



ENEA  
CENTRO RICERCHES TESSALI



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

## Azione B.7

# Redazione di un protocollo di intervento per il risanamento ambientale

### ***ABSTRACT***

The experience acquired and technical data collected during the project have been exploited to develop a standard intervention procedure applicable in areas with similar characteristics to those tested in the project.

The waters and seabed of Mar Piccolo are, in fact, severely contaminated by heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs). These pollutants, besides, representing a serious disturbance to the delicate balance of the basin, have also affected mariculture activities, with significant damage to this economic sector of national importance.

One of the major achievements of the project was the development of a diagnostic PCR-based multi-assay kit. This tool is capable of assaying the quality of the sea-water through the detection of 20 molecular indicators correlated to the presence/absence of specific seabed pollutants (PAHs and PCBs). Given the low cost of analysis, these markers can be widely used also in other sites for an initial assessment and to delimit the areas to be treated.

The recovery procedure is based on a purification pilot plant, based on a Silt Removal Unit (SRU), for sediment resuspension and capture, and of a Membrane Bio-Reactor (MBR) that separates contaminants-enriched fractions by filtration.



LIFE14 ENV/IT/000461

In order to set up the operation procedures of the recovery plant, to face specific situations of sediment composition and contamination, it is necessary to carry out a number of preliminary evaluations:

- assessment of the sediment characteristics
- determination of the type and quantity of contaminants present in the sediment,
- assessment of the depth, and therefore of the amount of sediment to be treated,
- evaluation of the volume the water solution to be treated (i.e. depth of the seabed)
- selection of the optimal separation strategy (filtering sections and molecular cut-offs)
- identification of the area to be treated
- confinement of the area of interest

In order to verify the effectiveness of the remediation process, it is necessary to carry out an integrated monitoring of the pollutants within the site to be remediated before (ex-ante monitoring), during (in-itinere monitoring) and after (post monitoring) the remediation activity. The monitoring is focused both on verifying the degree of matrix contamination, such as sediments and waters, and on the evaluation of the biocenotic communities.

Finally, a detailed microbiological monitoring of the area is attained by high throughput metagenomic analyses. Sequencing databases are useful to identify the elements (microorganisms or genes) with positive and negative correlation, to the specific pollution characteristics and to develop molecular indicators that describe the health of the ecosystems before, during and after the recovering treatment.



ENEA  
CENTRO RICERCHE TERESA



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

## INDICE

### 1. Informazioni generali

### 2. Utilizzo finale del sito

### 3. Utilizzo del kit molecolare diagnostico per la stima dell'inquinamento da composti organici aromatici (PCB e IPA) del sedimento marino

### 4. Contaminanti di interesse

### 5. Matrice da trattare

### 6. Descrizione del procedimento di decontaminazione mediante Silt Removal Unit (SRU)

### 7. Monitoraggio molecolare

## BIBLIOGRAFIA



ENEA  
CENTRO RICERCHE TERESA



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

## 1. Informazioni generali

L'esperienza e i dati tecnici raccolti durante lo svolgimento del progetto life ha consentito lo sviluppo di un protocollo di intervento standard applicabile in aree con caratteristiche simili a quelle testate nel progetto. Si ritiene auspicabile infatti sfruttare il *know-how* generato dal progetto LIFE al fine ottimizzare di applicare e validare in altri contesti la tecnologia e l'approccio di bonifica sviluppati.

Il Mar Piccolo di Taranto, localizzato all'estremo settentrionale del golfo omonimo, è un mare chiuso costituito da due insenature di forma più o meno ellittica denominate primo e secondo Seno. Il primo Seno ha un asse maggiore di 4 Km circa, mentre il secondo ha un asse maggiore di circa 5 Km. La massa d'acqua del Mar Piccolo è valutabile intorno ai 152 milioni di m<sup>3</sup>, mentre la sua superficie è di circa 20.7 Km<sup>2</sup>. Per quanto concerne la batimetria, la massima profondità riscontrata nel I Seno è di 13 metri, mentre nel II Seno è di 10 m.

L'accesso al Mar Piccolo dal Mar Grande avviene attraverso il canale di Porta Napoli e il canale Navigabile. L'unico corso d'acqua importante che sfocia nel primo Seno è il fiume Galeso. Nel Mar Piccolo le spiagge sabbiose, sono molto ridotte. Da un punto di vista geologico il bacino è stato formato dall'avanzamento della linea di costa a seguito di una regressione marina e di un contemporaneo accumulo di un cordone litorale che col passare dei millenni è emerso formando l'attuale area su cui sorge la città di Taranto. Le caratteristiche naturali sono in gran parte riconducibili a quelle degli specchi d'acqua costieri in comunicazione con il mare aperto con lento ricambio delle acque. Lo scarso idrodinamismo favorisce la sedimentazione del materiale organico e svolge un ruolo importante nel trasporto e nell'accumulo di inquinanti nei sedimenti. Pertanto, il Mar Piccolo è un esempio di ecosistema marino costiero i cui equilibri biologici sono stati modificati dal notevole "stress ambientale" dovuto allo sviluppo di attività antropiche. Il ridotto scambio idrico determina la stratificazione delle acque soprattutto in estate; nel bacino l'escursione di marea è ridotta e non superiore ai 30-40 cm. La salinità è inferiore a quella media del Mar Grande. Questa



LIFE14 ENV/IT/000461

situazione è in controtendenza rispetto a quelle di specchi di acque costieri analoghi che, generalmente, presentano una salinità maggiore di quella del mare circostante. Nel Mar Piccolo l'apporto di acque dolci è notevole in quanto, a fronte di precipitazioni locali nella norma, si riscontra sia la presenza di immissari con sensibile portata durante tutto l'anno, sia la presenza di risorgive di acqua dolce sottomarina (citri) di origine carsica. Di seguito sono elencati i corsi d'acqua superficiali non a carattere stagionale:

- nel I Seno: il Fiume Galeso la cui risorgiva dista circa 800 metri dalla riva e la cui portata media durante l'intero anno è stata stimata in circa 50.000 tonnellate di acqua al giorno;

- nel II Seno: i rivi che si originano dalle sorgenti Battentieri (circa 300 metri dalla riva) e Riso (circa 1200 metri dalla costa) ed il Torrente Aiedda che origina nelle Murge Tarantine; la loro portata media complessiva è stata stimata in circa 15.000 tonnellate di acqua nelle 24 ore. I citri sono risorgive sottomarine di acqua dolce tipiche del Mar Piccolo. La loro origine, chiaramente dovuta a fenomeni carsici, si può certamente far risalire al periodo delle ultime glaciazioni; con l'abbassarsi del livello delle acque marine, l'acqua carsica scavò nuovi percorsi fino a giungere al nuovo livello marino. Con la fine del periodo glaciale ed il ritorno allo stato liquido della gran parte dei ghiacci continentali, il livello del mare si innalzò ed invase parte delle terre emerse; le "gallerie" carsiche rimasero attive e dunque le risorgive vennero a trovarsi al di sotto del livello marino attuale.

I citri censiti nel Mar Piccolo sono più di trenta con una portata complessiva valutabile intorno ad un milione di tonnellate di acqua al giorno. L'acqua delle risorgive non è dolce, ma leggermente salmastra con una salinità media compresa tra 2.8‰ - 5‰, misurata direttamente allo sbocco sottomarino; si pensa che questo fenomeno sia dovuto alla intrusione di acqua di mare lungo la parte terminale dei percorsi carsici al di sotto dei fondali. Tra i citri i più importanti sono il "Galeso" (portata media di 600 L s<sup>-1</sup>) e il "Citrello" (portata media di 350 L s<sup>-1</sup>) nel I Seno e il citro "Le Copre" (portata media di 80 L s<sup>-1</sup>) nel II Seno. L'azione termoregolatrice dei "citri" è di notevole importanza in quanto il Mar Piccolo, non presentando elevate profondità, non risente in maniera eccessiva di condizioni climatiche esterne. La presenza di oscillazioni non drastiche della temperatura delle acque fa del Mar Piccolo un ambiente dalle elevate potenzialità produttive. Le temperature dell'acqua di solito



LIFE14 ENV/IT/000461

oscillano tra i 27 – 28 °C in estate e i 10 – 13 °C in inverno.

Per quanto riguarda il moto ondoso e le correnti, pure in presenza di manifestazioni con carattere di vento forte (7 gradi Beaufort = 28-33 nodi), il moto ondoso indotto svolge un ruolo idrodinamico ridotto, in quanto il vento ha carattere instabile. Le onde raggiungono nel Mar Piccolo altezze di 1 m (minimo indispensabile per produrre una corrente lungo riva significativa) solo per venti superiori a 8 gradi Beaufort (34-40 nodi), ossia solo in casi eccezionali. I venti contribuiscono ad agitare la parte superficiale della colonna d'acqua senza avere le caratteristiche per condizionare il moto della massa d'acqua. Di conseguenza il principale agente perturbatore capace di determinare correnti significative è la marea. L'entrata e l'uscita delle acque avviene attraverso entrambi i canali tarantini, quello navigabile (artificiale) di Porta Lecce e quello di Porta Napoli (naturale ma profondamente modificato nel corso degli anni). Le correnti di entrata e di uscita hanno entrambe una durata di 6 ore e vengono chiamate rispettivamente “chioma” e “serra”. Il consistente apporto di acqua a minore salinità dai Citri fa sì che la “serra” sia quantitativamente maggiore della “chioma”. Un fattore che condiziona la direzione delle correnti soprattutto nel primo seno è rappresentato dalla presenza dell'idrovora dell'ILVA che aspira circa 140 000 m<sup>3</sup>/ora. Essenzialmente però la circolazione delle acque è condizionata dalla marea. La corrente principale in entrata da Porta Lecce, (flusso entrante con vel.= 24 cm/sec = 2,1 km/giorno; flusso uscente vel. =18 cm/sec) fluisce sul fondo ed è quella che ha la maggiore influenza sulla circolazione delle acque all'interno dei due seni. Non appena entrata nel I Seno, la corrente si apre a ventaglio: una parte si dirige verso Ovest lambendo le coste occidentali del primo Seno, quindi verso l'idrovora dell'ILVA, mentre la parte più consistente piega verso oriente direttamente verso il secondo Seno, lambendo la costa della città vecchia. Con l'instaurarsi del regime di bassa marea nella zona Nord-Est del II Seno si inizia a muovere l'acqua che formerà la “serra”; come già accennato la massa di acqua che si muove è maggiore di quella della “chioma” data la notevole quantità di acque dolci di origine continentale che si riversa nel Mar Piccolo durante il periodo di inversione delle maree.

Questa corrente percorre la costa settentrionale del II Seno e si dirige quindi verso Punta Penna, dove si incontra con la debole corrente litoranea in uscita proveniente dalla zona orientale del II Seno. Superata la strettoia di Punta Penna – Pizzone, la maggior parte



ENEA  
CENTRO RICERCHE TERESA



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

dell'acqua in movimento ripiega verso Nord e percorre la costa del primo Seno fino al citro "Citrello" dove ripiega ancora dirigendosi verso i canali di uscita, mentre una piccola parte prosegue con scarse deviazioni direttamente verso la città vecchia. Lo schema di circolazione a strati che ne deriva appare molto complesso; esso varia poco nell'arco dell'anno tanto da essere pressoché costante tra primavera e autunno inoltrato. Certamente in Mar Piccolo c'è un quadro complessivo di acque poco disturbate dalle correnti di compensazione e di marea con velocità minori ai 30 cm/sec. Nel secondo Seno la circolazione in sostanza appare più complessa anche perché i venti anche se poco efficaci incontrano un bacino meno profondo che risente maggiormente della pur limitata deriva imposta dal vento. L'effetto generale è una circolazione molto lenta, fortemente variabile con la profondità. Il richiamo di acqua da parte dell'idrovora dell'ILVA condiziona la circolazione idrica in tutto il bacino. Ad ogni prelievo di acqua da parte dell'idrovora corrisponde un nuovo afflusso di acque dal Mar Grande attraverso i canali di Porta Lecce e di Porta Napoli; questo apporto di acque più fredde e salate tende a influenzare soprattutto il primo Seno. Il secondo Seno, diviso dal primo dall'istmo di Punta Penna e del Pizzone, resta praticamente isolato dalla circolazione di queste nuove masse d'acqua. Le acque del primo Seno risultano quindi più "ossigenate" rispetto a quelle del secondo Seno per la maggiore movimentazione.





LIFE14 ENV/IT/000461

## 2. Utilizzo finale del sito

Il comparto della mitilicoltura in Italia è considerato molto importante sia in termini di volumi prodotti che di occupazione, rappresentando il segmento dell'acquacoltura più importante a livello nazionale, in termini di volume di produzione (47% delle vendite) e di fatturato (35% dell'intera acquacoltura italiana).

Puglia, il Veneto, l'Emilia Romagna, il Friuli Venezia Giulia e Sardegna sono le principali zone di produzione. Attualmente operano circa 300 imprese di produzione, gestite con tipologia amministrativa differente, e con un totale di circa 1.500 addetti. La produzione annuale è soggetta a variabilità in funzione delle condizioni meteo climatiche e delle tipologie di allevamento.

Le principali tipologie di allevamento adottate in Italia sono: il sistema longline a monoventia, il sistema longline triestino (bi/tri ventia) e il sistema su pali fissi. Negli ultimi anni si è assistito ad un incremento dell'utilizzo del sistema long line di tipo monoventia, in mare aperto, in quanto presenta una maggiore resistenza degli impianti agli eventi marini anche ad elevata intensità. Oggi costituisce il punto di forza della mitilicoltura italiana.

Gli specchi d'acqua destinati a mitilicoltura sono classificati in differenti zone di produzione:

- Zona A: zone dove vengono raccolti molluschi bivalvi vivi destinati direttamente al consumo umano indirizzandoli ai Centri di Spedizione Molluschi (CSM).
- zona B: zone da cui i molluschi bivalvi vivi possono essere raccolti, ma possono essere immessi sul mercato ai fini del consumo umano soltanto dopo aver subito un trattamento in un centro di depurazione o previa stabulazione in modo da soddisfare i requisiti sanitari secondo le indicazioni della normativa relative ai requisiti microbiologici previsti per i molluschi (D. Lgs 152/1999).
- In alcune zone è presente anche una zona C: zone da cui i molluschi bivalvi vivi possono essere raccolti, ma possono essere immessi sul mercato soltanto previa





LIFE14 ENV/IT/000461

stabulazione di lunga durata (minimo due mesi), combinata o meno con la depurazione, o previa depurazione intensiva per un periodo da determinare.

### **3. Utilizzo del kit molecolare diagnostico per la stima dell'inquinamento da composti organici aromatici (PCB e IPA) del sedimento marino**

Il kit molecolare diagnostico è stato sviluppato nell'azione B6, incrociando i dati prodotti nelle azioni C1 (caratterizzazione chimica) e C2 (sequenziamento metagenomico) relativi ai campioni di sedimento delle due campagne ex-ante. In particolare, sono state individuate sequenze geniche altamente correlanti con il livello di inquinamento da PCB e IPA nei sedimenti. 20 di queste sono state selezionate come marcatori molecolari con buona efficienza di rilevamento e buona correlazione col livello di inquinamento nei campioni utilizzati in fase di validazione (provenienti dall'azione C2).

Dato il costo di analisi contenuto, tali marcatori possono essere utilizzati nei due seni del Mar Piccolo o in altri siti per una prima valutazione dello stato di salute dei sedimenti di aree di interesse, con la possibilità di creare una mappa di inquinamento da PCB e IPA, per delimitare le aree da trattare.

L'analisi basata su marcatori si articola nelle seguenti fasi:

- raccolta dei campioni mediante benna o sommozzatore;
- trasporto dei campioni in laboratorio (attrezzato per la manipolazione di acidi nucleici e dotato di strumento per analisi qPCR);
- estrazione, quantificazione e preparazione del DNA da ciascun campione;
- reazioni di qPCR: amplificazione dei 20 marcatori su ogni DNA estratto e su curva standard per la quantificazione del numero di copie di ogni marcatore;
- analisi dei risultati e indicazione dello stato di inquinamento stimato, in base a parametri stabiliti in fase di validazione dei marcatori.



ENEA  
CENTRO RICERCHE TIRASIA



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

## 4. Contaminanti di interesse

La presenza e distribuzione di inquinanti nei mari di Taranto è ormai nota da tempo. Diversi studi condotti nel corso degli anni da Arpa Puglia, Ispra e CNR-IRSA di Taranto, sulla contaminazione dell'area marina costiera hanno riguardato la caratterizzazione dei sedimenti marini ed, in particolare, il grado di contaminazione da inquinanti organici (IPA e PCB) e metalli. Le indagini di caratterizzazione dei sedimenti hanno evidenziato, specie nel Primo Seno del Mar Piccolo, area Arsenale M.M., una significativa contaminazione da mercurio e policlorobifenili (PCB).

Sulla base di quanto esposto risulta chiaro che uno dei problemi riscontrati in Mar Piccolo in questi ultimi anni è la diffusione della contaminazione dai sedimenti agli organismi acquatici e ai mitili in particolare. Infatti, nel Mar Piccolo, ed in particolare nel I Seno, è stata rilevata una contaminazione da PCB-DL e Diossine nei mitili, tale da impedirne la commercializzazione a causa del rischio sanitario (Regolamenti CE 1881/2006 e 1259/2011).

I fattori che influenzano la diffusione dei contaminanti in acqua e il successivo bioaccumulo nei mitili sono legati alla risospensione dei sedimenti a causa del moto ondoso, della scarsa profondità, della navigazione e della pesca a strascico non legalizzata. In questo contesto i sedimenti rivestono una importanza fondamentale, determinando il destino e gli effetti di una grande varietà di contaminanti, in quanto, oltre ad offrire un habitat per molti organismi, tendono ad accumulare elevate concentrazioni di composti tossici. In questo modo, i sedimenti fungono sia da riserva sia da fonte potenziale di contaminanti nella colonna di acqua. La presenza e distribuzione dei contaminanti ed il loro accumulo, nei sedimenti e nel biota dei Mari di Taranto, è potenzialmente legato anche a processi di trasporto attraverso acque sotterranee che sgorgano in Mar Piccolo e al dilavamento dei terreni inquinati.

Sulla base di quanto sino ad ora esposto risulta chiaro che uno dei problemi riscontrati in Mar Piccolo in questi ultimi anni possa essere la diffusione della contaminazione dai sedimenti agli organismi acquatici e ai mitili in particolare.

Di fatto, nel Mar Piccolo, ed in particolare nel I Seno, è stata rilevata e si continua a



ENEA  
CENTRO RICERCHE TERESA



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

rilevare una contaminazione da PCB-DL e Diossine nei mitili, tale da impedirne la commercializzazione a causa del rischio sanitario (Reg. UE 1259/2011).

## 5. Matrice da trattare

Sedimenti contaminati da PCB, IPA e metalli con una composizione granulometrica da sabbiosa-pelitica a pelitica.

## 6. Descrizione del procedimento di decontaminazione mediante Silt Removal Unit (SRU)

Come indicato nel Progetto, mediante lo Silt Removal Unit (SRU), che costituisce l'impianto pilota di decontaminazione da PCB, IPA e metalli pesanti, sono state condotte prove di funzionamento e analisi al fine di individuare le caratteristiche di efficienza e progettare un dimensionamento idoneo alla porzione di mare considerata.

La messa a punto di un nuovo assetto di impianto, concepito per differenti situazioni di contaminazione dei sedimenti, e il conseguente trattamento degli stessi nelle zone di nuova selezione, unitamente alle analisi di screening avanzato, rappresentano il completamento e la conseguente estensione del progetto Life for mar piccolo.

Di seguito alcune azioni standard che si ritiene necessario condurre in eventuali nuovi siti di interesse:



LIFE14 ENV/IT/000461

- valutazione della tipologia di sedimento
- valutazione della tipologia e della quantità di contaminanti presenti nel sedimento,
- valutazione della profondità e quindi quindi della quantità di sedimento da trattare,
- valutazione del volume da trattare (ovvero profondità del sito)
- individuazione della strategia separativa ottimale (sezioni filtranti e cut-off molecolari)
- individuazione della porzione rappresentativa dell'area da trattare
- definizione delle modalità di confinamento dell'area di interesse

a seguito di queste azioni preliminari quelle successive si intendono legate alle azioni di perimetrazione dell'aria di mare da bonificare in termini di :

- individuazione di un'area rappresentativa
- scelta dei sistemi di perimetrazioni ottimale (pannelli, palancole)
- posizionamento degli elementi di delimitazioni primari
- perimetrazione finale

A differenza di quanto sviluppato nel presente progetto, si prevede, in un'ottica di utilizzo standard della tecnologia, di confinare le due unità operative, quella mobile di risospensione e captazione e quella fissa di filtrazione MBR, a bordo di un natante autonomo.

Il sistema ad idrogetto, anch'esso opportunamente dimensionato in funzione della quantità del sedimento da trattare, sarà automatizzato per rendere costante ed efficace il processo di risospensione e captazione.

La tecnologia di filtrazione MBR potrà essere eventualmente implementata anche con altri sistemi di trattamento basati su processi a membrana (Ultra filtrazione o Nanofiltrazione) in rapporto anche alla tipologia di contaminanti presenti nel sito di riferimento. La facility di filtrazione sarà opportunamente dimensionata, in funzione della quantità del sedimento da trattare, dovrà essere corredata di sistemi di lavaggio/rigenerazione e controllo efficienza.



LIFE14 ENV/IT/000461

Nella tabella seguente sono elencati i parametri ottimizzati per ciclo di lavoro considerando una profondità inferiore a 5m.

Parameter	Value	Unit
Impeller position <sup>(1)</sup>	-50	cm
Impeller velocity	30	Hz
Uptake pipe position	-75	cm
Containment booms position	Lowered	-
Uptaking delivery	3,5	m <sup>3</sup> /h
Work cycle settings		
Impeller functioning time	2	min
Waiting time (sedimentation)	1	min
Uptaking time	20	min
Feeding pump time	21	Hz
Back-wash membrane frequency	24	n/g
Permeate pump inverter frequency	50	Hz
Permeate draining valve position <sup>(2)</sup>	Open	-
Raft position <sup>(3)</sup>	-	-

## 7. Monitoraggio chimico, chimico-fisico e molecolare

Al fine di verificare l'efficacia del processo di bonifica, è opportuno effettuare un monitoraggio integrato dei livelli di inquinanti prioritari all'interno del sito da bonificare prima (monitoraggio ex-ante), durante (monitoraggio in-itinere) e dopo (monitoraggio post-ante) il progetto di bonifica. Il monitoraggio è incentrato sia sulla verifica del grado di contaminazione di matrice quali sedimenti e acque, sia sulla valutazione della contaminazione di comunità biocenotiche presenti. Tale monitoraggio accoppia dati chimici di concentrazione a valutazioni ecologiche ed ecotossicologiche attraverso l'uso di indici di qualità riconosciuti a livello internazionale. L'accoppiamento di dati chimici a dati ecotossicologici consente la



ENEA  
CENTRO RICERCHE TERESA



GenLab

nova  
consulting



LIFE14 ENV/IT/000461

corretta valutazione dei livelli di contaminazione e dei risultati raggiunti nel processo di bonifica. Il numero delle campagne di campionamento nell'ambito del monitoraggio ex-ante, in itinere ed ex-post è in funzione dell'area da bonificare.

In parallelo al monitoraggio chimico, un dettagliato monitoraggio microbiologico basato su sequenziamento metagenomico consente di catalogare le popolazioni microbiche presenti nelle matrici esaminate. In particolare, l'approccio *shotgun* ultramassivo produce due tipi di informazione: tassonomica (microrganismi) e funzionale (geni). Questa tipologia di analisi prevede l'estrazione e la purificazione del DNA da campioni di sedimento o di acqua, caratterizzati da diverso grado di inquinamento organico e/o inorganico. Tali DNA sono utilizzati per la creazione di librerie di sequenziamento, successivamente processate con una profondità di circa 20 milioni di *read* per campione. Seguono due approcci di analisi bioinformatica, uno basato su sequenze singole (*read*) per la creazione di database tassonomici a vari livelli di profondità (da dominio a specie), l'altro su assemblaggio di sequenze (*contig*) per la creazione di database funzionali. Per ciascun campione saranno quindi disponibili il profilo chimico, quello tassonomico e quello funzionale. Per evidenziare come la presenza degli inquinanti influenzi l'ecosistema oggetto di studio, si procede alle analisi di correlazione tra dati chimici e dati biologici che consente di produrre database e network di correlazione specifici per ciascuna categoria di inquinante. All'interno di questi database si possono individuare gli elementi (microrganismi o geni) con più alto grado di correlazione positiva e negativa, che possono essere utilizzati sia per descrivere le dinamiche dell'ecosistema microbico in relazione a tipologia e grado di inquinamento, sia come indicatori dello stato di salute di ecosistemi con caratteristiche simili a quello oggetto di studio.

## BIBLIOGRAFIA



LIFE14 ENV/IT/000461

- Avdelas L, Avdic-Mravljje E, Borges Marques AC, Cano S, Capelle JJ, Carvalho N *et al.* (2021). The decline of mussel aquaculture in the European Union: causes, economic impacts and opportunities. *Reviews in aquaculture* 13, 91–118.
- Bosso, P. (2015). Dragaggi, il business dei Sin, *Informazioni Marittime*.
- Clement, R.W. (2005) The Lessons from Stakeholder Theory for U.S. Business Leaders, *Business Horizons*, 48, 255-264.
- Freeman, R.E. (1984) *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Cambridge University Press.
- Hillman, A.J., and Keim, G.D. (2001) Shareholder Value, Stakeholder Management, and Social Issues: What's the Bottom Line?, *Strategic Management Journal*, 22, 125-139.
- Nilson, P., and Fagerström, B. (2006) Managing Stakeholder Requirements in a Product Modelling System, *Computers in Industry*, 57, 167-177.
- Salam, M.A., and Noguchi, T. (2006) Evaluating Capacity Development for Participatory Forest Management in Bangladesh's Sal Forest based on '4Rs' Stakeholder Analysis, *Forest Policy and Economics*, 8, 785-796.
- Vandekerckhove, W., and Dentchev, N.A. (2005) A Network Perspective on Stakeholder Management: Facilitating Entrepreneurs in the Discovery of Opportunities, *Journal of Business Ethics*, 60, 221-232.
- Wheeler, D., and Sillanpää, M. (1998) Including the Stakeholders: The Business Case, *Long Range Planning*, 31 (2), 201-210.