

# METODOLOGIA PER LA DERIVAZIONE DI MAPPE DI VULNERABILITÀ' E DANNO PER LE COMUNITÀ' BENTONICHE INTERTIDALI E INFRALITORALI SUPERFICIALI DI COSTA ROCCIOSA

A cura di Lisandro Benedetti-Cecchi e Luca Rindi, Dipartimento di Biologia, Università di Pisa  
[lbenedetti@biologia.unipi.it](mailto:lbenedetti@biologia.unipi.it)  
[luca.rindi@biologia.unipi.it](mailto:luca.rindi@biologia.unipi.it)

## 1. Introduzione

Questo documento illustra i passaggi necessari per la derivazione di mappe di vulnerabilità e danno per i popolamenti bentonici intertidali e infralitorali superficiali di costa rocciosa. In particolare, sono oggetto principale di indagine i popolamenti di battigia caratterizzati dalle foreste macroalgali a *Cystoseira amentacea* var. *stricta* Montagne per la frangia infralitorale e le popolazioni di *Lithophyllum lichenoides* Philippi, *Patella ferruginea* Gmelin e *Chthamalus* spp. per il mesolitorale. La metodologia per la derivazione di mappe di vulnerabilità e danno si compone di due fasi: 1) misurazioni sul campo, 2) elaborazione dei dati.

Per facilitare la comunicazione tra i partecipanti al progetto SICOMAR PLUS e i risultati di questo verso l'esterno, è necessario concordare l'utilizzo di un vocabolario comune. A tal proposito, il presente documento include un glossario dei termini utilizzati nel contesto ecologico che tiene conto delle articolazioni del progetto, in particolare della necessità di utilizzare i termini e i concetti di rischio ambientale in sintonia con quanto viene fatto nell'analisi del rischio in ambito terrestre. Il glossario è riportato in Tabella 1.

### Tabella1: Glossario

**Carlit.** Metodo cartografico per una rapida valutazione dell'estensione e della copertura dei popolamenti di costa rocciosa.

**Danno:** prodotto della vulnerabilità per l'esposizione; esprime la gravità delle conseguenze attese a seguito di un evento indesiderato.

**Esposizione o valore esposto:** valore ecologico del popolamento a rischio di perdita in caso di sversamento di contaminanti in mare. L'esposizione di un tratto di litorale sarà tanto maggiore quanto maggiore è la biodiversità, la produttività e l'insieme dei servizi ecosistemici che il popolamento presente offre.

**Feltro algale:** intreccio di alghe di piccole dimensioni e caratterizzata da una morfologia semplice, per lo più di tipo filamentoso.

**Frangia infralitorale:** ampia pochi decimetri e comprende l'area di transizione tra il mesolitorale e l'infralitorale.

**Mesolitorale:** è la zona intertidale, compresa tra il limite superiore ed inferiore delle maree.

**Mesolitorale superiore:** zona intertidale generalmente esposta agli spruzzi del moto ondoso

**Pericolosità:** probabilità che un evento indesiderato (ad es., uno sversamento di contaminanti) si verifichi in un certo periodo di tempo in una determinata area.

**Popolamento:** insieme di organismi appartenenti a specie differenti che condividono la stessa area nello stesso periodo di tempo.

**Resilienza (ingegneristica):** definita come la velocità con cui un sistema ritorna alla condizione antecedente il disturbo quando questo viene rimosso.

**Rischio:** prodotto della pericolosità per il danno.

**Sottostrato.** Insieme di organismi animali e vegetali che vivono al di sotto dello strato arborescente formato da *Cystoseira amentacea*.

**Taxon:** gruppo di organismi distinguibili dal punto di vista morfologico e/o genetico.

**Vulnerabilità:** propensione a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità; tanto maggiore è la vulnerabilità tanto maggiore è la propensione a subire danneggiamenti. La vulnerabilità è inversamente proporzionale alla resilienza, quindi tanto maggiore è la resilienza tanto minore è la vulnerabilità.

## 2. Misurazioni sul campo

Estensione e copertura dei popolamenti. L'estensione e l'abbondanza delle foreste macroalgali, di *L. lichenoides* e *Chthamalus* spp. viene stimata mediante il metodo *Carlit* (Ballesteros et al. 2007, Thibaut et al. 2017). La procedura, nella sua definizione originaria, consiste nel determinare la presenza e la copertura dei popolamenti caratterizzati da *C. amentacea* (la specie arborescente dominante nella frangia infralitorale) lungo transetti di 100 m, disposti in modo contiguo lungo la costa, determinando le coordinate geografiche all'inizio e alla fine di ciascun transetto per una corretta geolocalizzazione. Per ciascun transetto viene infine determinata in modo visivo la copertura di *C. amentacea* attraverso una scala semi-quantitativa variabile da 0 a 5 (Tab. 2). Durante i rilevamenti vengono annotate anche la natura e l'aspetto del substrato (inclinazione della roccia e presenza o meno di "marciapiedi") che possono condizionare la presenza di *C. amentacea*.

Nel corso delle indagini abbiamo trovato utile annotare e georeferenziare i punti dove si osserva discontinuità di copertura anziché eseguire rilevamenti in transetti predefiniti di 100m.

<b>Tabella 2: Scala semi-quantitativa delle misure effettuate con il metodo <i>Carlit</i>.</b>	
Copertura stimata	Scala semi-quantitativa
0	0
1-20%	1
21-40%	2
41-60%	3
61-80%	4
81-100%	5

Questa modifica permette di generare dati ad una risoluzione spaziale molto elevata (metri) e quindi mappe più accurate rispetto al metodo classico basato su rilevamenti lungo transetti di 100m, nel caso

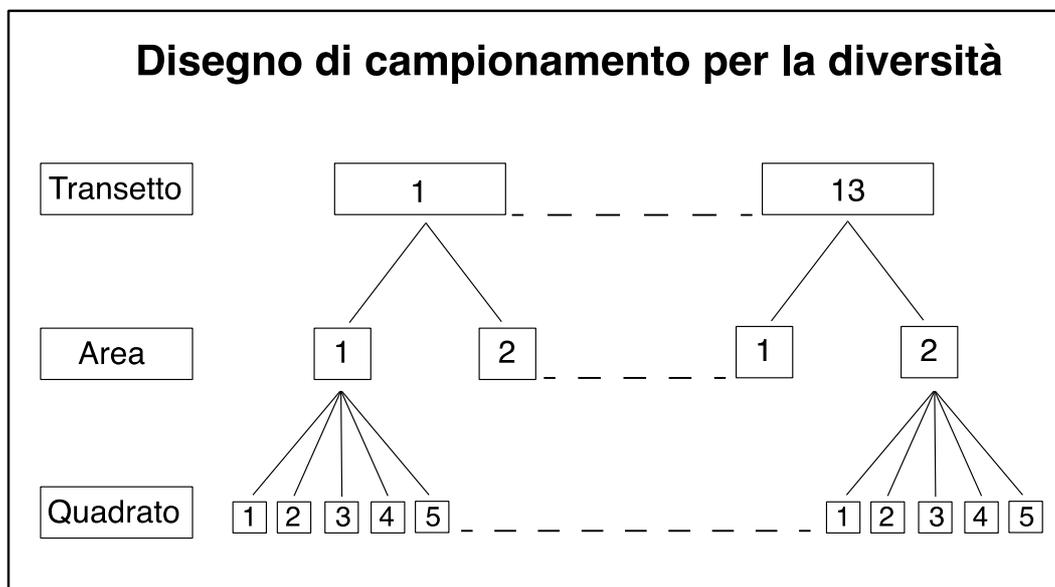
di coperture molto frammentate. Il costo di questa procedura è l'incremento dei tempi di rilevamento in presenza di elevata eterogeneità nella distribuzione spaziale dei popolamenti oggetto del rilevamento (es. *C. amentacea*).

Transetti. L'abbondanza di *Patella ferruginea* viene valutata nella parte centrale (50m) del 10% dei tratti di litorale definiti in base alle discontinuità nella distribuzione di *C. amentacea*, come descritto nel paragrafo *Estensione e copertura dei popolamenti*. In assenza di tratti estesi con elevata copertura di *C. amentacea* saranno comunque campionati il 10% dei tratti dove l'alga è presente o, se assente, il 10% dei tratti individuati in base alla distribuzione degli altri organismi su cui si focalizza il metodo *Carlit* (*L. lichenoides* e *Chthamalus* spp.). Gli individui di *P. ferruginea* vengono contati in una fascia di circa un metro di ampiezza (assumendo la presenza di un marciapiede sulla costa) lungo ciascuno dei tratti di 50m di litorale.

Diversità. Il campionamento della diversità si focalizza sulle foreste macroalgali della battigia e si basa su di un disegno gerarchizzato (Fig. 1). Per mantenere lo sforzo di campionamento entro limiti accettabili, le misurazioni sono eseguite su almeno il 10% dei tratti di costa con una estensione di almeno 50m di *C. amentacea*, assicurando così una distribuzione spaziale rappresentativa dell'area di indagine. In assenza di tratti estesi con elevata copertura di *C. amentacea* saranno comunque campionati il 10% dei tratti dove l'alga è presente o, se assente, il 10% dei tratti individuati in base alla distribuzione degli altri organismi su cui si focalizza il metodo *Carlit* (*L. lichenoides* e *Chthamalus* spp.).

Per il campionamento con quadrati, in ciascuno dei tratti di costa selezionati vengono individuate due aree (tratti di litorale di 2-3 m di estensione) alla distanza di alcune decine di metri e in ciascun'area sono vengono campionati 5 quadrati separati da almeno 20 cm (quindi 10 quadrati per transetto) (Fig. 1). Il campionamento viene effettuato utilizzando quadrati 20 x 20 cm suddivisi al loro interno in 10 sub-quadrati di 2 x 2 cm. L'abbondanza delle specie algali e degli invertebrati

sessili viene stimata assegnando un punteggio di copertura del substrato da 0 (assenza del *taxon*) a 4 (copertura totale) per ciascun *taxon* individuato in ciascun sub-quadrato. L'abbondanza degli invertebrati mobili è espressa come numero di individui per sub-quadrato. Per ciascun quadrato viene stimata prima la copertura percentuale di *C. amentacea* e in seguito, muovendo di lato la porzione arborea di *C. amentacea*, il popolamento del sottostrato. Gli organismi vengono identificati al livello tassonomico più dettagliato che è possibile raggiungere ad occhio nudo sul campo; i taxa che non è possibile identificare a livello di specie o genere vengono raggruppati in gruppi morfologici.

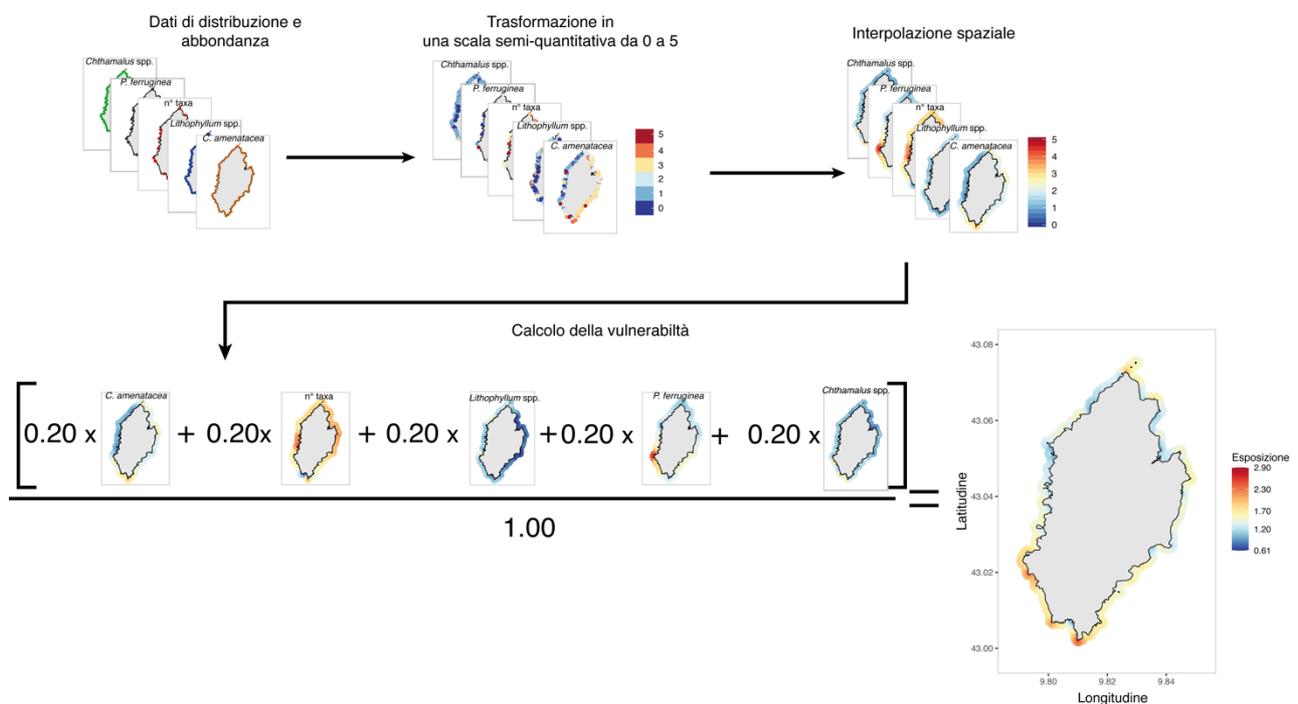


**Figura 1.** Disegno di campionamento per la stima della diversità associata alle foreste di *C. amentacea*. Per ciascun transetto (circa 50 m) vengono selezionate due aree (tratti di costa di circa 2-3 m), all'interno delle quali vengono selezionati casualmente 5 quadrati di 20x20 cm per ciascuno dei quali viene determinato il numero di taxa (ricchezza) e la loro abbondanza.

### 3. Elaborazione dei dati

*Esposizione o valore esposto.* Si intende per esposizione il valore ecologico del popolamento a rischio di perdita in caso di sversamento di contaminanti in mare. L'esposizione di un tratto di litorale sarà tanto maggiore quanto maggiore è la biodiversità, la produttività e l'insieme dei servizi ecosistemici che il popolamento presente offre. In Figura 2 vengono riportati i passaggi per il calcolo dell'esposizione in riferimento all'isola di Capraia. L'esposizione viene quantificata integrando i

valori di copertura delle foreste di *C. amentacea* (*Carlit*) con le misure di diversità ad essa associata, con i valori di copertura di *L. lichenoides* e *Chthamalus* spp. e con i valori di abbondanza di *P. ferruginea*. I punteggi relativi alla diversità vengono mediati tra quadrati per ottenere un solo valore per transetto. Per le misure di copertura percentuale e di diversità (n° di taxa), i punteggi su scala semi-quantitativa vengono attribuiti in base ai sestili della distribuzione di frequenza dove cade il valore della variabile in esame.

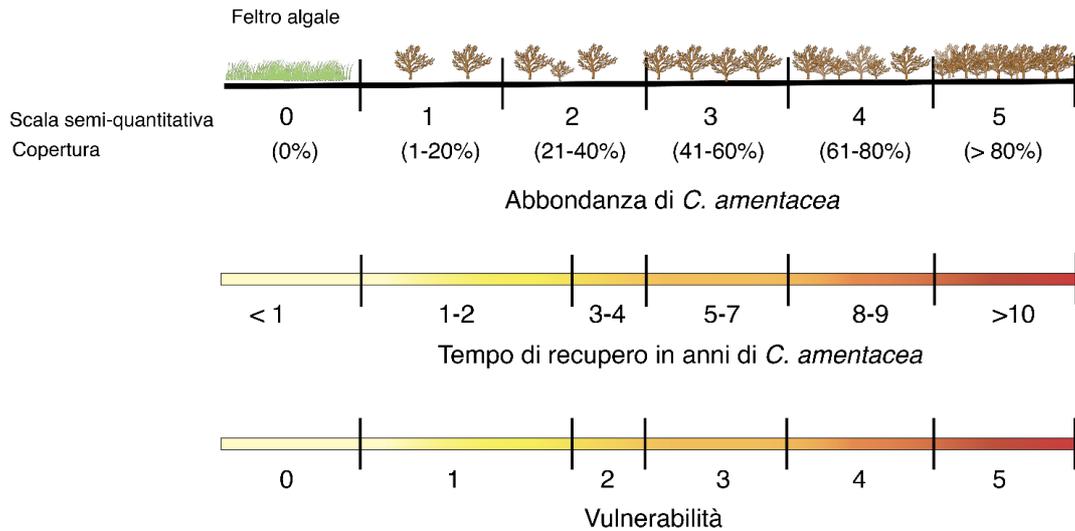


**Figura 2.** Illustrazione grafica del calcolo dell’esposizione applicati all’isola di Capraia. I dati disponibili di abbondanza e di diversità dei popolamenti oggetto di indagine vengono trasformati in scala semi-quantitativa da 0 (assenza) a 5. Nelle aree per cui il dato non era disponibile, il punteggio di ciascun componente è stimato tramite il metodo di interpolazione spaziale (“kriging”). L’esposizione viene misurata come media pesata, assegnando a ciascuna componente il peso di 0.20.

Nelle aree per cui il dato non è disponibile, il punteggio di ciascun componente può essere stimato tramite il metodo di interpolazione spaziale. In queste analisi si è utilizzato il metodo “kriging”, in cui l’influenza (peso) di un’osservazione decresce proporzionalmente con la distanza. L’integrazione viene effettuata mediante medie pesate, assegnando lo stesso peso (0.2) a ciascuna delle cinque componenti che definiscono l’esposizione (Fig. 2).

*Vulnerabilità.* Al fine di ottenere una misura quantitativa della vulnerabilità, viene fatto riferimento alla definizione ingegneristica di resilienza, ovvero la velocità con cui un sistema ritorna alla condizione antecedente al disturbo. Applicando questa definizione, un sistema ecologico più semplice (ad es., i feltri algali) è molto più resiliente di un sistema dominato da *C. amentacea*. In caso di perdita della maggior parte degli organismi a seguito di un evento di disturbo, il sistema a feltri recupera in meno di un anno, mentre il sistema a *C. amentacea* richiede più di dieci anni per raggiungere una copertura maggiore dell'80%. Dato che la vulnerabilità è definita come l'inverso della resilienza, maggiore è la resilienza di un sistema, minore è la sua vulnerabilità. Nel nostro caso, il sistema a feltri algali è meno vulnerabile del sistema dominato da foreste di *C. amentacea*, in quanto minore è il suo tempo di recupero a seguito di un disturbo. Utilizzando i dati a disposizione da studi pregressi (Tamburello et al. 2013, Benedetti-Cecchi et al. 2015, Rindi et al. 2017) è possibile trasformare i dati di copertura di *C. amentacea* generati da *Carlit* in una scala semi-quantitativa di vulnerabilità. Infine, il danno viene calcolato come prodotto tra esposizione e vulnerabilità (Danno = Esposizione x Vulnerabilità) ed esprime la gravità delle conseguenze attese a seguito di un evento indesiderato. Tanto maggiore è il valore di danno in un'area tanto maggiore saranno le conseguenze, sia in termine di valore ecologico perso che di tempo di recupero necessario affinché si ristabilisca la condizione precedente al disturbo. I passaggi sono indicati in dettaglio in Figura 3.

Le analisi, inclusa la restituzione grafica delle mappe, possono essere condotte mediante software open source, in particolare utilizzando l'ambiente statistico-grafico R.



**Figura 3.** Illustrazione grafica del calcolo della vulnerabilità: (a) copertura di *C. amentacea* in scala semi-quantitativa da 0 (assenza) a 5 e nelle corrispondenti classi di copertura secondo Carlit; (b) tempo di recupero in anni di *C. amentacea* calcolato sulla base di evidenze sperimentali e modelli. Maggiore è l'abbondanza di *C. amentacea*, maggiore è il tempo di recupero in caso di perdita a seguito di un disturbo; (c) Misura di vulnerabilità in scala semi-quantitativa da 0 a 5, determinata in funzione del tempo di recupero di *C. amentacea*. Maggiore è il tempo necessario per *C. amentacea* di ritornare alla condizione precedente al disturbo, maggiore è la vulnerabilità.

## LETTERATURA CITATA

- Ballesteros, E., X. Torras, S. Pinedo, M. Garcia, L. Mangialajo, and M. De Torres. 2007. A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. *Marine pollution bulletin* 55:172–180.
- Benedetti-Cecchi, L., L. Tamburello, E. Maggi, and F. Bulleri. 2015. Experimental perturbations modify the performance of early warning indicators of regime shift. *Current biology* 25:1867–1872.
- Rindi, L., M. Dal Bello, L. Dai, J. Gore, and L. Benedetti-Cecchi. 2017. Direct observation of increasing recovery length before collapse of a marine benthic ecosystem. *Nature Ecology & Evolution* 1:153.
- Tamburello, L., F. Bulleri, I. Bertocci, E. Maggi, and L. Benedetti-Cecchi. 2013. Reddened seascapes: experimentally induced shifts in 1/f spectra of spatial variability in rocky intertidal assemblages. *Ecology* 94:1102–1111.
- Thibaut, T., A. Blanfuné, C. F. Boudouresque, S. Personnic, S. Ruitton, E. Ballesteros, D. Bellan-Santini, C. N. Bianchi, S. Bussotti, and E. Cebrian. 2017. An ecosystem-based approach to assess the status of Mediterranean algae-dominated shallow rocky reefs. *Marine pollution bulletin* 117:311–329.