

Progetto – Projet

GEREMIA - Gestione dei reflui per il miglioramento delle acque portuali



OUTPUT T3.1 - Applicazione misure di confinamento dei reflui

OUTPUT T3.1 - Application de mesures de confinement des rejets

Partner responsabile - Partenaire responsable : Università di Genova

Partner contributori - Partenaires contributeurs : Servizi Ecologici Porto di Genova Srl, Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino, Université de Toulon

SOMMARIO

<i>Descrizione dell'output</i>	1
<i>Description de l'ouput</i>	1
<i>Sintesi</i>	1
<i>Synthèse</i>	1
<i>1. Introduzione</i>	1
<i>2. Azione pilota di mycoremediation nel Porto di Genova</i>	2
2.1 Protocollo di selezione dei microfunghi e coltivazione in laboratorio dei micro- e macrofunghi individuati per il trattamento.....	2
2.2 Trattamento dell'acqua del Porto di Genova - Fase 1.....	4
2.2.1 Preparazione e messa in opera del trattamento.....	5
2.2.2 Risultati del trattamento.....	6
2.3 Trattamento dell'acqua del Porto di Genova - Fase 2.....	10
2.3.1 Preparazione delle panne.....	10
2.3.2 Installazione delle panne in Porto a Genova - Trattamento dei metalli.....	14
2.3.3 Risultati del trattamento dei metalli.....	30
<i>3. Installazione dei sistemi di contenimento degli inquinanti nel Porto di Genova</i>	37
1. Introduction.....	42
2. Action pilote de mycoremédiation dans le port de Gênes.....	43
2.1 Protocole de sélection des micro- mycètes et culture en laboratoire des micro et macro-mycètes identifiés pour le traitement.....	43
2.2 Traitement des eaux dans le port de Gênes - Phase 1.....	45
2.2.1 Préparation et mise en œuvre du traitement.....	46
2.2.2 Résultats du traitement.....	47
2.3 Traitement des eaux dans le port de Gênes - Phase 2.....	51
2.3.1 Préparation des barrages.....	51
2.3.2 Installation de barrages dans le port de Gênes - Traitement des métaux.....	54
2.3.3 Résultats du traitement des métaux.....	71
3. Installation de systèmes de confinement des polluants dans le port de Gênes.....	78

Descrizione dell'output

E' presentata l'installazione dei sistemi innovativi di mycoremediation composti da panne assorbenti addizionate con funghi marini/terrestri, e dei sistemi di segregazione installati nel Porto di Genova.

Description de l'ouput

Il est présenté l'installation de systèmes de mycorémédiation innovants composés de barrages absorbants et de champignons marins et terrestres, et de systèmes de confinement installés dans le port de Gênes.

Sintesi

Il presente documento riporta la descrizione delle attività pilota svolte all'interno del Porto di Genova per quanto riguarda la mycoremediation e i sistemi di segregazione degli inquinanti. E' quindi riportato di seguito il dettaglio delle seguenti attività:

- attività pilota di mycoremediation, che ha previsto la stesura di un protocollo di isolamento dei microfunghi a partire da matrici ambientali prelevate nel Porto di Genova e di coltivazione in laboratorio per l'azione pilota, e la posa a mare delle panne assorbenti arricchite con micro- e macro-funghi per la rimozione dei metalli presenti nell'acqua;
- installazione di un sistema di panne a barriera anti-inquinamento per la segregazione degli inquinanti in caso di emergenza da sversamento di inquinanti in porto.

Synthèse

Ce document présente la description des activités pilotes menées dans le Port de Gênes concernant les systèmes de mycorestauration et de séparation des polluants. Les détails des activités suivantes sont présentés ci-dessous :

- Activité pilote de mycorémédiation, qui comprenait la rédaction d'un protocole pour l'extraction de micromycètes des matrices environnementales prélevées dans le Port de Gênes et la culture en laboratoire pour l'action pilote, et l'installation en mer de nattes absorbantes enrichies en micro- et macro-mycètes pour l'élimination des métaux présents dans l'eau.
- Installation d'un système de barrages anti-pollution pour la séparation des polluants en cas d'urgence de déversements de polluants dans le port.

1. Introduzione

Uno degli *output* di Progetto previsti ha riguardato l'installazione di sistemi di *mycoremediation* e segregazione dei reflui all'interno di un ambiente marino portuale. Tale tecnologia, inserita nella componente di Azioni Pilota, aveva lo scopo di produrre effetti positivi sulla qualità delle acque sia su tempi a scala lunga (*mycoremediation* basata sull'utilizzo di panne assorbenti arricchite con funghi) sia su tempi a scala breve (sistemi di segregazione per interventi durante le emergenze). L'azione pilota di installazione di tali sistemi è stata realizzata nell'area portuale di Genova, ma i conseguenti effetti si risentiranno su scale spaziali molto più ampie delle sole acque portuali. Una migliore qualità delle acque interne ai porti diminuisce, infatti, l'impatto ambientale nelle regioni limitrofe anche su distanze molto grandi.

Riguardo alle installazioni di mico-risanamento e segregazione dei reflui, esistono molteplici soluzioni disponibili sul mercato i cui costi possono essere estremamente variabili, così come la loro efficacia. Nel prodotto T3.2.1 "Censimento metodi di *remediation*" di Progetto sono state dettagliatamente indagate ed esposte le soluzioni reperibili sul mercato e le attività svolte da enti di ricerca e non per il risanamento delle acque e dei sedimenti portuali e il contenimento degli inquinanti nei bacini portuali. L'idea del progetto GEREMIA è però andata oltre all'offerta disponibile, integrando diversi sistemi in modo da aumentarne la loro efficacia e la loro sostenibilità sia economica che ambientale. Con particolare riguardo alle installazioni di *mycoremediation*, le diverse competenze presenti all'interno del Partner Università di Genova (UNIGE) e Servizi Ecologici Porto di Genova (SEPG) hanno portato allo studio e alla vera e propria realizzazione di sistemi innovativi e sostenibili di panne assorbenti, arricchite con funghi capaci di un alto abbattimento di diversi inquinanti, soprattutto i metalli. Le installazioni di segregazione, concertate insieme alle autorità direttamente interessate e ai Partner di Progetto che si sono occupati della modellistica, rappresentano una realizzazione di Progetto che rimarrà a disposizione dei beneficiari del Porto di Genova in maniera permanente e ben oltre la durata del Progetto. Nello specifico un sistema di panne di contenimento è stato installato nel Porto di Genova e potrà essere utilizzato nell'eventualità di uno sversamento accidentale per il contenimento degli inquinanti.

Di seguito sono riportate nel dettaglio le attività svolte nel Porto di Genova.

2. Azione pilota di *mycoremediation* nel Porto di Genova

Il Progetto ha previsto la realizzazione e la messa in opera di panne assorbenti semi-galleggianti arricchite con micro- e macro-funghi per la rimozione degli inquinanti dalle acque portuali. Questi sistemi sono stati creati in particolare per la rimozione dei metalli dalle acque portuali.

A causa delle difficoltà incontrate durante la pandemia di Covid-19 e delle limitazioni alle attività e agli spostamenti imposte dalle restrizioni, l'attività pilota è stata suddivisa in due fasi diverse che si sono svolte in tempi diversi, onde garantire in ogni caso l'ottenimento di risultati validi per il Progetto. Sono state quindi previste una prima fase svolta in laboratorio presso i locali del DISTAV dell'Università di Genova che ha simulato (in scala ridotta) il trattamento dell'acqua portuale con un sistema assorbente arricchito con microfunghi e che ha garantito lo svolgimento di parte dell'attività pilota e l'ottenimento di risultati preliminari anche in regime di quarantena, e una seconda fase svolta nel Porto di Genova (a scala reale), quando le attività si sono potute svolgere sul campo. I due sistemi creati e messi in opera in laboratorio e in mare hanno avuto l'obiettivo di rimuovere i metalli dalle acque portuali genovesi.

Nei seguenti capitoli sono descritti i dettagli delle fasi di preparazione e di svolgimento sia in laboratorio sia in mare delle attività, e i risultati ottenuti.

2.1 Protocollo di selezione dei microfunghi e coltivazione in laboratorio dei micro- e macro-funghi individuati per il trattamento

Per i trattamenti, sono stati selezionati ceppi fungini alotolleranti (capaci di mantenere attività biologica e metabolica elevata anche in acque marine) sia autoctoni, sia alloctoni. Per quanto riguarda i funghi autoctoni si sono esaminati e studiati microfunghi isolati precedentemente dalle acque del Porto di Genova e già noti per le loro ottime proprietà biotecnologiche nell'accumulo di metalli ecotossici da matrici acquose contaminate. Per quanto riguarda invece

Ouput T3.1

i funghi alloctoni è stato deciso di saggiare ceppi di macrofunghi noti sia per essere ottimi bioaccumulatori di metalli, ma anche per essere capaci di crescere e tollerare alte concentrazioni di sali. La scelta di impiegare in questa tecnologia sia micro- che macrofunghi è stata dettata dal fatto che in letteratura applicazioni dirette in mare con tecnologie simili a quella qui proposta sono totalmente assenti. Pertanto, l'individuazione dei ceppi impiegabili è ricaduta da un lato su ceppi di funghi saprotrofi, non patogeni né per piante, né per animali, né per l'uomo, dall'altro è stata determinata anche dalle capacità di crescita dei funghi stessi in ambienti acquosi salati, sfruttando un substrato particolare.

Una volta effettuata la selezione di tutti i ceppi fungini, sono stati allestiti saggi preliminari e di conferma, per verificare l'effettiva capacità dei ceppi scelti di crescere ed essere metabolicamente attivi in ambienti con elevate concentrazioni di sale. I funghi sono stati inoculati in terreni di coltura specifici per la crescita fungina addizionati con acqua di mare e il loro tasso di crescita è stato monitorato settimanalmente. Questi saggi preliminari hanno permesso di giungere all'individuazione di un microfungo autoctono noto accumulatore di metalli appartenente al gruppo del *Trichoderma harzianum* Rifai, precedentemente isolato dalle acque del Porto di Genova e conservato nella micoteca CoLD DISTAV-UNIGE afferente al MIRRI-IT. E due ceppi di macrofunghi: *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor*, conservati nella collezione di macromiceti del Laboratorio di Micologia del DISTAV.

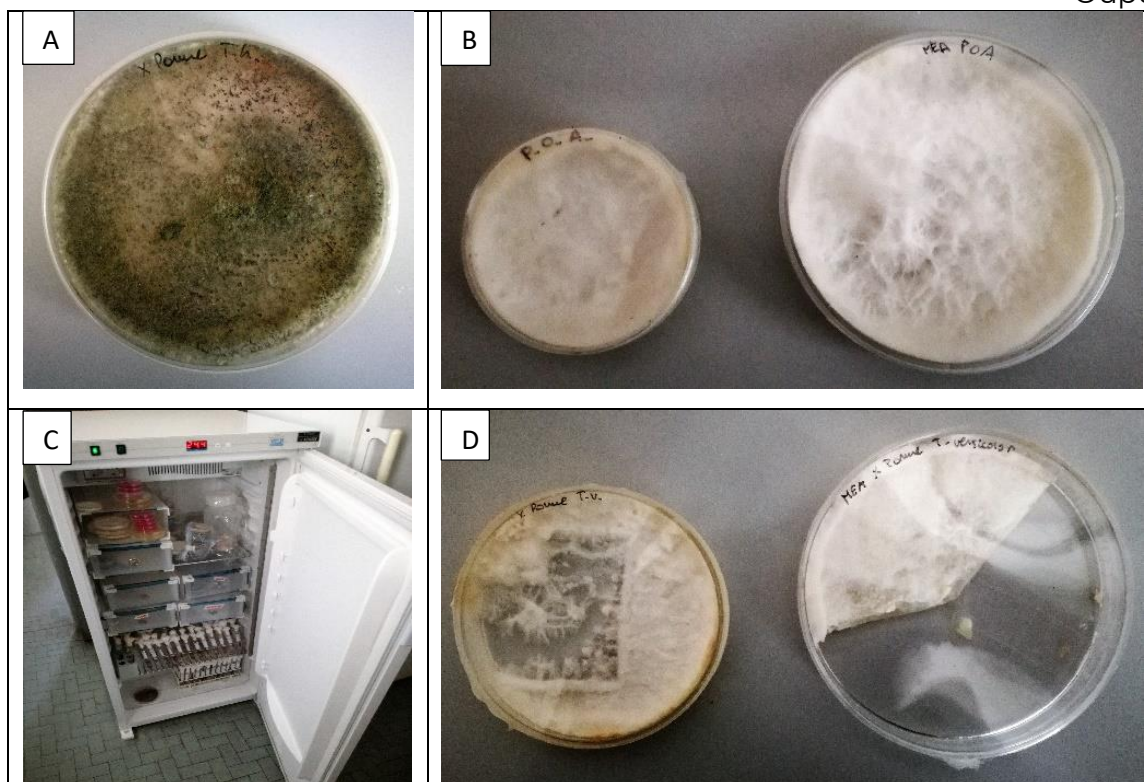


Fig. 2.1.1 A) coltura di *T. harzianum*; B) colture di *P. ostreatus*; C) incubatore tarato a 24°C; D) colture di *T. versicolor*.

All'attività hanno partecipato Mirca Zotti, Marco Capello, Grazia Cecchi e Laura Cutroneo per UNIGE-DISTAV.

2.2 Trattamento dell'acqua del Porto di Genova - Fase 1

I saggi di trattamento effettuati nel Laboratorio di Micologia del DISTAV e afferenti alla Fase 1 del progetto, avevano lo scopo di saggiare in microcosmo, *in vitro*, le effettive capacità di accumulare i metalli disciolti nelle acque marine da parte dei ceppi fungini precedentemente selezionati.

2.2.1 Preparazione e messa in opera del trattamento

Inizialmente, si è proceduto con la realizzazione di colture liquide a base di malto (250 ml ciascuna) inoculate con porzioni di fungo prelevate da colture pure di circa 7/10 giorni di età dei funghi prescelti. I ceppi fungini selezionati per questo saggio sono stati: *P. ostreatus* e *T. harzianum*. Le beute contenenti tali colture liquide sono state poste in agitazione a 100 rpm per 14 giorni, in modo da ottenere una crescita ottimale di biomassa fungina sottoforma di *pellets*. Una volta appurata la crescita e la formazione dei *pellets*, la biomassa è stata filtrata, eliminando il brodo di coltura residuo e raccogliendo la biomassa fungina in appositi contenitori di tela microforata, in modo da permettere l'areazione del micelio, ma così da evitare la perdita e/o la fuoriuscita della biomassa fungina dai pori stessi.

Parallelamente, sono state preparate bottiglie da 500 mL contenenti acqua marina sterilizzata contaminata artificialmente con sali di Ni e Cu. La contaminazione dell'acqua è stata eseguita ispirandosi ai limiti previsti dal DM 56/2009 e basandosi sulle concentrazioni reali di questi metalli nelle acque del Porto di Genova (Ni= 0,5 µg/L; Cu= 0,97 µg/L). Sulla base di questi dati, è stato deciso di aggiungere circa 100 µg/L di ciascun metallo all'acqua.

Una volta preparate le bottiglie, contenenti l'acqua marina addizionata con i metalli, i sacchetti contenenti la biomassa fungina sono stati immersi nell'acqua, e le bottiglie sono state poste in agitazione per 15 giorni a velocità 100 rpm.

Alla fine del trattamento la biomassa fungina è stata raccolta, pesata e disidratata in stufa a 40°. Successivamente è stato misurato il peso secco e, infine, i campioni sono stati inviati al laboratorio di analisi Lifeanalytics s.r.l. per verificare l'accumulo di metalli. Insieme ai test, sono stati inviati i campioni relativi ai saggi di controllo, in cui i sacchetti contenenti la biomassa fungina sono stati immersi in acqua marina non contenente metalli addizionati artificialmente (Fig. 2.2.1).



Figura 2.2.1 A) Filtraggio dei *pellets* fungini ed eliminazione del brodo di coltura in eccesso; B) allestimento di sacchetti microporosi contenenti biomassa fungina; C) immersione dei sacchetti in bottiglie contenenti acqua marina contaminata e non; D) mantenimento delle bottiglie in agitazione per 15 giorni.

2.2.2 Risultati del trattamento

Di seguito sono elencati i valori relativi ai pesi freschi e secchi dei campioni di biomassa fungina esposti alle acque contaminate da metalli e alle acque di controllo, in duplice replica.

Tabella 2.2.1 Valori relativi ai pesi freschi e secchi dei campioni analizzati. GE-C-PO= campione di controllo biomassa *P. ostreatus* (replica 1 e 2); GE-T-PO= campione test di biomassa *P. ostreatus* (replica 1 e 2); GE-C-TH= campione di controllo biomassa *T. harzianum* (replica 1 e 2); GE-T-TH= campione test di biomassa *T. harzianum* (replica 1 e 2).

	Pesi freschi	Pesi secchi
GE-C-PO-1	94.8 g	5.6 g
GE-C-PO-2	77.5 g	5.8 g
GE-T-PO-1	57.1 g	4.6 g
GE-T-PO-2	62.7 g	4.8 g
GE-C-TH-1	31.4 g	4.5 g
GE-C-TH-2	29.8 g	4.1 g
GE-T-TH-1	37.4 g	4.5 g
GE-T-TH-2	31.5 g	4.2 g

Sulla base dei pesi secchi riscontrati sono stati, inoltre, calcolati i valori di Indice di Tolleranza (IT) dei ceppi fungini. L'IT corrisponde al rapporto tra il valore medio dei pesi secchi dei campioni oggetto di trattamento e il valore medio dei pesi secchi dei campioni di controllo.

I risultati sono stati riassunti nella tabella seguente.

Tabella 2.2.2 Valori di IT relativi alle specie *P. ostreatus* (GE-PO) e *T. harzianum* (GE-TH).

ETICHETTE CAMPIONI	IT
GE-PO	0,82
GE-TH	1,03

I valori ottenuti di IT dimostrano come entrambi i ceppi selezionati siano capaci di sopravvivere efficacemente, e di conseguenza di tollerare, acque marine contaminate, sviluppando una biomassa del tutto confrontabile e/o, nel caso del *T. harzianum* di poco superiore, a quella dei saggi di controllo.

I risultati delle analisi chimiche ICP-MS condotte sulla biomassa fungina e sulle acque di trattamento sono riportati nella tabella seguente (Tabella 2.2.3). I dati ottenuti hanno permesso

Ouput T3.1

di evidenziare che i ceppi fungini selezionati hanno la capacità di bioconcentrare attivamente metalli presenti anche in traccia, es. Cu, Ni e Zn, nelle acque, all'interno della biomassa stessa. Inoltre, questo si verifica anche in acque marine apparentemente poco contaminate, come quelle selezionate per la realizzazione dei controlli, in cui non sono stati addizionati ulteriori aliquote di metalli pesanti, ma da cui i funghi sono comunque stati capaci di bio-estrarre gli ioni metallici presenti anche in basse concentrazioni talvolta irrilevabili per lo strumento di analisi.

Ouput T3.1

Tabella 2.2.3 La tabella riassume i valori espressi in mg/L del contenuto in metalli per tutti i campioni esaminati, corredati di errore standard. Le etichette riportate si riferiscono ai seguenti campioni: GE-PF-AQ= acqua marina non contaminata (controllo); GE-0-AQ= acqua marina contaminata artificialmente in laboratorio (test); GE-T-PO-AQ= acque di trattamento con *P. ostreatus*; GE-T-PO= biomassa di *P. ostreatus* dopo l'immersione in acque contaminate; GE-C-PO-AQ= acque di controllo trattate con *P. ostreatus*; GE-C-PO= biomassa di *P. ostreatus* dopo l'immersione in acque di controllo. GE-T-TH-AQ= acque di trattamento con *T. harzianum*; GE-T-TH= biomassa fungina di *T. harzianum* dopo il trattamento; GE-C-TH-AQ= acque di controllo trattate con *T. harzianum*; GE-C-TH= biomassa di *T. harzianum* dopo l'immersione in acque di controllo. Nd= valore al di sotto del limite di rilevabilità dello strumento di analisi (non determinato).

	GE-PF-AQ	GE-0-AQ	GE-T-PO-AQ		GE-T-PO		GE-C-PO-AQ		GE-C-PO		GE-T-TH-AQ		GE-T-TH		GE-C-TH-AQ		GE-C-TH	
Metalli			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Al	nd	nd	Nd	24±2	20,47±2,05	18,17±1,8	Nd	26±2	15,21±1,5	13,56±1,36	nd	nd	17,31±1,73	25,48±2,55	nd	nd	32,02±3,20	23,08±2,31
Sb	nd	nd	Nd	nd	3,4±0,3	1,9±0,2	Nd	Nd	1,8±0,2	1,3±0,1	nd	nd	nd	1,1±0,1	nd	nd	1,8±0,2	1,0±0,1
As	3±1	2±1	1±1	2±1	Nd	nd	2±1	2±1	nd	nd	2±1	2±1	0,2±0,1	nd	2±1	1±1	nd	nd
Cd	nd	nd	Nd	4,9±0,4	Nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	Nd	nd	0,4±0,1	0,4±0,1	Nd	Nd	0,2±0,1	0,3±0,1	nd	nd	0,4±0,1	0,4±0,1	nd	nd	0,5±0,1	0,4±0,1
Fe	nd	43±4	116±9	266±21	55,0±5,5	45,2±4,5	313±25	152±12	80,7±8,1	44,8±4,5	nd	16±1	24,3±1,9	33,2±3,3	15±1	nd	51,9±5,2	53,9±5,4
Mn	13±1	28±2	34±3	115±9	4,1±0,4	3,6±0,4	119±10	140±11	2,5±0,3	3,0±0,3	18±1	124±10	4,4±0,4	4,1±0,4	110±9	45±4	4,7±0,5	5,2±0,5
Hg	nd	nd	Nd	nd	Nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	5±1	9±1	Nd	2±1	1,3±0,1	1,2±0,1	4±1	10±1	4,3±0,4	3,8±0,4	nd	nd	1,4±0,1	1,5±0,2	nd	nd	1,3±0,1	0,8±0,1
Pb	6±1	5±1	4±1	4±1	nd	nd	4±1	3±1	0,8±0,1	0,9±0,1	5±1	4±1	0,1±0,1	nd	nd	nd	nd	0,2±0,1
Cu	nd	nd	16±1	10±2	10,3±0,8	13,6±1,4	25±2	13±1	23,1±1,8	27,3±2,2	nd	nd	5,8±0,5	7,5±0,6	nd	nd	8,3±0,7	8,2±0,7
Zn	24±2	16 ± 3	49±4	52±4	33,5±3,4	32,7±3,3	97±8	113±9	21,6±2,2	41,9±4,2	14±1	19±2	32,8±3,3	49,2±4,9	23±2	33±3	65,5±6,6	49,5±5,0

2.3 Trattamento dell'acqua del Porto di Genova - Fase 2

2.3.1 Preparazione delle panne

Di seguito è riportata una rapida descrizione della struttura delle panne assorbenti e del loro funzionamento.

Le panne assorbenti scelte per l'attività pilota hanno una dimensione di 30x20 cm (Fig. 2.3.1) e sono costituite da materiale inerte. All'interno di queste panne, il materiale assorbente è stato sostituito da scarti vegetali non trattati chimicamente, addizionati con micelio di funghi sia macro sia micro. I macrofunghi utilizzati sono specie comuni e innocue per la salute umana e non rappresentano un pericolo neppure per l'ambiente, non essendo in alcun modo patogeni. I microfunghi, come già descritto nel precedente capitolo, sono stati precedentemente isolati dall'acqua di mare campionata nel Porto di Genova e coltivati in laboratorio. I microfunghi scelti per l'azione pilota sono quindi già naturalmente presenti nell'ambiente marino del Porto di Genova e non costituiscono una specie aliena. Inoltre, le specie selezionate dalla micoflora marina genovese non sono pericolose né nocive per l'uomo o per l'ambiente.



Fig. 2.3.1 - Panna assorbente.

Ouput T3.1

Come precedentemente descritto, i funghi sono stati fatti crescere su un substrato costituito da materiale vegetale idoneo a favorire il loro sviluppo. In particolare, una volta preparato e sterilizzato in idonei sacchetti di contenimento il materiale vegetale, quest'ultimo è stato inoculato con porzioni di micelio dei funghi selezionati. Infine, i sacchetti inoculati sono stati incubati al buio a 24°C per un mese, per far sì che i funghi potessero crescere attivamente sul substrato e colonizzarlo. Onde ottenere risultati apprezzabili, poter confrontare i risultati finali e verificare la reale efficienza del metodo ideato e applicato in GEREMIA, si è scelto di predisporre e posizionare in acqua le panne assorbenti in tre serie diverse: panne assorbenti tal quali, panne assorbenti costituite solo dal materiale con scarti vegetali impiegato come *starter* per i funghi, mico-panne assorbenti riempite di materiale vegetale misto a micelio fungino (Fig. 2.3.2).



Fig. 2.3.2 – Preparazione delle panne in laboratorio.

Ouput T3.1

Sono state quindi predisposte tre serie di panne assorbenti all'interno delle quali erano presenti tutti e tre le tipologie di panne predisposte. Le panne sono state legate tramite una cima a formare una serie lineare e assicurate alla banchina in modo da evitare la loro dispersione in porto (Fig. 2.3.3-2.3.4).

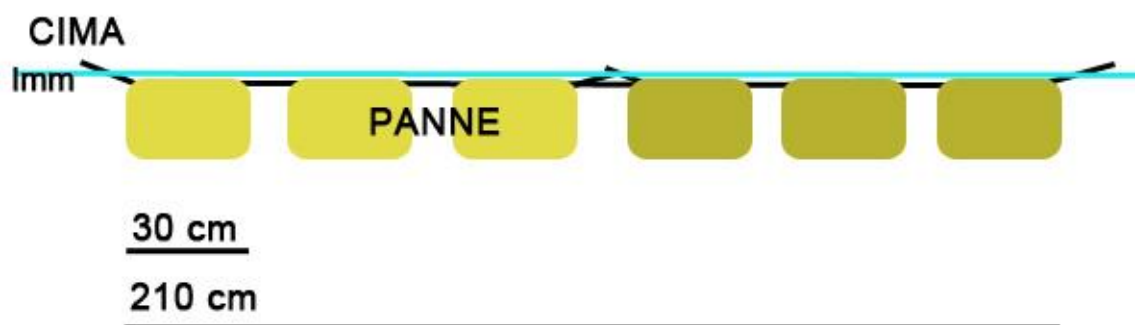


Fig. 2.3.3 - Schema della serie di panne.



Fig. 2.3.4 – Preparazione delle serie di panne assorbenti.

Ouput T3.1

Come sito per l'installazione delle serie di panne è stato scelto lo specchio acqueo in concessione alla SEPG all'interno del Porto di Genova. L'area in concessione alla SEPG è riportata nelle Fig. 2.3.5-2.3.6.



Fig. 2.3.5 – Porto di Genova. Nel cerchio rosso è mostrata la posizione dell'area interessata dall'azione pilota.



Fig. 2.3.6 - Area in concessione a SEPG.

2.3.2 Installazione delle panne in Porto a Genova - Trattamento dei metalli

Il posizionamento delle serie di panne in Porto a Genova è avvenuto in momenti diversi nel corso del progetto, come precedentemente discusso. Tuttavia, il protocollo di preparazione, allestimento, collocamento, monitoraggio e campionamento è stato il medesimo per ciascuna serie.

Le panne, infatti, sono state raccolte e campionate dopo 15 e 30 giorni dall'allestimento *in situ* e il loro contenuto è stato campionato in triplice replica, e inviato al laboratorio di analisi chimiche Lifeanalytics s.r.l. per verificare il contenuto in metalli. Ad ogni scadenza temporale, sono state campionate anche le acque stesse del Porto, in modo da avere sempre anche le analisi chimiche relative al loro contenuto in metalli, per poter calcolare così una stima di un valore medio di contaminazione da metalli in Porto, che tuttavia risulta solamente indicativo, dal momento che tali valori subiscono molte fluttuazioni a causa di molteplici fattori.

In data 9 dicembre 2020, sono state posizionate in Porto a Genova le prime tre serie di tre panne assorbenti per l'attività pilota di *mycoremediation* prevista dal Progetto GEREMIA. All'attività hanno partecipato Marco Capello, Laura Cutroneo e Grazia Cecchi per UNIGE-DISTAV, e Francesca Spotorno, Andrea Dorigo e Nicolò Bernini per SEPG.

Le serie sono state posizionate all'interno dello specchio acqueo in concessione alla SEPG (Fig. 2.3.7), lungo la banchina a sud-est dell'area.

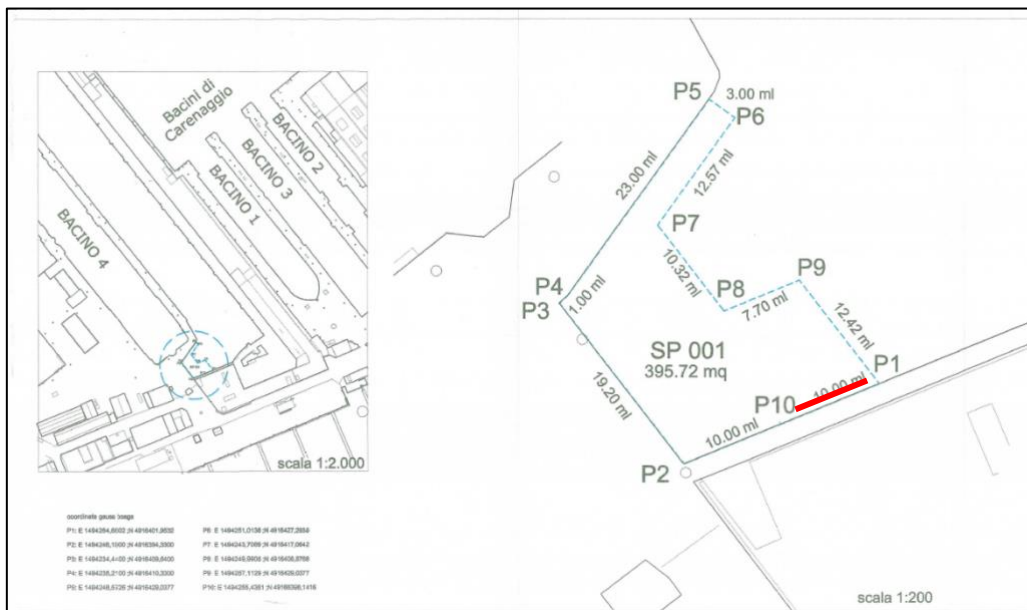


Fig. 2.3.7 - Area in concessione a SEPG. In rosso la posizione delle serie di cuscini installate.

Le serie di cuscini sono state fissate in maniera lineare lungo la banchina tramite una cima, fissata ad anelli metallici presenti sulla banchina ad intervalli di tre cuscini. In questo modo le serie sono state mantenute il più possibile vicino alla banchina (Fig. 2.3.8), così da non essere pericolose per il transito delle imbarcazioni. Il tratto scelto della banchina era sgombro dall'ormeggio delle imbarcazioni della SEPG. Inoltre, il colore giallo dei cuscini garantisce una buona visibilità degli stessi.



Fig. 2.3.8 - Fissaggio della cima con i cuscini alla banchina.

In prossimità delle serie di panne è stato installato uno striscione con il logo del Progetto (Fig. 2.3.9-2.3.10) in maniera che fosse visibile e in modo da evidenziare che l'attività era svolta nell'ambito nel Progetto.



Fig. 2.3.9 - Striscione del Progetto e riferimenti telefonici da contattare in caso di necessità.



Fig. 2.3.10 - Cuscini e striscione visti dal molo di fronte.

Il cronoprogramma dell'attività pilota ha previsto alcune ispezioni al sito dell'attività pilota durante il primo periodo immediatamente dopo la posa a mare in modo da verificare l'integrità delle panne e il loro corretto posizionamento, e successivamente tre prelievi in date specifiche: la prima serie da tre cuscini è stata recuperata il 21 dicembre 2020, la seconda l'8 gennaio 2021.

Non è stato possibile recuperare la terza serie in quanto l'azione del mare ne ha compromesso l'integrità. Il fungo saggiato in questa prima serie di panne è stato il *Trametes versicolor*.

11 Dicembre 2020

L'11 dicembre è stata effettuata la prima ispezione dell'integrità delle serie di cuscini assorbenti e della loro corretta posizione. Alcune foto scattate durante l'ispezione sono riportate di seguito (Fig. 2.3.11-2.3.13).

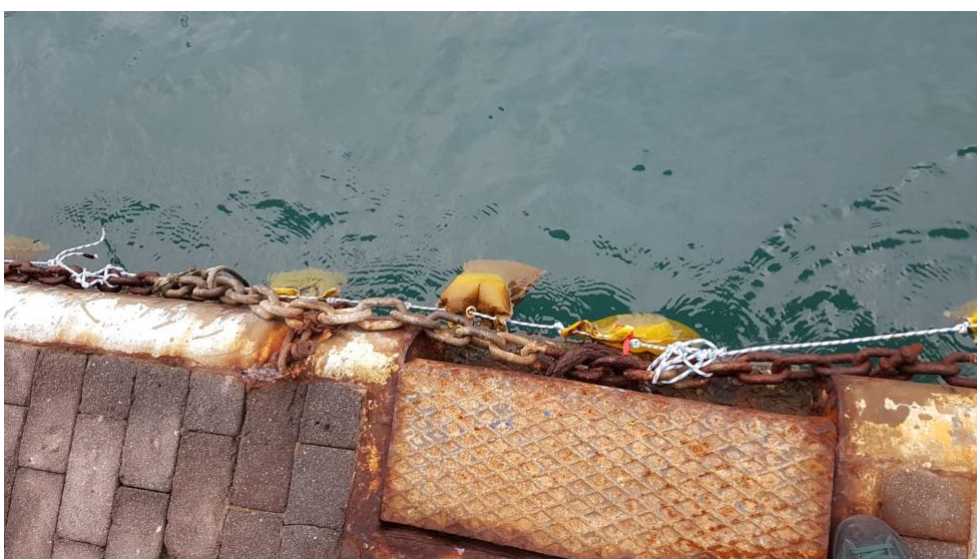


Fig. 2.3.11 – Ispezione alle panne.



Fig. 2.3.12 – Ispezione alla panne.



Fig. 2.3.13 – Ispezione alle panne.

16 Dicembre 2020

Il 16 dicembre è stata effettuata una seconda ispezione dell'integrità delle serie di cuscini assorbenti e della loro corretta posizione. Di seguito sono riportate alcune fotografie scattate sul sito (Fig. 2.3.14-2.3.16).

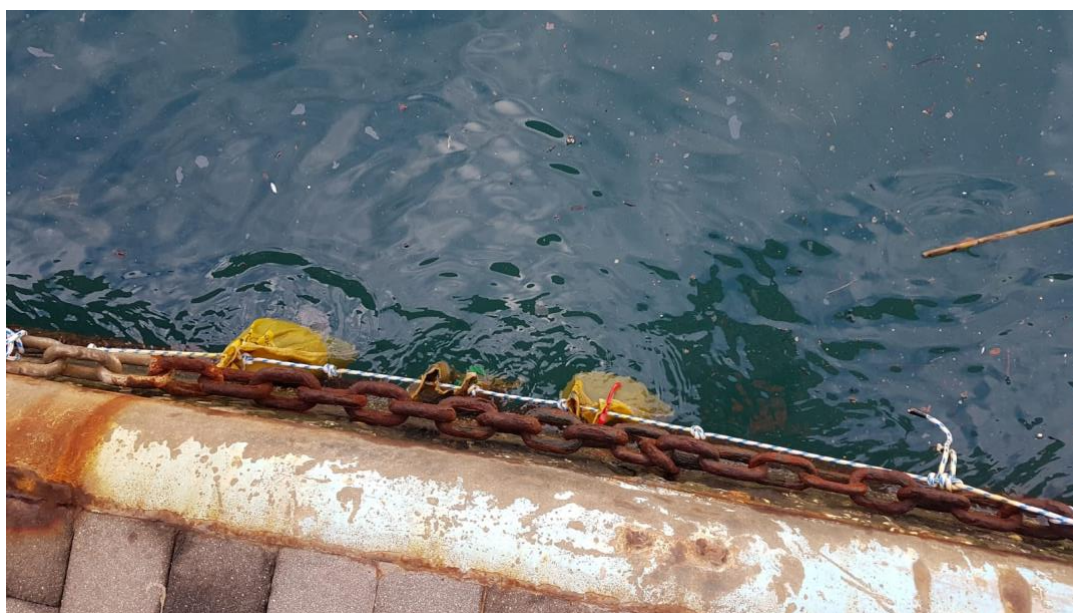


Fig. 2.3.14 – Ispezione alle panne.



Fig. 2.3.15 – Ispezione alle panne.

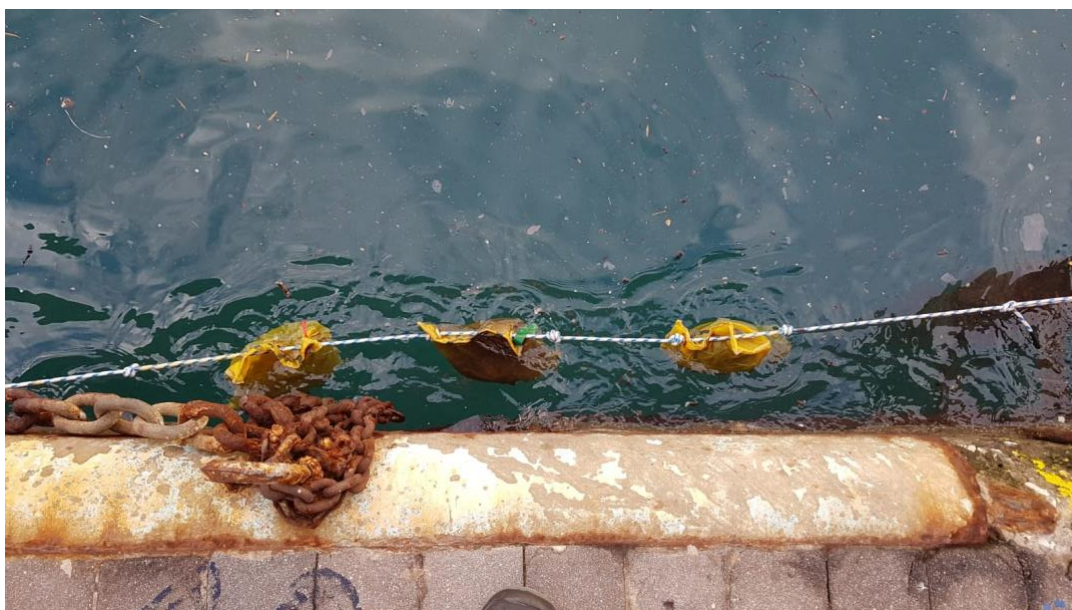


Fig. 2.3.16 – Ispezione alle panne.

21 Dicembre 2020

Il 21 dicembre è stata recuperata la prima serie di cuscini e sono stati prelevati i campioni per le analisi chimiche. Di seguito sono riportate alcune fotografie scattate sul sito (Fig. 2.3.17-2.3.19) e alcune foto dei campioni preparati (2.3.20-2.3.21).



Fig. 2.3.17 – Recupero cuscini.

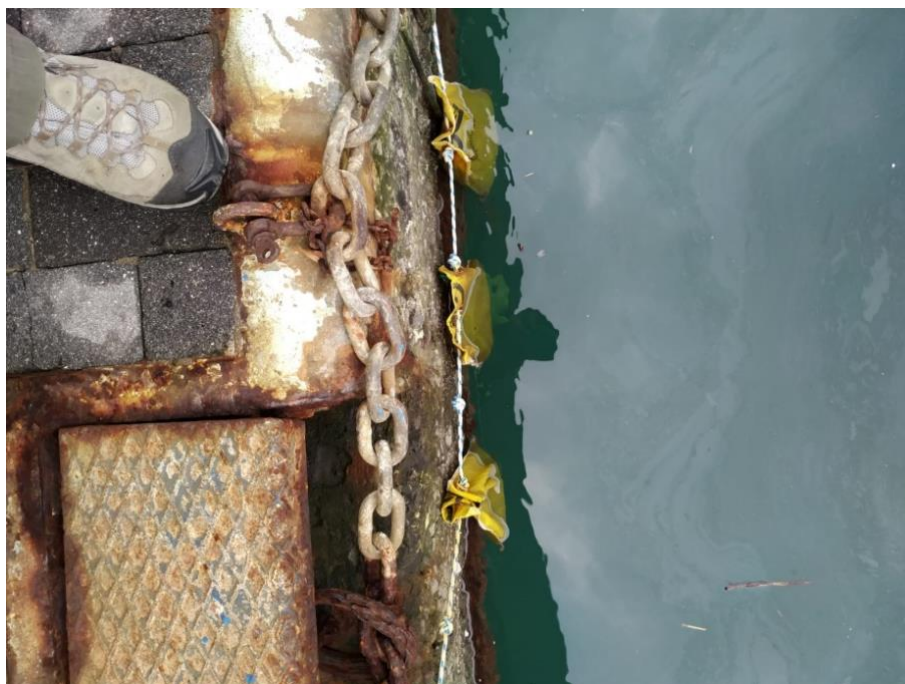


Fig. 2.3.18 – Recupero cuscini.



Fig. 2.3.19 – Recupero cuscini.



Fig. 2.3.20 – Prelievo dei campioni.



Fig. 2.3.21 – Prelievo dei campioni.

8 Gennaio 2021

L'8 Gennaio è stata recuperata la seconda serie di cuscini e sono stati preparati i relativi campioni per le analisi chimiche. Purtroppo, l'azione del moto ondoso ha rovinato i cuscini che hanno perso in parte il proprio contenuto, pertanto è stata possibile produrre il numero totale di campioni previsti. Inoltre, è stata ritirata anche la terza serie, in quanto inutile lasciarla in acqua. Di seguito sono riportate alcune fotografie scattate sul sito (Fig. 2.3.22).

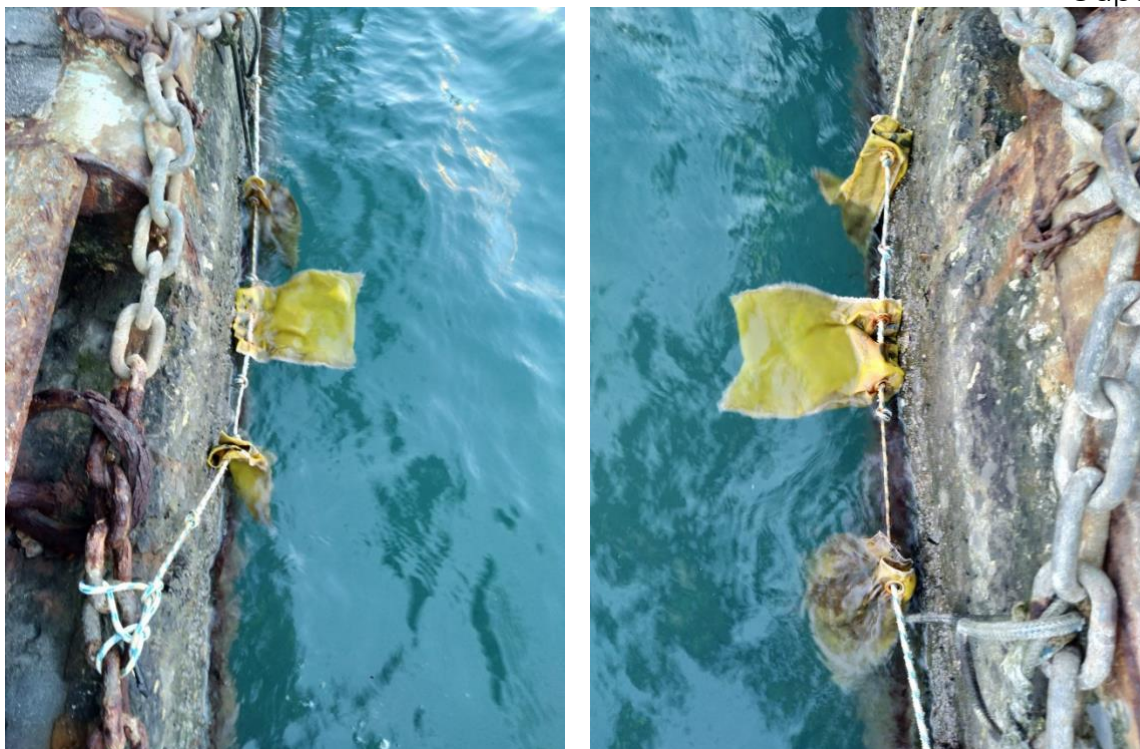


Fig. 2.3.22 – Ritiro seconda e terza serie danneggiate.

21 Maggio 2021

Il 21 maggio sono state installate le altre due serie di micro-panne assorbenti costituite da *P. ostreatus* e *T. harzianum* autoctono. In questa occasione, per evitare il danneggiamento delle panne, come accaduto nella prima serie, i cuscini assorbenti sono stati disposti a circa 60 cm di distanza dalla banchina grazie a specifici supporti, in modo tale che muovendosi nelle acque non collidessero con il muro della banchina stessa rischiando di essere lacerate. In questa occasione, inoltre sono stati prelevati campioni di acqua da sottoporre alle analisi chimiche di monitoraggio del contenuto in metalli.



Fig. 2.3.23 - Installazione delle panne assorbenti.



Fig. 2.3.24 - Installazione delle panne assorbenti.

4 Giugno 2021

In data 4 giugno, è stata raccolta la serie di panne per ciascun fungo saggiato relativa ai 15 giorni di trattamento, oltre all'acqua del Porto. I cuscini assorbenti, portati in laboratorio, sono stati aperti e il loro contenuto è stato campionato in triplicato. I campioni sono stati inviati al laboratorio di analisi chimiche per analizzarne il contenuto in metalli.



Fig. 2.3.25 - Panne al momento del recupero della prima serie.



Fig. 2.3.26 - Panne al momento del prelievo dei campioni in laboratorio.



Fig. 2.3.27 - Panne al momento del prelievo dei campioni in laboratorio.

21 Giugno 2021

In data 21 giugno, è stata raccolta la serie di panne per ciascun fungo saggiato relativa ai 30 giorni di trattamento, oltre all'acqua del Porto. I cuscini assorbenti, portati in laboratorio, sono stati aperti e il loro contenuto è stato campionato in triplicato. I campioni sono stati inviati al laboratorio di analisi chimiche per analizzarne il contenuto in metalli.



Fig. 2.3.28 - Panne al momento del prelievo in porto.



Fig. 2.3.29 - Panne al momento del prelievo in porto.

2.3.3 Risultati del trattamento dei metalli

I risultati delle analisi chimiche ICP-MS relative alle concentrazioni di metalli presenti nelle panne sono riportati di seguito. Le serie sono state distinte in base alle specie fungine saggiate. I valori di metalli presenti nelle acque sono espressi come $\mu\text{g/L}$, mentre quelli presenti nelle panne sono espressi in mg/Kg .

Per quanto riguarda la prima serie a *T. versicolor*, sfortunatamente, i dati relativi al trattamento di 30 giorni delle acque sono incompleti per i motivi sopra citati.

La tabella seguente riporta i valori di controllo iniziali delle concentrazioni di metalli presenti sia nelle acque del Porto, sia nel materiale impiegato per la realizzazione delle mico-panne a *T. versicolor*, sia nelle panne assorbenti commerciali.

Tabella 2.3.1 Dati relativi alla concentrazione di metalli nelle acque del Porto di Genova (GE-0-AQ), nelle panne commerciali saggiate (GR-GE-0-PA), nelle panne costituite solamente da substrato vegetale impiegato per la crescita fungina (GR-GE-0-SE), e nelle panne costituite dal substrato vegetale inoculato con *T. versicolor* (GR-GE-0-TV), prima dell'allestimento in porto delle serie.

Metalli	GE-0-AQ	GR-GE-0-PA	GR-GE-0-SE	GR-GE-0-TV
Al	nd	46991,30 \pm 3759,30	9,05 \pm 0,72	42,09 \pm 3,37
Sb	nd	nd	nd	nd
As	1 \pm 1	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	7,4 \pm 0,6	0,2 \pm 0,1	nd
Fe	nd	47003,9 \pm 3760,2	17,1 \pm 1,4	9,6 \pm 0,8
Mn	nd	1106,5 \pm 88,5	8,6 \pm 0,7	4,5 \pm 0,4
Hg	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	2,0 \pm 0,2	0,9 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
Pb	nd	3,3 \pm 0,3	0,6 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1
Cu	nd	4,9 \pm 0,4	1,9 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1
Zn	20 \pm 2	82,5 \pm 8,3	17,2 \pm 1,4	10,6 \pm 0,8

Di seguito vengono riportate le tabelle relative alle analisi chimiche della prima serie di panne raccolte dopo 15 giorni e 30 giorni di trattamento con *T. versicolor*.

Ouput T3.1

Tabella 2.3.2 Risultati delle analisi del contenuto in metalli dopo 15 gg di trattamento in triplicato. Nd= non rilevato; GR-GE-1-AQ= acque del Porto; GR-GE-1-PA= panne commerciali; GR-GE-1-SE= panne di solo materiale vegetale; GR-GE-1-TV= panne inoculate con *T. versicolor*.

Metalli	GR-GE-1-AQ			GR-GE-1-PA			GR-GE-1-SE			GR-GE-1-TV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	6221,10±497,69	7861,80±628,9	8433,00±674,64	14,13±1,13	21,86±1,75	19,33±1,55	37,49±3,00	33,85±2,71	59,84±4,79
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	2±1	2±1	1±1	nd	nd	nd	0,1±0,1	0,2±0,1	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr Tot	nd	7±1	7±1	1,1±0,1	1,5±0,1	1,6±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1
Fe	nd	nd	nd	6793,1±543,4	8506,9±680,6	9037,4±723,0	24,8±2,0	54,9±4,4	46,6±3,7	50,0±4,0	35,8±2,9	65,1±5,2
Mn	nd	nd	nd	152,5±12,2	189,7±15,2	203,7±16,3	1,6±0,1	1,5±0,1	1,9±0,2	2,2±0,2	1,7±0,1	2,5±0,2
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	0,6±0,1	0,6±0,1	0,8±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,5±0,1
Pb	nd	nd	nd	0,8±0,1	1,6±0,1	0,8±0,1	0,9±0,1	1,8±0,1	1,6±0,1	0,6±0,1	1,2±0,1	2,1±0,2
Cu	nd	nd	nd	2,1±0,2	2,9±0,2	2,0±0,2	5,0±0,4	11,8±0,9	10,0±0,8	4,3±0,3	6,9±0,6	11,9±1,0
Zn	48±4	48±4	47±4	17,5±1,8	20,0±1,6	20,4±2,0	15,3±1,4	15,9±1,3	17,1±1,4	13,7±1,1	15,2±1,2	22,2±1,8

Tabella 2.3.3 Risultati delle analisi del contenuto in metalli dopo 30 gg di trattamento in triplicato. Nd= non rilevato; GR-GE-2-AQ= acque del Porto; GR-GE-2-PA= panne commerciali; GR-GE-2-TV= panne inoculate con *T. versicolor*.

Metalli	GR-GE-2-AQ			GR-GE-2-PA			GR-GE-2-TV
	1	2	3	1	2	3	1
Al	nd	nd	nd	9342,00±747,36	11279,20±902,34	7789,00±623,12	60,04±4,80
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	2±1	3±1	2±1	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr Tot	nd	nd	nd	1,6±0,1	2,1±0,2	1,4±0,1	0,6±0,1
Fe	nd	nd	nd	10177,5±814,2	11981,4±958,5	8363,0±669,0	112,5±9,0
Mn	nd	nd	nd	229,3±18,3	271,7±21,7	187,2±15,0	3,3±0,3
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	0,9±0,1	1,0±0,1	0,7±0,1	0,6±0,1
Pb	nd	nd	nd	1,1±0,1	1,2±0,096	0,8±0,1	1,6±0,1
Cu	nd	nd	nd	2,8±0,2	2,8±0,1	2,0±0,2	4,9±0,4
Zn	24±2	19±2	22±2	22,5±2,3	28,4±2,8	20,9±2,0	16,1±1,3

Per quanto riguarda la seconda serie a *T. harzianum* e *P. ostreatus*, i dati delle analisi chimiche del contenuto in metalli e i valori di controllo iniziali delle concentrazioni di metalli presenti sia nelle acque del Porto, sia nel materiale impiegato per la realizzazione delle myco-panne, sia nelle panne assorbenti commerciali, sono riportati di seguito.

Ouput T3.1

Tabella 2.3.4 Dati relativi alla concentrazione di metalli nelle acque del Porto di Genova (GE-0-AQ), nelle panne commerciali saggiate (GR-GE-0-PA), nelle panne costituite solamente da substrato vegetale impiegato per la crescita fungina (GR-GE-0-SE), e nelle panne costituite dal substrato vegetale inoculato con *T. harzianum* (GR-GE-0-TH) e *P. ostreatus* (GR-GE-0-PO), prima dell'allestimento in porto delle serie.

	GE-0-AQ			GR-GE-0-PA			GR-GE-0-SE			GR-GE-0-TH			GR-GE-0-PO		
Metalli	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	6,3	5,9	5,5	11,1	12,9	11,6	8,7	12,7	11,5	8,1	15,8	45,7
Sb	6,6	6	2,9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	3	3	3	0,7	0,5	0,3	nd	0,2	nd	0,1	nd	0,3	nd	nd	0,2
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,1	0,2
Fe	12	35	13	4,6	5,3	3,2	26,1	30,8	21,6	15,6	21,5	19,5	22,5	29,1	76,3
Mn	nd	nd	nd	1,5	1,4	1,7	12,1	13,5	13,7	11,2	12,6	12,6	14,7	30	73,4
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	nd	0,2	0,4	0,7
Pb	nd	nd	nd	1,6	nd	11,6	0,2	0,1	nd	nd	0,2	nd	0,1	0,3	0,4
Cu	nd	nd	nd	5,2	0,2	2,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	2,8	2,3	2,4
Zn	22	11	nd	1,7	0,7	1,4	2,5	2,6	2,5	1,6	3,4	3,1	9,5	8,5	10,4

Ouput T3.1

Tabella 2.3.5 Risultati delle analisi del contenuto in metalli dopo 15 gg di trattamento in triplicato. Nd= non rilevato; GR-GE-1-AQ= acque del Porto; GR-GE-1-PA= panne commerciali; GR-GE-1-SE= panne di solo materiale vegetale; GR-GE-1-TH= panne inoculate con *T. harzianum*; GR-GE-1-PO= panne inoculate con *P. ostreatus*.

Metalli	GE-1-AQ			GR-GE-1-PA			GR-GE-1-SE			GR-GE-1-TH			GR-GE-1-PO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	61,9	42,2	33	5	14,47	9,4	15,7	8,3	12,1	27,3	25,8	20,4
Sb	2,4	1,9	1,8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	3	3	3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	nd	0,5	0,4	0,3	nd	0,1	nd	nd	nd	nd	0,2	0,2	nd
Fe	nd	nd	nd	212,9	194,4	168,4	33,1	30,9	17,7	21,4	14	22,1	49,3	43,9	27,6
Mn	nd	nd	nd	6	4,8	4,2	1,7	1,5	1,2	1,2	1	1	2,1	2,2	1,4
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	5	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	nd	0,1	0,1	0,3	0,3	3,3	0,2
Pb	nd	nd	nd	2,7	2,4	1,9	0,5	0,8	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,6	0,4
Cu	nd	nd	nd	6,9	5,8	4,3	1,5	2,2	0,8	1,3	1	1,5	2,8	2,3	2
Zn	17	15	17	12,8	13,1	10,4	5,3	7,1	3,5	5,1	5,1	6,2	8	9	8,9

Ouput T3.1

Tabella 2.3.6 Risultati delle analisi del contenuto in metalli dopo 30 gg di trattamento in triplicato. Nd= non rilevato; GR-GE-2-AQ= acque del Porto; GR-GE-2-PA= panne commerciali; GR-GE-2-TH= panne inoculate con *T. harzianum*; GR-GE-2-PO= panne inoculate con *P. ostreatus*.

Metalli	GE-2-AQ			GR-GE-2-PA			GR-GE-2-SE			GR-GE-2-TH			GR-GE-2-PO		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	5,7	5,7	93,7	7,1	15	7,8	3,1	16,3	19,4	31,3	22,9	27,1
Sb	1,5	1,5	1,4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	3	3	4	0,2	0,3	0,4	0,2	nd	0,1	nd	nd	nd	0,3	0,2	0,2
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	nd	nd	nd	0,9	nd	0,1	nd	nd	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Fe	nd	nd	11	22,2	20,5	553,4	15,7	39,9	18,3	nd	151,2	59,4	55	42,4	37,6
Mn	nd	8	nd	2,4	1,8	11,7	0,9	1,4	1	nd	1,2	1,6	1,6	1,2	1,4
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	4	13	15	nd	nd	1,1	nd	0,1	nd	nd	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2
Pb	nd	nd	nd	0,3	0,5	5,9	0,2	0,7	0,4	nd	0,7	0,8	0,5	0,3	0,3
Cu	nd	nd	nd	1,3	1,5	11,9	1	4	1,5	nd	4,7	6,4	2,4	1,9	1,4
Zn	nd	nd	19	1,1	1,7	45,2	2,3	9,6	3,6	nd	8,5	9,4	10,2	8,1	6,1

3. Installazione dei sistemi di contenimento degli inquinanti nel Porto di Genova

Servizi Ecologici Porto di Genova si è occupata di realizzare opere di segregazione all'interno del Porto di Genova, utilizzando i risultati degli studi del monitoraggio e delle modellizzazioni sviluppate durante lo svolgersi del progetto. Tali segregazioni hanno lo scopo di confinare eventuali inquinamenti dovuti ad acque reflue provenienti da sversamenti accidentali di idrocarburi, inquinamento dovuto ai torrenti e ai rii che sfociano in porto, acque reflue non coltate, etc. Le postazioni sono distribuite all'interno dell'area portuale seguendo le indicazioni derivanti dalla modellizzazione, in modo da intervenire in modo tempestivo ed efficace.



Figura 3.1 Installazioni dei sistemi di segregazione.

Il primo step, propedeutico all'acquisto e all'installazione dei sistemi, è stato lo studio dello stato dell'arte sui metodi di segregazione presenti attualmente sul mercato. Normalmente si opera con postazioni di panne installate direttamente sulle imbarcazioni oppure dislocate su rulli in diverse postazioni all'interno dell'area portuale. Queste vengono poi utilizzate per segregare le zone inquinate tramite ancoraggio sul fondo oppure ancoraggio alle banchine.



Figura 3.2 Panne installate su una imbarcazione (a sinistra) e dislocate su rulli su una banchina portuale (a destra).

I cestelli contenenti le panne sono posizionati nell'area in concessione alla SEPG così da aver a disposizione la quantità di panne necessaria alle operazioni di chiusura, in zona sempre accessibile e facilmente raggiungibile dagli operatori addetti.

Oltre ai cestelli l'intervento ha previsto il montaggio di coulisse in testata alle banchine presenti nel Canale di Sampierdarena all'interno del Porto di Genova, come mostrato nella seguente figura.

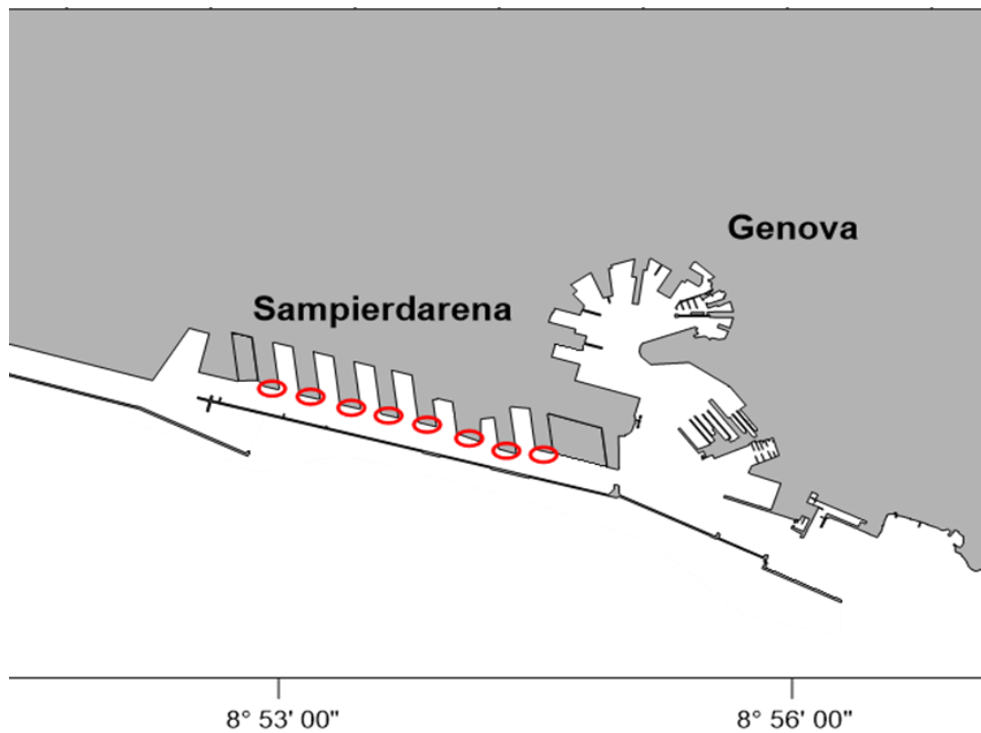


Figura 3.3 Moli interessati dalla installazione delle coulisse nel Canale di Sampierdarena.

Il binario, di acciaio inox, di lunghezza di circa m 1 è stato installato sulla murata della banchina tramite tasselli chimici. Una parte della coulisse (circa 30 cm) risulta essere sommersa mentre la restante parte (circa 20cm) è nella parte emersa. Tali coulisse servono come aggancio per le barriere portuali. Tali barriere, infatti, hanno alle loro estremità due connessioni rapide, da far scorrere dentro le coulisse: questo permette una chiusura più veloce e soprattutto stagna, rispetto ai sistemi di segregazione normalmente utilizzati.



Figura 3.4 Dettaglio delle coulisse installate sui moli nel Canale di Sampierdarena.

Ouput T3.1

L'installazione di questi sistemi di segregazione permetterà un intervento più rapido, grazie all'utilizzo dei cestelli a rapido dispiegamento, ed efficace in caso di sversamento di idrocarburi o altri inquinanti, in quanto permetterà di segregare solo le porzioni direttamente interessate dallo sversamento, in maniera più stagna di quanto possibile in questo momento con gli attuali sistemi di segregazione, grazie all'utilizzo delle coulisse e delle barriere provviste dei necessari agganci dispiegati sui moli del porto. I nuovi sistemi di segregazione, uniti all'utilizzo del DSS (Decision Support System), altro prodotto delle attività del Progetto GEREMIA che, grazie all'utilizzo della modellistica per l'interpretazione e la previsione del comportamento degli inquinanti in base alle condizioni al contorno (condizioni meteo, correnti, etc), darà indicazioni rispetto a dove intervenire, permetteranno un intervento più mirato nel circoscrivere la dispersione e più efficace nell'impiego delle risorse (operatori, imbarcazioni e panne) a disposizione.

1. Introduction

L'un des résultats prévus du projet concernait l'installation de systèmes de mycoremédiation et de confinements de rejets déversés dans un environnement marin portuaire. Cette technologie, incluse dans le volet des actions pilotes, devait produire des effets positifs sur la qualité de l'eau tant à long terme (mycoremédiation basée sur l'utilisation des barrages absorbants enrichis en mycètes) qu'à court terme (systèmes de confinement permettant d'intervenir en cas d'urgence). L'action pilote pour l'installation de ces systèmes a été réalisée dans la zone portuaire de Gênes, mais les effets conséquents se feront sentir à des échelles spatiales beaucoup plus larges que les seules eaux portuaires. L'amélioration de la qualité de l'eau dans les ports réduit l'impact environnemental dans les régions voisines, même sur de très grandes distances.

En ce qui concerne les installations de mycorestauration et de séparation des eaux usées, il existe de nombreuses solutions disponibles sur le marché dont les coûts peuvent être extrêmement variables, de même que leur efficacité. Dans le produit T3.2.1 " Application des systèmes de confinement " du projet, les solutions disponibles sur le marché et les activités menées par des organismes de recherche et autres pour l'assainissement des eaux et des sédiments portuaires et le confinement des polluants dans les bassins portuaires ont été étudiées en détail. L'idée du projet GEREMIA va toutefois au-delà de l'offre disponible, en intégrant différents systèmes afin d'accroître leur efficacité et leur durabilité économique et environnementale. En ce qui concerne plus particulièrement les installations de mycoremédiation, les différentes compétences présentes au sein de l'Université de Gênes (UNIGE) et des Servizi Ecologici Porto di Genova (SEPG) ont conduit à l'étude et à la mise en œuvre effective de systèmes innovants et durables de barrages absorbants, enrichis de mycètes capables d'une forte réduction de divers polluants, en particulier des métaux. Les installations de confinement, concertées avec les autorités directement concernées et les Partenaires du Projet qui étaient responsables de la modélisation, représentent une réalisation du Projet qui restera à la disposition des bénéficiaires du Port de Gênes sur une base permanente et bien au-delà de la durée du Projet. Plus précisément, un système de barrages

de confinement a été installé dans le port de Gênes et peut être utilisé en cas de déversement accidentel pour contenir les polluants.

Les activités menées dans le port de Gênes sont détaillées ci-dessous.

2. Action pilote de mycoremédiation dans le port de Gênes

Le projet prévoyait la construction et la mise en œuvre de barrages absorbantes semi-flottantes enrichies en micro- et macro- mycètes pour l'élimination des polluants des eaux portuaires. Ces systèmes ont été créés en particulier pour l'élimination des métaux dans les eaux portuaires.

En raison des difficultés rencontrées pendant la pandémie de Covid-19 et des restrictions imposées aux activités et aux déplacements, l'activité pilote a été divisée en deux phases différentes qui se sont déroulées à des moments différents, afin de garantir dans chaque cas l'obtention de résultats valables pour le projet. La première phase a été réalisée dans le laboratoire du DISTAV de l'Université de Gênes, qui a simulé (à échelle réduite) le traitement des eaux portuaires avec un système absorbant enrichi de microfungus et qui a garanti la réalisation d'une partie de l'activité pilote et l'obtention de résultats préliminaires également dans un régime de quarantaine, et une deuxième phase a été réalisée dans le port de Gênes (à échelle réelle), lorsque les activités ont pu être réalisées sur le terrain. Les deux systèmes créés et mis en œuvre en laboratoire et en mer avaient pour objectif d'éliminer les métaux des eaux du port de Gênes.

Les chapitres suivants décrivent les détails des phases de préparation et de mise en œuvre, tant en laboratoire qu'en mer, des activités et des résultats obtenus.

2.1 Protocole de sélection des micro- mycètes et culture en laboratoire des micro et macro- mycètes identifiés pour le traitement.

Pour les traitements, des souches fongiques halotolérantes autochtones et allochtones (capables de maintenir une activité biologique et métabolique élevée même dans les eaux

marines) ont été sélectionnées. En ce qui concerne les mycètes autochtones, des micro-mycètes précédemment isolés des eaux du port de Gênes et déjà connus pour leurs excellentes propriétés biotechnologiques dans l'accumulation de métaux écotoxiques à partir de matrices aqueuses contaminées ont été examinés et étudiés. En ce qui concerne les mycètes allochtones, il a été décidé de tester des souches de macro-mycètes connues non seulement pour être d'excellents bioaccumulateurs de métaux, mais aussi pour être capables de se développer et de tolérer des concentrations élevées de sels. La décision d'utiliser à la fois des micro- et des macro-mycètes dans cette technologie a été dictée par le fait que les applications directes en mer avec des technologies similaires à celle proposée ici sont totalement absentes dans la littérature. L'identification des souches utilisables a donc porté d'une part sur les mycètes saprotrophes, qui ne sont pas pathogènes pour les plantes, les animaux ou l'homme, et d'autre part sur la capacité de croissance des mycètes eux-mêmes en milieu aqueux salé, en utilisant un substrat particulier.

Une fois toutes les souches fongiques sélectionnées, des tests préliminaires et de confirmation ont été effectués pour vérifier la capacité des souches sélectionnées à se développer et à être métaboliquement actives dans des environnements à forte concentration de sel. Les mycètes ont été inoculés dans des milieux de culture spécifiques pour la croissance fongique avec ajout d'eau de mer et leur taux de croissance a été suivi chaque semaine. Ces tests préliminaires ont conduit à l'identification d'un micro mycète autochtone connu pour être un accumulateur de métaux appartenant au groupe *Trichoderma harzianum* Rifai, précédemment isolé des eaux du port de Gênes et conservé dans la mycothèque CoID DISTAV-UNIGE appartenant à MIRRI-IT. Et deux souches de macro-mycètes: *Pleurotus ostreatus* et *Trametes versicolor*, conservées dans la collection de macromycètes du laboratoire de mycologie du DISTAV.

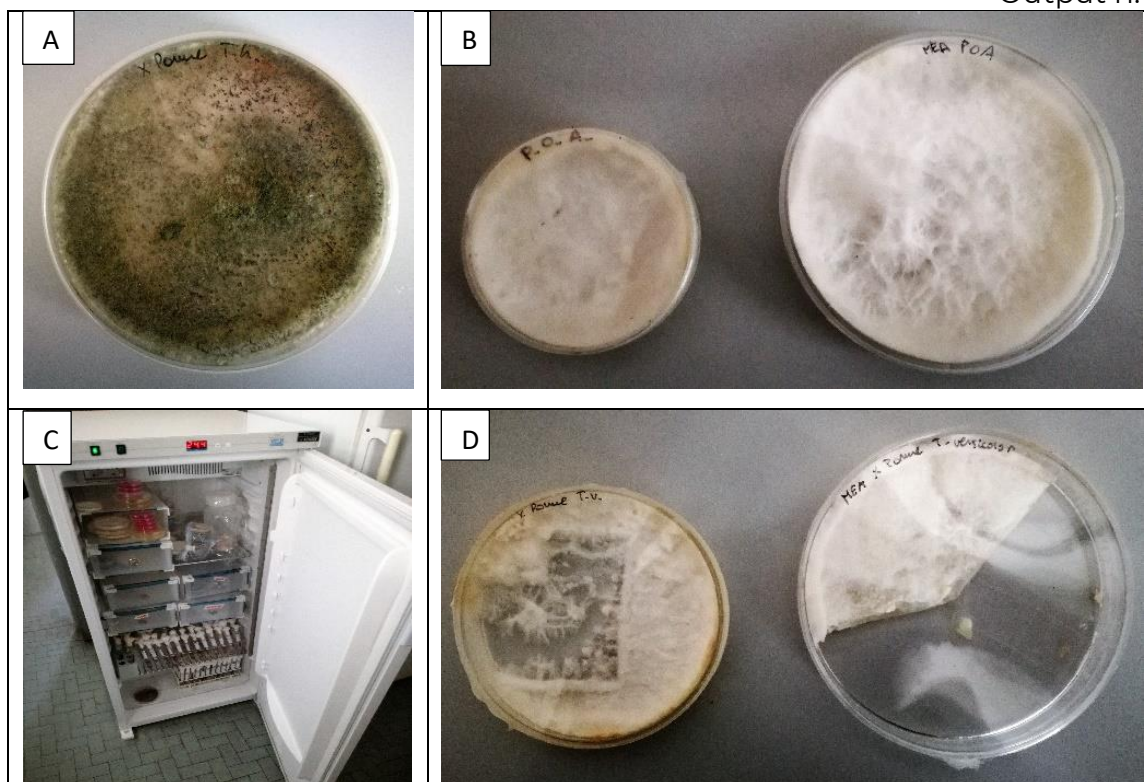


Fig. 2.1.1 A) culture de *T. harzianum* ; B) cultures de *P. ostreatus* ; C) incubateur réglé à 24°C ; D) cultures de *T. versicolor*.

Ont participé à cette activité Mirca Zotti, Marco Capello, Grazia Cecchi et Laura Cutroneo pour l'UNIGE-DISTAV.

2.2 Traitement des eaux dans le port de Gênes - Phase 1

Les essais de traitement réalisés dans le laboratoire de mycologie de la DISTAV et liés à la phase 1 du projet, avaient pour but de tester en microcosme, in vitro, la capacité effective des souches fongiques précédemment sélectionnées à accumuler les métaux dissous dans les eaux marines.

2.2.1 Préparation et mise en œuvre du traitement

Au départ, des cultures de malt liquide (250 ml chacune) ont été inoculées avec des portions de mycètes prélevées sur des cultures pures âgées d'environ 7/10 jours des mycètes sélectionnés. Les souches fongiques sélectionnées pour ce test étaient : *P. ostreatus* et *T. harzianum*. Les flacons Erlenmeyer contenant ces cultures liquides ont été agités à 100 rpm pendant 14 jours pour obtenir une croissance optimale de la biomasse fongique sous forme de granulés. Une fois la croissance et la formation des granulés établies, la biomasse a été filtrée en éliminant le bouillon de culture résiduel et en recueillant la biomasse fongique dans des récipients spéciaux en tissu micro-perforé, de manière à permettre l'aération du mycélium, mais aussi à éviter la perte et/ou la fuite de la biomasse fongique par les pores eux-mêmes.

En même temps, des bouteilles de 500 ml contenant de l'eau de mer stérilisée et artificiellement contaminée par des sels de Ni et de Cu ont été préparées. La contamination de l'eau a été effectuée selon les limites fixées par le décret ministériel 56/2009 et sur la base des concentrations réelles de ces métaux dans l'eau du port de Gênes (Ni= 0,5 µg/L ; Cu= 0,97 µg/L). Sur la base de ces données, il a été décidé d'ajouter environ 100 µg/L de chaque métal à l'eau.

Une fois les bouteilles contenant l'eau de mer additionnée de métal préparées, les sacs contenant la biomasse fongique ont été immergés dans l'eau et les bouteilles ont été agitées pendant 15 jours à une vitesse de 100 tours par minute.

A la fin du traitement, la biomasse fongique a été collectée, pesée et déshydratée dans un four à 40°. Ensuite, le poids sec a été mesuré et enfin, les échantillons ont été envoyés au laboratoire de test de Lifeanalytics s.r.l. pour vérifier l'accumulation de métaux. En même temps que les tests, des échantillons ont été envoyés pour les tests de contrôle, dans lesquels les sacs contenant la biomasse fongique ont été immergés dans de l'eau de mer ne contenant aucun métal ajouté artificiellement (Fig. 2.2.1).



Fig. 2.2.1 A) Filtration des granulés fongiques et élimination de l'excès de bouillon de culture ;
 B) préparation de sacs microporeux contenant la biomasse fongique ; C) immersion des sacs
 dans des bouteilles contenant de l'eau de mer contaminée et non contaminée ; D) maintien
 des bouteilles sous agitation pendant 15 jours.

2.2.2 Résultats du traitement

Les valeurs des poids frais et secs des échantillons de biomasse fongique exposés à des eaux
 contaminées par des métaux et à des eaux témoins sont indiquées ci-dessous en double
 exemplaire.

Tableau 2.2.1 Valeurs relatives aux poids frais et sec des échantillons analysés. GE-C-PO= échantillon témoin de la biomasse de *P. ostreatus* (répliques 1 et 2) ; GE-T-PO= échantillon test de la biomasse de *P. ostreatus* (répliques 1 et 2) ; GE-C-TH= échantillon témoin de la biomasse de *T. harzianum* (répliques 1 et 2) ; GE-T-TH= échantillon test de la biomasse de *T. harzianum* (répliques 1 et 2).

	Poids frais	Poids sec
GE-C-PO-1	94.8 g	5.6 g
GE-C-PO-2	77.5 g	5.8 g
GE-T-PO-1	57.1 g	4.6 g
GE-T-PO-2	62.7 g	4.8 g
GE-C-TH-1	31.4 g	4.5 g
GE-C-TH-2	29.8 g	4.1 g
GE-T-TH-1	37.4 g	4.5 g
GE-T-TH-2	31.5 g	4.2 g

L'indice de tolérance (IT) des souches fongiques a été calculé sur la base des poids secs. L'IT correspond au rapport entre la valeur moyenne des poids secs des échantillons traités et la valeur moyenne des poids secs des échantillons témoins.

Les résultats ont été résumés dans le tableau suivant.

Tableau 2.2.2 Valeurs IT pour les espèces *P. ostreatus* (GE-PO) et *T. harzianum* (GE-TH).

ÉTIQUETTES D'ÉCHANTILLONS	IT
GE-PO	0,82
GE-TH	1,03

Les valeurs IT obtenues montrent que les deux souches sélectionnées sont capables de survivre efficacement, et donc de tolérer l'eau de mer contaminée, en développant une biomasse tout à fait comparable et/ou, dans le cas de *T. harzianum*, légèrement supérieure à celle des essais témoins.

Les résultats des analyses chimiques ICP-MS effectuées sur la biomasse fongique et l'eau de traitement sont reportés dans le tableau suivant (Tableau 2.2.3). Les données obtenues ont montré que les souches fongiques sélectionnées ont la capacité de bioconcentrer activement les métaux, y compris les métaux traces, par exemple Cu, Ni et Zn, dans l'eau au sein même de la biomasse. De plus, cela se produit même dans des eaux marines apparemment non contaminées, telles que celles choisies pour les contrôles, dans lesquelles aucune aliquote supplémentaire de métaux lourds n'a été ajoutée, mais à partir desquelles les champignons ont néanmoins été capables de bio-extraire les ions métalliques présents, même à de faibles concentrations parfois indétectables par l'instrument d'analyse.

Output n. T3.2.2

Tableau 2.2. Le tableau résume les valeurs exprimées en mg/L de la teneur en métaux pour tous les échantillons testés, ainsi que l'erreur standard. Les étiquettes indiquées se rapportent aux échantillons suivants : GE-PF-AQ= eau de mer non contaminée (contrôle) ; GE-0-AQ= eau de mer artificiellement contaminée en laboratoire (test) ; GE-T-PO-AQ= eau traitée avec *P. ostreatus* ; GE-T-PO= biomasse de *P. ostreatus* après immersion dans l'eau contaminée ; GE-C-PO-AQ= eau de contrôle traitée avec *P. ostreatus* ; GE-C-PO= biomasse de *P. ostreatus* après immersion dans l'eau de contrôle. GE-T-TH-AQ= eau traitée avec *T. harzianum* ; GE-T-TH= biomasse fongique de *T. harzianum* après traitement ; GE-C-TH-AQ= eau témoin traitée avec *T. harzianum* ; GE-C-TH= biomasse de *T. harzianum* après immersion dans l'eau témoin. Nd= valeur inférieure à la limite de détection de l'instrument d'analyse (non déterminée).

	GE-PF-AQ	GE-0-AQ	GE-T-PO-AQ		GE-T-PO		GE-C-PO-AQ		GE-C-PO		GE-T-TH-AQ		GE-T-TH		GE-C-TH-AQ		GE-C-TH	
Metaux			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Al	nd	nd	Nd	24±2	20,47±2,05	18,17±1,8	Nd	26±2	15,21±1,5	13,56±1,36	nd	nd	17,31±1,73	25,48±2,55	nd	nd	32,02±3,20	23,08±2,31
Sb	nd	nd	Nd	nd	3,4±0,3	1,9±0,2	Nd	Nd	1,8±0,2	1,3±0,1	nd	nd	nd	1,1±0,1	nd	nd	1,8±0,2	1,0±0,1
As	3±1	2±1	1±1	2±1	Nd	nd	2±1	2±1	nd	nd	2±1	2±1	0,2±0,1	nd	2±1	1±1	nd	nd
Cd	nd	nd	Nd	4,9±0,4	Nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	Nd	nd	0,4±0,1	0,4±0,1	Nd	Nd	0,2±0,1	0,3±0,1	nd	nd	0,4±0,1	0,4±0,1	nd	nd	0,5±0,1	0,4±0,1
Fe	nd	43±4	116±9	266±21	55,0±5,5	45,2±4,5	313±25	152±12	80,7±8,1	44,8±4,5	nd	16±1	24,3±1,9	33,2±3,3	15±1	nd	51,9±5,2	53,9±5,4
Mn	13±1	28±2	34±3	115±9	4,1±0,4	3,6±0,4	119±10	140±11	2,5±0,3	3,0±0,3	18±1	124±10	4,4±0,4	4,1±0,4	110±9	45±4	4,7±0,5	5,2±0,5
Hg	nd	nd	Nd	nd	Nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	5±1	9±1	Nd	2±1	1,3±0,1	1,2±0,1	4±1	10±1	4,3±0,4	3,8±0,4	nd	nd	1,4±0,1	1,5±0,2	nd	nd	1,3±0,1	0,8±0,1
Pb	6±1	5±1	4±1	4±1	nd	nd	4±1	3±1	0,8±0,1	0,9±0,1	5±1	4±1	0,1±0,1	nd	nd	nd	nd	0,2±0,1
Cu	nd	nd	16±1	10±2	10,3±0,8	13,6±1,4	25±2	13±1	23,1±1,8	27,3±2,2	nd	nd	5,8±0,5	7,5±0,6	nd	nd	8,3±0,7	8,2±0,7
Zn	24±2	16 ± 3	49±4	52±4	33,5±3,4	32,7±3,3	97±8	113±9	21,6±2,2	41,9±4,2	14±1	19±2	32,8±3,3	49,2±4,9	23±2	33±3	65,5±6,6	49,5±5,0

2.3 Traitement des eaux dans le port de Gênes - Phase 2

2.3.1 Préparation des barrages

Voici une brève description de la structure des barrages absorbants et de leur fonctionnement.

Les barrages absorbants choisis pour l'activité pilote ont une taille de 30x20 cm (Fig. 2.3.1) et sont fabriqués en matériau inerte. À l'intérieur de ces tapis, le matériau absorbant a été remplacé par des déchets végétaux non traités chimiquement, avec l'ajout de mycélium macro- et micro-fongique. Les macromycètes utilisés sont des espèces communes, inoffensives pour la santé humaine et ne représentant pas non plus un danger pour l'environnement, car elles ne sont en aucun cas pathogènes. Les micromycètes, décrits dans le chapitre précédent, ont été préalablement isolés de l'eau de mer prélevée dans le port de Gênes et cultivés en laboratoire. Les micromycètes choisis pour l'action pilote sont donc déjà naturellement présents dans l'environnement marin du port de Gênes et ne constituent pas une espèce exotique. De plus, les espèces sélectionnées dans la mycoflore marine génoise ne sont ni dangereuses ni nuisibles pour l'homme ou l'environnement.



Fig. 2.3.1 – Barrage absorbant.

Comme décrit ci-dessus, les mycètes ont été cultivés sur un substrat composé de matériel végétal adapté pour favoriser leur développement. En particulier, une fois que le matériel végétal a été préparé et stérilisé dans des sacs appropriés, il a été inoculé avec des portions de mycélium des mycètes sélectionnés. Enfin, les sacs inoculés ont été incubés dans l'obscurité à 24°C pendant un mois, afin que les mycètes puissent se développer activement sur le substrat et le coloniser. Afin d'obtenir des résultats appréciables, de pouvoir comparer les résultats finaux et de vérifier l'efficacité réelle de la méthode conçue et appliquée à GEREMIA, il a été décidé de préparer et de placer les barrages absorbants dans l'eau en trois séries différentes : barrages absorbants tels quels, barrages absorbants composés uniquement des déchets végétaux utilisés comme starter pour les mycètes, barrages absorbants remplis de végétaux mélangés à du mycélium fongique. (Fig. 2.3.2).



Fig. 2.3.2 – Préparation des barrages absorbants en laboratoire.

On a donc préparé trois ensembles de barrages absorbants dans lesquels les trois types de barrages étaient présents. Ils ont été attachés avec une corde pour former une série linéaire et fixés au quai afin d'éviter leur dispersion dans le port (Fig. 2.3.3-2.3.4).

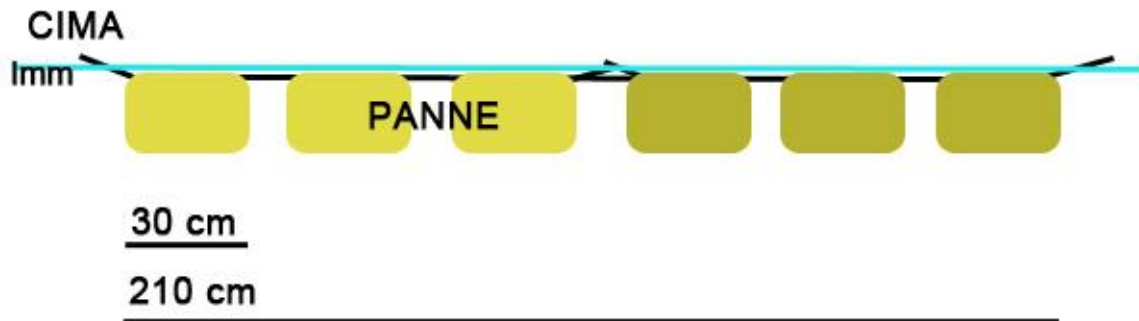


Fig. 2.3.3 - Schéma de la série des barrages.



Fig. 2.3.4 - Préparation de la série des barrages.

Le site choisi pour l'installation de la série de barrages est le plan d'eau concédé à la SEPG dans le port de Gênes. La zone en concession au SEPG est représentée sur les figures 2.3.5-2.3.6.



Fig. 2.3.5 – Port de Gênes. Le cercle rouge montre la position de la zone de l'action pilote.

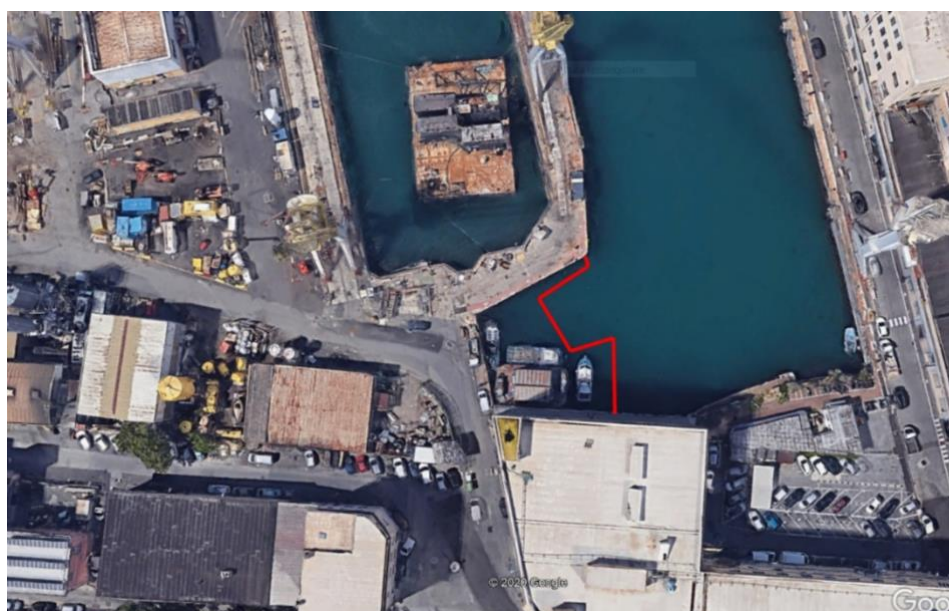


Fig. 2.3.6 - Zone en concession au SEPG.

2.3.2 Installation de barrages dans le port de Gênes - Traitement des métaux

Le placement de la série de barrages dans le port de Gênes a eu lieu à différents moments du projet, comme nous l'avons vu précédemment. Cependant, le protocole de préparation, de

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée

mise en place, de positionnement, de surveillance et d'échantillonnage était le même pour chaque série.

En effet, les barrages ont été collectés et échantillonnés 15 et 30 jours après la mise en place in situ et leur contenu a été échantillonné en trois exemplaires et envoyé au laboratoire d'analyses chimiques Lifeanalytics s.r.l. pour vérifier la teneur en métaux. À chaque intervalle de temps, l'eau du port elle-même a également été échantillonnée, de sorte que des analyses chimiques de sa teneur en métaux seraient toujours disponibles, afin de pouvoir calculer une estimation d'une valeur moyenne de la contamination métallique dans le port, qui n'est toutefois qu'indicative, car ces valeurs subissent de nombreuses fluctuations dues à de nombreux facteurs.

Le 9 décembre 2020, les trois premiers ensembles de trois barrages absorbants destinés à l'activité pilote de mycoremédiation envisagée par le projet GEREMIA ont été placés dans le port de Gênes. Marco Capello, Laura Cutroneo et Grazia Cecchi pour l'UNIGE-DISTAV, et Francesca Spotorno, Andrea Dorigo et Nicolò Bernini pour le SEPG ont participé à cette activité.

Les séries ont été positionnées dans le plan d'eau accordé au SEPG (Fig. 2.3.7), le long du quai au sud-est de la zone.

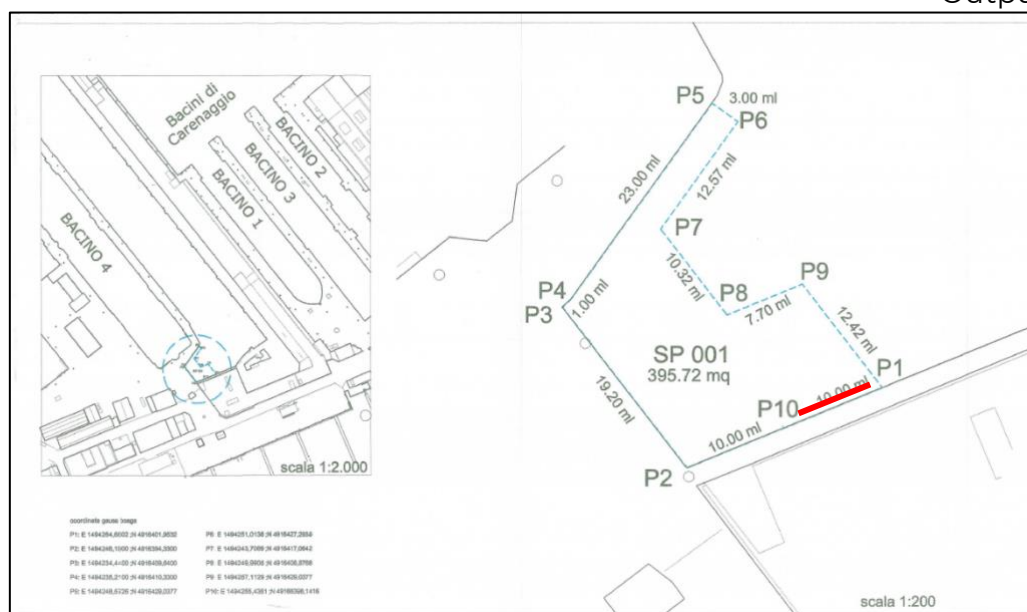


Fig. 2.3.7 - Zone en concession au SEPG. En rouge, la position des jeux de barrages installés.

La série de barrages était fixée de manière linéaire le long du quai au moyen d'une ligne, qui était attachée à des anneaux métalliques sur le quai à intervalles de trois barrages. De cette manière, les séries ont été maintenues aussi près que possible du quai (Fig. 2.3.8), afin de ne pas être dangereuses pour le passage des bateaux. La partie du quai choisie a été maintenue libre de l'amarrage des bateaux du SEPG. De plus, la couleur jaune des barrages assure une bonne visibilité des barrages.



Fig. 2.3.8 - Fixation de la ligne avec barrages au quai.

Une bannière avec le logo du Projet (Fig. 2.3.9-2.3.10) a été installée à proximité de la série de barrages de façon à être visible et de manière à souligner que l'activité était réalisée dans le cadre du Projet.



Fig. 2.3.9 - Bannière du projet et coordonnées de contact en cas de besoin.



Fig. 2.3.10 - Barrages et bannière vus de la jetée d'en face.

Le calendrier de l'activité pilote comprenait quelques inspections du site pilote au cours de la première période immédiatement après l'installation en mer afin de vérifier l'intégrité des bancs et leur positionnement correct, puis trois échantillonnages à des dates précises : le premier ensemble de trois barrages a été récupéré le 21 décembre 2020, le second le 8 janvier

2021. Le troisième set n'a pu être récupéré, l'action de la mer ayant compromis son intégrité. Les mycètes testés dans cette première série de barrages étaient des *Trametes versicolor*.

11 Décembre 2020

La première inspection de l'intégrité des ensembles de barrages absorbants et de leur position correcte a été effectuée le 11 décembre. Quelques photos prises lors de l'inspection sont présentées ci-dessous (Fig. 2.3.11-2.3.13).



Fig. 2.3.11 – Inspection aux barrages.



Fig. 2.3.12 – Inspection aux barrages.



Fig. 2.3.13 – Inspection aux barrages.

16 Décembre 2020

Une deuxième inspection de l'intégrité des ensembles de barrages absorbants et de leur position correcte a été effectuée le 16 décembre. Voici quelques photographies prises sur le site (Fig. 2.3.14-2.3.16).

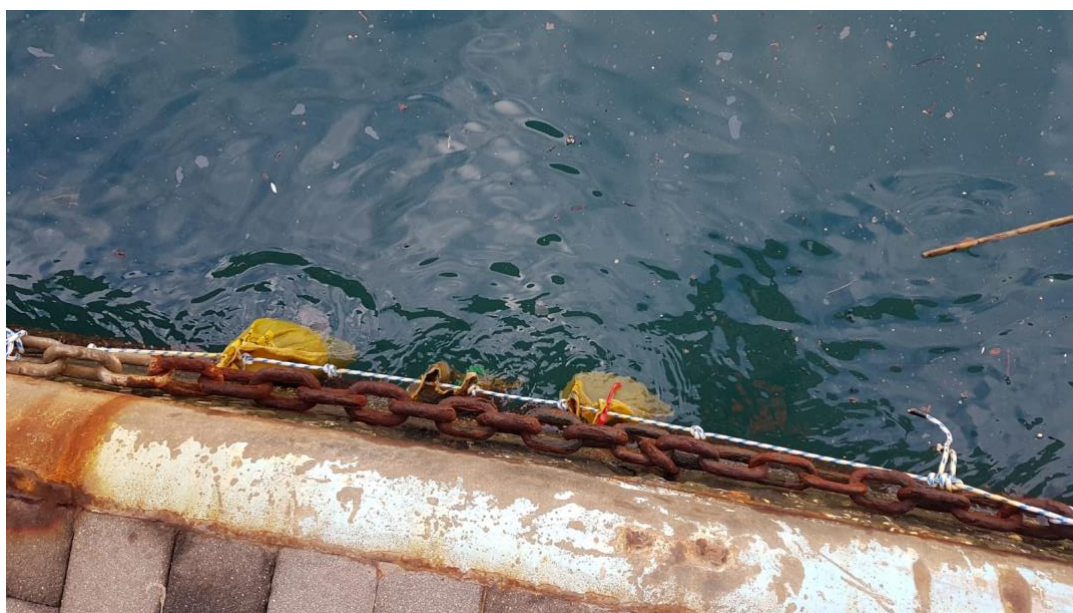


Fig. 2.3.14 – Inspection aux barrages.



Fig. 2.3.15 – Inspection aux barrages.

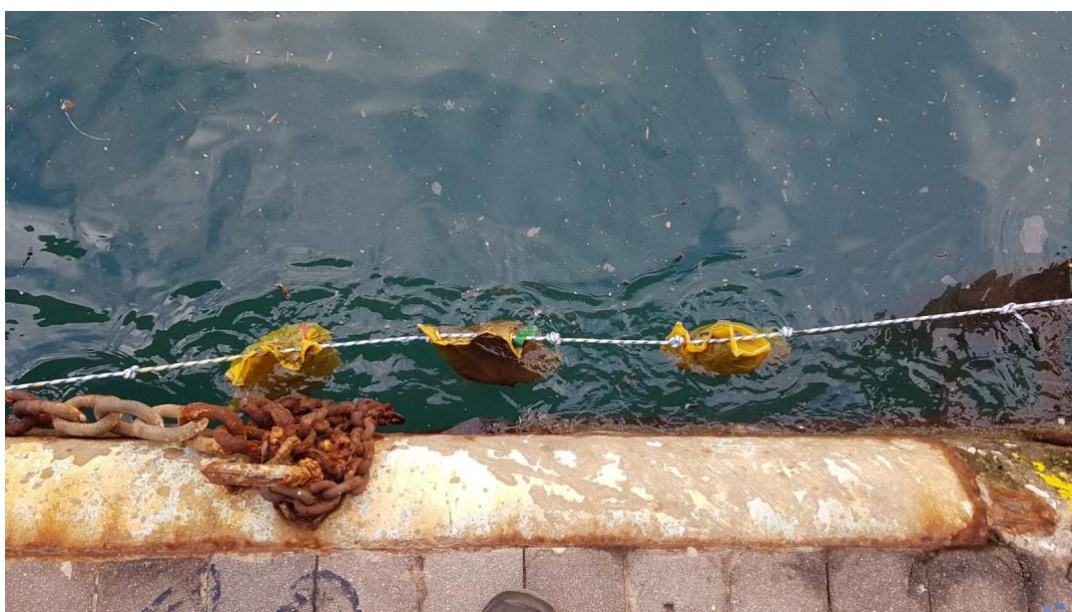


Fig. 2.3.16 – Inspection aux barrages.

21 Décembre 2020

Le 21 décembre, la première série de coussins a été récupérée et des échantillons ont été prélevés pour une analyse chimique. Vous trouverez ci-dessous quelques photographies prises sur le site (Fig. 2.3.17-2.3.19) et quelques photographies des échantillons préparés (2.3.20-2.3.21).



Fig. 2.3.17 – Récupération des barrages.

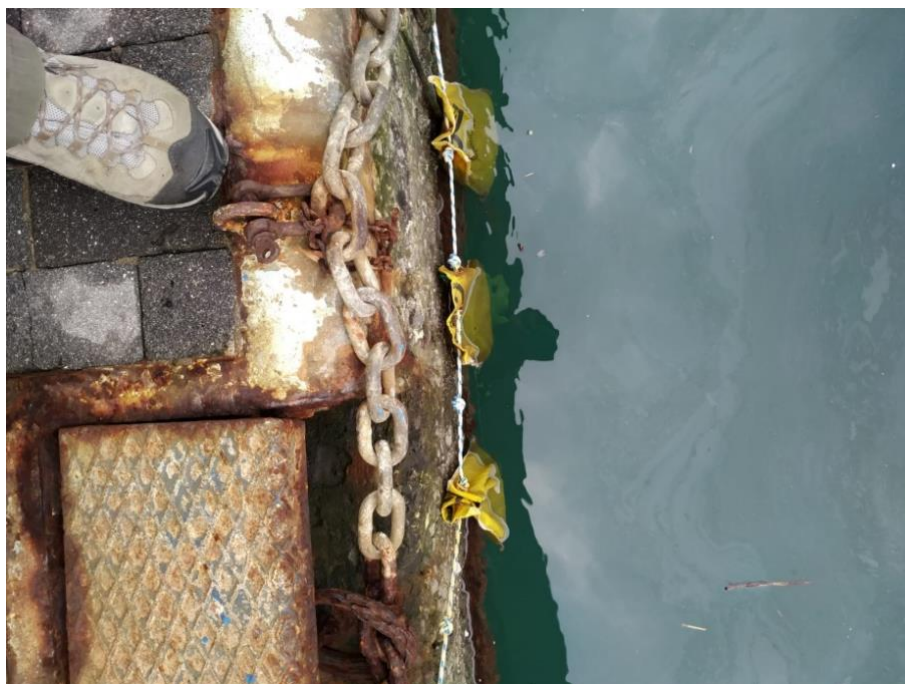


Fig. 2.3.18 – Récupération des barrages.



Fig. 2.3.19 – Récupération des barrages.



Fig. 2.3.20 – Récupération des barrages.



Fig. 2.3.21 – Récupération des barrages.

8 Janvier 2021

Le 8 janvier, la deuxième série des barrages a été récupérée et des échantillons ont été préparés pour une analyse chimique. Malheureusement, l'action des vagues a ruiné les barrages, qui ont perdu une partie de leur contenu, de sorte que le nombre total d'échantillons prévu a pu être produit. En outre, la troisième série a également été retiré, car il était inutile de le laisser dans l'eau. Vous trouverez ci-dessous quelques photographies prises sur le site (Fig. 2.3.22).

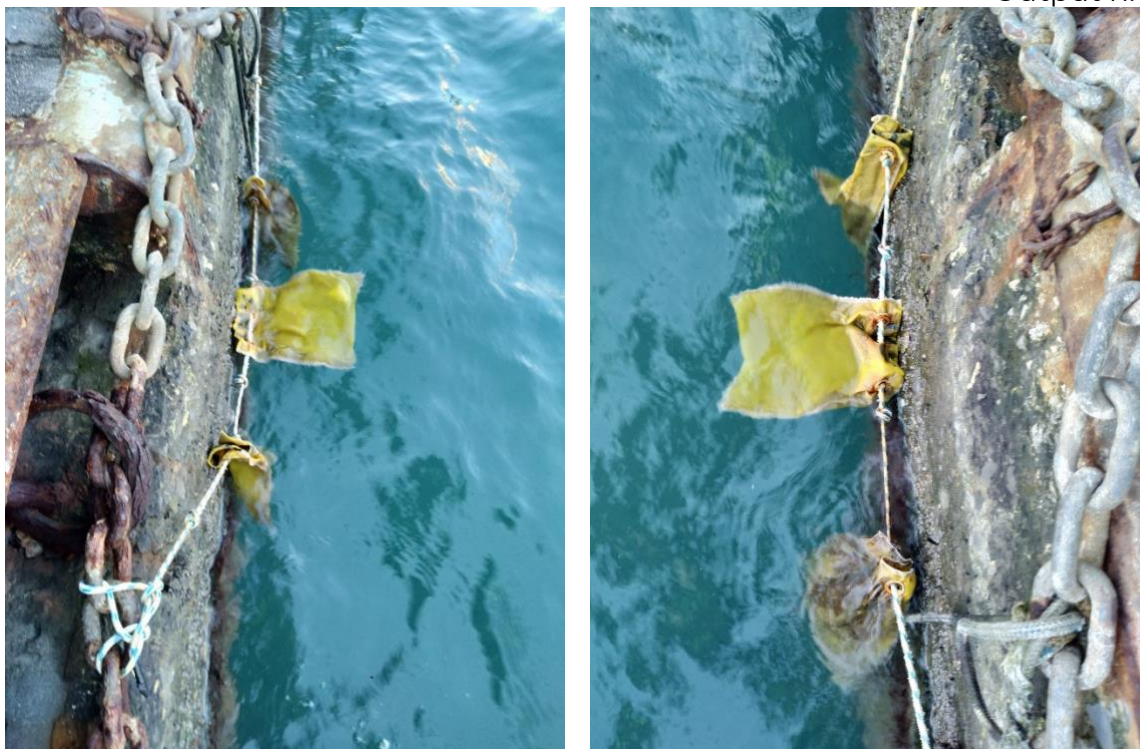


Fig. 2.3.22 - Récupération des deuxièmes et troisièmes séries endommagées.

21 Mai 2021

Le 21 mai, les deux autres séries de myco-barrages absorbants composés de *P. ostreatus* et de *T. harzianum* indigènes ont été installées. À cette occasion, afin d'éviter d'endommager les barrages, comme cela s'était produit lors de la première série, les barrages absorbants ont été placés à une distance d'environ 60 cm du quai au moyen de supports spécifiques, de sorte qu'en se déplaçant dans l'eau, ils n'entrent pas en collision avec le mur du quai lui-même et ne risquent pas d'être déchirés. À cette occasion, des échantillons d'eau ont également été prélevés pour une analyse chimique afin de contrôler la teneur en métaux.



Fig. 2.3.23 – Installation des barrages absorbants.



Fig. 2.3.24 – Installation des barrages absorbants.

4 Juin 2021

Le 4 juin, la série de barrages pour chaque mycète testé pendant les 15 jours de traitement a été collectée, ainsi que l'eau du Port. Les barrages absorbants ont été apportés au laboratoire, ouverts et leur contenu échantillonné en trois exemplaires. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire d'analyse chimique pour analyser leur teneur en métaux.



Fig. 2.3.25 - Barrages lors de la récupération de la première série.



Fig. 2.3.26 - Barrages lors de l'échantillonnage en laboratoire.



Fig. 2.3.27 - Barrages lors de l'échantillonnage en laboratoire.

21 Juin 2021

Le 21 juin, la série de barrages pour chaque mycète testé pendant les 30 jours de traitement a été collectée, ainsi que l'eau du port. Les barrages absorbants ont été apportés au laboratoire, ouverts et leur contenu échantillonné en trois exemplaires. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire d'analyse chimique pour analyser leur teneur en métaux.



Fig. 2.3.28 - Barrages lors de la récupération de la première série.



Fig. 2.3.29 - Barrages lors de la récupération de la première série.

2.3.3 Résultats du traitement des métaux

Les résultats des analyses chimiques ICP-MS des concentrations de métaux dans les barrages sont donnés ci-dessous. Les séries ont été distinguées en fonction de l'espèce fongique testée. Les valeurs des métaux présents dans l'eau sont exprimées en µg/L, tandis que celles présentes dans les barrages sont exprimées en mg/Kg.

En ce qui concerne la première série à *T. versicolor*, malheureusement, les données du traitement de l'eau de 30 jours sont incomplètes pour les raisons mentionnées ci-dessus.

Le tableau suivant présente les valeurs de contrôle initiales des concentrations de métaux présents à la fois dans l'eau du Port et dans le matériau utilisé pour fabriquer les mycobarrages avec *T. versicolor*, ainsi que dans les barrages absorbants commerciaux.

Tableau 2.3.1 Données sur la concentration de métaux dans les eaux du port de Gênes (GE-0-AQ), dans les barrages commerciaux testés (GR-GE-0-PA), dans les barrages constitués uniquement de substrat végétal utilisé pour la croissance fongique (GR-GE-0-SE), et dans les barrages constitués de substrat végétal inoculé avec *T. versicolor* (GR-GE-0-TV), avant la mise en place des séries dans le port.

Metaux	GE-0-AQ	GR-GE-0-PA	GR-GE-0-SE	GR-GE-0-TV
Al	nd	46991,30 ± 3759,30	9,05 ± 0,72	42,09 ± 3,37
Sb	nd	nd	nd	nd
As	1 ± 1	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	7,4 ± 0,6	0,2 ± 0,1	nd
Fe	nd	47003,9 ± 3760,2	17,1 ± 1,4	9,6 ± 0,8
Mn	nd	1106,5 ± 88,5	8,6 ± 0,7	4,5 ± 0,4
Hg	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	2,0 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,3 ± 0,1
Pb	nd	3,3 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,1 ± 0,1
Cu	nd	4,9 ± 0,4	1,9 ± 0,2	1,4 ± 0,1
Zn	20 ± 2	82,5 ± 8,3	17,2 ± 1,4	10,6 ± 0,8

Les tableaux suivants montrent l'analyse chimique de la première série de barrages collectés après 15 et 30 jours de traitement avec *T. versicolor*.

Output n. T3.2.2

Tableau 2.3.2 Résultats de l'analyse de la teneur en métaux après 15 jours de traitement en trois répétitions. Nd= non détecté ; GR-GE-1-AQ= eau du port ; GR-GE-1-PA= barrages commerciaux ; GR-GE-1-SE= barrages de matériel végétal seulement ; GR-GE-1-TV= barrages inoculés avec *T. versicolor*.

Métaux	GR-GE-1-AQ			GR-GE-1-PA			GR-GE-1-SE			GR-GE-1-TV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	6221,10±497,69	7861,80±628,9	8433,00±674,64	14,13±1,13	21,86±1,75	19,33±1,55	37,49±3,00	33,85±2,71	59,84±4,79
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	2±1	2±1	1±1	nd	nd	nd	0,1±0,1	0,2±0,1	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr Tot	nd	7±1	7±1	1,1±0,1	1,5±0,1	1,6±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1
Fe	nd	nd	nd	6793,1±543,4	8506,9±680,6	9037,4±723,0	24,8±2,0	54,9±4,4	46,6±3,7	50,0±4,0	35,8±2,9	65,1±5,2
Mn	nd	nd	nd	152,5±12,2	189,7±15,2	203,7±16,3	1,6±0,1	1,5±0,1	1,9±0,2	2,2±0,2	1,7±0,1	2,5±0,2
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	0,6±0,1	0,6±0,1	0,8±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,5±0,1
Pb	nd	nd	nd	0,8±0,1	1,6±0,1	0,8±0,1	0,9±0,1	1,8±0,1	1,6±0,1	0,6±0,1	1,2±0,1	2,1±0,2
Cu	nd	nd	nd	2,1±0,2	2,9±0,2	2,0±0,2	5,0±0,4	11,8±0,9	10,0±0,8	4,3±0,3	6,9±0,6	11,9±1,0
Zn	48±4	48±4	47±4	17,5±1,8	20,0±1,6	20,4±2,0	15,3±1,4	15,9±1,3	17,1±1,4	13,7±1,1	15,2±1,2	22,2±1,8

Tableau 2.3.3 Résultats de l'analyse de la teneur en métaux après 30 jours de traitement en trois répétitions. Nd= non détecté ; GR-GE-2-AQ= eaux portuaires ; GR-GE-2-PA= barrages commerciales ; GR-GE-2-TV= barrages inoculées avec *T. versicolor*.

Métaux	GR-GE-2-AQ			GR-GE-2-PA			GR-GE-2-TV
	1	2	3	1	2	3	1
Al	nd	nd	nd	9342,00±747,36	11279,20±902,34	7789,00±623,12	60,04±4,80
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	2±1	3±1	2±1	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr Tot	nd	nd	nd	1,6±0,1	2,1±0,2	1,4±0,1	0,6±0,1
Fe	nd	nd	nd	10177,5±814,2	11981,4±958,5	8363,0±669,0	112,5±9,0
Mn	nd	nd	nd	229,3±18,3	271,7±21,7	187,2±15,0	3,3±0,3
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	0,9±0,1	1,0±0,1	0,7±0,1	0,6±0,1
Pb	nd	nd	nd	1,1±0,1	1,2±0,096	0,8±0,1	1,6±0,1
Cu	nd	nd	nd	2,8±0,2	2,8±0,1	2,0±0,2	4,9±0,4
Zn	24±2	19±2	22±2	22,5±2,3	28,4±2,8	20,9±2,0	16,1±1,3

En ce qui concerne la deuxième série avec *T. harzianum* et *P. ostreatus*, les données de l'analyse chimique de la teneur en métaux et les valeurs de contrôle initiales des concentrations en métaux dans l'eau du Port, dans le matériau utilisé pour la fabrication de la myco-barrages et dans les barrages absorbantes commerciales sont indiquées ci-dessous.

Output n. T3.2.2

Tableau 2.3.4 Données sur la concentration de métaux dans les eaux du port de Gênes (GE-0-AQ), dans les barrages commerciaux testés (GR-GE-0-PA), dans les barrages constitués uniquement de substrat végétal utilisé pour la croissance fongique (GR-GE-0-SE), et dans les barrages constitués de substrat végétal inoculé avec *T. harzianum* (GR-GE-0-TH) et *P. ostreatus* (GR-GE-0-PO), avant l'hébergement des séries.

	GE-0-AQ			GR-GE-0-PA			GR-GE-0-SE			GR-GE-0-TH			GR-GE-0-PO		
Metaux	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	6,3	5,9	5,5	11,1	12,9	11,6	8,7	12,7	11,5	8,1	15,8	45,7
Sb	6,6	6	2,9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	3	3	3	0,7	0,5	0,3	nd	0,2	nd	0,1	nd	0,3	nd	nd	0,2
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,1	0,2
Fe	12	35	13	4,6	5,3	3,2	26,1	30,8	21,6	15,6	21,5	19,5	22,5	29,1	76,3
Mn	nd	nd	nd	1,5	1,4	1,7	12,1	13,5	13,7	11,2	12,6	12,6	14,7	30	73,4
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	nd	0,2	0,4	0,7
Pb	nd	nd	nd	1,6	nd	11,6	0,2	0,1	nd	nd	0,2	nd	0,1	0,3	0,4
Cu	nd	nd	nd	5,2	0,2	2,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	2,8	2,3	2,4
Zn	22	11	nd	1,7	0,7	1,4	2,5	2,6	2,5	1,6	3,4	3,1	9,5	8,5	10,4

Output n. T3.2.2

Tableau 2.3.5 Résultats de l'analyse de la teneur en métaux après 15 jours de traitement en trois répétitions. Nd= non détecté ; GR-GE-1-AQ= eau du port ; GR-GE-1-PA= barrages commerciales ; GR-GE-1-SE= barrages de matériel végétal seulement ; GR-GE-1-TH= barrages inoculés avec *T. harzianum* ; GR-GE-1-PO= barrages inoculés avec *P. ostreatus*.

	GE-1-AQ			GR-GE-1-PA			GR-GE-1-SE			GR-GE-1-TH			GR-GE-1-PO		
Metaux	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	61,9	42,2	33	5	14,47	9,4	15,7	8,3	12,1	27,3	25,8	20,4
Sb	2,4	1,9	1,8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	3	3	3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	nd	0,5	0,4	0,3	nd	0,1	nd	nd	nd	nd	0,2	0,2	nd
Fe	nd	nd	nd	212,9	194,4	168,4	33,1	30,9	17,7	21,4	14	22,1	49,3	43,9	27,6
Mn	nd	nd	nd	6	4,8	4,2	1,7	1,5	1,2	1,2	1	1	2,1	2,2	1,4
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	5	0,5	0,4	0,3	0,1	0,1	nd	0,1	0,1	0,3	0,3	3,3	0,2
Pb	nd	nd	nd	2,7	2,4	1,9	0,5	0,8	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,6	0,4
Cu	nd	nd	nd	6,9	5,8	4,3	1,5	2,2	0,8	1,3	1	1,5	2,8	2,3	2
Zn	17	15	17	12,8	13,1	10,4	5,3	7,1	3,5	5,1	5,1	6,2	8	9	8,9

Output n. T3.2.2

Tableau 2.3.6 Résultats de l'analyse de la teneur en métaux après 30 jours de traitement dans trois répétitions. Nd= non détecté ; GR-GE-2-AQ= eaux portuaires ; GR-GE-2-PA= barrages commerciales ; GR-GE-2-TH= barrages inoculées avec *T. harzianum* ; GR-GE-2-PO= barrages inoculées avec *P. ostreatus*.

	GE-2-AQ			GR-GE-2-PA			GR-GE-2-SE			GR-GE-2-TH			GR-GE-2-PO		
Metaux	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Al	nd	nd	nd	5,7	5,7	93,7	7,1	15	7,8	3,1	16,3	19,4	31,3	22,9	27,1
Sb	1,5	1,5	1,4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	3	3	4	0,2	0,3	0,4	0,2	nd	0,1	nd	nd	nd	0,3	0,2	0,2
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr tot	nd	nd	nd	nd	nd	0,9	nd	0,1	nd	nd	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Fe	nd	nd	11	22,2	20,5	553,4	15,7	39,9	18,3	nd	151,2	59,4	55	42,4	37,6
Mn	nd	8	nd	2,4	1,8	11,7	0,9	1,4	1	nd	1,2	1,6	1,6	1,2	1,4
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	4	13	15	nd	nd	1,1	nd	0,1	nd	nd	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2
Pb	nd	nd	nd	0,3	0,5	5,9	0,2	0,7	0,4	nd	0,7	0,8	0,5	0,3	0,3
Cu	nd	nd	nd	1,3	1,5	11,9	1	4	1,5	nd	4,7	6,4	2,4	1,9	1,4
Zn	nd	nd	19	1,1	1,7	45,2	2,3	9,6	3,6	nd	8,5	9,4	10,2	8,1	6,1

3. Installation de systèmes de confinement des polluants dans le port de Gênes

Les Servizi Ecologici Porto di Genova ont réalisé des travaux de confinement dans le port de Gênes, en utilisant les résultats des études de surveillance et de la modélisation développées pendant le projet. Ces confinements ont pour but de confiner toute pollution due aux eaux usées provenant de déversements accidentels d'hydrocarbures, de la pollution des ruisseaux et rivières qui se jettent dans le port, des eaux usées non collectées, etc. Les stations sont réparties dans la zone portuaire en fonction des indications découlant de la modélisation, afin d'intervenir rapidement et efficacement.



Fig. 3.1 Installation de systèmes de confinement.

La première étape, avant l'achat et l'installation des systèmes, a été d'étudier l'état de l'art des méthodes de confinement actuellement sur le marché. Normalement, cela se fait au moyen de barrages installés directement sur les navires ou placés sur des rouleaux à divers endroits de la zone portuaire. Ceux-ci sont ensuite utilisés pour séparer les zones polluées en les ancrant au fond ou en les amarrant aux quais.



Fig. 3.2 Barrages installés sur un navire (à gauche) et déployés sur des rouleaux sur un quai de port (à droite).

Les paniers contenant les barrages sont positionnés dans la zone concédée au SEPG de manière à ce que la quantité de barrages nécessaire aux opérations de fermeture soit disponible dans une zone toujours accessible et facile à atteindre par les opérateurs.

Outre les paniers, le projet comprenait également l'installation de coulisseaux en tête des quais du canal de Sampierdarena dans le port de Gênes, comme le montre la figure suivante.

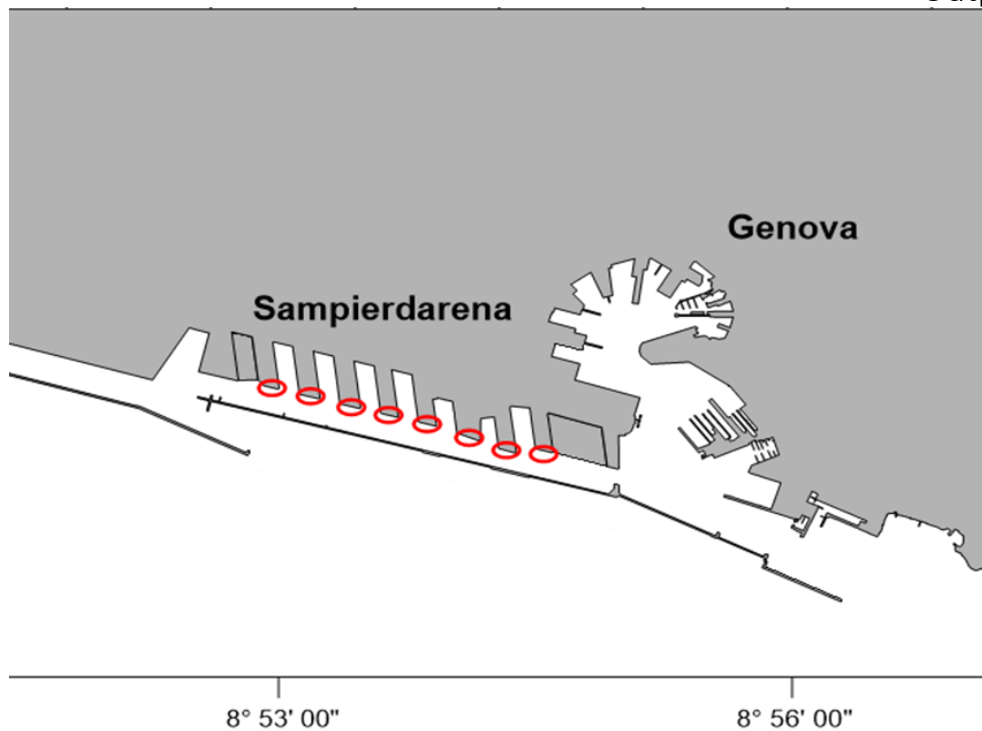


Fig. 3.3 Quais concernés par l'installation de coulisseaux dans le canal de Sampierdarena.

Le rail en acier inoxydable d'environ 1 m de long a été installé sur le mur du quai à l'aide de chevilles chimiques. Une partie de la coulisse (environ 30 cm) est immergée tandis que la partie restante (environ 20 cm) est dans la partie émergée. Ces coulisseaux servent de crochet pour les barrières portuaires. Ces barrières, en effet, ont à leurs extrémités deux raccords rapides, à glisser dans les coulisseaux: cela permet une fermeture plus rapide et surtout étanche, par rapport aux systèmes de confinement normalement utilisés.



Fig. 3.4 Détail de la coulisse installée sur les quais dans le canal de Sampierdarena.

L'installation de ces systèmes de séparation permettra d'intervenir plus rapidement, grâce à l'utilisation de paniers à déploiement rapide, et efficacement en cas de déversement d'hydrocarbures ou d'autres polluants, car elle permettra de séparer uniquement les parties directement touchées par le déversement, de manière plus étanche que ne le permettent les systèmes de séparation actuels, grâce à l'utilisation de coulisseaux et de barrages équipés des crochets nécessaires déployés sur les quais du port. Les nouveaux systèmes de confinement, ainsi que l'utilisation du DSS (Decision Support System), un autre produit des activités du projet GEREMIA qui, grâce à l'utilisation de la modélisation pour l'interprétation et la prédiction du comportement des polluants sur la base des conditions limites (conditions météorologiques, courants, etc.), donnera des indications sur les endroits où intervenir, permettra une intervention plus ciblée pour circonscrire la dispersion et une utilisation plus efficace des ressources (opérateurs, bateaux et briseurs) disponibles.