo stesso andamento si osserva anche per gli scenari contraddistinti dagli obiettivi T4, T6 e T5. A parità di definizione degli obiettivi naturalistici e dei costi, invece, si osservano valori più elevati per gli scenari che includono a priori l'attuale Zona A nella soluzione finale (ad es.  $903\pm 33$  ha per T1nCab vs  $1013\pm 73$  ha per T1aCab). Le soluzioni che escludono a priori l'attuale Zona C presentano valori relativamente bassi dell'estensione superficiale, ma non rappresentano adeguatamente tutte le caratteristiche di conservazione. L'estensione superficiale più elevata è associata allo scenario T1nCb ( $1176\pm 60$  ha), mentre quella più bassa allo scenario T2nCa ( $570\pm 0$  ha).

Le soluzioni con i valori medi più elevati di impatto sulle attività antropiche sono associate agli scenari che non includono esplicitamente gli usi del territorio marino nella definizione dei costi; queste soluzioni, peraltro, presentano un'elevata variabilità degli impatti tra le repliche di uno stesso scenario (ad es. fino al  $57\pm 9\%$  per il diportismo in T1nCb) (Figura 53). Gli scenari che esprimono il costo di conservazione in funzione dell'uso del territorio marino, invece, individuano soluzioni con un impatto nettamente inferiore e meno variabile (ad es. fino allo  $0\pm 2\%$  per il diportismo in T1nCter). L'inclusione dell'attuale Zona A in questi scenari produce soluzioni con un impatto più elevato soprattutto sul settore della subacquea (valori intorno al 30%). A parità di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione e di vincoli, gli scenari in cui si attribuisce la stessa importanza ai fattori di costo tendono ad impattare di meno tutte le attività antropiche, eccetto la balneazione.

La distribuzione delle frequenze medie di selezione delle unità di pianificazione varia soprattutto in funzione dei costi e dei vincoli definiti in ogni scenario (Figura 54). A parità di definizione dei costi e dei vincoli, invece, i valori della mediana e del terzo quartile delle frequenze di selezione per gli scenari di tipo T1 sono superiori ai valori associati alle soluzioni degli scenari caratterizzati da altri obiettivi naturalistici.

La classificazione gerarchica delle soluzioni sommate, in base alle frequenze medie di selezione delle unità di pianificazione, evidenzia due gruppi principali, contraddistinti dall'inclusione o meno della Zona A nei vincoli degli scenari (Figura 55). All'interno del gruppo che riunisce le soluzioni degli scenari che includono a priori l'attuale Zona A si osservano 2 raggruppamenti, caratterizzati rispettivamente dall'inclusione od esclusione dei fattori socio-economici nella definizione dei costi. Nel gruppo degli scenari che non includono a priori l'attuale Zona A, le soluzioni sommate si suddividono in base all'esclusione e meno dell'attuale Zona C. A parità di definizione dei costi e dei vincoli le soluzioni contraddistinte dagli obiettivi naturalistici T2 e T3 condividono un numero maggiore di unità con frequenze di selezione simili rispetto agli scenari di tipo T1. Un maggior grado di somiglianza è evidente anche per gli scenari T1 e T4, T2 e T5, T3 e T6, indipendentemente dai pesi associati ai fattori di costo.

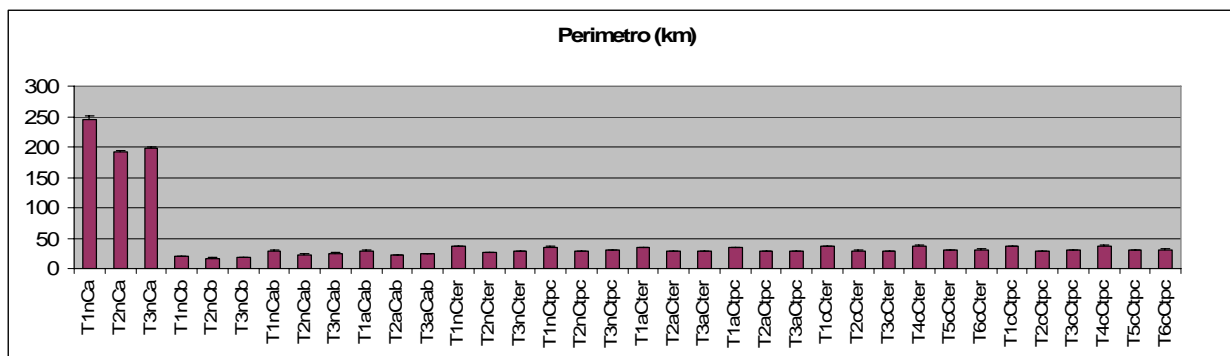


Figura 50 – Perimetro medio della soluzione migliore per i differenti scenari di conservazione.

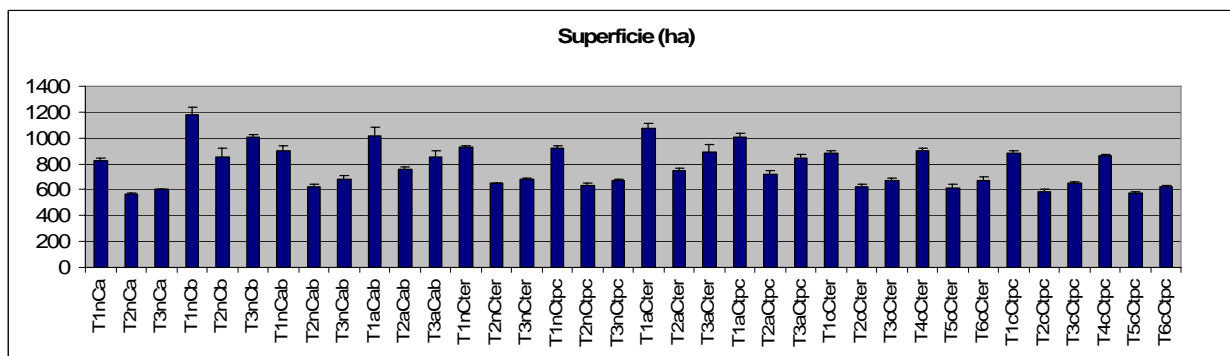


Figura 51 – Superficie media della soluzione migliore per i differenti scenari di conservazione.

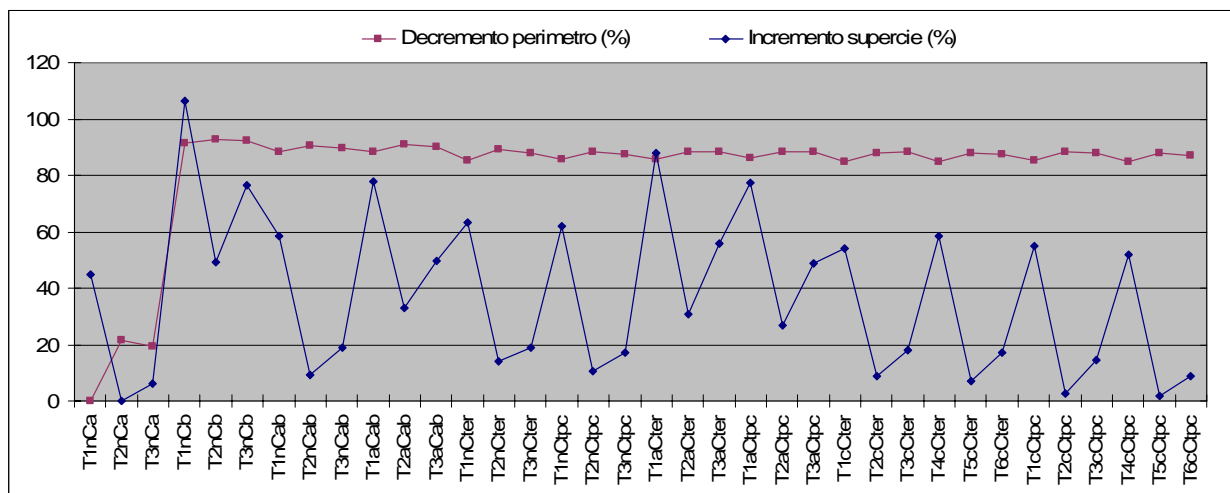


Figura 52 – Trade-off tra i valori medi di superficie e perimetro della soluzione migliore per i differenti scenari di conservazione (i valori in percentuale si riferiscono rispettivamente agli scenari che producono la soluzione meno estesa, T2nCa, e più frammentata, T1nCa).

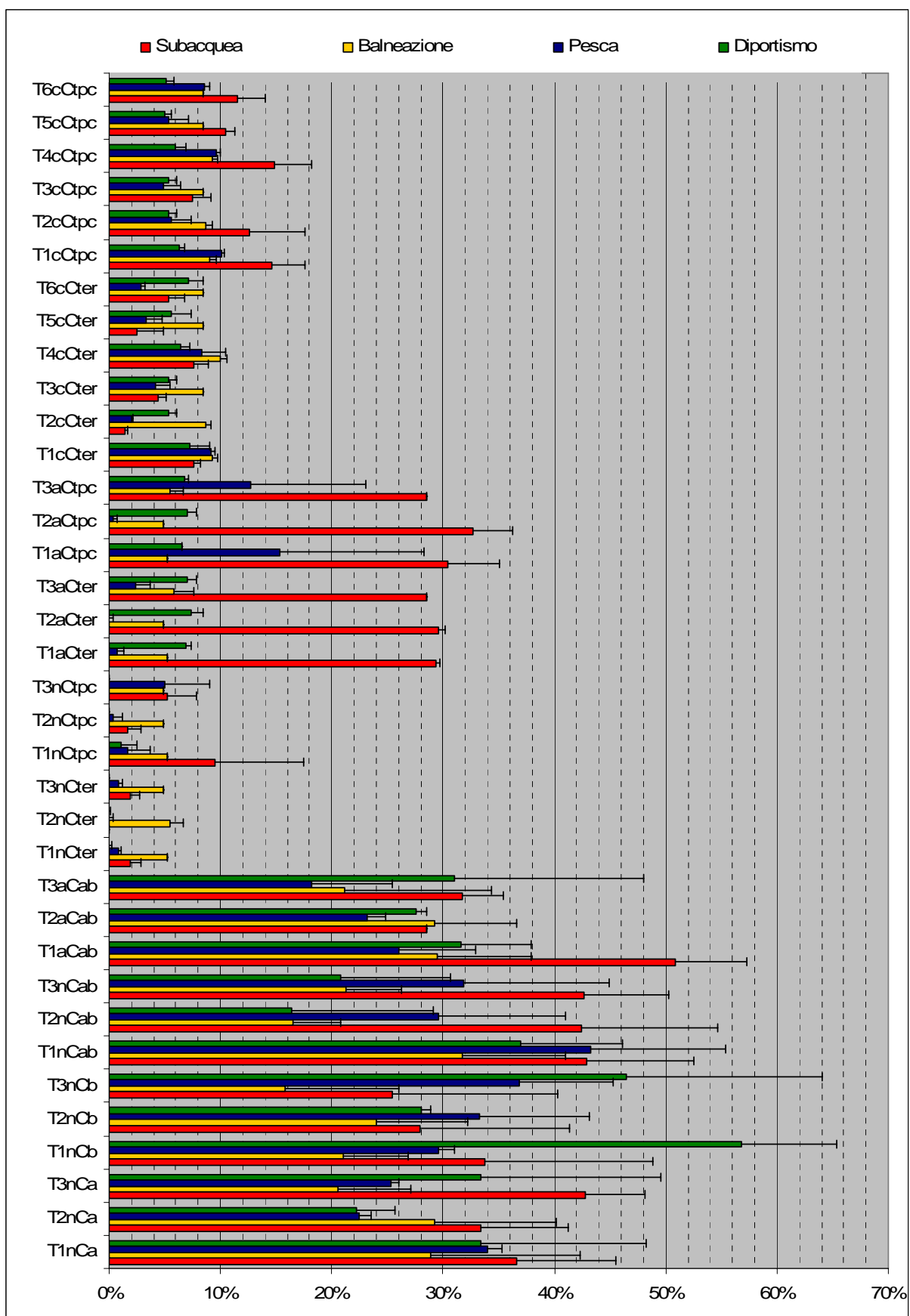


Figura 53 – Impatto medio della soluzione migliore sulle attività antropiche per i differenti scenari di conservazione.

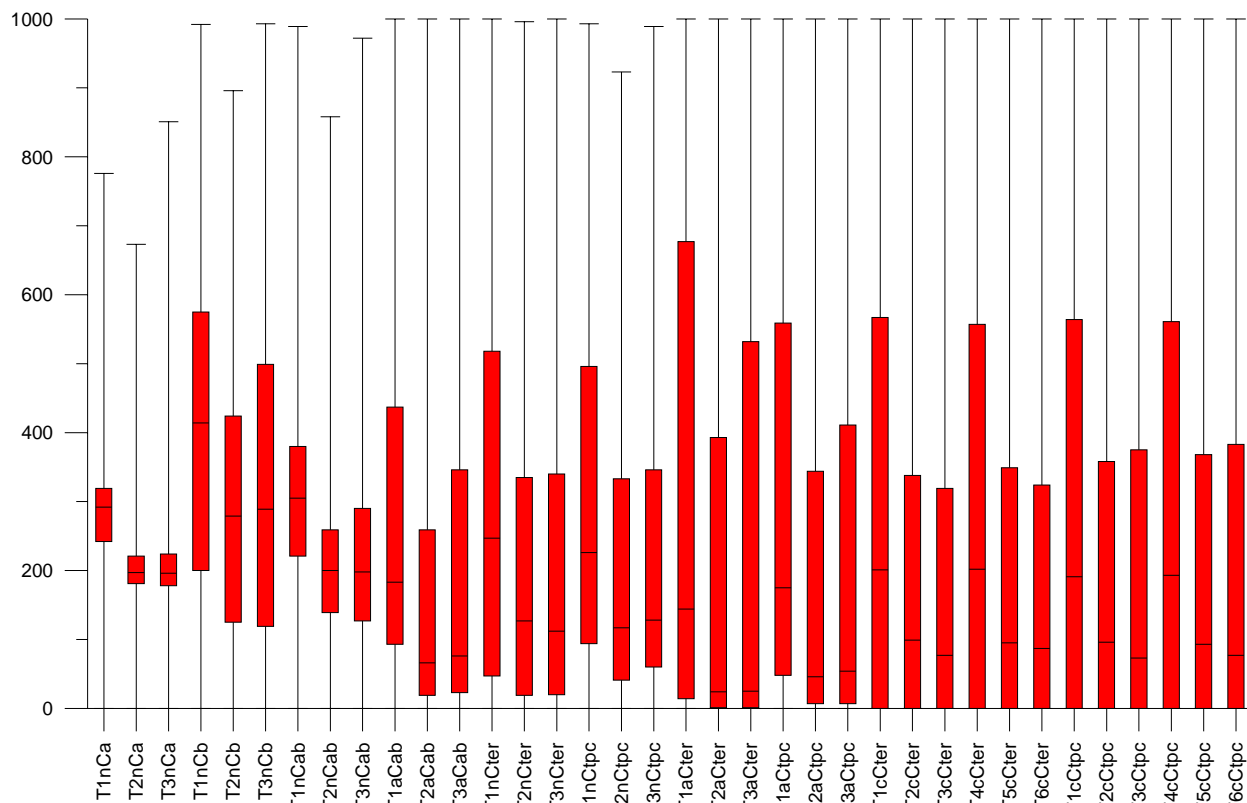


Figura 54 - Distribuzione delle frequenze medie di selezione per i differenti scenari di conservazione.

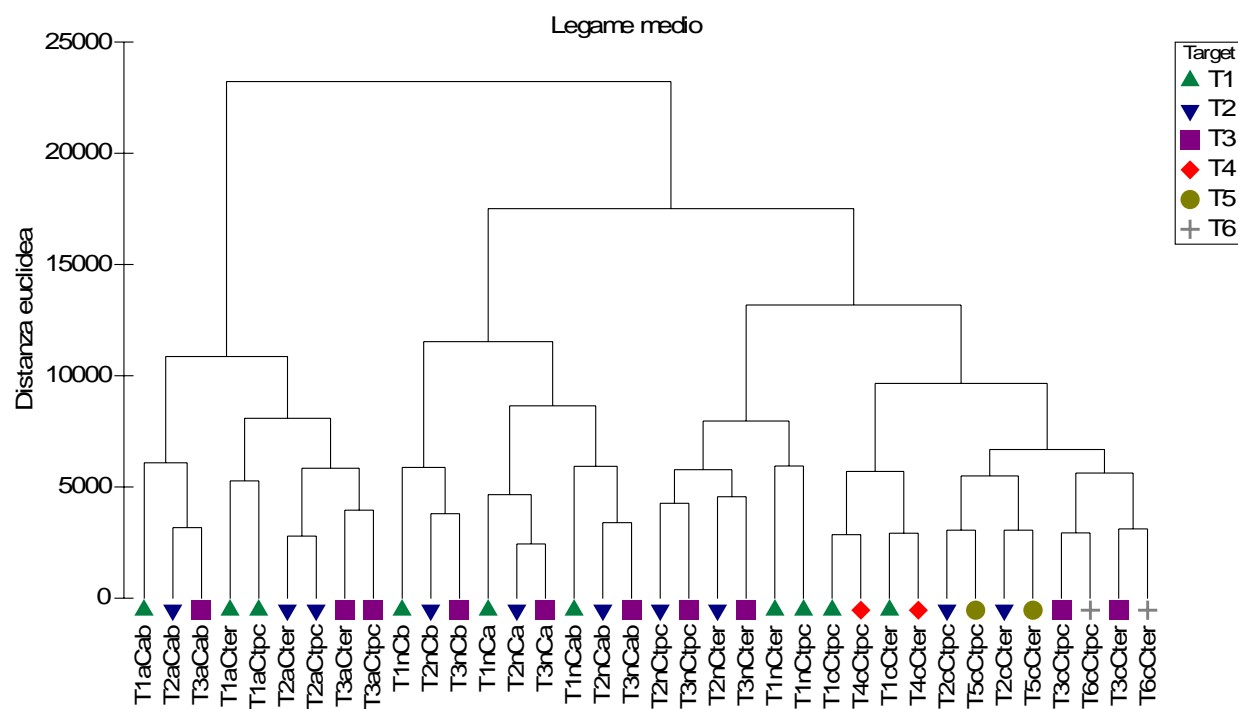


Figura 55 - Classificazione gerarchica delle soluzioni sommate per i differenti scenari di conservazione.

### 4.3.5 Proposta di nuova zonizzazione

Il nuovo schema di zonizzazione, individuato sulla base dei risultati prodotti da MARXAN, è illustrato in Figura 56. Rispetto alla zonizzazione attuale (Figura 34), la Zona A è sostituita da 2 nuove zone di protezione integrale, situate rispettivamente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco a Ventotene e tra Punta Falcone ed in prossimità di Punta Sospiri a Santo Stefano. Queste zone si estendono complessivamente per una superficie leggermente inferiore a quella dell'attuale Zona A (13% vs 14%) (Figura 57).

I popolamenti bentonici, presenti in Zona A con un livello di rappresentazione adeguato sono in numero maggiore rispetto a quanto osservato con la zonizzazione precedente (5/11 vs 1/11) (Figura 36 e Figura 58). Tutti gli habitat di rilievo per la conservazione (C e HP) sono adeguatamente rappresentati, fatta eccezione per le praterie di posidonia su sabbia il cui livello di rappresentazione desiderato non è raggiunto per appena il 5%.

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, oltre alle falesie di roccia basaltica già adeguatamente rappresentate dall'attuale zonizzazione, nelle nuove Zone A sono presenti sia la costa rocciosa piroclastica, con un percentuale pari al 5% del totale, sia i fondali marini caratterizzati da un'elevata complessità del rilievo.

Per quanto riguarda la composizione in specie dei popolamenti di fondo duro, nelle nuove zone di protezione integrale individuate risultano inclusi 2 gruppi tassonomici in più rispetto alla zonizzazione attuale (48/59 vs 46/59), tra cui la specie endemica protetta *Astroides calycularis*.

La zonizzazione proposta esercita una restrizione lievemente superiore sugli usi del territorio marino rispetto a quella determinata dall'attuale schema (Figura 37 e Figura 59). Le nuove zone di protezione integrale, infatti, determinano un impatto del 9% vs 7% sul diportismo, a causa dell'inclusione dell'intero sito di ancoraggio di Santo Stefano, e del 32% vs 28% sulla subacquea, a causa dell'inclusione dei siti di immersione di Punta dell'Arco e della Secca della Molara.



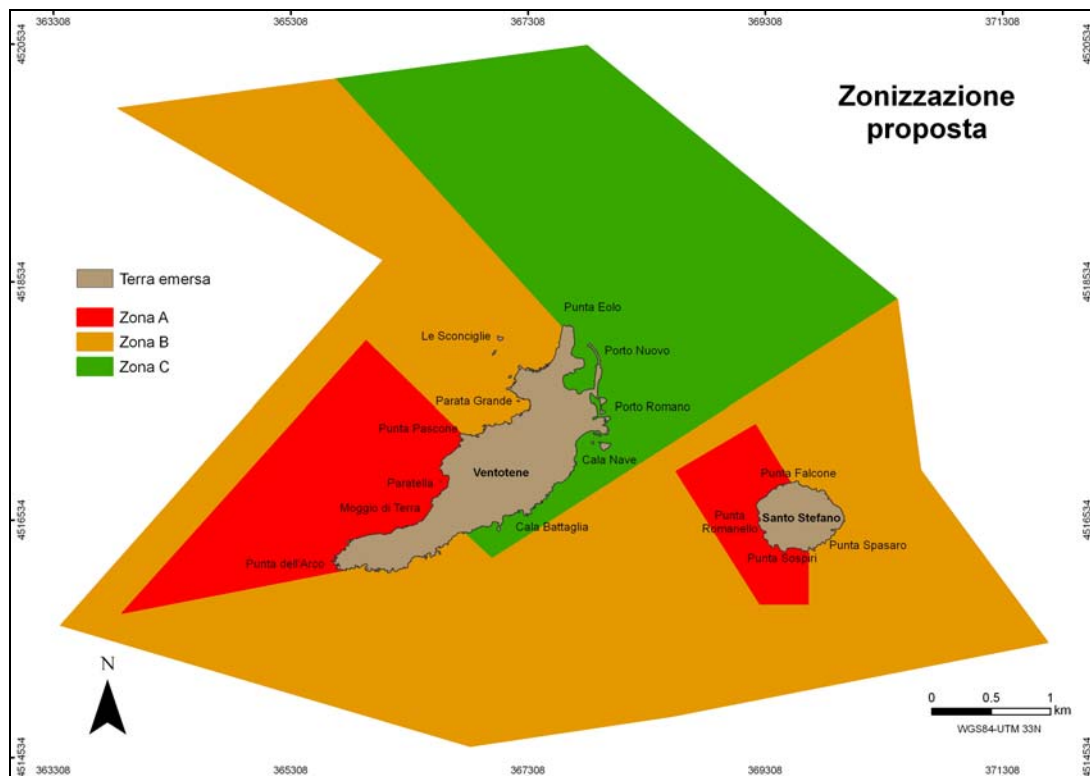


Figura 56 – Mappa della zonizzazione proposta.



Figura 57 – Estensione percentuale delle Zone A, B e C in base alla zonizzazione proposta.

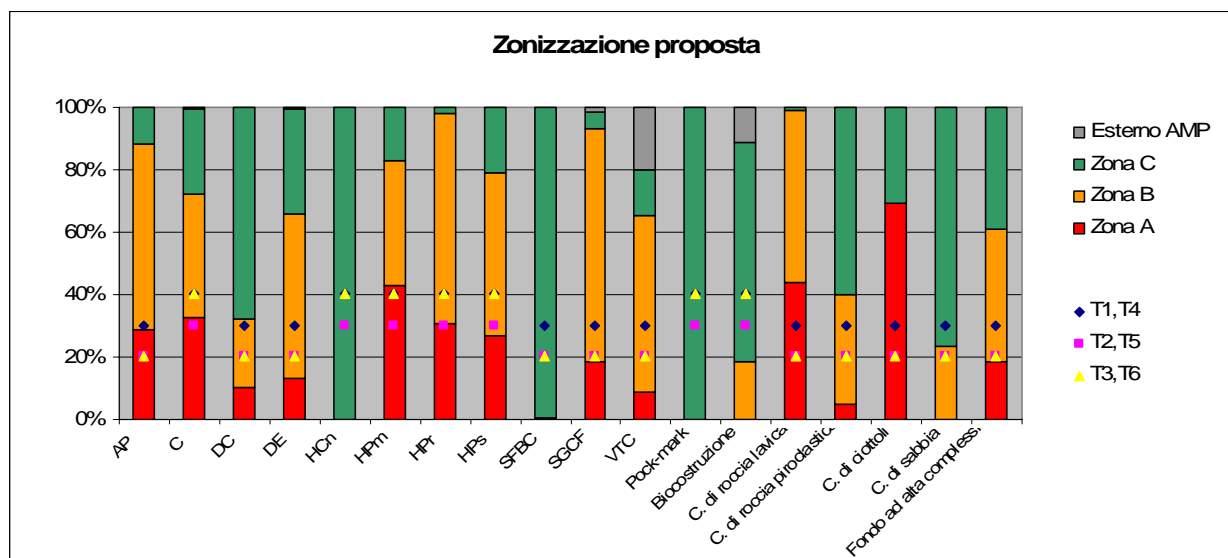


Figura 58 – Distribuzione delle caratteristiche di conservazione in relazione alla zonizzazione proposta ed agli obiettivi di conservazione.

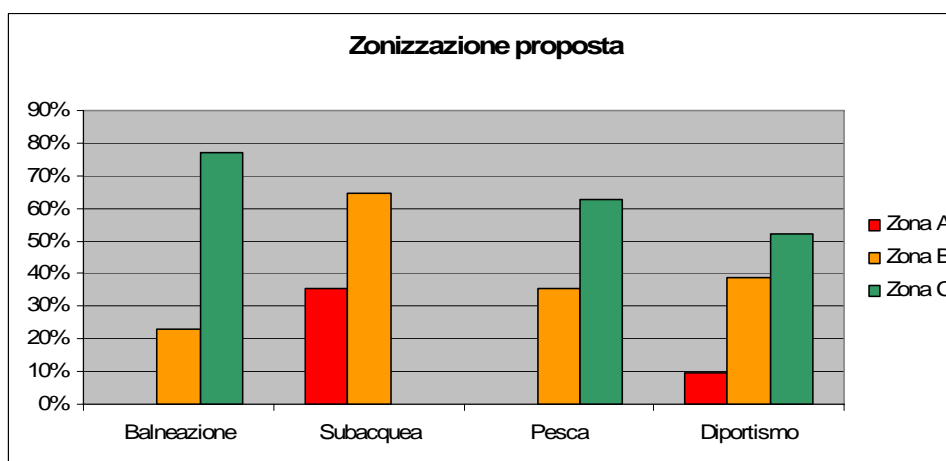


Figura 59 – Importanza relativa delle Zone A, B e C per lo svolgimento delle attività antropiche in relazione alla zonizzazione proposta.

## 5 DISCUSSIONE

Le Aree Marine Protette (AMP) sono strumenti privilegiati per la conservazione dell'ambiente marino, ma non sempre efficaci nel perseguire i propri obiettivi istitutivi (ad es. Frascetti *et al.*, 2005; Balzano, 2006; Di Donato *et al.*, 2006).

Le AMP italiane, come molte aree protette del bacino del Mediterraneo, devono affrontare diverse problematiche gestionali, connesse in parte a motivazioni politico-amministrative, come la limitata disponibilità di fondi, la precarietà degli enti gestori, l'assenza di un'appropriata regolamentazione delle attività antropiche (Badalamenti *et al.*, 2000; Francour *et al.*, 2001; Messina, 2005). La mancanza di un quadro conoscitivo completo ed aggiornato e l'adozione di decisioni, che non sempre considerano l'insieme degli aspetti rilevanti di un problema decisionale, sono ulteriori fattori che contribuiscono ad una pianificazione e gestione inefficace (Di Donato, 2008).

In questo progetto di ricerca, pertanto, sono stati individuati, valutati ed implementati metodologie e strumenti che possono essere di supporto alle attività di pianificazione e gestione di un'AMP, dall'integrazione dei dati in un sistema GIS al loro utilizzo nell'ambito di un'analisi multicriterio.

La scelta dell'area di studio è ricaduta sull'AMP di Ventotene e Santo Stefano, sita al largo delle coste laziali, nell'arcipelago Pontino. Quest'ultima, infatti, rappresenta una delle poche AMP italiane per cui sono stati acquisiti dati su aspetti non solo naturalistici ma anche socio-economici, peraltro resi disponibili dall'Ente Gestore nell'ambito del progetto finalizzato alla realizzazione del Sistema Informativo Geografico (GIS) dell'AMP (Russo *et al.*, 2007).

Il *Marine Data Model*, un modello sviluppato per rappresentare tipologie "comuni" di dati marini (Wright *et al.*, 2007), si è dimostrato un utile schema di riferimento per archiviare solo una parte delle informazioni disponibili, rivelandosi invece carente per la modellazione dei dati biologici e socio-economici (Di Donato e Russo, 2008).

Gli elementi aggiunti al modello hanno consentito di rappresentare specifiche informazioni, rilevanti per la gestione dell'AMP, come cartografie di base (ad es. mappa degli habitat e della zonizzazione), dati acquisiti con tecniche di campionamento non distruttive (ad es. i censimenti visivi della fauna ittica ed i rilievi del fondo con videocamera) od ottenuti dal monitoraggio delle attività antropiche (ad es. la pesca e il diportismo).

Di particolare utilità sono stati i cosiddetti "domini", ovvero elenchi di valori predefiniti associati agli attributi degli oggetti geografici e descrittivi, che non solo riducono gli errori di battitura ma che consentono anche di uniformare le informazioni disponibili (Di Donato *et al.*, 2007). Una delle principali problematiche connesse all'uso a fini gestionali di cartografie e database ambientali, infatti, è proprio l'estrema eterogeneità della terminologia impiegata per rappresentare una stessa tipologia di oggetti. Questo problema è particolarmente evidente

quando si confrontano le liste di specie e le mappe di distribuzione dei popolamenti bentonici realizzate nell'ambito di progetti differenti.

Il dominio definito per le tipologie di popolamento bentonico fa riferimento alla lista adottata dal Centro di Attività Regionale per le Aree Specialmente Protette (RAC-SPA) di Tunisi (Relini, 2000), dove le biocenosi bentoniche sono chiamate impropriamente habitat, per uniformità alla letteratura anglosassone (Relini, 2000; Russo *et al.*, 2008). Occorre sottolineare che questo elenco, sebbene molto dettagliato e recentemente inserito nel sistema di classificazione europea EuNIS (*European Nature Information System*) (Tunisi *et al.*, 2006), non è rappresentativo di tutte le tipologie di habitat che possono essere presenti in un'area (Bianchi, 2007; Russo *et al.*, 2008). Ad esempio, le praterie a chiazze di *Posidonia oceanica*, molto frequenti sui fondali che circondano le isole di Ventotene e Santo Stefano, non appaiono né come biocenosi né come associazioni. La lista del RAC-SPA, inoltre, si riferisce al dominio bentonico, mentre, finora, non è stato ancora definito un sistema di classificazione per il dominio pelagico.

Il dominio definito per i gruppi tassonomici, invece, è stato realizzato sulla base del Registro Mondiale delle Specie Marine (*World Register of Marine Species* o WMRS), che fornisce una lista autorevole e comprensiva di nomi di organismi marini ([www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org)). Anche questo registro necessita di essere integrato, poiché offre solo un elenco di gruppi tassonomici, mentre i campionamenti di benthos che tipicamente si realizzano nelle AMP sono finalizzati al rilievo delle OTUs (*Operative Taxonomic Units*), ovvero gruppi morfologico-funzionali che semplificano e rendono più speditiva l'indagine (New, 1988).

E' importante sottolineare che, contrariamente a precedenti casi di studio, in cui il modello di dati marini è stato adattato alle esigenze di specifiche applicazioni modificando a posteriori lo schema fisico della base di dati (Wright *et al.*, 2007), tutte le integrazioni sono state fatte a livello logico, direttamente nel diagramma UML. Quest'ultimo, essendo costituito da semplici elementi grafici, rappresenta uno schema di riferimento comprensibile anche da non esperti del settore ed indipendente dall'applicativo software. Tale schema, pertanto, potrebbe essere ulteriormente sviluppato per rappresentare in maniera comprensiva ed omogenea tutte le informazioni rilevanti per la gestione di un'AMP, al fine di produrre sistemi GIS condivisibili e di facile implementazione.

La condivisione delle informazioni territoriali può essere ulteriormente favorita dall'adozione di uno stile comune per la restituzione cartografica. Infatti, spesso accade che mappe, che descrivono una stessa caratteristica del territorio, siano difficilmente confrontabili, in quanto rese con simboli differenti. Il foglio di stile, realizzato in questo studio per la rappresentazione dei popolamenti bentonici, propone simboli che evocano le forme ed i colori del paesaggio subacqueo ad una scala di rappresentazione medio-grande (Russo *et al.*, 2008). Come il

modello di dati, anche questo stile potrebbe essere integrato con ulteriori simboli, mutuati da altri settori disciplinari (Zazzeri, 2008).

Se da un lato l'uso del modello di dati marini ha semplificato la progettazione della base di dati, dall'altro l'estrema eterogeneità dell'informazione disponibile ha richiesto comunque tempi molto lunghi per l'effettiva implementazione. Come spesso accade, infatti, molti dati erano stati prodotti in formati che non consentivano l'importazione diretta nella base di dati GIS. E' il caso, ad esempio, delle informazioni sui gruppi tassonomici, disponibili per lo più in forma matriciale, una struttura particolarmente conveniente per analisi di tipo statistico, ma non efficiente per l'archiviazione in un sistema relazionale. I dati cartografici disponibili, invece, erano stati realizzati per lo più con software per il disegno automatico (CAD) e resi con elementi grafici affetti da errori topologici (ad es. buchi, sovrapposizioni). La correttezza topologica di un file di tipo vettoriale è fondamentale per eseguire interrogazioni spaziali in ambiente GIS, un aspetto troppo spesso trascurato da chi produce cartografia ambientale.

L'archiviazione ed integrazione dei dati nel sistema GIS ha fornito un'utile base conoscitiva (Alidina *et al.*, 2008), che, oltre ad essere di supporto alla gestione, ha semplificato la pianificazione dell'AMP in accordo all'approccio sistematico.

Tale approccio, rispetto ad altre metodologie per la pianificazione di aree protette difficilmente implementabili e meno efficaci (ad es. Chemello e Russo, 2001), si basa sulla definizione esplicita e quantitativa degli obiettivi da raggiungere e sulla selezione di siti complementari per le caratteristiche rappresentate (Margules e Pressey, 2000).

Finora l'approccio sistematico è stato impiegato prevalentemente per individuare sistemi di riserve marine lungo estesi tratti costieri, trascurando importanti fattori socio-economici (Beck e Odaya, 2001; Sala *et al.*, 2002; Airamé *et al.*, 2003, Leslie *et al.*, 2003; D'Ambrosio *et al.*, 2006; Klein *et al.*, 2008a e b). In questo lavoro, invece, è stato utilizzato per individuare il miglior schema di zonizzazione per l'AMP di Ventotene e Santo Stefano, ad una scala di maggior dettaglio rispetto a quella di normale utilizzo e considerando l'impatto della conservazione sugli usi del territorio marino. La promozione di uno sviluppo socio-economico ecocompatibile, peraltro, è tra gli obiettivi istitutivi delle AMP italiane e di molte del Mediterraneo (Badalamenti *et al.*, 2000).

L'applicativo MARXAN è risultato uno strumento utile e flessibile per la pianificazione sistematica dell'AMP (Possingham *et al.*, 2008), in quanto implementa un efficiente algoritmo (*simulated annealing*) che consente di individuare, nell'ambito di più esecuzioni, siti alternativi che rappresentano adeguatamente le caratteristiche naturalistiche ritenute prioritarie per la conservazione al minor costo possibile (Kirkpatrick, 1983).

Il programma, tuttavia, presenta delle evidenti limitazioni, sia perché risolve solo problemi di tipo binario, ovvero identifica siti da includere o escludere dall'area protetta, indipendentemente dal

regime di protezione, sia perché consente di associare ad ogni unità di pianificazione un'unica misura di costo.

Quest'ultimo aspetto ha rappresentato una delle principali problematiche da affrontare, dal momento che il "costo di conservazione" di un'area protetta dipende in realtà da più fattori, connessi sia alle attività di gestione e sorveglianza, sia agli usi del territorio (Naidoo *et al.*, 2006).

Nelle prime applicazioni di MARXAN all'ambiente marino, il costo è stato rappresentato semplicemente con l'estensione superficiale dell'area protetta (Leslie *et al.*, 2003), mentre, negli studi più recenti, è stato espresso in funzione della sola attività di pesca (Sala *et al.*, 2002; Stewart and Possingham, 2005; Richardson *et al.*, 2006; Klein *et al.*, 2008a e b).

In questa indagine, invece, è stata sviluppata una metodologia basata sulle tecniche dell'analisi spaziale multicriterio (Malczewski, 1999), che consente di integrare in un'unica misura l'impatto relativo della conservazione su diverse attività antropiche (balneazione, pesca, diportismo, subacquea), considerando tra i fattori di costo anche la vicinanza alla zona portuale (Clark e Lombard, 2007) e l'estensione superficiale dell'area protetta. Un approccio simile è stato adottato da Klein *et al.* (2008a), che però hanno espresso il costo di un'unità di pianificazione solamente in funzione del numero di battute di pesca rilevate rispetto al totale registrato nell'area di studio. Nel suddetto studio, tuttavia, le unità di pianificazione erano state scelte con un'estensione ed una forma consistente con i dati disponibili sulla pesca. Nella presente applicazione, invece, la ridotta estensione delle unità di pianificazione (appena un ettaro), che però ben si adatta alle dimensioni dell'AMP (D'Ambrosio *et al.*, 2006), comporta l'inclusione di più di un'unità all'interno di uno stesso sito di balneazione, ancoraggio, immersione o pesca. La connettività funzionale delle unità di pianificazione può essere assicurata assegnando un peso maggiore alla lunghezza dei bordi condivisi tra le unità ricadenti all'interno dello stesso sito (Lötter *et al.*, 2008), ma i risultati prodotti da MARXAN per questo caso di studio, come in seguito descritto, non sembrano confermare pienamente la validità di questa strategia.

Le conseguenze dell'incertezza associata sia alla definizione del livello minimo di rappresentazione per le caratteristiche di conservazione (Lieberknecht *et al.*, 2008), sia all'assenza di una metodologia consolidata per integrare più fattori di costo in un unico parametro, sono state ampiamente valutate attraverso un'appropriata analisi di sensitività (Richardson, 2006), ovvero attraverso il confronto delle soluzioni ottenute per scenari di conservazione che differiscono per obiettivi naturalistici, socio-economici e vincoli.

In base ai requisiti di rappresentazione definiti nei differenti scenari, l'attuale schema di zonizzazione non risulta rappresentare adeguatamente ed esaustivamente le caratteristiche naturalistiche presenti nell'AMP.

Nell'attuale zona di protezione integrale (Zona A), quasi tutti i popolamenti bentonici sono presenti con una percentuale al di sotto del livello minimo di rappresentazione definito negli

scenari di conservazione e, comunque, inferiore alla soglia del 30%, consigliata dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) (Richardson *et al.*, 2006). Peraltro, alcune tipologie di habitat sono del tutto assenti, come le biocenosi del Detritico Costiero (DC), delle Sabbie Fin Ben Calibrate (SFBC) e delle praterie della fanerogama marina *Cymodocea nodosa* (HCn), localizzate prevalentemente nell'attuale Zona C; d'altra parte queste biocenosi sono poco estese rispetto alle altre e presenti in prossimità della zona portuale. Tuttavia, anche associazioni bentoniche molto più diffuse e considerate prioritarie per la conservazione, come il Coralligeno e le praterie a *Posidonia oceanica* (Relini, 2000), sono presenti in Zona A con percentuali molto basse e per lo più al di sotto del 10%. Alcuni habitat, inoltre, ricadono in parte al di fuori dei confini dell'AMP, in quanto l'area di studio non segue il perimetro dell'area protetta, bensì i limiti della mappa batimorfologica, che però rappresenta l'estensione spaziale per la quale vi è la maggiore disponibilità di informazioni (Lieberkenecth *et al.*, 2008). Il limite esterno della mappa batimorfologica, d'altra parte, segue approssimativamente sia la batimetrica dei 100 m sia l'attuale confine dell'AMP, che è tra le poche in Italia ad estendersi oltre i 50 m di profondità. In realtà, disponendo di sufficienti dati, sarebbe stato opportuno estendere la procedura di analisi all'intera piattaforma continentale delle isole di Ventotene e Santo Stefano, adottando così un criterio ecologico piuttosto che opportunistico (McDonald *et al.*, 2005).

Un'ultima considerazione riguarda l'estensione in percentuale dei popolamenti bentonici, che nella procedura di pianificazione è stata calcolata come superficie tridimensionale (D'Ambrosio *et al.*, 2006). In realtà, il confronto con i valori di superficie bidimensionale, non ha rilevato differenze significative, con errori relativi leggermente superiori per le tipologie di popolamento che possono insediarsi su substrati a pendenza media-elevata, come la biocenosi delle Alghe Infralitorali (AP) e del Coralligeno (C); per queste tipologie gli errori sono risultati rispettivamente del 3% e 1.7%. Sarebbe interessante valutare quanto queste piccole differenze possano incidere sulle unità di pianificazione selezionate da MARXAN, soprattutto alla luce delle incertezze associate alla quantità da preservare per ciascuna tipologia di habitat.

Se si considera la composizione in specie dei fondi duri, risulta che nell'attuale Zona A è presente circa l'80% dei gruppi tassonomici finora campionati. Nell'elenco dei gruppi tassonomici, inoltre, non appare alcuna specie di interesse per la conservazione (Relini, 2000), fatta eccezione per la madrepora *Astroides calycularis*, specie endemica del Mediterraneo e protetta in Italia, campionata finora solo in Zona B.

Occorre sottolineare che le informazioni relative ad i gruppi tassonomici, sebbene, per mancanza di dati, siano state considerate sono negli scenari che escludono a priori l'attuale Zona C, non sono completamente rappresentative neanche della biodiversità dei fondi duri delle Zone A e B. Innanzitutto, la tecnica di campionamento (rilievi fotografici su di una superficie di 20 cm x 20 cm) ha impedito di rilevare specie di dimensioni maggiori, come le gorgonie, di

sicuro presenti nell'AMP (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005). Le informazioni, inoltre, sono di tipo puntuale, mentre sarebbe stato meglio avere a disposizione mappe di distribuzione di specie (Phillips *et al.*, 2006). I dati, infine, sono stati acquisiti nella stessa stagione di campionamento, ma in anni differenti (2003 per la Zona A, 2005 per la Zona B); ciò introduce una fonte di errore imputabile non solo alle dinamiche temporali delle comunità naturali, ma anche agli effetti positivi della protezione ("effetto riserva") (Carrada e Russo, 2003), che potrebbero essere proporzionali al periodo di tempo durante il quale l'area è stata sottoposta a tutela (Claudet *et al.*, 2008). Tali errori, comunque, sono stati limitati dalla considerazione dei soli dati sulla presenza di specie, piuttosto che sulle abbondanze.

La scelta di includere le informazioni sui gruppi tassonomici di fondo duro, in ogni caso, è in accordo con l'approccio utilizzato in altre applicazioni, dove informazioni a grande scala sulla distribuzione della biodiversità (*coarse-filter*) sono integrate con informazioni di dettaglio sulla distribuzione di singole specie (*fine-filter*) (Airamé *et al.*, 2003).

La distribuzione degli usi del territorio marino in relazione all'attuale zonizzazione, invece, sembra rispecchiare le finalità delle singole zone di protezione.

La balneazione si svolge in prevalenza in Zona C, ma ciò è dovuto alla presenza in vicinanza dei porti delle sole spiagge accessibili da terra. Il diportismo, invece, interessa anche la Zona B, dove nel solo sito di Parata Grande, nel 2005, ha ancorato circa un terzo delle imbarcazioni rilevate. A tal proposito occorre sottolineare che l'Ente Gestore non ha ancora allestito campi boa per l'ormeggio, nonostante il decreto istitutivo vieti esplicitamente l'ancoraggio libero in tutta l'AMP ed i danni meccanici prodotti dalle ancore sul fondo marino, e soprattutto sulle praterie di posidonia, siano ampiamente riconosciuti (Francour *et al.*, 1999). La subacquea interessa prevalentemente la Zona B ed in parte la Zona A, dove è localizzato il sito di immersione della Secca della Molara; le immersioni, infatti, sono consentite nelle zone di protezione integrale ma in modo contingentato.

In sintesi, l'attuale zonizzazione risulta inefficace nel rappresentare adeguatamente gli elementi naturalistici dell'AMP, come accade in altre aree protette (Fraschetti *et al.*, 2005), ma abbastanza corrispondente agli usi del territorio marino. E' importante tenere presente che: l'attuale distribuzione delle attività antropiche è comunque funzione del regime di protezione esistente; i dati utilizzati si riferiscono a rilievi effettuati nella sola estate 2005 e, quindi, non possono essere considerati del tutto rappresentativi delle preferenze d'uso del territorio marino nel lungo periodo. Alcuni aspetti, inoltre, sono stati trascurati perché non indagati, come l'ubicazione dei siti archeologici, la presenza di visite guidate, l'effettiva frequentazione delle spiagge da parte dei bagnanti.

Le soluzioni prodotte da MARXAN per gli scenari di conservazione in cui l'unico fattore di costo è rappresentato dall'estensione superficiale dell'area da proteggere, appaiono troppo frammentate per consentire l'individuazione di siti da tutelare di dimensioni significative dal



punto di vista sia ecologico sia gestionale. Tali soluzioni, però, forniscono indicazioni sulla superficie minima da sottoporre a protezione per raggiungere gli obiettivi di conservazione, la quale rappresenta almeno il 20% dell'area di studio. Tale valore è significativo ed attualmente lontano da raggiungere se si pensa che l'attuale Zona A occupa appena il 14% della superficie totale dell'AMP. Gli impatti delle soluzioni sulle attività antropiche sono piuttosto elevati ed estremamente variabili tra le repliche di uno stesso scenario, come si osserva anche negli altri scenari che non includono esplicitamente gli usi del territorio marino nella definizione dei costi. Alla frammentazione delle soluzioni corrisponde un numero ridotto di unità di pianificazione selezionate frequentemente nell'ambito di più esecuzioni (siti prioritari); ciò suggerisce la presenza di innumerevoli alternative decisionali (Richardson, 2006).

Le soluzioni associate agli scenari di conservazione in cui l'unico fattore di costo è rappresentato dal perimetro dell'area da proteggere, invece, sono caratterizzate da una maggiore connettività spaziale, ma la riduzione del perimetro comporta un incremento notevole della superficie da tutelare, con valori fino al 41% dell'area di studio. Le unità di pianificazione, con elevate frequenze di selezione, sono in numero maggiore e tendono a raggrupparsi intorno ai siti caratterizzati dalla presenza di caratteristiche di conservazione rare (ad es. *pock-marks*, prati a *Cymodocea nodosa*).

L'inclusione sia del perimetro sia della superficie nella definizione del costo di conservazione produce soluzioni migliori, con una lunghezza del perimetro di poco superiore a quella delle soluzioni più compatte, ma con un'estensione notevolmente ridotta, fino al 32% dell'area di studio. Ciò conferma l'importanza della preliminare calibrazione del software, ed in particolare della scelta del valore da attribuire al parametro BLM, al fine di produrre soluzioni compatte a spese di un incremento minimo del costo totale (Stewart e Possingham, 2005; Game e Grantham, 2008). In questi scenari l'algoritmo tende a selezionare frequentemente le unità di pianificazione localizzate nel settore orientale, nord-orientale e nord-occidentale dell'isola di Ventotene, in corrispondenza di caratteristiche di conservazione rare e paesaggi eterogenei. Le unità di pianificazione che ricadono nell'attuale Zona A, invece, sono selezionate addirittura con frequenze inferiori a quella casuale e, pertanto, sono classificabili come unità scelte *ad hoc* (Stewart e Possingham, 2005).

L'inefficienza dell'attuale zona di protezione integrale per il raggiungimento degli obiettivi di conservazione è confermata dalle soluzioni prodotte per gli scenari che considerano l'estensione superficiale ed il perimetro come fattori di costo, includendo a priori l'attuale Zona A nei siti selezionati. Le soluzioni occupano una superficie maggiore rispetto a quella ottenuta per gli scenari non vincolati, con valori fino al 35% dell'area di studio e con impatti comunque elevati sulle attività antropiche. L'inclusione dell'attuale zona di protezione integrale, infatti, non determina dei sostanziali cambiamenti nell'ubicazione dei siti prioritari per la conservazione.

Gli scenari non vincolati che includono esplicitamente gli usi del territorio marino nella definizione dei costi, producono, a parità di obiettivi naturalistici, soluzioni con superfici equivalenti a quelli degli scenari che considerano la sola area ed il perimetro come fattori di costo, ma con un impatto sulle attività antropiche notevolmente ridotto e per lo più inferiore al 10%. In accordo alla formulazione del costo di conservazione, gli scenari che impattano di meno su ogni singola attività antropica sono quelli in cui è stata assegnata la stessa importanza ai diversi usi del territorio marino. Tutti gli scenari comportano un costo per la balneazione di circa il 5%; ciò è dovuto alla selezione frequente di un'unità di pianificazione che è situata nel sito di balneazione di Cala Nave, a causa della tipologia di costa presente (spiaggia sabbiosa) che è piuttosto rara nell'AMP. La selezione di questa unità e di altre, che ricadono in siti in cui si svolgono attività antropiche, dimostra che il peso, applicato alla lunghezza dei bordi condivisi tra le unità di pianificazione che ricadono in una stessa zona, non ha un valore tale da assicurare una completa connettività spaziale. E' evidente che MARXAN preferisce "pagare" il costo di separare unità adiacenti piuttosto che "spendere" il prezzo di includerle tutte nell'area protetta. Probabilmente sarebbe stato conveniente utilizzare un valore di peso maggiore, magari variabile in funzione dell'importanza relativa dei siti, o, ancora, adottare un approccio misto nella definizione delle unità di pianificazione, integrando le unità regolari con unità irregolari che individuano le zone caratterizzate dalla presenza di attività antropiche. In ogni caso, per quasi tutti gli scenari, l'algoritmo di calcolo sembra evitare abbastanza bene le zone interessate dalla presenza di attività antropiche, che talvolta appaiono come "buchi" circondati da unità di pianificazione con un'elevata frequenza di selezione. Questo fenomeno suggerisce anche la necessità di includere esplicitamente ulteriori fattori nella definizione dei costi, come i corridoi di navigazione. La considerazione dell'uso del territorio marino nel costo di conservazione determina un cambiamento nell'ubicazione dei siti prioritari per la protezione, con una maggiore frequenza di selezione per le unità di pianificazione situate a sud-ovest ed a sud-est di Ventotene e lungo la costa meridionale dell'isola di Santo Stefano.

L'inclusione dell'attuale Zona A produce soluzioni con valori di superficie più elevate (fino al 37% dell'area di studio) anche negli scenari che considerano esplicitamente i fattori socio-economici nella definizione dei costi, con un impatto maggiore sulle attività subacquee rispetto agli scenari non vincolati; ciò è dovuto alla presenza di siti di immersione nell'attuale zona di protezione integrale. L'incremento della superficie da tutelare in tutti gli scenari che includono a priori l'attuale Zona A, indipendentemente dagli obiettivi naturalistici, dimostra che le aree protette individuate con l'approccio sistematico sono comunque più efficienti delle aree protette realizzate a partire dai siti attualmente tutelati, anche se c'è incertezza nella definizione del livello di rappresentazione da assegnare alle caratteristiche di conservazione (Stewart *et al.*, 2007).

Gli scenari che includono esplicitamente gli obiettivi socio-economici nella definizione dei costi, escludendo a priori l'attuale Zona C, individuano soluzioni caratterizzate da un'estensione superficiale minore o addirittura equivalente a quella delle soluzioni prodotte per gli scenari che considerano solo gli obiettivi naturalistici. Questa apparente contraddizione si spiega con l'impossibilità di questi scenari di rappresentare in maniera adeguata alcune caratteristiche di conservazione (come gli habitat HCn e SFBC), presenti solo in prossimità della zona portuale. L'esclusione della Zona C determina un piccolo incremento dell'impatto sulle attività socio-economiche, a causa della selezione di unità di pianificazione collocate a nord-ovest dell'isola di Ventotene, in corrispondenza di siti di pesca e di immersione. L'inclusione in questi scenari dei gruppi tassonomici di fondo duro, a parità di livello di rappresentazione delle altre caratteristiche di conservazione, produce soluzioni equivalenti per superficie e costi alle soluzioni degli scenari in cui non sono presi in considerazione.

Il confronto di tutte soluzioni sulla base della frequenza di selezione delle unità di pianificazione evidenzia ulteriormente le differenze tra le soluzioni prodotte per gli scenari che includono a priori l'attuale Zona A e quelli che non la includono, indipendentemente dagli obiettivi naturalistici e socio-economici. In questi due gruppi il fattore principale che determina la selezione di siti prioritari per la conservazione risulta essere l'inclusione o meno degli aspetti socio-economici nella definizione dei costi. A parità di costi e vincoli, l'assegnazione di un livello minimo di rappresentazione del 40% o del 30% agli habitat rilevanti per la conservazione non determina dei cambiamenti sostanziali nella frequenza di selezione delle unità di pianificazione, purché il livello di rappresentazione per le altre caratteristiche non superi il 20%; ciò si spiega con la relativa abbondanza del coralligeno e delle praterie di posidonia nell'area di studio. I pesi assegnati ai fattori di costo, invece, sembrano giocare un ruolo irrilevante nella selezione dei siti prioritari per la conservazione rispetto ai vincoli ed agli obiettivi naturalistici.

In sintesi, dall'analisi comparativa di tutte le soluzioni prodotte da MARXAN, emerge che gli scenari che includono esplicitamente gli obiettivi socio-economici nella definizione dei costi, escludendo a priori l'attuale Zona C, forniscono delle soluzioni relativamente più efficaci ed efficienti. Infatti, l'esclusione della Zona C, peraltro di estensione limitata (28% dell'area di studio), se da un lato impedisce la realizzazione di alcuni obiettivi di conservazione, comunque di importanza secondaria, dall'altro esclude dalla selezione zone che si trovano in prossimità dei porti o lungo le rotte di navigazione. Queste zone, infatti, risultano selezionate anche negli scenari che includono esplicitamente la distanza dal porto tra i fattori di costo, a causa della presenza di caratteristiche di conservazione altrove rare. In particolare, le soluzioni migliori per una concreta rizonizzazione dell'AMP sembrano essere quelle associate allo scenario che assegna un valore minimo di rappresentazione del 40% agli habitat prioritari per la conservazione e del 20% a tutte le altre caratteristiche, include tra gli elementi da tutelare anche i gruppi tassonomici di fondo duro ed attribuisce alle attività socio-economiche la stessa

importanza. I siti prioritari in questo scenario, infatti, assicurano una maggiore tutela delle caratteristiche naturalistiche più importanti per la conservazione, riducendo gli impatti su tutte le attività antropiche, indipendentemente dall'effettivo valore economico di un determinato settore (Klein *et al.*, 2008). D'altra parte, i pesi assegnati ai fattori di costo sono stati determinati con il confronto a coppie; questa tecnica, nonostante abbia dei fondamenti matematici, resta comunque una metodologia basata su scelte soggettive e che dovrebbe essere condotta coinvolgendo più gruppi di interesse (Villa *et al.*, 2002).

Per individuare nuove zone di protezione integrale è stato necessario realizzare una pianificazione “*on the screen*”, eliminando le unità di pianificazione che ricadevano in zone interessate da attività antropiche o determinavano un'eccessiva estensione della superficie da proteggere. Infatti, MARXAN è uno strumento di supporto alle decisioni, che fornisce soluzioni che necessitano integrazioni, anche sulla base di considerazioni che non possono essere incluse esplicitamente nell'algoritmo di *simulated annealing* (Klein *et al.*, 2008a).

Il nuovo schema di zonizzazione propone 2 zone di protezione integrale, situate rispettivamente tra Punta Pascone e Punta dell'Arco, a Ventotene, e lungo la costa occidentale di Santo Stefano.

Queste zone, in una superficie leggermente inferiore a quella dell'attuale Zona A (13 vs 14% dell'area totale), rappresentano adeguatamente un numero maggiore di popolamenti bentonici (5/11 vs 1/11), tra cui gli habitat di rilievo per la conservazione (coralligeno e praterie di posidonia).

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, oltre alle falesie di roccia basaltica, che erano già adeguatamente rappresentate, appaiono nelle nuove zone di protezione integrale sia la costa di roccia piroclastica sia i fondali marini caratterizzati da un'elevata complessità del rilievo.

Le tipologie litologiche della costa emersa sono rappresentative dei popolamenti che vivono all'interfaccia con il mare, ma possiedono anche un indubbio valore paesaggistico. La complessità del fondo marino, allo stesso modo, sembra essere un buon *proxy* di biodiversità: le zone di pesca più frequentate dell'AMP corrispondono proprio a fondali caratterizzati da un'elevata complessità morfologica; tuttavia, occorre considerare che la procedura per il suo calcolo ha richiesto parametri scelti in parte soggettivamente (Ardron, 2002).

Lo schema di zonizzazione proposto, inoltre, assicura l'inclusione in Zona A di un numero maggiore di gruppi tassonomici rispetto a quello attuale (48/59 vs 46/59), tra cui la specie endemica protetta *Astroides calycularis*.

Le nuove zone protezione integrale, quindi, sembrano tutelare “meglio” le caratteristiche di conservazione incluse nel processo di pianificazione; tuttavia, la loro estensione, piuttosto ridotta (81 e 272 ettari) ed inferiore alle dimensioni dell'attuale Zona A (393 ettari), potrebbe avere delle conseguenze sull'efficacia della protezione verso le specie ittiche di importanza commerciale (Claudet *et al.*, 2008), peraltro non considerate esplicitamente in questo studio.

Per quanto riguarda gli aspetti socio-economici, la zonizzazione proposta determina un impatto sulle attività antropiche leggermente superiore a quello esercitato dalla zonizzazione attuale (9% vs 7% sul diportismo, 35% vs 28% sulla subacquea), attribuibile all'inclusione in Zona A del sito di ancoraggio di Santo Stefano e dei siti di immersione di Punta dell'Arco e della Secca della Molara. L'impatto sulla subacquea, tuttavia, potrebbe essere attenuato dalla possibilità di accedere comunque ai siti di immersione presenti nella zona di protezione integrale, con un'opportuna regolamentazione.

Lo schema di zonizzazione proposto, in conclusione, si può ritenere più efficace ed efficiente di quello attualmente esistente ma, poiché questa indagine non si colloca in un reale progetto di rizonizzazione, vale la pena chiedersi se i risultati conseguiti saranno mai utilizzati dall'Ente Gestore dell'AMP. Questo "gap" tra ricerca ed effettiva implementazione, infatti, interessa la maggior parte degli studi finalizzati alla conservazione della natura (Knight *et al.*, 2008).

A tal proposito, è opportuno anche sottolineare che le nuove zone di protezione integrale corrispondono parzialmente agli habitat indicati come "determinanti" nella carta della valenza naturalistica prodotta in uno studio precedente (Cooperativa Nautilus e Università La Sapienza, 2005). Tali aree, localizzate in prossimità di Punta dell'Arco e nel settore nord-orientale di Santo Stefano, tuttavia, sono state individuate con un approccio ed una metodologia completamente differente (basata sull'uso di pesi e criteri) da quelli impiegati in questa indagine, limitandosi alla valutazione delle sole Zone B e C, e con l'inclusione, pertanto, di dati che non erano disponibili per l'intera AMP.

In futuro, quindi, sarebbe opportuno acquisire ulteriori conoscenze e realizzare un nuovo processo di pianificazione, considerando altre informazioni, come la distribuzione dei popolamenti ittici, delle specie bentoniche cospicue e dei principali parametri chimico-fisici della colonna d'acqua.

I risultati della presente ricerca, in ogni caso, hanno dimostrato che l'approccio sistematico è efficace non solo per la localizzazione di riserve marine, ma anche per la pianificazione di singole AMP; tale approccio, quindi, potrebbe essere utilizzato per ottimizzare la protezione, limitando gli impatti sull'uso del territorio marino, in altre AMP del Mediterraneo, situate per lo più intorno ad isole piccole come Ventotene e Santo Stefano (Badalamenti *et al.*, 2000; Francour *et al.*, 2001).

## 6 CONCLUSIONI

Nell'ambito dell'attività di ricerca sono stati individuati, valutati ed implementati metodologie e strumenti che possono fornire supporto alle attività di pianificazione e gestione di un'area marina protetta (AMP), dall'integrazione dei dati in un sistema GIS al loro utilizzo nell'ambito di un'analisi multi criterio.

E' stata scelta come area di studio l'AMP di Ventotene e Santo Stefano, che, come molte AMP del Mediterraneo, è situata intorno a piccole isole e per la quale, insolitamente, sono disponibili informazioni non solo naturalistiche ma anche socio-economiche.

In sintesi:

- Il modello di dati marini (*Marine Data Model*) si è dimostrato un utile schema di riferimento per rappresentare solo una parte delle informazioni che possono essere rilevanti per la gestione di un'AMP, ma non adeguato per la modellazione di dati al contempo biologici e socio-economici.
- L'integrazione del modello di dati marini, con elementi per la rappresentazione di informazioni specifiche per l'AMP oggetto dello studio, ha prodotto uno schema di riferimento che potrebbe essere ulteriormente sviluppato, al fine di realizzare basi di dati GIS condivisibili anche in altre aree protette.
- La base di dati implementata per l'AMP di Ventotene e Santo Stefano, integrando dati di diversa natura, fornisce un utile quadro conoscitivo di supporto alle attività di pianificazione e gestione.
- I principi e i metodi dell'approccio sistematico possono fornire un valido supporto non solo per l'individuazione di "reti" di riserve marine, ma anche per la zonizzazione di AMP con finalità multiple, purché si conosca la distribuzione spaziale dei principali aspetti sia naturalistici sia socio-economici.
- Gli strumenti attualmente disponibili per la pianificazione sistematica, come l'applicativo MARXAN, tuttavia, risolvono solo problemi di tipo binario (ad es. inclusione od esclusione di un sito dall'area protetta), indipendentemente dal regime di protezione; inoltre, richiedono che i fattori che contribuiscono al costo di conservazione siano espressi in un'unica misura.
- Le conseguenze dell'incertezza, associata alla mancanza di una conoscenza approfondita sull'area di studio e di una metodologia consolidata per la definizione dei costi, possono essere valutate attraverso un'appropriata analisi di sensitività e, quindi, con la definizione di più scenari di conservazione.
- La metodologia sviluppata in questo studio, per riassumere differenti aspetti socio-economici in un'unica misura di costo, sembra limitare abbastanza bene l'impatto della conservazione sulle attività socio-economiche nell'AMP di Ventotene e Santo Stefano.

- La considerazione o meno, negli scenari di conservazione, dell'attuale zona di tutela integrale (Zona A) e dei costi legati ai differenti usi del territorio marino, risultano essere i principali fattori che determinano la selezione di siti prioritari per la conservazione; il livello minimo di rappresentazione per le caratteristiche naturalistiche, invece, gioca un ruolo secondario. Gli scenari di conservazione che mantengono l'attuale zona di protezione integrale, inoltre, producono soluzioni meno efficienti, individuando siti complessivamente più estesi, a parità di obiettivi naturalistici e socio-economici.
- Il nuovo schema di zonizzazione proposto per l'AMP, sulla base dei risultati prodotti da MARXAN, assicura una maggiore tutela delle caratteristiche naturalistiche e geomorfologiche rispetto a quello attuale, con un impatto minimo sugli usi del territorio marino.
- Le procedure automatizzate, sviluppate ai fini del lavoro, possono essere utilizzate per interfacciare un geodatabase ARCGIS all'applicativo MARXAN e per analizzare, in tempi rapidi, le soluzioni prodotte per differenti scenari di conservazione.

In conclusione, l'attività di ricerca ha dimostrato che un approccio sistematico, supportato dall'uso di tecnologie GIS e metodi matematici, può offrire un concreto contributo alle attività di pianificazione e gestione di un'AMP, indipendentemente dalle finalità e dalle dimensioni dell'area protetta.

Qualsiasi processo decisionale, tuttavia, perde la propria validità in assenza di una conoscenza quanto più completa ed aggiornata possibile dell'area da pianificare e senza il coinvolgimento di coloro che possono avere interessi, diretti o indiretti, su di essa. Pertanto, indagini periodiche e sistematiche dovrebbero essere eseguite per "adattare" la pianificazione e la gestione di un'AMP alle dinamiche ecologiche e socio-economiche che interessano la fascia costiera.

Gli attuali strumenti per la pianificazione sistematica di aree protette, come precedentemente sottolineato, presentano delle limitazioni, che dovrebbero essere superate in parte dalla nuova versione dell'applicativo MARXAN, in grado di considerare simultaneamente più fattori di costo ed identificare zone multiple con differenti livelli di protezione.

In ogni caso, l'approccio sistematico, indipendentemente dalle incertezze e dalle approssimazioni introdotte nella procedura di analisi, può essere considerato una buona pratica nella pianificazione di aree protette, in quanto rende possibile un processo decisionale trasparente, comprensivo e difendibile (Possingham *et al.*, 2008).

---

## BIBLIOGRAFIA

- AIRAMÉ S., DUGAN J. E., LAFFERTY K. D., LESLIE H., MCARDLE D. A., WARNER R. R. (2003). Applying ecological criteria to marine reserve design: a case study from the California Channel Islands. *Ecological Applications*, **13**: 170-184.
- ALIDINA H. M., FISCHER D. T., STIENBACK C., FERDANA Z., LOMBANA A. V., HEUTTMANN F. (2008). Assessing e managing data. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 54-70. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)
- ALLISON G. W., GAINES S. D., LUBCHENCO J., POSSINGHAM H. P. (2003). Ensuring persistence of marine reserves: catastrophes require adopting an insurance factor. *Ecological Applications*, **13**(Suppl.): 8-24.
- ARAÚJO M. B. (2004). Matching species with reserves - uncertainties from using data at different resolutions. *Biological Conservation*, **118**: 533-538.
- ARDRON J. (2002). A GIS Recipe for Determining Benthic Complexity: An Indicator of Species Richness. In: *Marine Geography GIS for the Oceans and Seas*, B. Joe (a cura di), ESRI Press, Redlands: 169-181.
- ARDRON J., LASH J., HAGGARTY D. (2001). *Designing a network of MPAs in the central coast of British Columbia* (Vol. 1). Overview. Living Oceans Society, Sointula, BC, 34 pp.
- ATZENI P., CERI S., PARABOSCHI S., TORLONE R. (1999). *Basi di dati*. McGraw-Hill Libri Italia srl, Milano, 620 pp.
- BADALAMENTI F., RAMOS A. A., VOULTSIADOU E., SÁNCHEZ LIZASO J. L., D'ANNA G., PIPITONE C., MAS J., RUIZ FERNANDEZ J. A., WHITMARSH D., RIGGIO S. (2000). Cultural and socio-economic impacts of Mediterranean marine protected areas. *Environmental Conservation*, **27**(2): 110-125.
- BALL I. R. (2000). *Mathematical applications for conservation ecology: the dynamics of tree hollows and the design of nature reserves*. Dissertation. University of Adelaide, South Australia, Australia.
- BALL I. R., POSSINGHAM H. P. (1999). *Spexan manual, version 3.1*. Adelaide University, Adelaide, South Australia, Australia.
- BALL I. R., POSSINGHAM H. P. (2000). MARXAN (V1.8.2): *Marine Reserve Design Using Spatially Explicit Annealing, a manual*.
- BALLANTINE B. (2006). Marine Reserves: The need for systems. *Abstract del 41st European Marine Biology Symposium*, Cork (Ireland): 35.
- BALZANO R. (2006). *Caratterizzazione delle comunità ittiche dell'Area Marina Protetta di Punta Campanella*. Tesi di dottorato in Scienze e Ingegneria del Mare (XVII ciclo), Università degli Studi di Napoli Federico II, 109 pp.



- BALZANO R., DI STEFANO F., DI DONATO R., CARRADA G. C. (2006). Analisi fenologiche e distribuzione di prati a *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh nell'Area Marina Protetta (AMP) di Punta Campanella (Tirreno centrale). *Biol. Mar. Medit.*, **13**(2): 158-159.
- BARBERI F., BORSI S., FERRARA G., INNOCENTI F. (1967). Contributo alla conoscenza vulcanologica e magmatologica delle isole dell'arcipelago Pontino. *Mem. Soc. Geol. It.*, **6**: 581-606.
- BARDAT J., BENSETTITI F., HINDERMEYER X. (1997). Approche méthodologique de l'évaluation d'espaces naturels - exemple de l'application de la directive habitats en France. *Écologie*, **28** (1): 45-59.
- BECK M. W., ODAYA M. (2001). Ecoregional planning in marine environments: identifying priority sites for conservation in the northern Gulf of Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **11**: 235-242.
- BELLUCCI F., LIRER L., MUNNO R. (1999). Geology of Ponza, Ventotene and Santo Stefano islands (with a 1:15.000 geological map). *Acta Vulcanologica*, **11**(2): 197-222.
- BERI M. (2007). *Python*. Pocket Apogeo, Milano, 197 pp.
- BIANCHI C. N. (2007). Dalla cartografia bionomica alla cartografia territoriale, ovvero dalla conoscenza alla gestione delle aree marine protette. *Biol. Mar. Medit.*, **14**(2): 22-51.
- BOITANI L., FALCUCCI A., MAIORANO L., MONTEMAGGIORI A. (2003). *Italian Ecological Network: the role of Protected Areas in the conservation of Vertebrates*. Ministero Ambiente e Territorio, Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Istituto di Ecologia Applicata (Roma), 88 pp.
- BREMAN J., WRIGHT D., HALPIN P. N. (2002). The inception of the ArcGIS Marine Data Model. In: *Marine Geography GIS for the Oceans and Seas*, J. Breman (a cura di), ESRI Press, Redlands: 4-9.
- CABEZA M., MOILANEN A. (2001). Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, **16**: 242-248.
- CANDUCCI M. (2005). *XML*. Pocket Apogeo, Milano, 138 pp.
- CANESSA R., GESELBRACHT G., KLEIN C. J., CAMERON S. E. (2008). Using Marxan in Multi-Stakeholder Planning Processes. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 104-118. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)
- CANTILE A. (2004). Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare. In: *Italia. Atlante dei tipi geografici*, Istituto Geografico Militare: 28-48.
- CARRADA G. C., RUSSO G. F. (2003). *Sistema Afrodite. Aree Marine Protette "Punta Campanella" e "Isole di Ventotene e Santo Stefano"*. Università degli Studi di Napoli Federico II ed Università degli Studi di Napoli Parthenope, 62 pp.
- CHEMELLO R., RUSSO G. F. (2001). *MaREP - Marine Reserve Evaluation Procedures. Una metodica per la valutazione della qualità ambientale nelle aree marine protette*. Edizioni Valtrend, Napoli: 46 pp.
- CHURCH R. L., STOMS D. M., DAVIS F. W. (1996). Reserve selection as a maximal covering location problem. *Biological Conservation*, **76**: 105-112.

- CLARK B. M., LOMBARD A. T. (2007). *A marine conservation plan for the agulhas bioregion: options and opportunities for enhancing the existing MPA network*. Anchor Environmental Consultants CC, Rhodes Gift.
- CLAUDET J., OSENBERG C. W., BENEDETTI-CECCHI L., DOMENICI P., GARCÍA-CHARTON J., PÉREZ-RUZAFÁ Á., BADALAMENTI F., BAYLE-SEMPERE J., BRITO A., BULLERI F., CULIOLI J., DIMECH M., FALCÓN J. M., GUALA I., MILAZZO M., SÁNCHEZ-MECA J., SOMERFIELD P. J., STOBART B., VANDEPERRE F., VALLE C., PLANES S. (2008). Marine reserves: size and age do matter. *Ecology Letters*, **11**: 481-489.
- COCKS K. D., BAIRD I. A. (1989). Using Mathematical Programming to Address the Multiple Reserve Selection Problem: An Example from the Eyre Peninsula, South Australia. *Biological Conservation*, **49**: 113-130.
- COOPERATIVA NAUTILUS DI VIBO VALENTIA E DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA ANIMALE E DELL'UOMO DELL'UNIVERSITÀ "LA SAPIENZA" DI ROMA (2005). *Redazione della mappa delle biocenosi bentoniche e della valenza naturalistica dell'AMP Isole di Ventotene e Santo Stefano*. Relazione tecnica e allegati, 101 e 141 pp.
- COWLING R. M., KNIGHT A. T., FAITH D. P., FERRIER S., LOMBARD A. T., DRIVER A., ROUGET M., MAZE K., DESMET P. G. (2004). Nature conservation requires more than a passion for species. *Conservation Biology*, **18**: 1674-1676.
- D'AMBROSIO P., TERLIZZI A., BUSSOTTI S., MICHELI F., FRASCHETTI S. (2006). Utilizzo di metodi quantitativi per la pianificazione di un network di aree marine protette. *Biol. Mar. Medit.*, **13** (1): 348-354.
- DESMET P., COWLING R. M. (2004). Using the species-area relationship to set baseline targets for conservation. *Ecology and Society*, **9**: 11.
- DI DONATO R. (2008). Sviluppo di basi di dati GIS e procedure di analisi multicriterio per la pianificazione e gestione di aree marine protette. *Lettera ai Soci. Società Italiana di Ecologia*, **1**: 10-11.
- DI DONATO R., RUSSO G. F. (2004). Implementazione di un GIS per analisi a fini gestionali dell'ecologia del paesaggio bentonico nell'AMP di Punta Campanella. *Annali della Facoltà di Scienze e Tecnologie, Università degli Studi di Napoli Parthenope*, **68**: 173-200.
- DI DONATO R., RUSSO G. F. (2008). Efficacia del *Marine Data Model* per GIS di Aree Marine Protette. *Atti della XI Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma.
- DI DONATO R., DI STEFANO F., RUSSO G. F. (2006). Biological versus archaeological features in the Marine Protected Area of Baia. *Abstract 41st European Marine Biology Symposium*, Cork (Ireland): 65.
- DI DONATO R., DI STEFANO F., RUSSO G. F. (2007). I sistemi GIS dell'AMP Campane di Baia, Gaiola e Punta Campanella. *Atti della X Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma.
- DI STEFANO F. (2004). *Caratterizzazione ecologica e biogeografica del benthos di substrato solido nelle riserve marine di "Punta Campanella" e delle "Isole di Ventotene e Santo Stefano"*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Biologia Evoluzionistica, XVII Ciclo, Università degli Studi di Catania: 84 pp.
- DI STEFANO F., RUSSO G. F. (2005). Procedure per lo studio di fattibilità di un'area marina protetta: l'esempio di Santa Maria di Castellabate nel Cilento. In: *Gestione della Fauna Selvatica e*

- Conservazione della Biodiversità esperienze*, G. de Filippo e D. Fulgione (a cura di), Edizioni T-scrivo, Roma: 29-36.
- DI STEFANO F., DI DONATO R., RUSSO G. F. (2006). Criteri per la restituzione cartografica dei popolamenti bentonici. *Atti del IX Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma.
- ERASMUS B. F. N., FREITAG S., GASTON K. J., ERASMUS B. H., VAN JAARSVELD A. S. (1999). Scale and conservation planning in the real world. *Proceedings of the Royal Society of London Series Biological Sciences*, **266**: 315-319.
- FAGAN W. F., CANTRELL R. S., COSNER C. (1999). How habitat edges change species interactions. *American Naturalist*, **153**: 165-182.
- FISCHER D. T., CHURCH R. L. (2005). The SITES reserve selection system: A critical review. *Environmental Modeling and Assessment*, **10**(3): 215-228.
- FISCHER D. T., ALIDINA H. M., STEINBACK C., LOMBANA A. V., RAMIREZ DE ARELLANO P. I., FERDANA Z., KLEIN C. J. (2008). Ensuring robust analysis. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 71-90. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)
- FRANCOUR P., GANTEAUME A., POULAIN M. (1999). Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros national park (north-western Mediterranean sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **9**: 391-400.
- FRANCOUR P., HARMELIN J., POLLARD D., SARTORETTO S. (2001). A review of marine protected areas in the northwestern Mediterranean region: siting, usage, zonation and management. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, **11**: 155-188.
- FRASCHETTI S., TERLIZZI A., BUSSOTTI S., GUARNIREI G., D'AMBROSIO P., BOERO F. (2005). Conservation of Mediterranean seascapes: analyses of existing protection schemes. *Marine Environmental Research*, **59**: 309-332.
- GAME E. T., GRANTHAM H. S. (2008). *Marxan User Manual: For Marxan version 1.8.10*. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, and Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada.
- GAME E. T., WATTS M. E., WOOLDRIDGE S., POSSINGHAM H. P. (2008). Planning for Persistence in Marine Reserves: A Question of Catastrophic Importance. *Ecological Applications*, **18**: 670-680.
- GEOLAB S.R.L. (2005). *Mappatura batimorfologica delle aree "b" e "c" dell'Area Marina Protetta "Isole di Ventotene e S. Stefano"*. Rapporto Finale, 31 pp.
- GUIDETTI P., SALA E. (2007). Community-wide effects of marine reserves in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **335**: 43-56.
- GUIDETTI P., MILAZZO M., BUSSOTTI S., MOLINARI A., MURENU M., PAIS A., SPANÒ N., BALZANO R., AGARDY T., BOERO F., CARRADA G., CATTANEO-VIETTI R., CAU A., CHEMELLO R., GRECO S., MANGANARO A., NOTARBARTOLO DI SCIARA G., RUSSO G. F., TUNESI L. (2008). Italian marine reserve effectiveness: Does enforcement matter? *Biological Conservation*, **141**: 699-709.

- HARME LIN J. G., MARINOPOULOS J. (1993). Recensement de la population de corbs (*Sciaena umbra*, Linnaeus, 1758: Pisces) du Parc National de Port-Cros (Méditerranée, France) par inventaires visuels. *Scientific Report of Port-Cros National Park*, **15**: 265-276.
- JUSTUS J., SARKAR S. (2002). The principle of complementarity in the design of reserve networks to conserve biodiversity: a preliminary history. *Journal of Biosciences*, **27**: 421-435.
- KELLEHER G. (1999). *Guidelines for Marine Protected Areas*. IUCN, Gland, Switzerland, 107 pp.
- KELLEHER G., KENCHINGTON R. (1992). Guidelines for establishing marine protected areas. In: *A marine conservation and development report*. IUCN, Gland, Switzerland, 79 pp.
- KIRKPATRICK J. B. (1983). An Iterative Method for Establishing Priorities for Selection of Nature Reserves: An Example From Tasmania. *Biological Conservation*, **25**: 127-134.
- KLEIN C. J., CHAN A., KIRCHER L., CUNDIFF A. J., GARDNER N., HROVAT Y., SCHOLZ A., KENDALL B. E., AIRAMÉ S. (2008a). Striking a Balance between Biodiversity Conservation and Socioeconomic Viability in the Design of Marine Protected Areas. *Conservation Biology*, **22**: 691-700.
- KLEIN C. J., STEINBACK C., SCHOLZ A., POSSINGHAM H. (2008b). Effectiveness of marine reserve networks in representing biodiversity and minimizing impact to fishermen: a comparison of two approaches used in California. *Conservation Letters*, **1**: 44-51.
- KNIGHT A. T., COWLING R. M., ROUGET M., BALMFORD A., LOMBARD A. T., CAMPBELL B. M. (2008). Knowing But Not Doing: Selecting Priority Conservation Areas and the Research-Implementation Gap. *Conservation Biology*, **22**(3): 610-617.
- LAFFOLEY D. (2006). *The WCPA-Marine Plan of Action 2006-2012: Working together to secure a global, representative system of lasting networks of marine protected areas*. IUCN-WCPA, Gland, Switzerland, 116 pp.
- LESLIE H., RUCKELSHAUS M., BALL I. R., ANDELMAN S., POSSINGHAM H. P. (2003). Using siting algorithms in the design of marine reserve networks. *Ecological Applications*, **13**(Suppl.): 185-198.
- LIEBERKNECHT L., ARDRON J. A., WELLS R., BAN N. C., LÖTTER M., GERHARTZ J. L., NICOLSON D. J. (2008). Addressing ecological objectives through the setting of targets. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 24-36. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)
- LÖTTER M., LIEBERKNECHT L., ARDRON J. A., WELLS R., BAN N. C., NICOLSON D. J., GERHARTZ J. L. (2008). Reserve Design Considerations. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 37-46. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)
- LUCK G. W., RICKETTS T. H., DAILY G. C., IMHOFF M. (2004). Alleviating spatial conflict between people and biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**: 182-186.
- MACDONALD A. (2001). *Building a geodatabase*, Digital Books, 490 pp.

- MALCZEWSKI J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley&Sons, New York, 392 pp.
- MARGULES C. R., PRESSEY R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, **405**: 243-253.
- MATRONE A. (2006). *L'utilizzo del territorio marittimo in rapporto con la zonizzazione nell'AMP di Ventotene e S. Stefano*. Tesi di laurea in Scienze Ambientali, Università degli Studi di Napoli Parthenope, relatore prof. G. F. Russo, 169 pp.
- MCDONALD R., KNIGHT M., WEISS D., SELIG E., O'CONNOR M., VIOLIN C., MOODY A. (2005). Species compositional similarity and ecoregions: Do ecoregion boundaries represent zones of high species turnover? *Biological Conservation*, **126**: 24-40.
- MCDONNELL M. D., POSSINGHAM H. P., BALL I. R., COUSINS E. A. (2002). Mathematical methods for spatially cohesive reserve design. *Environmental Modeling and Assessment*, **7**: 107-114.
- MESSINA A. (2005). Il sistema delle aree marine protette italiane: problemi e prospettive. In: *Le aree marine protette: occasione di sviluppo, recupero di memorie storiche e tutela di ecosistemi*, G. C. Carrada, P. Coiro, G. F. Russo (a cura di), Electa Napoli, Napoli: 43-54.
- METRICH N., SANTACROCE R., SAVELLI C. (1988). Ventotene, a potassic Quaternary volcano in Central Tyrrhenian sea. *Rend. Soc. It. Min. e Petrol.*, **43**: 1195-1213.
- METROPOLIS N., ROSENBLUTH A., ROSENBLUTH M., TELLER A., TELLER. E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics*, **21**: 1087-1092.
- MINISTERO MARINA MERCANTILE (1990). *Indagini preliminari sulla situazione ambientale dell'area destinata a Riserva Marina delle Isole Pontine*. Rapporto tecnico, 275 pp.
- MOORE J., BALMFORD A., ALLNUT T., BURGESS N. D. (2004). Integrating costs into conservation planning across Africa. *Biological Conservation*, **117**: 343-350.
- MORIN T. (2001). Sanctuary Advisory Councils: Involving the public in the National Marine Sanctuary Program. *Coastal Management*, **29**: 327-339.
- NAIDOO R., BALMFORD A., FERRARO P. J., POLASKY S., RICKETTS T. H., ROUGET M. (2006). Integrating economic costs into conservation planning. *Trends in Ecology & Evolution*, **21**(12): 681-687.
- NEW T. R. (1988). *Invertebrate surveys for conservation*, Oxford University Press, 240 pp.
- NICHOLLS A. O., MARGULES C. R. (1993). An Upgraded Reserve Selection Algorithm. *Biological Conservation*, **64**: 165-169.
- NOSS R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, **4**: 355-364.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL) (2001). *Report of the committee on the evaluation, design and monitoring of marine reserves and protected areas in the United States*. National Academy Press, Washington, DC, 288 pp.
- PENCE G. Q. K., BOTHA M. A., TURPIE J. K. (2003). Evaluating combinations of on- and off-reserve conservation strategies for the Agulhas Plain, South Africa: a financial perspective. *Biological Conservation*, **112**: 253-273.

- PERENCSIK A., WOO S., BOOTH B., CROSIER S., CLARK J., MACDONALD A. (2004). *Building a Geodatabase: Arcgis 9*. Esri Press, 384 pp.
- PERENCSIK A., BOOTH B., ANDRADE J. (2005). *ArcGIS 9. Designing Geodatabases With Visio*. Esri Press, 45 pp.
- PERES J. M., PICARD J. (1964). Nouveau Manuel de Bionomie Bentine de la Mer Mediterranée. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, **31**(47), 137 pp.
- PEVERIERI G. (1995). *GIS Strumenti per la gestione del territorio*. Editrice Il Rostro, Milano, 148 pp.
- PHILLIPS S., ANDERSON R. P., SCHAPIRE R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, **190**: 231-259.
- PIERCE S. M., COWLING R. M., KNIGHT A. T., LOMBARD A. T., ROUGET M., WOLF T. (2005). Systematic conservation planning products for land-use planning: Interpretation for implementation. *Biological Conservation*, **125**: 441-458.
- POSSINGHAM H. P., SMITH J. L., ROYLE K., DORFMAN D., MARTIN T. G. (2008). Introduction. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 1-11. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)
- POSSINGHAM H., BALL I., ANDELMAN S. (2000). Mathematical methods for identifying representative reserve networks. In: *Quantitative methods for conservation biology*, S. Ferson e M. Burgman (a cura di), Springer-Verlag, New York: 291-305.
- PRESSEY R. L., HUMPHRIES C. J., MARGULES C. R., VANE-WRIGHT R. I., WILLIAMS P. H. (1993). Beyond Opportunism: Key Principles for Systematic Reserve Selection. *TREE*, **8**(4): 124-128.
- PRESSEY R. L., POSSINGHAM H. P., DAY J. R. (1997). Effectiveness of alternative heuristic algorithms for identifying indicative minimum requirements for conservation reserves. *Biological Conservation*, **80**: 207-219.
- PRESSEY R. L., COWLING R. M., ROUGET M. (2003). Formulating conservation targets for biodiversity pattern and process in the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation*, **112**: 99-127.
- PRYCE B., IACHETTI P., WILHERE G., CIRUNA K., FLOBERG J., CRAWFORD R., DYE R., FAIRBARN S., FARONE S., FORD S., GOERING M., HEINER M., KITTEL G., LEWIS J., NICOLSON D., WARNER N. (2006). *Okanagan Ecoregional Assessment*, **2** (Appendices).
- PULLIAM H. R., DANIELSON B. J. (1991). Sources, sinks, and habitat selection: a landscape perspective on population dynamics. *American Naturalist*, **137**(Suppl.): 50-66.
- RAVENNA C., CORAGGIO F. (2000). *Ventotene sott'acqua*. Guastadisegni, Roma, 64 pp.
- RELINI G. (2000). Nuovi contributi per la conservazione della biodiversità marina in Mediterraneo. *Biol. Mar. Med.*, **7**(3): 173-211.
- RICHARDSON E. A., KAISER M. J., EDWARDS-JONES G., POSSINGHAM H. P. (2006). Sensitivity of marine-reserve design to the spatial resolution of socioeconomic data. *Conservation Biology*, **20**: 1191-1201.

- RINALDI R. (1994). *Le Isole Pontine. Le Guide Subacquee*. Il Subacqueo Libri, Edizioni La Cuba, Roma, 143 pp.
- ROBERTS C. M., ANDELMAN S., BRANCH G., BUSTAMANTE R., CASTILLA J. C., DUGAN J., HALPERN B., LAFFERTY K., LESLIE H., LUBCHENCO J., MCARDLE D., POSSINGHAM H., RUCKLESHAUS M., WARNER R. (2003). *Ecological criteria for evaluating candidate sites for marine reserves. Ecological Applications*, **13**(Suppl.): 199-214.
- RODRIGUES A. S. L., ANDELMAN S. J., BAKARR M. I., BOITANI L., BROOKS T. M., COWLING R. M., FISHPOOL L. D. C., DA FONSECA G. A. B., GASTON K. J., HOFFMANN M., LONG J. S., MARQUET P. A., PILGRIM J. D., PRESSEY R. L., SCHIPPER J., SECHREST W., STUART S. N., UNDERHILL L. G., WALLER R. W., WATTS M. E. J., YAN X. (2004). Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, **428**: 640-643.
- RODRIGUES A. S. L., BROOKS T. M. (2007). Shortcuts for Biodiversity Conservation Planning: The Effectiveness of Surrogates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **38**: 717-737.
- RUSSO G. F., DI STEFANO F. (2005). Le attività di studio nelle aree marine protette della Campania. In: *Le coste salernitane* M. Rosi e F. Jannuzzi (a cura di), Giannini Editore, Napoli: 235-241.
- RUSSO G. F., FRESI E., VINCI D., SCARDI M. (1986). Problemi e proposte sul campionamento della malacofauna di strato foliare nelle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Lavori S.I.M.*, Società Italiana di Malacologia, **22**: 15-28.
- RUSSO G. F., CARRADA G. C., DI DONATO R., DI STEFANO F. (2005). *Caratterizzazione bio-ecologia e bionomica. Parco Sommerso di Baia*. Relazione tecnica, 182 pp.
- RUSSO G. F., ASCIONE I., DI DONATO R., DI STEFANO F. (2007). *Realizzazione del Sistema Informativo Geografico (GIS) dell'Area Marina Protetta di Ventotene e Santo Stefano*. Rapporto tecnico, 116 pp.
- RUSSO G. F., DI DONATO R., DI STEFANO F. (2008). Gli habitat sottomarini delle coste della Campania. *Biologi Italiani*, **6**: 36-40.
- SALA E., GARRABOU J., ZABALA M. (1996). Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Marine Biology*, **126**: 451-459.
- SALA E., ABURTO-OROPEZA O., PAREDES G., PARRA I., BARRERA J. C., DAYTON P. K. (2002). A general model for designing networks of marine reserves. *Science*, **298**: 1991-1993.
- SAATY T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, 287 pp.
- SIMBERLOFF D. (1998). Flagships, umbrellas and keystones: is single species management passe in the landscape era? *Biological Conservation*, **83**: 247-257.
- SMITH P. G. R., THEBERGE J. B. (1987). Evaluating natural areas using multiple criteria: theory and practice. *Environmental Management*, **11**: 447-460.

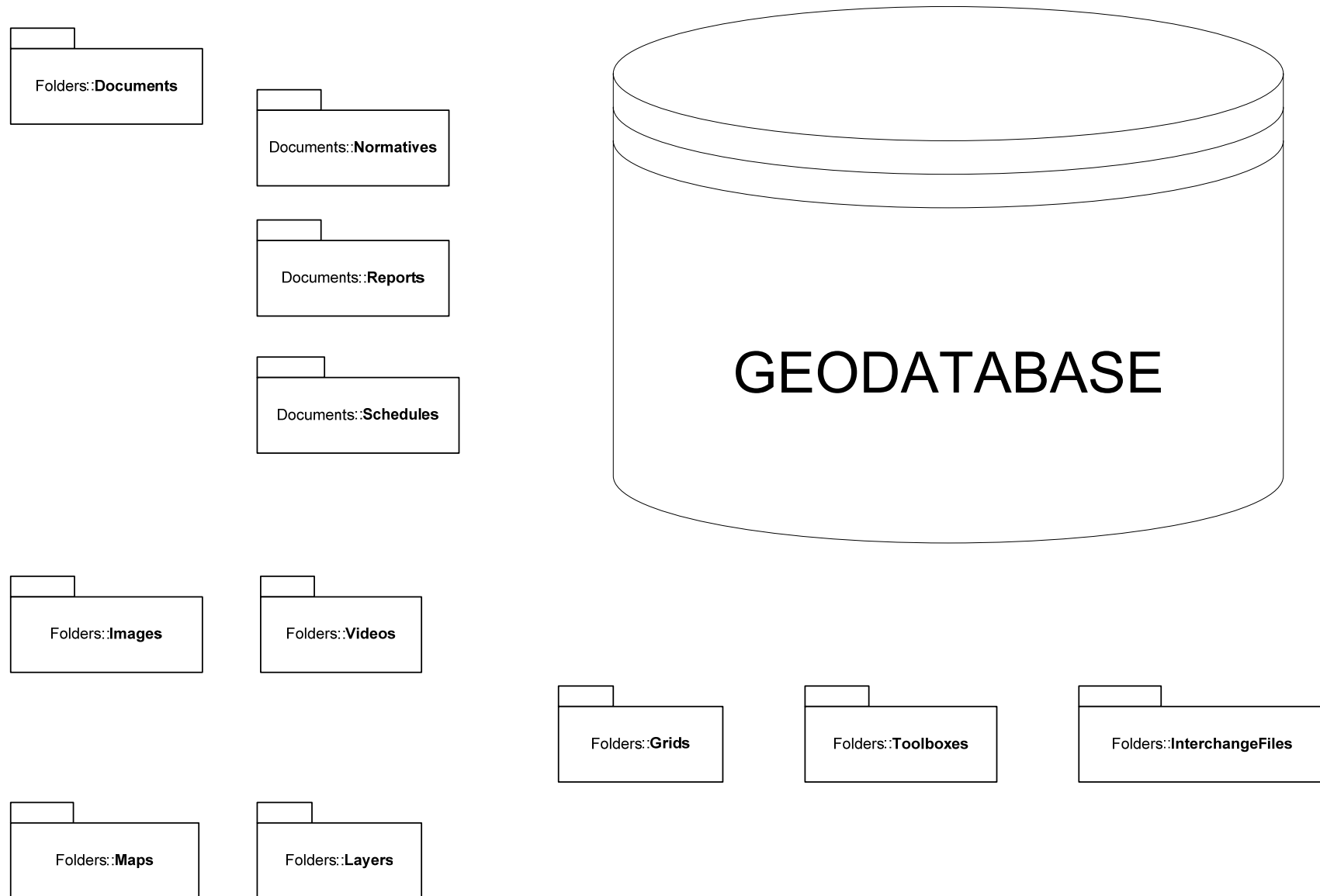
- SMITH R. J., GOODMAN P. S., MATTHEWS W. S. (2006). Systematic conservation planning: a review of perceived limitations and an illustration of the benefits using a case study from Maputaland, South Africa. *Oryx*, **40**: 400-410.
- SMITH R. J., MUIR R. D. J., WALPOLE M. J., BALMFORD A., LEADER-WILLIAMS N. (2007). Revisiting the links between governance and the loss of biodiversity. *Conservation Biology*, **21**: 889-900.
- STEWART R. R., POSSINGHAM H. P. (2005). Efficiency, costs and trade-offs in marine reserve system design. *Environmental Modeling and Assessment*, **10**(3): 203-213.
- STEWART R. R., NOYCE T., POSSINGHAM H. P. (2003). The opportunity cost of ad hoc marine reserve design decisions - an example from South Australia. *Marine Ecology Progress Series*, **253**: 25-38.
- STEWART R. R., BALL I., POSSINGHAM H. P. (2007). The Effect of Incremental Reserve Design and Changing Reservation Goals on the Long-Term Efficiency of Reserve Systems. *Conservation Biology*, **21**: 346-354.
- TOBLER W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* **46**(2): 234-240.
- TUNESI L., MOSS D., EVANS D., MO G., DI MARTINO V. (2006). The Mediterranean marine habitats in the EuNIS European system. *Biol. Mar. Medit.*, **13**(2): 224-225.
- TUNESI L., AGNESI S., DI NORA T., MO G. (2007). Spatial data management in multi-objective MPA zoning. Abstract dell' *European Symposium on Marine Protected Areas as a Tool for Fisheries Management and Ecosystem Conservation*, Murcia (Spagna): 298.
- TUNESI L., DIVIACCO G. (1993). Environmental and socio-economic criteria for the establishment of marine coastal parks. *International Journal of Environmental Studies*, **43**: 253-259.
- VILLA F., TUNESI L., AGARDY T. (2002). Zoning marine protected areas through spatial multiple-criteria analysis: The case of the Asinara Island National Marine Reserve of Italy. *Conservation Biology*, **16**(2): 515-526.
- WARD T. J., VANDERKLIFT M. A., NICHOLLS A. O., KENCHINGTON R. A. (1999). Selecting Marine Reserves Using Habitats and Species Assemblages as Surrogates for Biological Diversity. *Ecological Applications*, **9**: 691-698.
- WCPA/IUCN (2007). *Establishing networks of protected areas: A guide for developing national and regional capacity for building MPA networks*. Non technical summary report.
- WILLIAMS J., REVELLE C. S., LEVIN S. A. (2004). Using mathematical optimization models to design nature reserves. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **2**: 98-105.
- WILSON K., PRESSEY R. L., NEWTON A., BURGMAN M., POSSINGHAM H. P., WESTON C. (2005). Measuring and incorporating vulnerability into conservation planning. *Environmental Management*, **35**: 527-543.
- WILSON K. A., POSSINGHAM H. P., MARTIN T. G., GRANTHAM H. S. (2008). Key Concepts. In: *Marxan Good Practices Handbook*, J. A. Ardron, H. P. Possingham, C. J. Klein (a cura di), Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, BC, Canada: 18-23. [www.pacmara.org](http://www.pacmara.org)



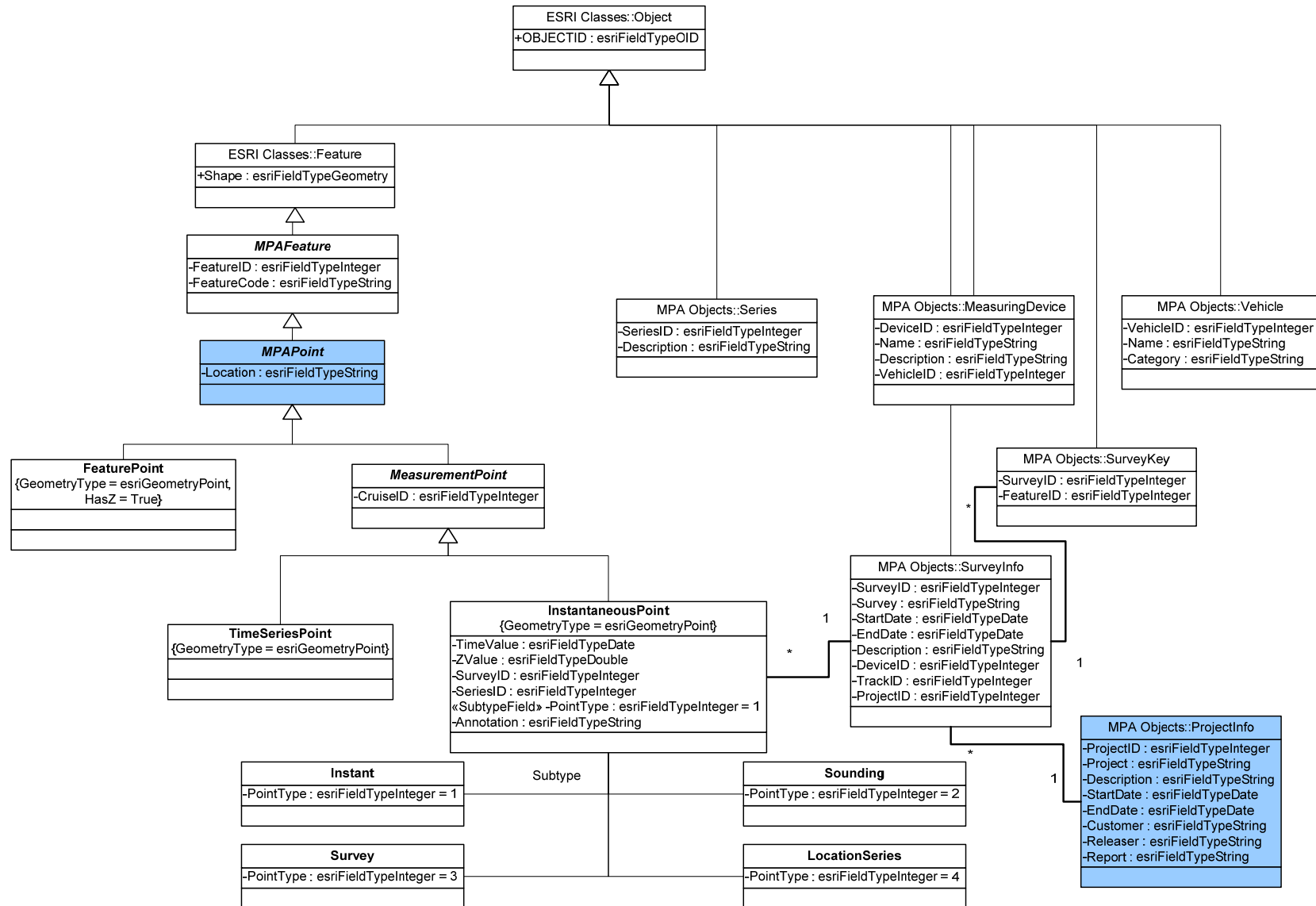
- WRIGHT D. J., BLONGEWICZ M. J., HALPIN P. N., BREMAN J. (2007). *Arc Marine: GIS for a Blue Planet*. ESRI Press, 202 pp.
- ZAZZERI M. (2008). Representation e Dati Geologici: un'Applicazione Automatizzata nella Banca Dati CARG. *Atti della X Conferenza Italiana Utenti ESRI*, Roma.
- ZEILER M. (2000). *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. ESRI Press, Redlands, 200 pp.
- ZITELLINI N., MARANI M., BORSETTI A. M. (1984). Post-orogenic tectonic evolution of Palmarola and Ventotene basins (pontine arcipelago). *Mem. Soc. Geol. It.*, **27**: 121-131.

**APPENDICE 1:**  
**Modello di dati**

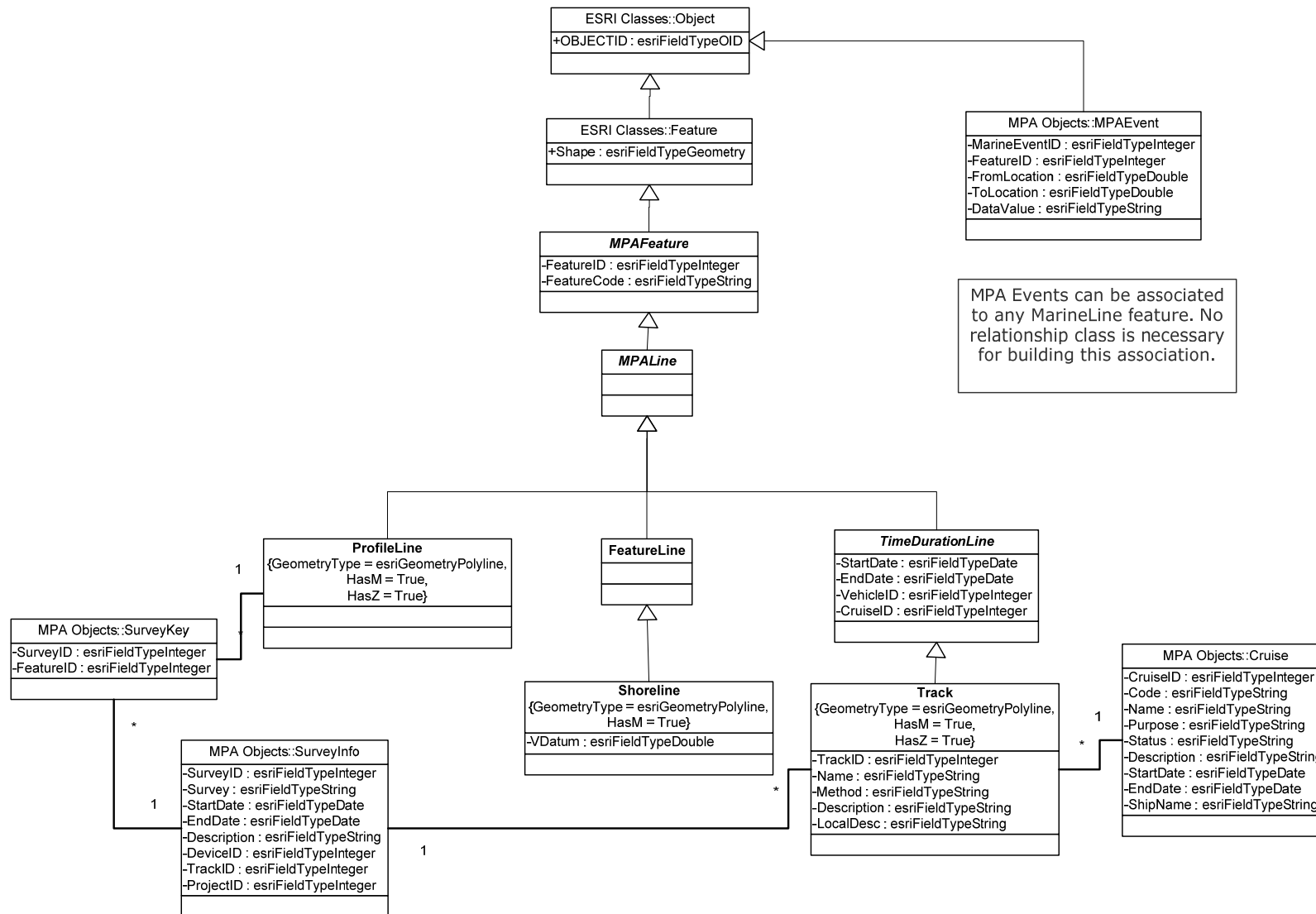
## Schema semplificato della base di dati



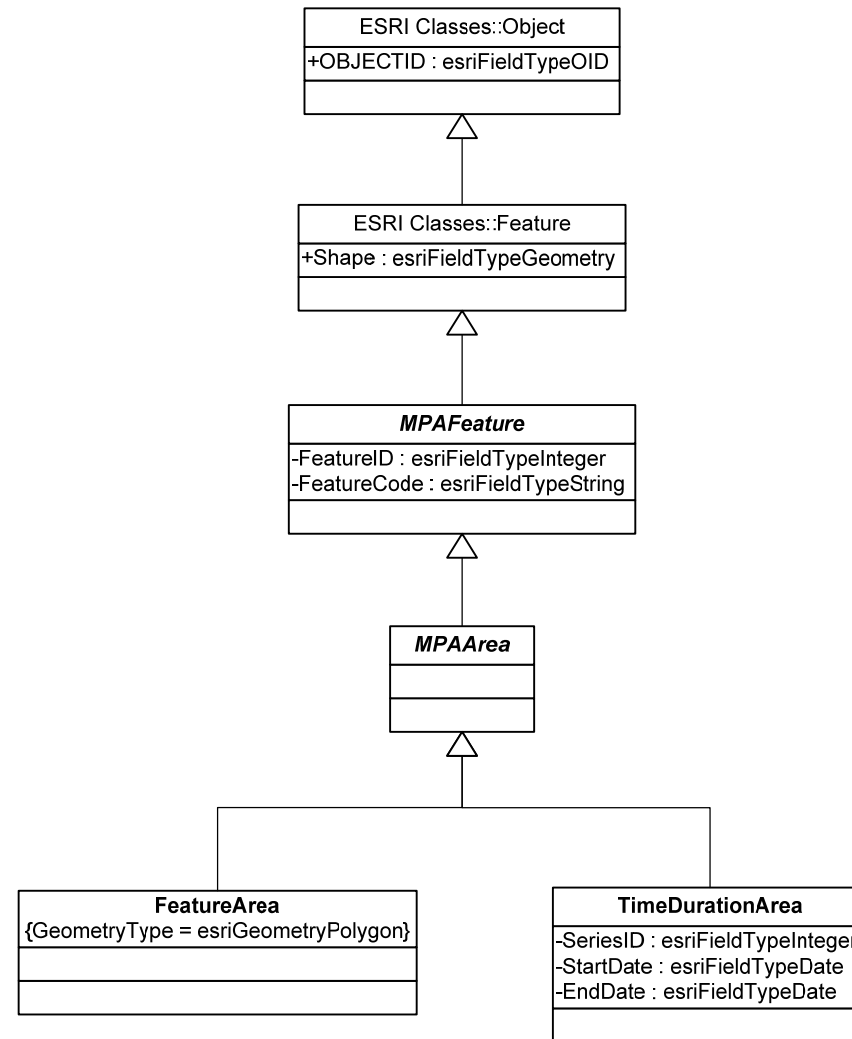
## Classi per la rappresentazione di entità puntuali (dal *Marine Data Model*, Wright et al., 2007)



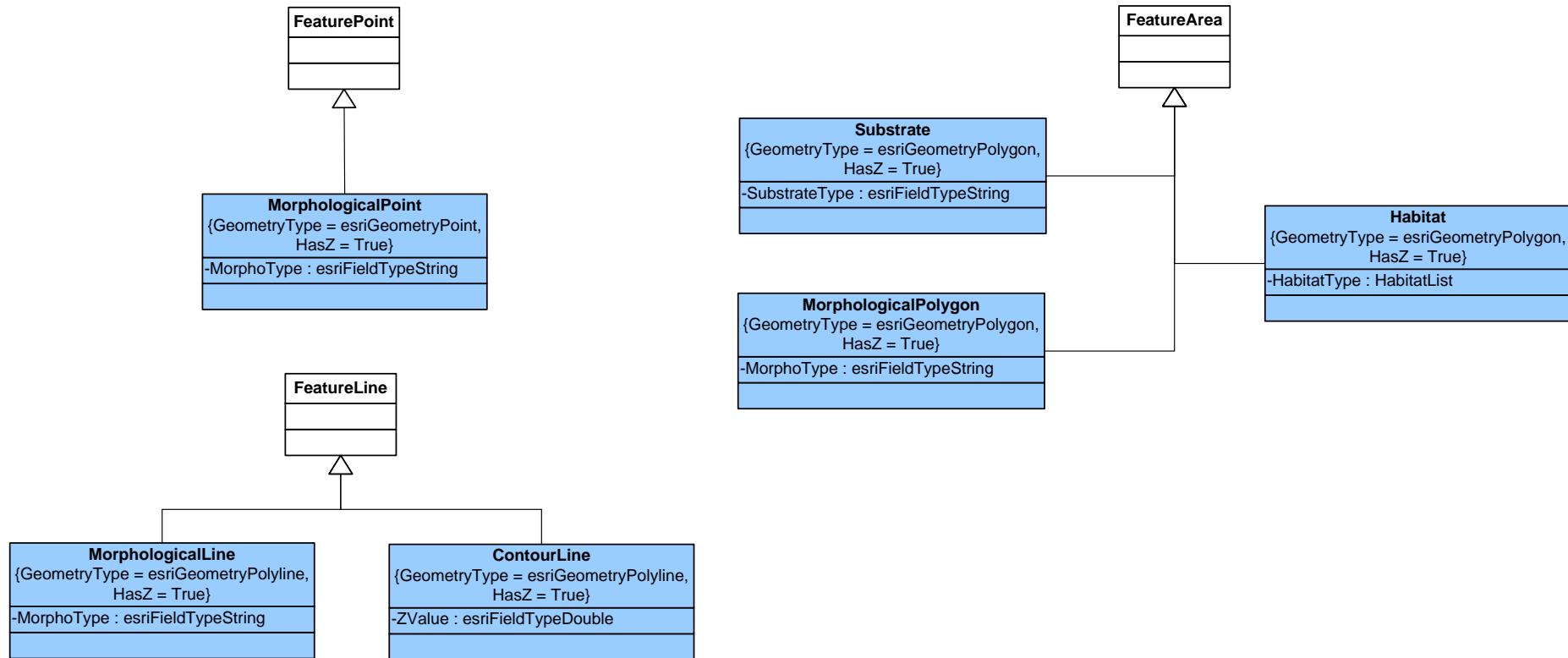
## Classi per la rappresentazione di entità lineari (dal *Marine Data Model*, Wright et al., 2007)



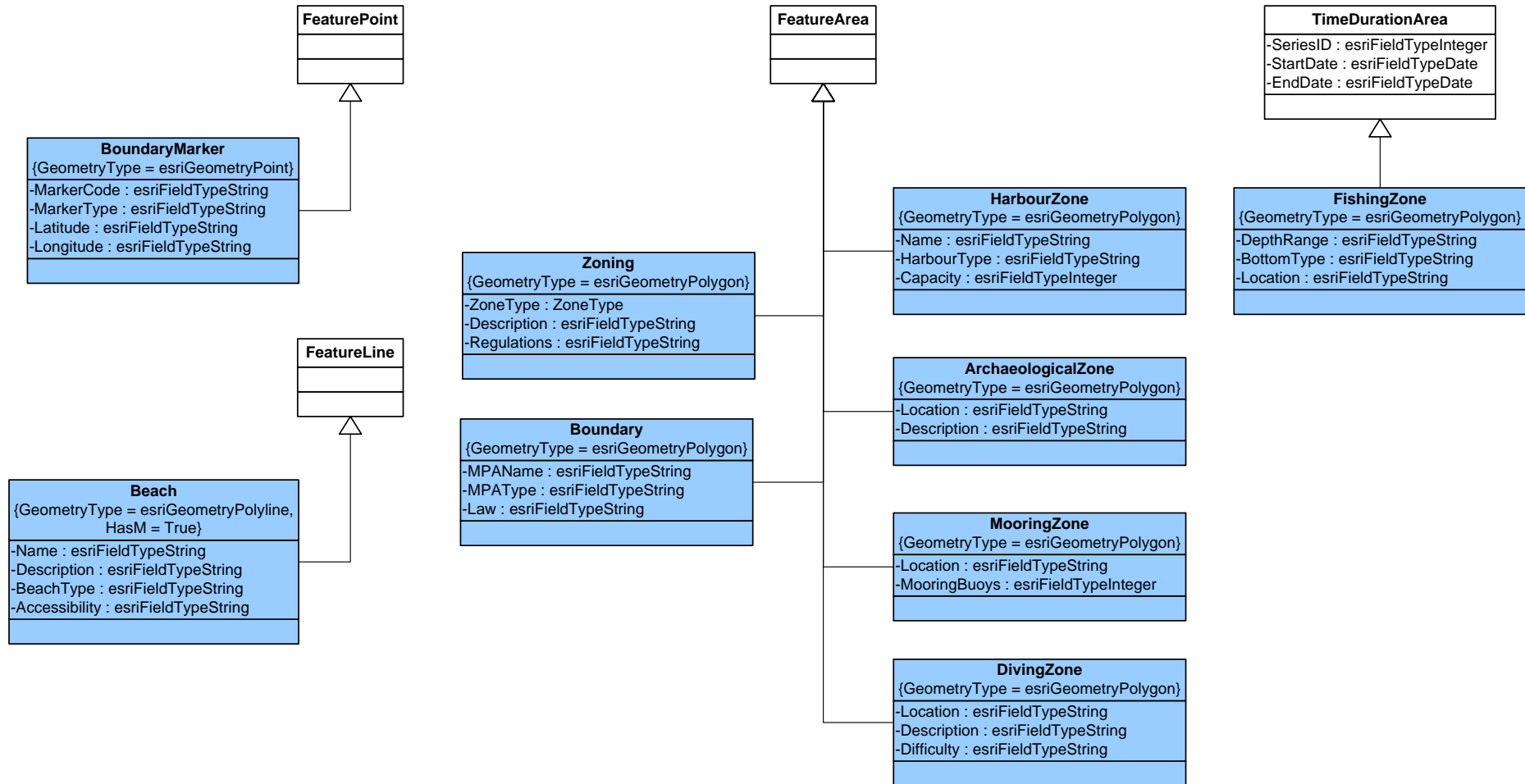
## Classi per la rappresentazione di entità poligonali (dal *Marine Data Model*, Wright et al., 2007)



## Classi per la rappresentazione di caratteristiche naturalistiche

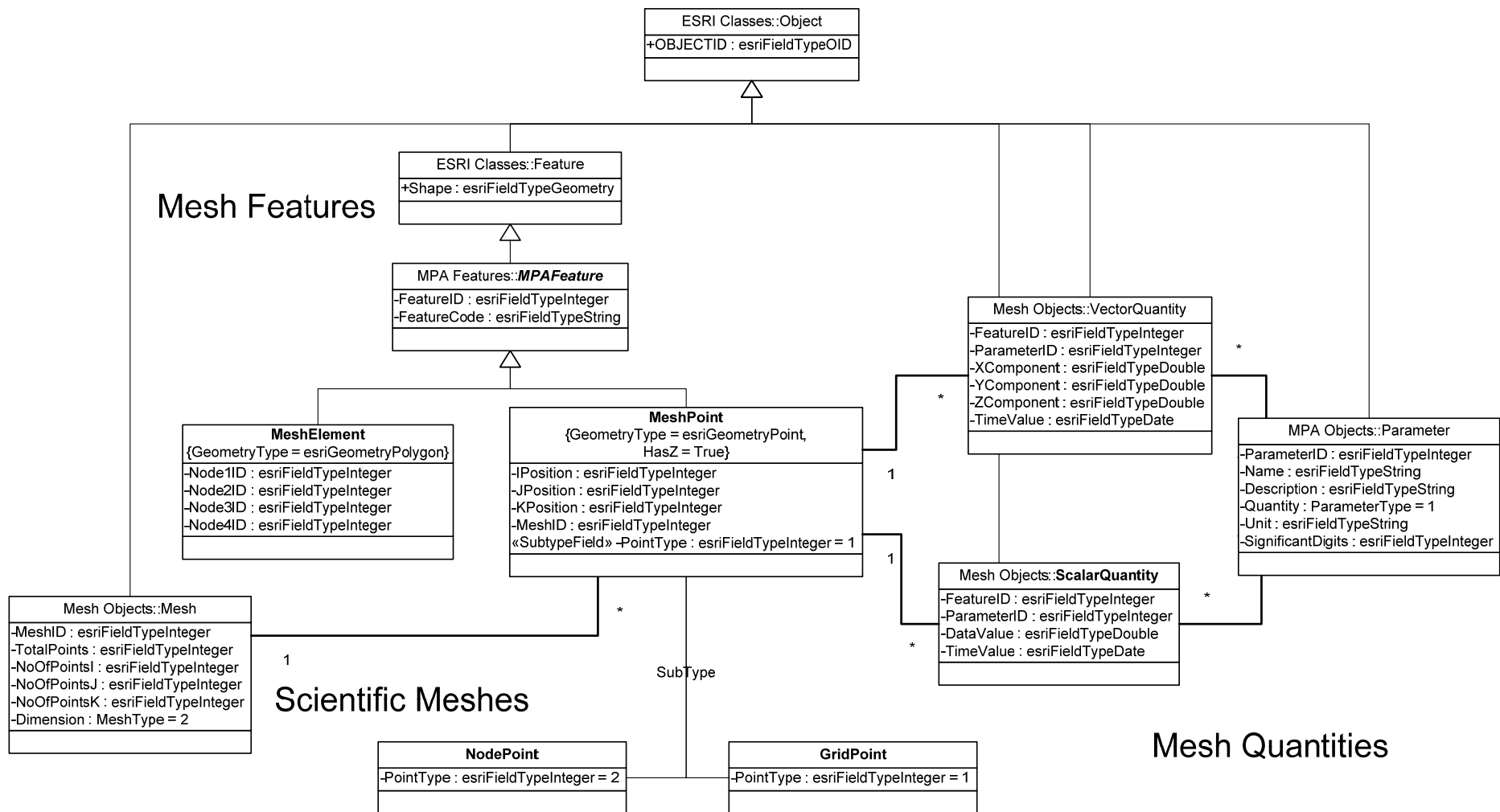


## Classi per la rappresentazione di caratteristiche antropiche

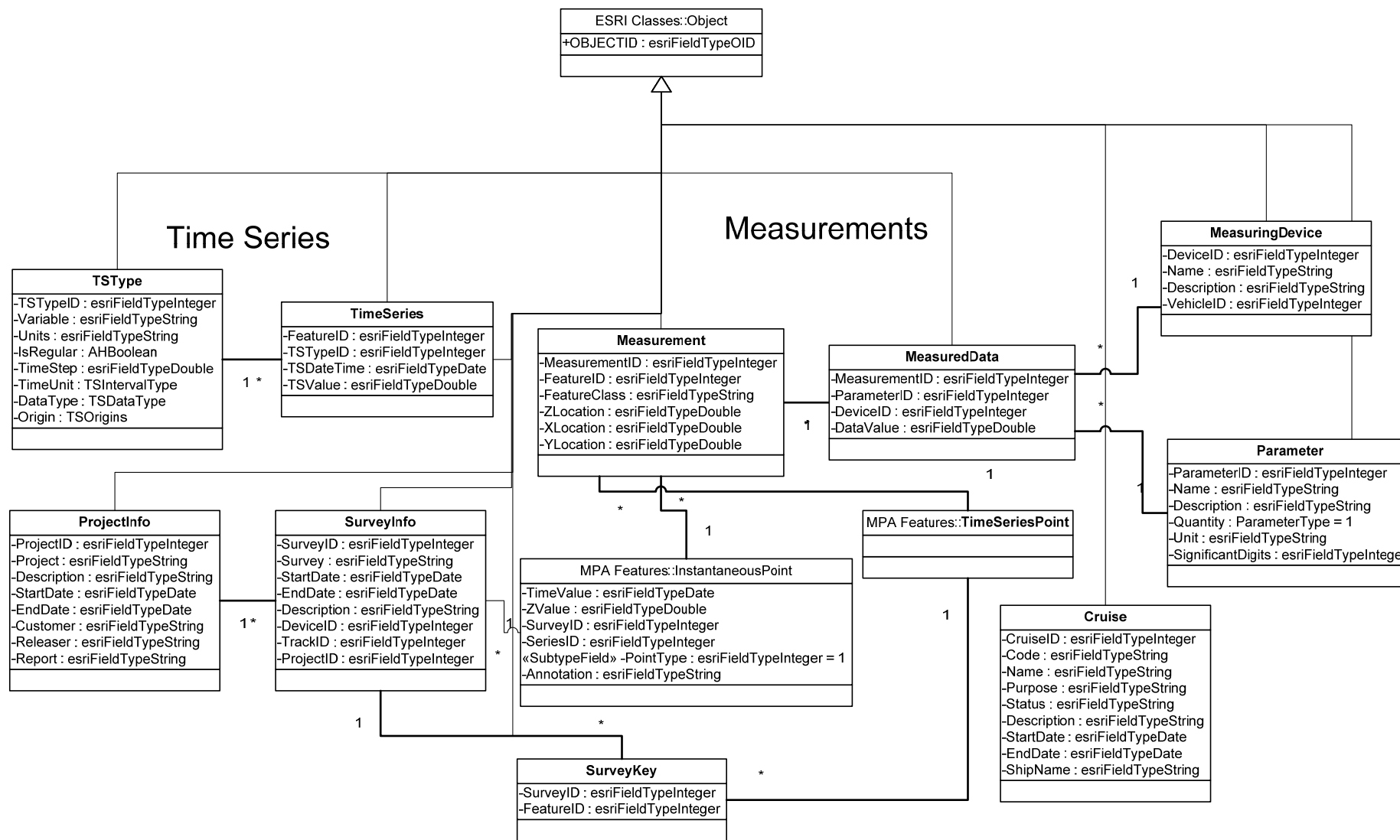




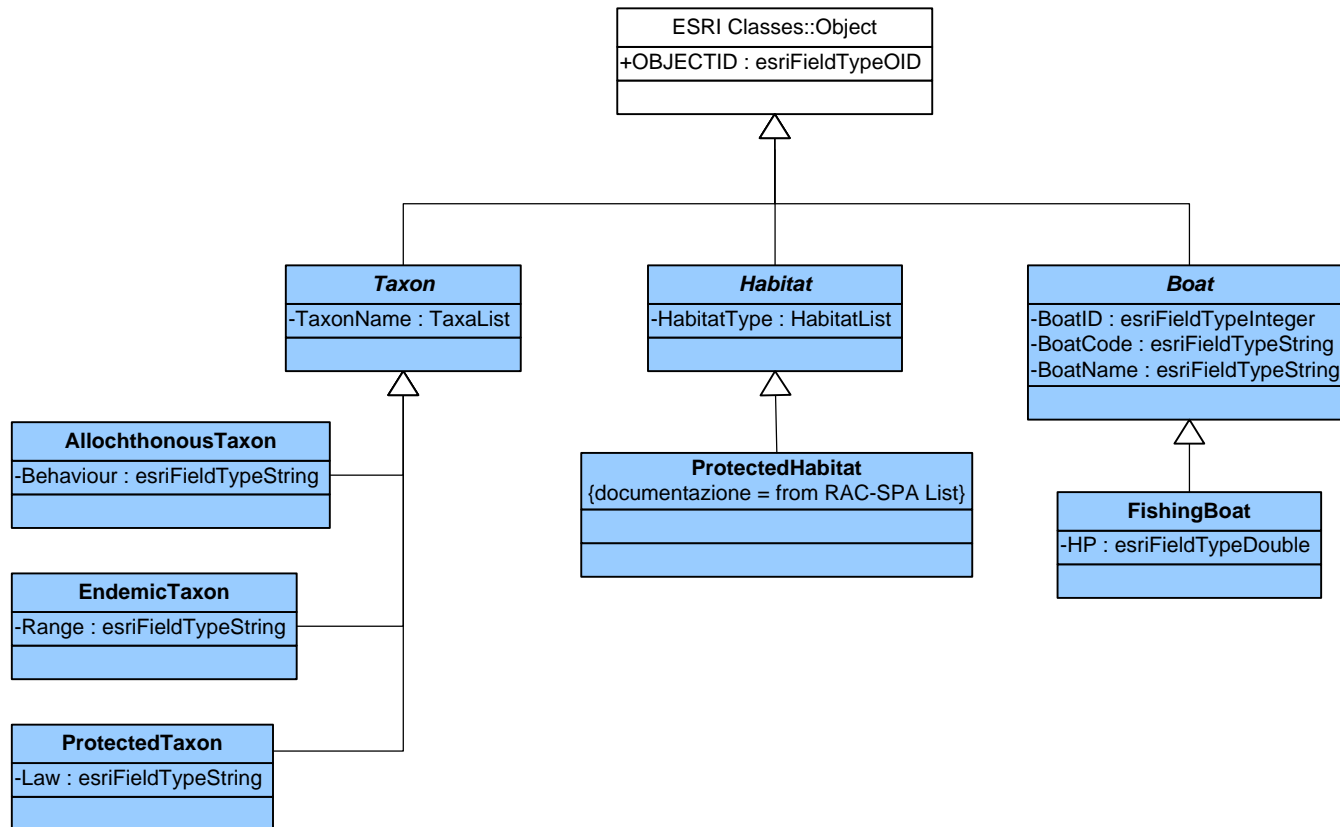
# Classi per la rappresentazione di dati ottenuti da modelli numerici (dal *Marine Data Model*, Wright et al., 2007)



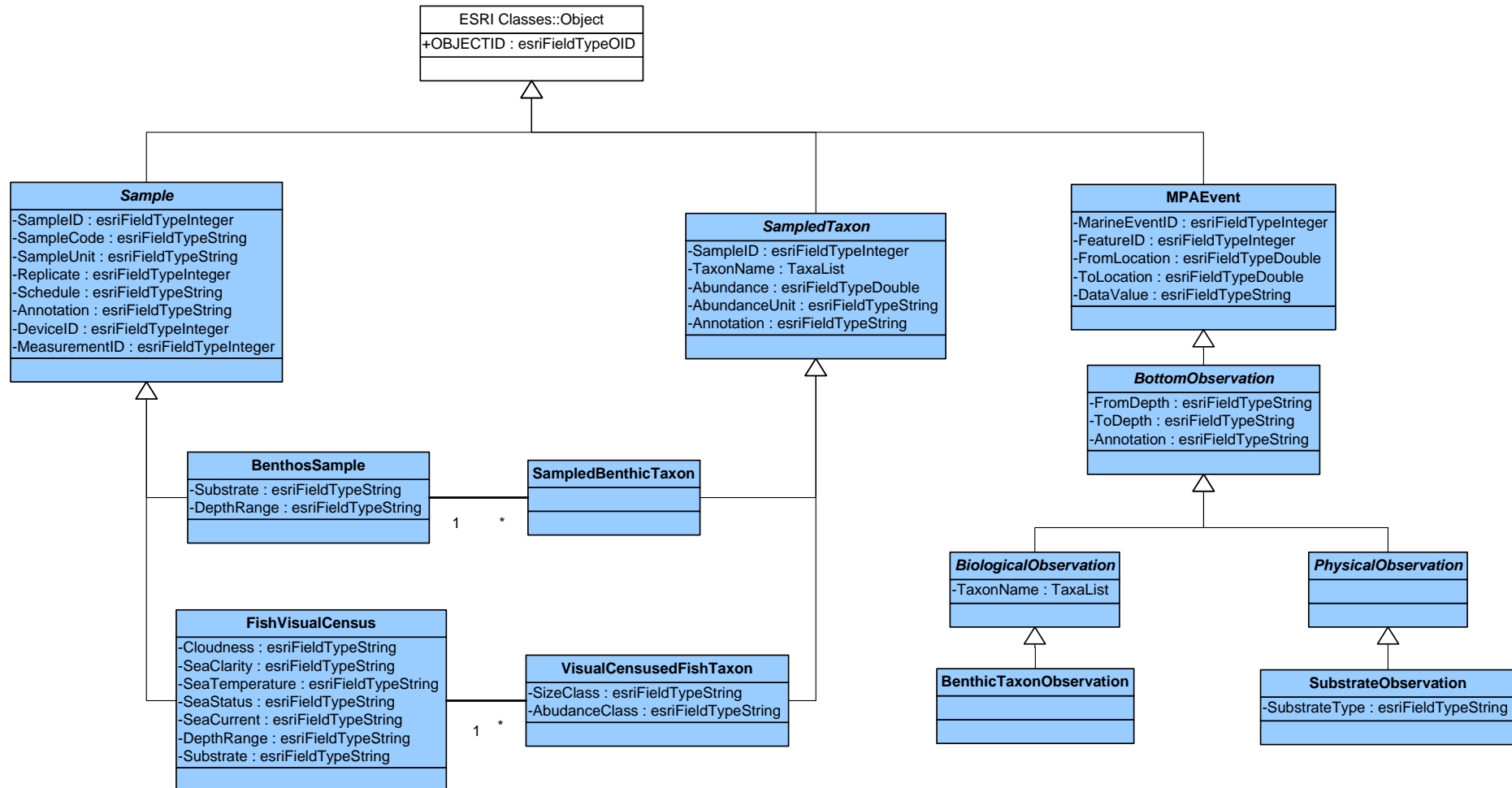
## Classi per la rappresentazione di misure e serie temporali (dal *Marine Data Model*, Wright et al., 2007)



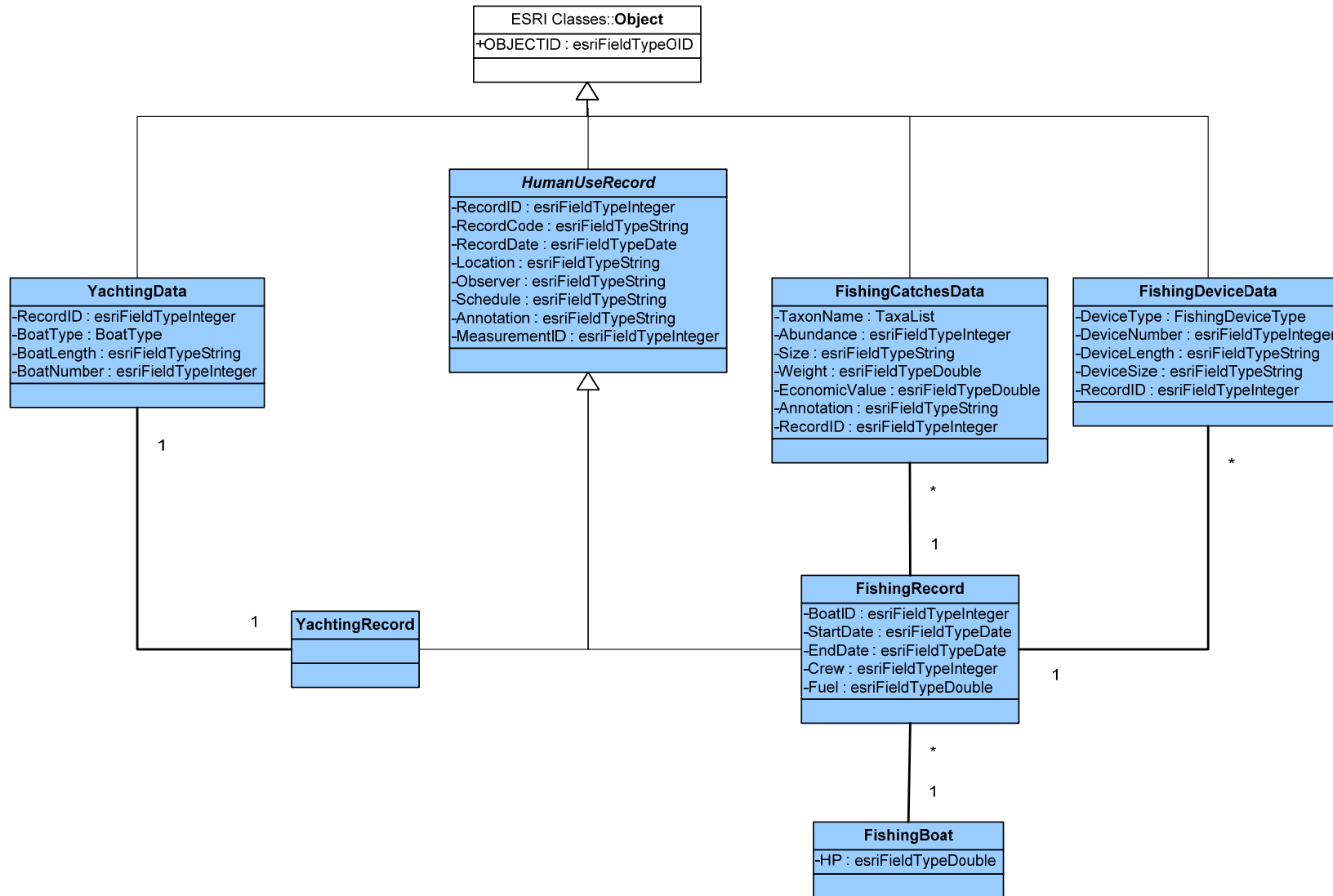
## Classi per la rappresentazione di entità di tipo descrittivo



## Classi per la rappresentazione di dati ottenuti da campionamenti del benthos, censimenti ittici e rilievi visivi del fondo marino



## Classi per la rappresentazione di dati ottenuti dal monitoraggio delle attività antropiche



## Elenchi di valori predefiniti per gli attributi delle classi (domini)

«CodedValueDomain»ParameterType
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+Other : esriFieldTypeInteger = 1
+Scalar : esriFieldTypeInteger = 2
+Vector : esriFieldTypeInteger = 3

«CodedValueDomain»AHBoolean
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+True : esriFieldTypeInteger = 1
+False : esriFieldTypeInteger = 0

«CodedValueDomain»TSDataType
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : = esriSPTDefaultValue
+Instantaneous : <unspecified> = 1
+Cumulative : <unspecified> = 2
+Incremental : <unspecified> = 3
-Average : <unspecified> = 4
-Maximum : <unspecified> = 5
-Minimum : <unspecified> = 6

«CodedValueDomain»TSIntervalUnitType
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+Second : esriFieldTypeInteger = 1
+Minute : esriFieldTypeInteger = 2
+Hour : esriFieldTypeInteger = 3
+Day : esriFieldTypeInteger = 4
+Week : esriFieldTypeInteger = 5
+Month : esriFieldTypeInteger = 6
+Year : esriFieldTypeInteger = 7

«CodedValueDomain»TSOrigins
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+Recorded : esriFieldTypeInteger = 1
+Generated : esriFieldTypeInteger = 2

«CodedValueDomain»TSIntervalType
+FieldType : <unspecified> = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : <unspecified> = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : <unspecified> = esriSPTDefaultValue
+1Minute : <unspecified> = 1
+2Minute : <unspecified> = 2
-3Minute : <unspecified> = 3
-4Minute : <unspecified> = 4
-5Minute : <unspecified> = 5
-10Minute : <unspecified> = 6
-15Minute : <unspecified> = 7
-20Minute : <unspecified> = 8
-30Minute : <unspecified> = 9
-1Hour : <unspecified> = 10
-2Hour : <unspecified> = 11
-3Hour : <unspecified> = 12
-4Hour : <unspecified> = 13
-6Hour : <unspecified> = 14
-8Hour : <unspecified> = 15
-12Hour : <unspecified> = 16
-1Day : <unspecified> = 17
-1Week : <unspecified> = 18
-1Month : <unspecified> = 19
-1Year : <unspecified> = 20
-Other : <unspecified> = 99

«CodedValueDomain»MeshType
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+Linear : esriFieldTypeInteger = 1
+Area : esriFieldTypeInteger = 2
+Volume : esriFieldTypeInteger = 3

«CodedValueDomain» HabitatList (documentation = RAC-SPA List)
+FieldType : esriFieldTypeString = esriFieldTypeString
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue

«CodedValueDomain» TaxaList (documentation = World Register of Marine Species)
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeInteger
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue

«CodedValueDomain»BoatType
+FieldType : esriFieldTypeString = esriFieldTypeString
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
-Barca a vela : esriFieldTypeString = BV
-Entrobordo : esriFieldTypeString = EB
-Fuoribordo : esriFieldTypeString = FB

«CodedValueDomain»FishingDeviceType
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeString
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+Rete da posta : esriFieldTypeString = RP
+Tramaglio : esriFieldTypeString = T
+Coffa : esriFieldTypeString = C
+Lenza da traino : esriFieldTypeString = LT
+Bolentino : esriFieldTypeString = B

«CodedValueDomain»ZoneType
+FieldType : esriFieldType = esriFieldTypeString
+MergePolicy : esriMergePolicyType = esriMPTDefaultValue
+SplitPolicy : esriSplitPolicyType = esriSPTDefaultValue
+Zona A : esriFieldTypeString = A
+Zona B : esriFieldTypeString = B
+Zona C : esriFieldTypeString = C
+Zona D : esriFieldTypeString = D
-Corridoio di navigazione : esriFieldTypeString = CO

## APPENDICE 2:

### Elenco delle caratteristiche di conservazione

ID	Caratteristica di conservazione	Tipologia	Ammontare totale	Unità di misura
101	Alghe infralitorali (AP)	Biocenosi bentonica	188477	m <sup>2</sup> (in 3D)
102	Coralligeno (C)	Biocenosi bentonica	1053691	m <sup>2</sup> (in 3D)
103	Detritico costiero (DC)	Biocenosi bentonica	727508	m <sup>2</sup> (in 3D)
104	Detritico infangato (DE)	Biocenosi bentonica	14037420	m <sup>2</sup> (in 3D)
105	<i>Cymodocea nodosa</i> (HCn)	Biocenosi bentonica	64804	m <sup>2</sup> (in 3D)
106	<i>Posidonia oceanica</i> su <i>matte</i> (HPm)	Biocenosi bentonica	571294	m <sup>2</sup> (in 3D)
107	<i>Posidonia oceanica</i> su roccia (HPr)	Biocenosi bentonica	213272	m <sup>2</sup> (in 3D)
108	<i>Posidonia oceanica</i> su sabbia (HPs)	Biocenosi bentonica	1353956	m <sup>2</sup> (in 3D)
110	Sabbie fini ben calibrate (SFBC)	Biocenosi bentonica	577070	m <sup>2</sup> (in 3D)
111	Sabbie grossolane e ghiaie fini soggette a correnti di fondo (SGCF)	Biocenosi bentonica	2102169	m <sup>2</sup> (in 3D)
115	Fanghi terrigeni costieri (VTC)	Biocenosi bentonica	5800059	m <sup>2</sup> (in 3D)
201	<i>Pock-mark</i>	Elemento geomorfologico	3	occorrenza
202	Biocostruzione	Elemento geomorfologico	27	occorrenza
206	Costa di roccia lavica	Elemento geomorfologico	7499	m
208	Costa di roccia piroclastica	Elemento geomorfologico	8338	m
207	Costa di ciottoli	Elemento geomorfologico	177	m
209	Costa di sabbia	Elemento geomorfologico	401	m
215	Fondale a alta complessità	Elemento geomorfologico	3464790	m <sup>2</sup>
300	ABF-Alghe Brune Fotofile	Algae	19	occorrenza
301	AC-Articulated Corallinaceae	Algae	2	occorrenza
302	<i>Acetabularia acetabulum</i>	Algae	21	occorrenza
303	Actiniaria	Anthozoa	2	occorrenza
304	<i>Aiptasia mutabilis</i>	Anthozoa	2	occorrenza
305	<i>Amphiroa</i> sp.	Algae	12	occorrenza

306	<i>Anadyomene stellata</i>	Algae	2	occorrenza
307	<i>Asparagopsis</i> sp.	Algae	1	occorrenza
308	<i>Astroides calycularis</i>	Anthozoa	2	occorrenza
309	Balanidae	Crustacea	9	occorrenza
310	<i>Balanophyllia europaea</i>	Anthozoa	6	occorrenza
311	<i>Bonellia viridis</i>	Echiura	1	occorrenza
312	<i>Caryophyllia</i> sp.	Anthozoa	4	occorrenza
313	<i>Chondrilla nucula</i>	Porifera	1	occorrenza
314	<i>Cladocora caespitosa</i>	Anthozoa	3	occorrenza
315	<i>Cliona</i> sp.	Porifera	4	occorrenza
316	<i>Codium bursa</i>	Algae	5	occorrenza
317	<i>Codium effusum</i>	Algae	1	occorrenza
318	<i>Corallina</i> sp.	Algae	1	occorrenza
319	<i>Cystoseira</i> sp.	Algae	10	occorrenza
320	<i>Dasycladus vermicularis</i>	Algae	9	occorrenza
321	DFA-Dark Filamentous Algae	Algae	16	occorrenza
322	Dictyotales	Algae	24	occorrenza
323	EB - Briozoi incrostanti	Bryozoa	6	occorrenza
324	ECR-Encrusting Calcified Rodophytes	Algae	23	occorrenza
325	ERS-Encrusting Red Sponges	Bryozoa	18	occorrenza
326	<i>Flabellia petiolata</i>	Algae	10	occorrenza
327	GFA-Green Filamentous Algae	Algae	12	occorrenza
328	<i>Halimeda tuna</i>	Algae	20	occorrenza
329	<i>Halocynthia papillosa</i>	Tunicata	4	occorrenza
330	Hydrozoa	Hydrozoa	4	occorrenza
331	<i>Laurencia</i> sp.	Algae	4	occorrenza
332	<i>Lithophyllum</i> sp.	Algae	3	occorrenza
333	<i>Lithothamnion</i> sp.	Algae	5	occorrenza
334	MDS-Massive Dark Sponges	Porifera	15	occorrenza



335	<i>Microcosmus</i> sp.	Asciacea	1	occorrenza
336	<i>Myriapora truncata</i>	Bryozoa	11	occorrenza
337	Mytilidae	Mollusca	2	occorrenza
338	<i>Padina pavonica</i>	Algae	19	occorrenza
339	<i>Palmophyllum</i> sp.	Algae	3	occorrenza
340	<i>Palmophyllum crassum</i>	Algae	2	occorrenza
341	<i>Parazoanthus axinellae</i>	Anthozoa	2	occorrenza
343	<i>Pentapora similis</i>	Bryozoa	3	occorrenza
344	<i>Peyssonnelia</i> sp.	Algae	13	occorrenza
345	<i>Phorbas</i> sp.	Porifera	1	occorrenza
346	<i>Reteporella</i> sp.	Bryozoa	5	occorrenza
347	Sabellidae	Bryozoa	2	occorrenza
348	<i>Sargassum</i> sp.	Algae	2	occorrenza
349	SBA-Soft Branched Algae	Algae	10	occorrenza
350	Serpulidae	Polychaeta	5	occorrenza
351	<i>Sertella beaniana</i>	Bryozoa	1	occorrenza
352	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	Algae	2	occorrenza
353	Stypocaulaceae	Algae	16	occorrenza
354	TRB-Thin Ramified Bryozoans	Bryozoa	6	occorrenza
355	<i>Tricleocarpa fragilis</i>	Algae	1	occorrenza
356	TTS-Thin Tubular Sheet like	Algae	7	occorrenza
357	<i>Valonia macrophysa</i>	Algae	7	occorrenza
358	Vermetidae	Algae	6	occorrenza

## APPENDICE 3:

### Procedure di analisi sviluppate

#### CODICI MATLAB

Sono riportati di seguito i codici linguaggio MATLAB sviluppati per analizzare le soluzioni prodotte da MARXAN.

#### Script per la calibrazione

```
%Questo script facilita l'identificazione del valore più appropriato da assegnare al fattore BLM per un
%determinato scenario.
scen_output_folder=input('insert the path of the output folder');
cd(scen_output_folder);
scen_name='*';
summary_file_list=ls('*_sum.txt');
scenario_file_list=ls('*_sen.dat');
summary_file_list=cellstr(summary_file_list);
scenario_file_list=cellstr(scenario_file_list);
[tradeoff_matrix]=blm_tradeoff(scenario_file_list,summary_file_list);
best_file_list=cat(2,scen_name,'_best.txt');
best_file_list=ls(best_file_list);
best_file_name=best_file_list(:,1:(length(best_file_list)-9));
best_file_name=cellstr(best_file_name);
best_file_list=cellstr(best_file_list);
for i=1:length(best_file_list)
    [pu,solution]=best_solution(best_file_list{i});
    arcgis_best_solution(scen_output_folder,best_file_name{i},pu,solution);
end
summed_file_list=cat(2,scen_name,'_ssoln.txt');
summed_file_list=ls(summed_file_list);
summe_file_name=summed_file_list(:,1:(length(summed_file_list)-10));
summe_file_name=cellstr(summe_file_name);
summed_file_list=cellstr(summed_file_list);
for i=1:length(summed_file_list)
    [pu,frequency]=summed_solution(summed_file_list{i});
    arcgis_summed_solution(scen_output_folder,summe_file_name{i},pu,frequency);
end
pause
close all
clear all
```

```
%Questo script consente di analizzare il livello di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione
%rispetto all'ammontare desiderato e può essere utilizzato per individuare i valori più appropriati da
%assegnare al fattore SPF.
scen_output_folder=input('insert the path of the output folder');
scen_name=input('insert the scenario name');
[unfeasible_solution_info,
unfeasible_solution_number]=unfeasible_solutions(scen_output_folder,scen_name);
disp(unfeasible_solution_info)
if unfeasible_solution_number==0
    return
end
[missing_feature_info]=missing_features(scen_output_folder,scen_name);
disp(missing_feature_info)
```

```

pause
close all
clear all

```

### Script per l'analisi di singole soluzioni

```

%Questo script fornisce informazioni e grafici sulla soluzione migliore e sommata ed esporta i file
%prodotti in un formato che può essere letto direttamente in ArcGIS.
input_scen_folder=input('insert the path of the input folder');
output_scen_folder=input('insert the path of the output folder');
scen_name=input('insert the scenario name');
unit_file_path=cat(2,input_scen_folder,'\unit.csv');
unit_area_file_path=cat(2,input_scen_folder,'\unit_area.csv');
unit_cost_file_path=cat(2,input_scen_folder,'\unit_cost.csv');
summary_file_path=cat(2,output_scen_folder,'\scen_name','_sum.txt');
best_file_path=cat(2,output_scen_folder,'\scen_name','_best.txt');
mv_best_solution_path=cat(2,output_scen_folder,'\scen_name','_mvbest.txt');
summed_file_path=cat(2,output_scen_folder,'\scen_name','_ssoln.txt');
[id,cost,status,xloc,yloc]=unit_file(unit_file_path);
[run_number,run_score,run_cost,run_pu,run_bound,run_penalty,run_shortfall,run_miss_value]=summary
_file(summary_file_path);
[best_pu,solution]=best_solution(best_file_path);
[cf_id,cf_name,target,amount_held,occ_target,occ_held,sep_target,sep_achieved,target_met]=mv_best
_solution(mv_best_solution_path);
[summed_pu,frequency]=summed_solution(summed_file_path);
g=figure;
hist(run_score)
xlabel('Score')
ylabel('Number of runs')
title(scen_name)
figure_name=cat(2,output_scen_folder,'\scen_name','_scores');
saveas(g,figure_name,'bmp');
g=figure;
hist(run_miss_value)
xlabel('Missing values')
ylabel('Number of solutions')
title(scen_name)
figure_name=cat(2,output_scen_folder,'\scen_name','_missing');
saveas(g,figure_name,'bmp')
disp('Information about the best solution')
[best_run_number,best_score,best_cost,best_pu_number,best_bound,best_penalty,best_shortfall,best
_miss_value]=best_solution_info(run_number,run_score,run_cost,run_pu,run_bound,run_penalty,run_shor
tfall,run_miss_value);
disp(cat(2,'Run number: ',num2str(best_run_number)))
disp(cat(2,'Score: ',num2str(best_score)))
disp(cat(2,'Cost: ',num2str(best_cost)))
disp(cat(2,'Number of units: ',num2str(best_pu_number)))
disp(cat(2,'Boundary: ',num2str(best_bound)))
disp(cat(2,'Penalty: ',num2str(best_penalty)))
disp(cat(2,'Shortfall: ',num2str(best_shortfall)))
disp(cat(2,'Number of missing values: ',num2str(best_miss_value)))
best_run_area=best_solution_area(unit_area_file_path,best_file_path);
disp(cat(2,'Surface: ',num2str(best_run_area)))
disp('Amount of the conservation features in the best solution')
[info_matrix]=best_solution_mv_info(cf_id,cf_name,target,amount_held);
disp(info_matrix)
best_matrix_cost=best_solution_cost(unit_cost_file_path,best_file_path);
best_cost=cell(2,4);
best_cost(1,:)={'Diving','Bathing','Fishing','Yachting'};
best_cost(2,:)=num2cell(best_matrix_cost);

```

```

disp(best_cost)
total_run_number=length(run_number);
frequency_threshold=linspace(0,total_run_number,11);
[selection_matrix]=selection_frequency_info(summed_pu,frequency,frequency_threshold);
selection_info=cell(length(frequency_threshold)+1,2);
selection_info(1,:)={'Selection frequency','Number of units with upper values'};
selection_info(2:end,:)=num2cell(selection_matrix);
disp(selection_info)
g=figure;
boxplot(frequency,'notch','on')
title(scen_name);
figure_name=cat(2,output_scen_folder,'\',scen_name,'_boxplotfrequency');
saveas(g,figure_name,'bmp');
g=figure;
hist(frequency);
xlabel('Frequency of selection');
ylabel('Number of units');
title(scen_name);
figure_name=cat(2,output_scen_folder,'\',scen_name,'_histfrequency');
saveas(g,figure_name,'bmp');
[rndfrequency,min_rndfrequency,max_rndfrequency,irreplaceable_matrix]=irreplaceability(id,status,run_pu,summed_pu,frequency);
irreplaceable_unit_number=sum(irreplaceable_matrix(:,2));
disp(cat(2,'The frequency of selection for a random sample is ',num2str(rndfrequency)))
disp(cat(2,'with the 95% confidence interval between ',num2str(min_rndfrequency),' and ',num2str(max_rndfrequency),'.'))
disp(cat(2,'In this scenario ',num2str(irreplaceable_unit_number),' units are irreplaceable.))
arcgis_best_solution(output_scen_folder,scen_name,best_pu,solution);
arcgis_summed_solution(output_scen_folder,scen_name,summed_pu,frequency);
arcgis_irreplaceable_solution(output_scen_folder,scen_name,irreplaceable_matrix);
pause
close all
clear all

```

### Script per l'analisi comparativa di più soluzioni

```

%Questo script confronta le soluzioni prodotte per differenti scenari di conservazione con grafici di
%statistica descrittiva e multivariata.
input_scen_folder=input('insert the path of the input folder');
output_scen_folder=input('insert the path of the output folder');
unit_file_path=cat(2,input_scen_folder,'\unit.csv');
unit_area_file_path=cat(2,input_scen_folder,'\unit_area.csv');
unit_cost_file_path=cat(2,input_scen_folder,'\unit_cost.csv');
[best_solution_info_matrix]=best_solution_info_comparison(output_scen_folder);
[best_solution_matrix]=best_solution_comparison(unit_file_path,output_scen_folder);
[best_solution_area_matrix]=best_solution_area_comparison(unit_area_file_path,output_scen_folder);
[best_solution_cost_matrix]=best_solution_cost_comparison(unit_cost_file_path,output_scen_folder);
[summed_solution_matrix]=summed_solution_comparison(unit_file_path,output_scen_folder);
pause
close all
clear all

```

### Function utilizzate negli script

```

%Questa function importa le informazioni contenute nel file con le unità di pianificazione (Planning Unit
%File).
function [id,cost,status,xloc,yloc]=unit_file(unit_file_path)
[id,cost,status,xloc,yloc]=textread(unit_file_path,"','delimiter',' ','headerlines',1);
end

```

```
%Questa function importa i valori di superficie delle unità di pianificazione da un file creato ad hoc.
function [pu,area]=unit_area(unit_area_file_path)
[pu,area]=textread(unit_area_file_path,','','headerlines',1);
end
```

```
%Questa function importa i costi associati alle unità di pianificazione da un file creato ad hoc.
function [pu,diving,bathing,fishing,yachting]=unit_cost(unit_cost_file_path)
[pu,diving,bathing,fishing,yachting]=textread(unit_cost_file_path,','','headerlines',1);
end
```

```
%Questa function importa le informazioni contenute nel file della soluzione migliore (Best solution from %all runs).
function [pu,solution]=best_solution(best_file_path)
[pu,solution]=textread(best_file_path,','','headerlines',1);
end
```

```
%Questa function importa le informazioni sul livello di rappresentazione delle caratteristiche di
%conservazione nella soluzione migliore (Missing value information for the best run).
function
[cf_id,cf_name,target,amount_held,occ_target,occ_held,sep_target,sep_achieved,target_met]=mv_best_
solution(mv_best_solution_path)
[cf_id,cf_name,target,amount_held,occ_target,occ_held,sep_target,sep_achieved,target_met]=textread(
mv_best_solution_path,'%d%s%f%f%d%d%f%f%s', 'delimiter', ',', 'headerlines', 1);
end
```

```
%Questa function importa le informazioni contenute nel file della soluzione sommata (Summed Solution).
function [pu,frequency]=summed_solution(summed_file_path)
[pu,frequency]=textread(summed_file_path,','','headerlines',1);
end
```

```
%Questa function importa le informazioni relative a tutte le soluzioni prodotte per un determinato scenario
%(Summary File).
function
[run_number,score,cost,pu,bound,penalty,shortfall,miss_value]=summary_file(summary_file_path)
[run_number,score,cost,pu,bound,penalty,shortfall,miss_value]=textread(summary_file_path,','','headerlines',1);
end
```

```
%Questa function consente di calcolare il numero di unità con frequenze di selezione superiori a valori
%definiti dall'utente.
function [selection_matrix]=selection_frequency_info(pu,frequency,frequency_threshold)
for i=1:length(frequency_threshold);
    selection_matrix(i,1)=frequency_threshold(i);
    selection_matrix(i,2)=length(find(frequency>frequency_threshold(i)));
end
end
```

```
%Questa function calcola la superficie totale associata alla soluzione migliore.
function best_area=best_solution_area(unit_area_file_path,best_file_path)
[pu1,area]=unit_area(unit_area_file_path);
[pu2,solution]=best_solution(best_file_path);
for i=1:length(pu2);
    index=find(pu1==pu2(i));
```

```

    best_area(i)=area(index);
end
best_area=sum(best_area);
end

```

```

%Questa function calcola i costi associati alla soluzione migliore.
function [best_cost]=best_solution_cost(unit_cost_file_path,best_file_path)
[pu1,diving,bathing,fishing,yachting]=unit_cost(unit_cost_file_path);
[pu2,solution]=best_solution(best_file_path);
for i=1:length(pu2);
    index=find(pu1==pu2(i));
    best_diving(i)=diving(index);
    best_bathing(i)=bathing(index);
    best_fishing(i)=fishing(index);
    best_yachting(i)=yachting(index);
end
best_diving_cost=sum(best_diving);
best_bathing_cost=sum(best_bathing);
best_fishing_cost=sum(best_fishing);
best_yachting_cost=sum(best_yachting);
best_cost=[best_diving_cost best_bathing_cost best_fishing_cost best_yachting_cost];
end

```

```

%Questa function fornisce alcune informazioni sulla soluzione migliore.
function
[best_run_number,best_score,best_cost,best_pu,best_bound,best_penalty,best_shortfall,best_miss_value]=best_solution_info(run_number,run_score,run_cost,run_pu,run_bound,run_penalty,run_shortfall,run_miss_value)
best_solution=find(run_score==min(run_score));
best_run_number=run_number(best_solution);
best_score=run_score(best_solution);
best_cost=run_cost(best_solution);
best_pu=run_pu(best_solution);
best_bound=run_bound(best_solution);
best_penalty=run_penalty(best_solution);
best_shortfall=run_shortfall(best_solution);
best_miss_value=run_miss_value(best_solution);
end

```

```

%Questa function fornisce informazioni sul livello di rappresentazione delle caratteristiche di
%conservazione nella soluzione migliore.
function [info_matrix]=best_solution_mv_info(cf_id,cf_name,target,amount_held)
amount_diff=((amount_held-target)./target)*100;
cf_number=length(cf_id);
info_matrix=cell((cf_number+1),5);
info_matrix(1,:)={'Id Feature','Feature','Target','Amount Held','Difference (%)'};
info_matrix(2:end,1)=num2cell(cf_id);
info_matrix(2:end,2)=cellstr(cf_name);
info_matrix(2:end,3)=num2cell(target);
info_matrix(2:end,4)=num2cell(amount_held);
info_matrix(2:end,5)=num2cell(amount_diff);
end

```

```

%Questa function calcola la frequenza di selezione casuale delle unità di pianificazione in accordo a
%Stewart and Possingham (2005).
function
[rdnfrequency,min_rndfrequency,max_rndfrequency,irreplaceable_matrix]=irreplaceability(id,status,run_pu,summed_pu,frequency)

```

```

t=length(id);
c=mean(run_pu);
fixed_in=length(find(status==2));
fixed_out=length(find(status==3));
fixed=fixed_in+fixed_out;
p=(c-fixed_in)/(t-fixed);
n=length(run_pu);
s= binornd(n,p);
rdnfrequency=s;
[phat,pci]=binofit(s,n);
rndfrequency_range=pci*n;
min_rndfrequency=round(rndfrequency_range(1));
max_rndfrequency=round(rndfrequency_range(2));
irreplaceable_unit_index=find(frequency>max_rndfrequency);
irreplaceable_matrix=zeros(t,2);
irreplaceable_matrix(:,1)=summed_pu;
irreplaceable_matrix(irreplaceable_unit_index,2)=1;
end

```

%Questa function consente di esportare il file della soluzione migliore (*Best solution from all runs*) in un file di testo che può essere letto direttamente da ArcGIS.

```

function arcgis_best_solution(output_scen_folder,scen_name,pu,solution)
for j=1:length(scen_name)
    if scen_name(j)=='+'
        scen_name(j)='p';
    else if scen_name(j)=='-'
        scen_name(j)='m';
    end
end
end
header=['u' 's'];
output_file=cat(2,output_scen_folder,'\',scen_name,'_best.csv');
dlmwrite(output_file,header);
matrix=[pu solution];
dlmwrite(output_file,matrix, '-append');
end

```

%Questa function consente di esportare il file della soluzione sommata (*Summed solution*) in un file di testo che può essere importato direttamente in ArcGIS.

```

function arcgis_summed_solution(output_scen_folder,scen_name,pu,frequency)
for j=1:length(scen_name)
    if scen_name(j)=='+'
        scen_name(j)='p';
    else if scen_name(j)=='-'
        scen_name(j)='m';
    end
end
end
header=['u' 'f'];
output_file=cat(2,output_scen_folder,'\',scen_name,'_ssoln.csv');
dlmwrite(output_file,header);
matrix=[pu frequency];
dlmwrite(output_file, matrix, '-append');
end

```

%Questa function consente di esportare il file con le unità insostituibili in un file di testo che può essere letto direttamente da ArcGIS.

```

function arcgis_irreplaceable_solution(output_scen_folder,scen_name,irreplaceable_matrix)
for j=1:length(scen_name)

```

```

if scen_name(j)=='+'
    scen_name(j)='p';
else if scen_name(j)=='-'
    scen_name(j)='m';
end
end
end
header=['u' 'i'];
output_file=cat(2,output_scen_folder,'\',scen_name,'_irr.csv');
dlmwrite(output_file,header);
dlmwrite(output_file,irreplaceable_matrix, '-append');
end

```

```

%Questa function consente di rappresentare la trade-off tra il costo ed il perimetro della soluzione migliore
%per differenti valori del parametro BLM.
function [tradeoff_matrix]=blm_tradeoff(scenario_file_list,summmary_file_list)
scenario_number=length(summmary_file_list);
for i=1:scenario_number
    [run_number,score,cost,pu,bound,penalty,shortfall,miss_value]=summary_file(summmary_file_list{i});
    tradeoff_matrix(i,1)=str2num(blm_search(scenario_file_list{i}));
    tradeoff_matrix(i,2)=mean(cost);
    tradeoff_matrix(i,3)=mean(bound);
end
[a,i]=sort(tradeoff_matrix(:,1));
tradeoff_matrix=tradeoff_matrix(i,:);
tradeoff_sheet=cell((scenario_number+1),3);
tradeoff_sheet(1,1)={'BLM'};
tradeoff_sheet(1,2)={'Cost'};
tradeoff_sheet(1,3)={'Boundary'};
tradeoff_sheet(2:end,:)=num2cell(tradeoff_matrix);
xlswrite('blm_tradeoff',tradeoff_sheet);
blm=tradeoff_matrix(:,1);
avgcost=tradeoff_matrix(:,2);
avglength=tradeoff_matrix(:,3);
g=figure;
plot(avgcost,avglength);
xlabel('Cost')
ylabel('Length')
hold on
plot(avgcost,avglength,'*');
text(avgcost,avglength,num2str(blm))
saveas(g,'BLMplot1','bmp')
minblm=min(blm);
minblm_index=find(blm==minblm);
minblm_cost=avgcost(minblm_index);
minblm_length=avglength(minblm_index);
avgcost_var=((avgcost-minblm_cost)/minblm_cost)*100;
avglength_var=((avglength-minblm_length)/minblm_length)*100;
g=figure;
semilogx(blm,avgcost_var,'k',blm,avglength_var,'m');
hold on
semilogx(blm,avgcost_var,'k*',blm,avglength_var,'m*')
xlabel('BLM')
ylabel('% Change from minimum BLM')
legend('Cost','Length',0)
end

```

```

%Questa function importa il valore del fattore BLM dal file con le informazioni sullo scenario (Scenario
%Detail).
function [blm] = blm_search(filename)

```



```

i=0;
fid=(fopen(filename));
while feof(fid) == 0
    i=1+i;
    tline = fgets(fid);
    if i==4
        blm_record=tline;
        blm=blm_record(26:length(blm_record));
    end
end
fclose(fid);
end

```

```

%Questa function fornisce informazioni sulle soluzioni che non rappresentano adeguatamente le
%caratteristiche di conservazione.
function
[feasible_solution_info,feasible_solution_number]=feasible_solutions(scen_output_folder,scen_name)
summary_file_path=cat(2,scen_output_folder,'\',scen_name,'_sum.txt');
[run_number,score,cost,pu,bound,penalty,shortfall,miss_value]=summary_file(summary_file_path);
feasible_solutions=find(miss_value>0);
feasible_solution_number=length(feasible_solutions);
if feasible_solution_number==0
    disp('All solutions are feasible')
else
    solution_number=length(run_number);
    feasible_solution_per=((feasible_solution_number)/(solution_number))*100;
    message=cat(2,'For this scenario ',num2str(feasible_solution_number),' out of
',num2str(solution_number),' best solutions ',(' ',num2str(feasible_solution_per),'%) do not meet the
targets. ');
    disp(message)
    feasible_solution_info=cell((feasible_solution_number+1),2);
    feasible_solution_info(1,:)={'Run Number','Missing Features'};
    feasible_solution_info(2:end,1)=num2cell(run_number(feasible_solutions));
    feasible_solution_info(2:end,2)=num2cell(miss_value(feasible_solutions));
    miss_range=(0:max(miss_value));
    g=figure;
    hist(miss_value,miss_range)
    xlabel('Number of missing features')
    ylabel('Number of solutions')
end
end

```

```

%Questa function fornisce informazioni sul livello di rappresentazione delle caratteristiche di
%conservazione in tutte le soluzioni.
function [info_missing_features]=missing_features(scen_output_folder,scen_name)
cd(scen_output_folder);
missing_feature_file=cat(2,scen_name,'_mv0*.txt');
missing_feature_list=ls(missing_feature_file);
missing_feature_list=cellstr(missing_feature_list);
total_run_number=length(missing_feature_list);
missing_feature_best_file=cat(2,scen_output_folder,'\',scen_name,'_mvbest.txt');
[cf_id,cf_name,target,amount_held,occ_target,occ_held,sep_target,sep_achieved,target_met]=mv_best_
solution(missing_feature_best_file);
total_feature_number=length(cf_id);
missing_occurrence=zeros(total_feature_number,total_run_number);
feature_amount=zeros(total_feature_number,total_run_number);
for i=1:total_run_number;
    missing_feature_file=missing_feature_list{i};

```

```
[cf_id,cf_name,target,amount_held,occ_target,occ_held,sep_target,sep_achieved,target_met]=mv_best_solution(missing_feature_file);
    target_met=char(target_met);
    missing_features=find(target_met=='n');
    missing_occurrence(missing_features,i)=1;
    feature_amount(:,i)=amount_held;
end
missing_occurrence=missing_occurrence';
missing_frequency=sum(missing_occurrence);
figure
bar(cf_id,missing_frequency)
xlabel('Conservation Feature ID')
ylabel('Number of infeasible solutions')
feature_amount=feature_amount';
avg_feature_amount=mean(feature_amount);
info_missing_features=cell(length(cf_id)+1,5);
info_missing_features(1,:)={'ID' 'Feature','Feature Name','Missing Frequency','Average Held Amount','Target'};
info_missing_features(2:end,1)=num2cell(cf_id');
info_missing_features(2:end,2)=cellstr(cf_name');
info_missing_features(2:end,3)=num2cell(missing_frequency');
info_missing_features(2:end,4)=num2cell(avg_feature_amount');
info_missing_features(2:end,5)=num2cell(target);
end
```

```
%Questa function genera un file Excel con le informazioni associate alla soluzione migliore di differenti
%scenari di conservazione.
function [best_solution_info_matrix]=best_solution_info_comparison(output_scen_folder)
cd(output_scen_folder)
summary_file_list=ls('*_sum.txt');
summary_file_list=cellstr(summary_file_list);
scenario_number=length(summary_file_list);
best_solution_info_matrix=zeros(scenario_number,2);
for i=1:scenario_number;
    summary_file_path=summary_file_list{i};
    scen_name(i)=cellstr(summary_file_path(1:(length(summary_file_path)-8)));

[run_number,run_score,run_cost,run_pu,run_bound,run_penalty,run_shortfall,run_miss_value]=summary_file(summary_file_path);

[best_run_number,best_score,best_cost,best_pu,best_bound,best_penalty,best_shortfall,best_miss_value]=best_solution_info(run_number,run_score,run_cost,run_pu,run_bound,run_penalty,run_shortfall,run_miss_value);
    best_solution_info_matrix(i,1)=best_pu;
    best_solution_info_matrix(i,2)=best_bound;
end
best_solution_info_sheet=cell((scenario_number+1),3);
best_solution_info_sheet(1,:)={'Scenario','Unit Number','Boundary Length'};
best_solution_info_sheet(2:end,1)=scen_name';
best_solution_info_sheet(2:end,2:end)=num2cell(best_solution_info_matrix);
xlswrite('best_solution_info',best_solution_info_sheet);
end
```

```
%Questa function genera un file Excel con le soluzioni migliori di differenti scenari di conservazione e le
%confronta con una classificazione gerarchica.
function [best_solution_matrix]=best_solution_comparison(unit_file_path,output_scen_folder)
[id,cost,status,xloc,yloc]=unit_file(unit_file_path);
unit_number=length(id);
cd(output_scen_folder);
best_file_list=ls('*_best.txt');
```

```

best_file_list=cellstr(best_file_list);
scenario_number=length(best_file_list);
best_solution_matrix=zeros(unit_number,(scenario_number+1));
best_solution_matrix(:,1)=id;
for i=1:scenario_number;
    best_file=best_file_list{i};
    scen_name(i)=cellstr(best_file(1:(length(best_file)-9)));
    [unit,solution]=best_solution(best_file);
    for j=1:length(unit);
        index=find(id==unit(j));
        best_solution_matrix(index,i+1)=solution(j);
    end
end
best_solution_sheet=cell((unit_number+1),(scenario_number+1));
best_solution_sheet(1,1)={'Unit'};
best_solution_sheet(1,2:end)=scen_name(:);
best_solution_sheet(2:end,:)=num2cell(best_solution_matrix);
xlswrite('best_solution_matrix',best_solution_sheet);
best_solution_matrix=(best_solution_matrix(:,2:end));
distance_vector=pdist(best_solution_matrix,'jaccard');
similarity_matrix=squareform(distance_vector);
cluster_linkage=linkage(distance_vector,'average');
figure
g=dendrogram(cluster_linkage,'colorthreshold',3,'labels',scen_name);
title('Best Solutions')
end

```

```

%Questa function genera un file Excel con le superfici delle soluzioni migliori di differenti scenari di
%conservazione.
function [best_area]=best_solution_area_comparison(unit_area_file_path,output_scen_folder);
cd(output_scen_folder);
best_file_list=ls('*_best.txt');
best_file_list=cellstr(best_file_list);
scenario_number=length(best_file_list);
for i=1:scenario_number;
    best_file=best_file_list{i};
    best_area(i)=best_solution_area(unit_area_file_path,best_file);
    scen_name(i)=cellstr(best_file(1:(length(best_file)-9)));
    [unit,solution]=best_solution(best_file);
end
best_area_sheet=cell(scenario_number+1,2);
best_area_sheet(1,:)={'Scenario','Area'};
best_area_sheet(2:end,1)=scen_name(:);
best_area_sheet(2:end,2)=num2cell(best_area);
xlswrite('best_area',best_area_sheet);
end

```

```

%Questa function genera un file Excel con i costi delle soluzioni migliori di differenti scenari di
%conservazione.
function
[best_solution_cost_matrix]=best_solution_cost_comparison(unit_cost_file_path,output_scen_folder);
cd(output_scen_folder)
best_file_list=ls('*_best.txt');
best_file_list=cellstr(best_file_list);
scenario_number=length(best_file_list);
best_solution_cost_matrix=zeros(scenario_number,4);
for i=1:scenario_number;
    best_file=best_file_list{i};
    best_solution_cost_matrix(i,:)=best_solution_cost(unit_cost_file_path,best_file);
    scen_name(i)=cellstr(best_file(1:(length(best_file)-9)));
end

```

```

end
best_solution_cost_sheet=cell(scenario_number+1,5);
best_solution_cost_sheet(1,:)={'Scenario','Diving','Bathing','Fishing','Yachting'};
best_solution_cost_sheet(2:end,1)=scen_name(:);
best_solution_cost_sheet(2:end,2:end)=num2cell(best_solution_cost_matrix);
xlswrite('best_cost_info',best_solution_cost_sheet);
end

```

```

%Questa function genera un file Excel con le soluzioni sommate di differenti scenari di conservazione e
%le confronta con una classificazione gerarchica ed un box-plot delle distribuzioni di frequenza.
function [summed_solution_matrix]=summed_solution_comparison(unit_file_path,output_scen_folder);
cd(output_scen_folder);
[id,cost,status,xloc,yloc]=unit_file(unit_file_path);
unit_number=length(id);
summed_file_list=ls('*_ssoln.txt');
summed_file_list=cellstr(summed_file_list);
scenario_number=length(summed_file_list);
summed_solution_matrix=zeros(unit_number,(scenario_number+1));
summed_solution_matrix(:,1)=id;
scenario_number=length(summed_file_list);
for i=1:scenario_number;
    summed_file=summed_file_list{i};
    scen_name(i)=cellstr(summed_file(1:(length(summed_file)-10)));
    [unit,frequency]=summed_solution(summed_file);
    for j=1:length(unit);
        index=find(id==unit(j));
        summed_solution_matrix(index,i+1)=frequency(j);
    end
end
summed_solution_sheet=cell((unit_number+1),(scenario_number+1));
summed_solution_sheet(1,1)={'unit'};
summed_solution_sheet(1,2:end)=scen_name(:);
summed_solution_sheet(2:end,:)=num2cell(summed_solution_matrix);
xlswrite('summed_solution_matrix',summed_solution_sheet);
figure
boxplot(summed_solution_matrix(:,2:end),'notch','on');
scenario_labels=char(scen_name);
set(gca,'XTickLabel',scenario_labels);
title('Summed Solutions')
summed_solution_matrix=(summed_solution_matrix(:,2:end));
distance_vector=pdist(summed_solution_matrix,'euclidean');
similarity_matrix=squareform(distance_vector);
cluster_linkage=linkage(distance_vector,'average');
figure
dendrogram(cluster_linkage,'colorthreshold',3,'labels',scen_name);
title('Summed Solutions')
end

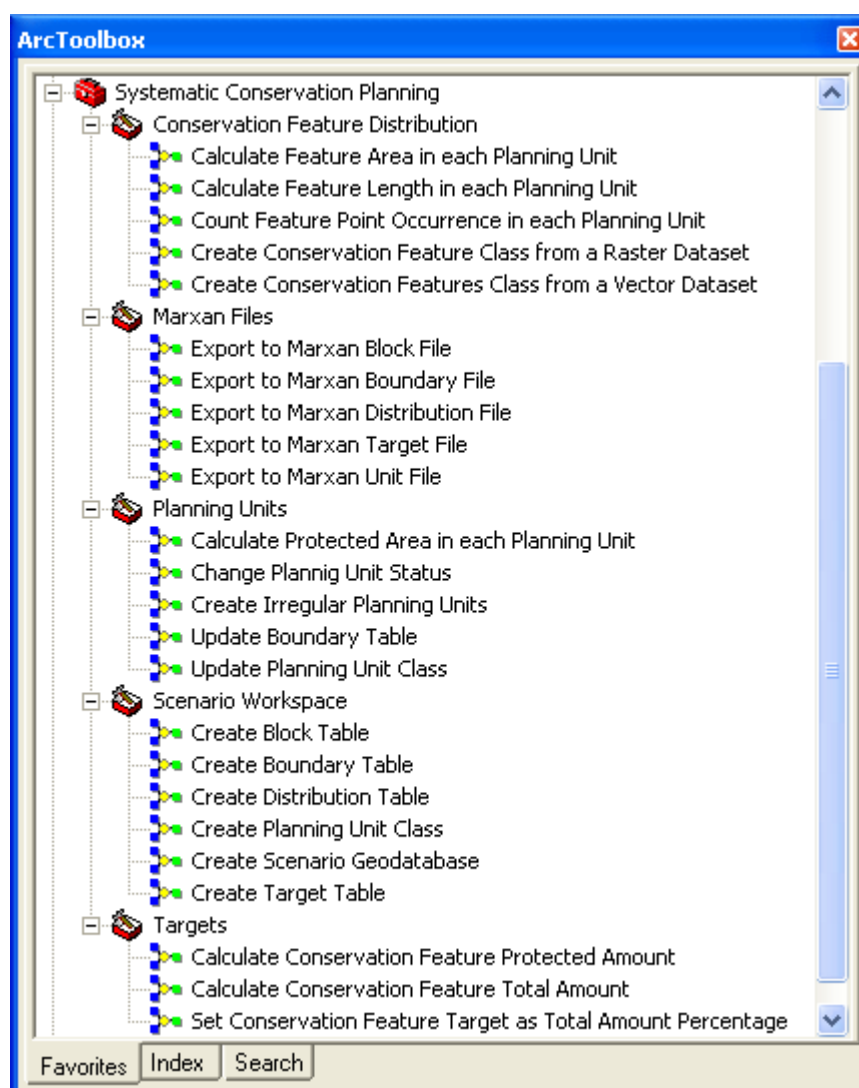
```

## MODELLI DI ANALISI SPAZIALE

Sono descritte di seguito le procedure di analisi spaziale sviluppate con il MODEL BUILDER. Tali procedure possono essere utilizzate in ARCGIS mediante interfacce grafiche intuitive.

### Strumenti per la compilazione dei dati da utilizzare in MARXAN

Gli strumenti del pacchetto *Systematic Conservation Planning* consentono di creare un geodatabase ARCGIS le cui classi di elementi contengono le informazioni richieste dall'applicativo MARXAN per la pianificazione sistematica di aree protette.



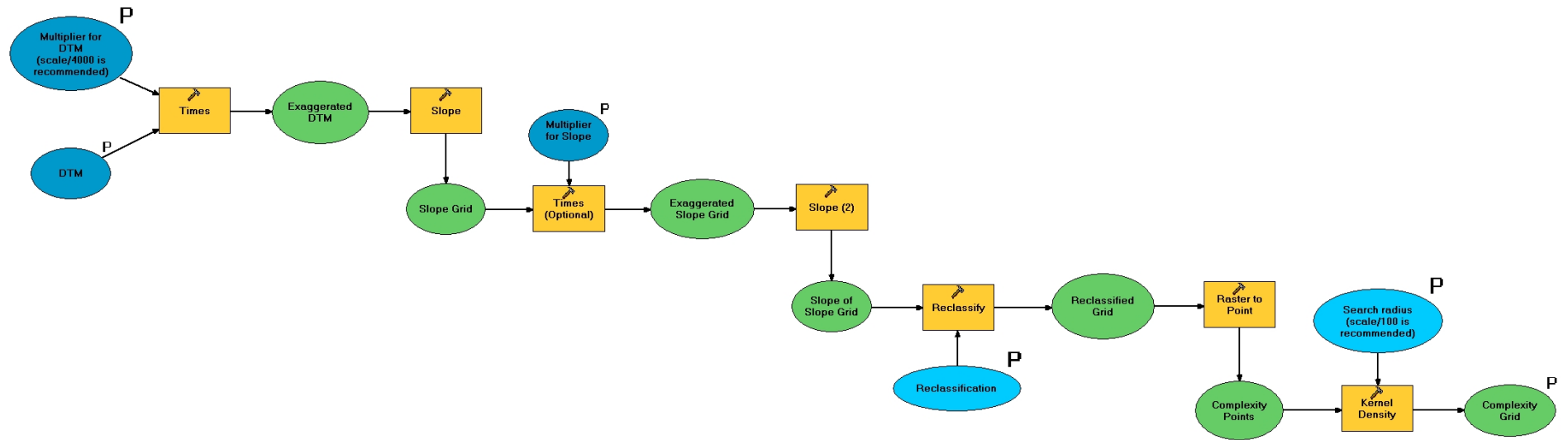
Pacchetto	Strumento	Descrizione
Scenario Workspace	<i>Create Scenario Geodatabase</i>	Crea un geodatabase con le classi e le tabelle elencate di seguito.
	<i>Create Planning Unit Class</i>	Crea una classe di elementi poligonali per rappresentare le unità di pianificazione.
	<i>Create Boundary Table</i>	Crea una tabella per archiviare informazioni sulla lunghezza dei bordi condivisi tra le unità di pianificazione.
	<i>Create Distribution Table</i>	Crea una tabella per archiviare informazioni sulla distribuzione delle caratteristiche di conservazione tra le unità di pianificazione.
	<i>Create Target Table</i>	Crea una tabella per definire i requisiti di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione.
	<i>Create Block Table</i>	Crea una tabella per definire i requisiti di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione raggruppate per tipologie.
Planning Units	<i>Update Planning Unit Class</i>	Aggiunge nuovi poligoni che rappresentano le unità di pianificazione alla classe <i>Planning Unit Class</i> .
	<i>Calculate Protected Area in Each Planning Unit</i>	Calcola l'estensione percentuale occupata da aree protette in ciascuna unità di pianificazione.
	<i>Change Planning Unit Status</i>	Cambia lo stato delle unità di pianificazione selezionate (ad es. inclusa, esclusa).
	<i>Update Boundary Table</i>	Aggiunge informazioni sulla lunghezza dei bordi condivisi tra le unità di pianificazione alla tabella <i>Boundary Table</i> .

<i>Conservation Feature Distribution</i>	<i>Create Conservation Feature Class from a Feature Dataset</i>	Genera una classe di elementi con geometria poligonale da un file vettoriale aggiungendo un campo con un identificativo numerico.
	<i>Create Conservation Feature Class from a Raster Dataset</i>	Genera una classe di elementi con geometria poligonale da un dataset raster aggiungendo un campo con un identificativo numerico.
	<i>Calculate Feature Area in Each Planning Unit</i>	Calcola l'estensione superficiale delle caratteristiche di conservazione con geometria poligonale in ciascuna unità di pianificazione ed aggiunge i risultati ottenuti alla tabella <i>Distribution</i> .
	<i>Calculate Feature Length in Each Planning Unit</i>	Calcola la lunghezza delle caratteristiche di conservazione con geometria lineare in ciascuna unità di pianificazione ed aggiunge i risultati ottenuti alla tabella <i>Distribution</i> .
	<i>Calculate Feature Length in Each Planning Unit</i>	Calcola il numero di volte con cui le caratteristiche di conservazione con geometria puntuale si presentano in ciascuna unità di pianificazione ed aggiunge i risultati ottenuti alla tabella <i>Distribution</i> .
<i>Targets</i>	<i>Calculate Conservation Feature Total Amount</i>	Calcola l'ammontare totale delle caratteristiche di conservazione nell'area di studio utilizzando i dati della tabella <i>Distribution</i> .
	<i>Calculate Conservation Feature Protected Amount</i>	Calcola l'ammontare delle caratteristiche di conservazione che ricadono in unità di pianificazione protette.
	<i>Set Conservation Feature Target as Total Amount Percentage</i>	Definisce il livello di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione come percentuale dell'ammontare totale.

<i>Marxan Files</i>	<i>Export to Marxan Unit File</i>	Esporta la classe <i>Planning Unit Class</i> nel file di testo richiesto da Marxan per le unità di pianificazione.
	<i>Export to Marxan Boundary File</i>	Esporta la classe <i>Boundary Table</i> nel file di testo richiesto da Marxan per definire la lunghezza dei bordi condivisi tra le unità di pianificazione.
	<i>Export to Marxan Distribution File</i>	Esporta la classe <i>Distribution Table</i> nel file di testo richiesto da Marxan per rappresentare l'ammontare delle caratteristiche di conservazione in ciascuna unità di pianificazione.
	<i>Export to Marxan Target File</i>	Esporta la classe <i>Target Table</i> nel file di testo richiesto da Marxan per definire i requisiti di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione.
	<i>Export to Marxan Block File</i>	Esporta la classe <i>Block Table</i> nel file di testo richiesto da Marxan per definire i requisiti di rappresentazione delle caratteristiche di conservazione raggruppate per tipologie.



## Procedura per il calcolo della complessità del fondo marino (da Ardron, 2002)



## Procedura per la delimitazione dei siti di balneazione

