



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Componente T3

OUTPUT T3.2

**Area attrezzata per il trattamento di
sedimenti di dragaggio contaminati**

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

questo Programma è cofinanziato dal Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale

INDICE

1.	Area attrezzata per il trattamento di sedimenti di dragaggio contaminati	3
2.	Area attrezzata per il trattamento <i>Soil washing</i>	4
3.	Area attrezzata per il trattamento Elettrocinesi e Landfarming.....	13
	Sistema sperimentale di decontaminazione elettrocinetica	14
	Criteri per la progettazione dell'impianto pilota di EK	21
	Progettazione impianto pilota EK.....	23
	Dimensionamento geometrico	23
	Modalità di controllo del prototipo	26
	Il concetto di enhanced landfarming.....	27
4.	Biibliografia	31

1. Area attrezzata per il trattamento di sedimenti di dragaggio contaminati

L'area attrezzata è stata sviluppata per applicare uno schema di trattamento basato su un processo preliminare di lavaggio e separazione granulometrica seguito dall'applicazione di elettrocinesi e landfarming su frazioni granulometriche specifiche originate dalla prima fase di trattamento. L'area costituirà uno strumento/risorsa di grande utilità per lo studio di schemi di trattamento da applicare, anche secondo combinazioni diverse, a sedimenti prodotti da future attività di dragaggio.

Le aree attrezzate sono fisicamente in due siti distinti:

- l'impianto pilota di *Soil washing* di Livorno, gestito da ISPRA
- gli impianti pilota di *Elettrocinesi e Landfarming* di Pisa, gestiti da UNIPI.

2. Area attrezzata per il trattamento *Soil washing*

L'impianto di lavaggio e separazione granulometrica (Figura 1) è sito all'interno dell'area portuale di Livorno (Figura 2).

Data l'elevata presenza all'interno dei campioni della componente sabbiosa e sulla base dei risultati dei test preliminari è stato messo in funzione l'impianto di lavaggio e separazione granulometrica, a carattere sperimentale e di proprietà di ISPRA, volto alla separazione ed al recupero delle varie frazioni sabbiose/pelitiche presenti nei sedimenti oggetto degli interventi di dragaggio.



Figura 1: impianto di lavaggio e separazione granulometrica



Figura 2: Localizzazione impianto di lavaggio e separazione granulometrica

L'obiettivo principale del processo operato dall'impianto è, infatti, quello di separare quantitativi sperimentali di sedimento marino nelle diverse frazioni granulometriche che lo costituiscono, in modo da recuperare sia la componente sabbiosa, cioè la parte di sedimento considerata meno contaminata e più riutilizzabile, sia la parte fine (frazioni pelitiche), considerata più contaminata e di più difficile riutilizzo.

Il primo nucleo di tale impianto, utilizzato per il progetto LIFE *Coast-Best* ("*Sediment treatment and beneficial reuse in small harbours networks*") è stato installato all'interno del Porto di Livorno tra dicembre 2012 e gennaio 2013; recentemente (ottobre-novembre 2018) all'impianto è stata aggiunta un'ulteriore sezione di vagliatura costituita da un Rotovaglio e sono state revisionate le altre sezioni già presenti, per adattare le operazioni ai sedimenti scelti per il progetto. L'impianto è stato autorizzato ai sensi dell'art.211 del D.lgs. 152/2006 dalla Regione Toscana con Decreto Dirigenziale N.8493_del 30/05/2018.

La separazione della sabbia avviene tramite una classificazione per via umida del sedimento, basata sulla velocità limite di spostamento dei grani in un campo di forze gravitazionali (classificatori a sedimentazione) e/o in un campo di forze centrifughe (idrocloni). La frazione fine del sedimento viene da ultimo avviata alla fase di *dewatering*, mentre le acque di processo saranno raccolte in appositi contenitori ed idoneamente smaltite.

L'impianto sperimentale è costituito dalle seguenti sezioni/moduli:

- a) Tramoggia di carico da 1 mc, per l'alimentazione del sedimento tal quale (2,40x1,30 m). La tramoggia di carico serve ad alimentare il letto vagliante permettendo la regolarizzazione della portata del materiale in ingresso all'impianto.
- b) Modulo by-passabile per la rimozione della posidonia/frazioni di plastica disperse nel sedimento da trattare. Qualora il sedimento in ingresso presenti elevate percentuali di materiali vegetali quali fibre e/o frammenti di alghe e piante acquatiche, quali ad es. posidonia oceanica, e di frammenti di plastica, sarà sottoposto ad una specifica fase di vagliatura, mediante un rotovaglio, finalizzata alla rimozione degli stessi. Tale modulo è posto tra le sezioni di omogeneizzazione (cassone scarrabile) ed il vibrovaglio. Il modulo è costituito da un tamburo ruotante perforato con fori di diametro differenziato che permette il lavaggio e la separazione dal sedimento dei materiali più grossolani.



Figura 3: Rotovaglio

- c) Vibrovaglio con tela vagliante di diametro 2 mm (dimensioni: 2,40x1,60 m). Il vibrovaglio separa il materiale grossolano da quello più fine. La separazione avviene attraverso il passaggio del materiale più fine su una griglia vibrante. Il moto di vibrazione della griglia è assicurato da due motori, fissati alla struttura del vaglio, ai quali sono collegate masse eccentriche in rotazione. Il sedimento viene contemporaneamente irrorato con 4 getti d'acqua ad alta pressione per facilitare la separazione tessiturale e consentire la movimentazione di quest'ultimo attraverso le successive sezioni dell'impianto.



Figura 4: Tamis vibrant et pompe d'homogénéisation

- d)** N. 2 celle di attrizione, (dimensioni: 1,20x0,70 m - vol. 0,125 mc cad.). La torbida (acqua più sedimento) in uscita dal classificatore a spirale, viene convogliata, in condizioni di elevata turbolenza, all'interno di due celle di attrizione del volume di 125 litri che determinano la disgregazione di eventuali agglomerati fangosi ancora presenti.



Figura 5: Celle di attrizione

- e)** Unità di idrociclonatura (dimensioni: 3,50x1,3 m). E' costituita da 2 distinti idrocycloni (di cui uno by-passabile). L'idrociclone opera la separazione tra sabbia fine e frazione

limoso-argillosa attraverso l'azione della forza centrifuga. È costituito da un cilindro a fondo conico, dotato di un augello laterale per l'alimentazione della miscela sedimento/acqua, di una sezione di uscita delle particelle fini trascinate dal fluido, nonché di una sezione di uscita dei materiali a granulometria maggiore posta nel vertice del cono.

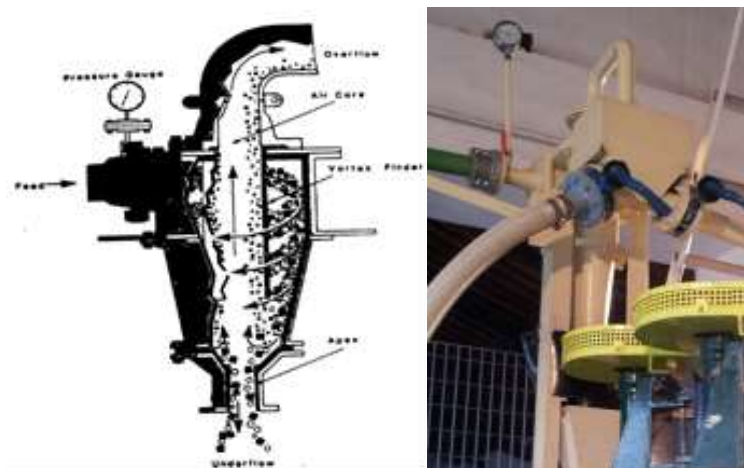


Figura 6: idrociclone

- f) Classificatore a spirale (dimensioni: 2,90x1,00 m - diam. 300 mm). Il classificatore a spirale è impiegato come unità di classificazione. Il principio di funzionamento dipende dalla differente velocità di deposito delle particelle solide per differenza di densità.



Figura 7: Classificatore a spirale

Nonostante la potenzialità massima della sola unità di idrociclonatura sia superiore ai quantitativi necessari alla sperimentazione proposta, l'allestimento contestuale alle altre unità dell'apparato impiantistico, riduce la potenzialità complessiva di trattamento a quantitativi di sedimento dell'ordine di poche unità di metri cubi (2-3 mc) per un'ora di funzionamento.

Oltre ai limiti tecnico-impiantistici, dovuti, della tramoggia di carico e dell'unità di disidratazione, l'attività sperimentale è finalizzata all'ottimizzazione della gestione del sedimento trattato e pertanto prevede, comunque, l'utilizzo di piccoli quantitativi di sedimento da cadenzare in un tempo di lavorazione piuttosto lungo (indicativamente 60-90 minuti per ciascuna prova sperimentale).

Di seguito si riporta uno schema semplificato delle sezioni dell'impianto (Figura 3) e una documentazione fotografica (Figura 4) relativa ad alcune attività condotte con l'impianto pilota di lavaggio e separazione granulometrica.

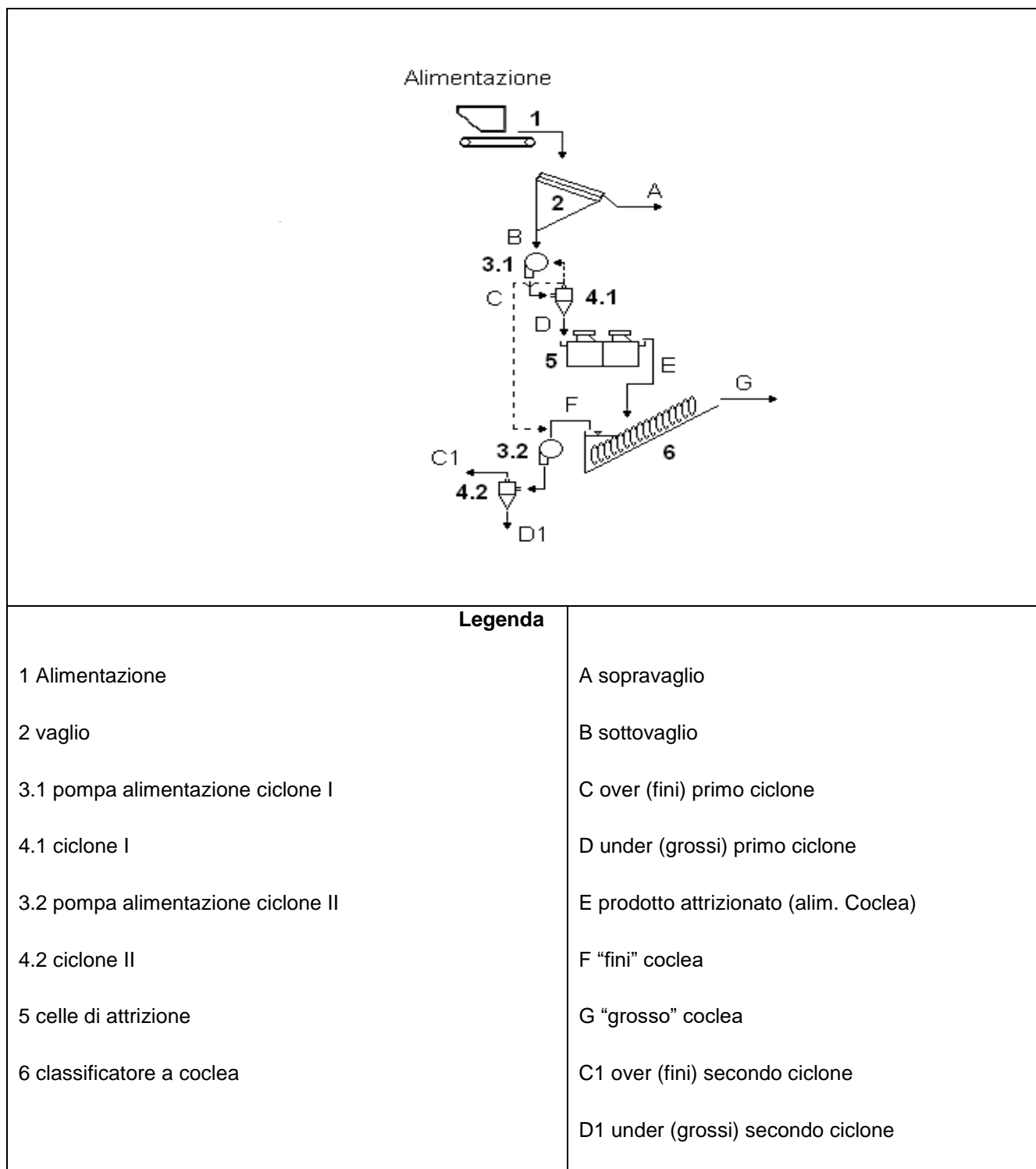


Figura 8- Layout semplificato dell'impianto di separazione granulometrica



Figura 9: Fasi di lavorazione sedimenti con impianto di lavaggio e separazione granulometrica.

Successivamente al trattamento di lavaggio e separazione granulometrica (LSG) i campioni provenienti dalla Vasca di Colmata del Porto di Livorno sono stati trasportati dal personale ISPRA fino al laboratorio del nostro Dipartimento, dove sono stati ulteriormente omogeneizzati, campionati ed inviati a laboratorio esterno (Geochim di Rosi e C. s.a.s. – Gualdo Tadino (PG)) per essere caratterizzati in maniera *specific* da un punto di vista chimico. I campioni giunti al nostro laboratorio risultano così composti:

- tal quale: risultato dell'omogeneizzazione dei vari campioni provenienti dai 3 punti di prelievo e non trattato fisicamente tramite LSG;
- sabbioso post-trattamento: fine e grossolano;
- pelitico post-trattamento: in fase acquosa per evitare l'essiccamento.

Di seguito si riportano le figure (figura 5) relative ai campioni sopraelencati e le analisi chimiche specifiche dei vari campioni confrontate con i valori limite espressi nel D.lgs. 152/2006 relativi al riutilizzo per "A-Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" e per "B-Siti ad uso commerciale ed industriale".



Figura 10: Campione tal quale – sabbia grossa – sabbia fine – pelite in fase acquosa

3. Area attrezzata per il trattamento Elettrocinesi e Landfarming

L'area attrezzata si trova presso la sede del DESTEC – UNIPi in via gabba 22, Pisa.

Nella suddetta area attrezzata si svolgeranno i test a scala pilota di Elettrocinesi (EK) e di Landfarming.

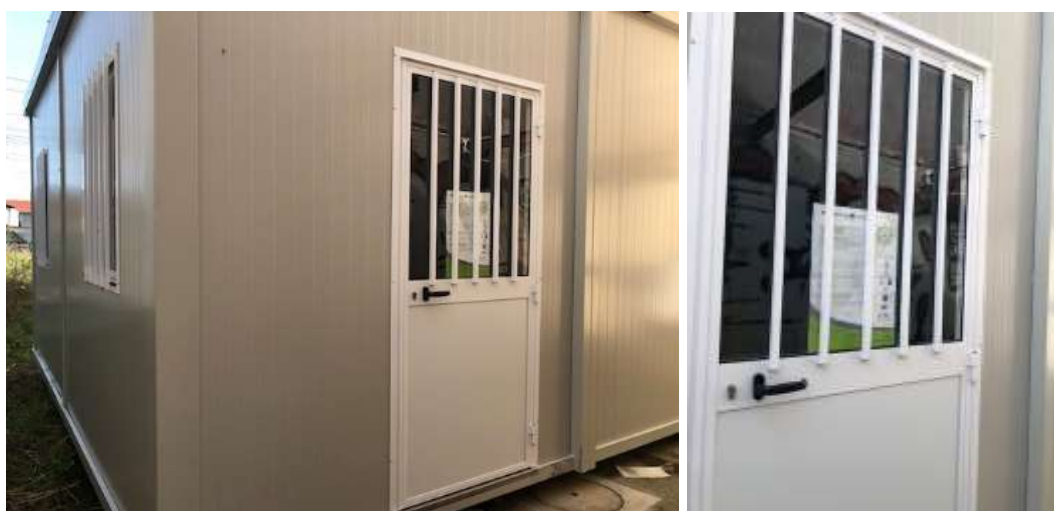


Figura 11: indicazione dell'area di interesse (indicatore di colore rosso) – dettaglio box noleggiato

Sistema sperimentale di decontaminazione elettrocinetica

I test di laboratorio sono stati ivi eseguiti per riprodurre i fenomeni che concorrono al trasferimento dei contaminanti durante il processo elettrocinetico, per valutare le % di rimozione ed il comportamento del sedimento durante il trattamento stesso e per valutare i parametri operativi necessari al dimensionamento idraulico ed elettrico del futuro impianto pilota.

I test sono stati eseguiti in reattore di plexiglass, di forma rettangolare di dimensioni 50 cm (lunghezza) x 9 cm (altezza) x 7 cm (larghezza) progettata, sviluppata ed utilizzata da Masi et.al (2015) durante le prove di laboratorio del progetto Life + Sekret. Il setup è costituito da sei parti principali: il compartimento riservato al sedimento, i compartimenti dove sono alloggiati gli elettrodi, i serbatoi di acqua e acido, i serbatoi di eccedenza della soluzione elettrolitica, il sistema di alimentazione ed il sistema di controllo del pH. La dimensione del campione da trattare è pari a 30 cm (lunghezza) x 9 cm (altezza) x 7 cm (larghezza) ed il peso del sedimento umido impiegato in ciascun esperimento è di circa 3.5 kg. Le due camere laterali, dove sono posizionati gli elettrodi e la soluzione elettrolitica hanno una lunghezza pari a 10 cm l'una. Una griglia di nylon (dimensioni della maglia pari a 2 mm) e carta da filtro sono stati utilizzati per separare il comparto del sedimento dai compartimenti degli elettrodi.

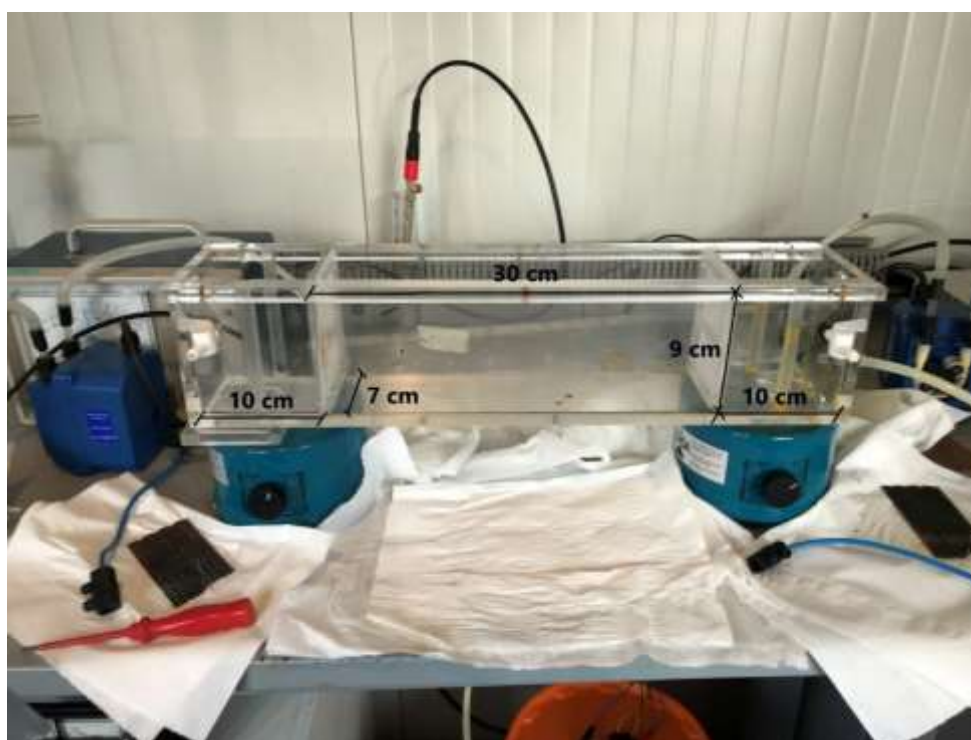


Figura 12: Dimensioni cella elettrocinetica in scala di laboratorio



Figura 13: Sezioni della cella elettrocinetica

I sedimenti sono stati inseriti nella cella elettrocinetica e compattati staticamente applicando una pressione di 40 g/cm^2 per almeno 3 giorni prima dell'inizio del test. La camera dell'anodita e del catodita sono a superficie libera ed i livelli degli elettroliti sono mantenuti costanti grazie a 2 sfioratori posti ad un'altezza di 7 cm dal fondo della cella. Gli elettroliti in entrambe le camere sono tenuti in agitazione grazie a delle "ancorine" poste in movimento grazie agli agitatori meccanici. Il materiale compattato deve risultare circa 2 cm più alto rispetto al livello dell'elettrolita per evitare il flusso idraulico di quest'ultimo sulla superficie del sedimento. Entrambi gli elettrodi (anodo e catodo) sono costituiti da una rete di titanio nobilitato con un metallo misto ossido (MMO – Mixed Metal Oxide) fornito da Industrie De Nora s.p.a, Italia.



Figura 14: Elettrodo

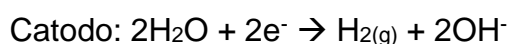
Durante gli esperimenti il catolita è mantenuto a condizioni di pH costante ($\text{pH} = 3$) per mezzo di un sistema di controllo automatizzato: una sonda di pH è inserita infatti all'interno della cella catodica ed i valori sono registrati in tempo reale da un software di misura e automazione sviluppato su misura che controlla automaticamente una valvola per l'iniezione della soluzione acida nella cella stessa.

Le due camere laterali, mediante una pompa peristaltica, vengono riempite inizialmente con acqua deionizzata ad una velocità costante (4 litri/ora) al fine di compensare le perdite d'acqua dovute ad esempio all'elettrolisi e all'evaporazione. Durante il processo, la soluzione nella cella anodica si arricchirà spontaneamente di ioni H_3O^+ , mentre la soluzione nella cella catodica tenderà a condizioni di basicità e quindi si deve prevedere un dosaggio in continuo di una soluzione di acido nitrico 3,7 M per mantenere, come detto precedentemente, il pH a valori pari a 3.



Figura 15: Sistema di controllo pH

Agli elettrodi è stata applicata una corrente costante pari a 0.5 A (densità di corrente pari a circa 80 A/m²) in modo da creare una circolazione di corrente elettrica all'interno del sedimento tale da provocare la separazione elettrocinetica e quindi la migrazione degli inquinanti (si veda il Capitolo 3: “*Tecnologie di trattamento elettrocinetico*”). Il flusso di corrente provoca l'elettrolisi dell'acqua che modifica il pH sia del catolita che dell'anolita secondo le seguenti reazioni:



Naturalmente il catolita, in assenza di “interventi”, raggiungerebbe in maniera abbastanza veloce una condizione di netta basicità che porterebbe ad un lento desorbimento dei contaminanti presenti nel sedimento: però, tramite il dosaggio controllato e automatizzato della soluzione acida, che viene effettuato ogni qual volta che il pH dell'elettrolita super il valore di 3, si riesce a contrastare questo processo che aumenterebbe notevolmente i tempi di decontaminazione.

Di seguito si riporta lo schema di laboratorio per i test elettrocinetici.

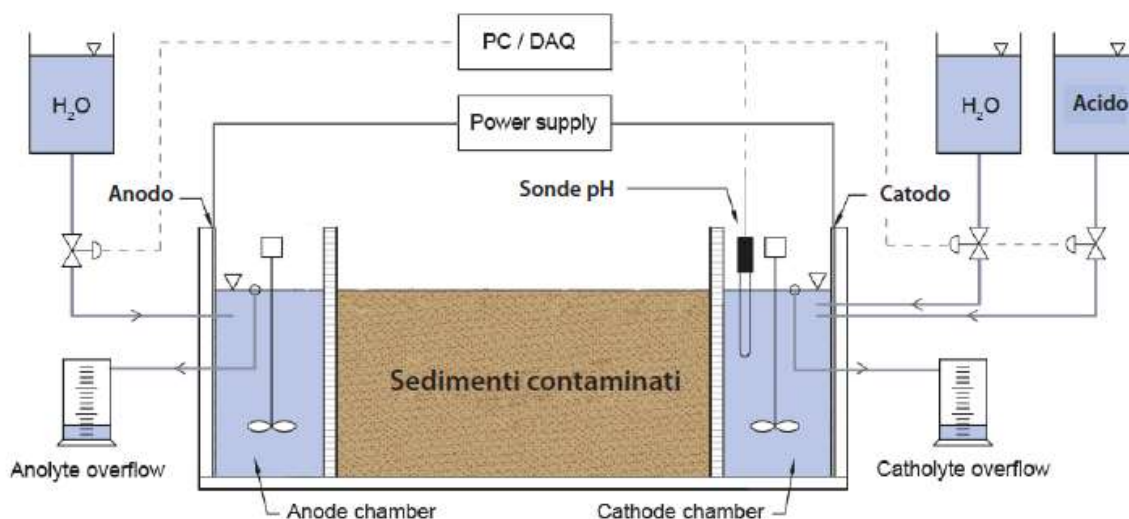
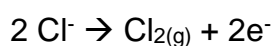


Figura 16: Schema di laboratorio

Da sottolineare è lo sviluppo, soprattutto durante la prima fase del trattamento, di quantità significative di cloro gassoso secondo la seguente relazione:



Infatti, a causa del contenuto di sale dell'acqua marina, la concentrazione di cloruri è abbastanza elevata e sarebbe opportuno raccogliere e convogliare il gas sviluppato in uno scrubber contenente una soluzione di idrossido di sodio (NaOH) in modo da trasformare il cloro gassoso in ipoclorito.

Nello specifico l'apparecchiatura rappresentata è stata impiegata per 3 esperimenti:

- Esperimento n°1 – riguardante i sedimenti provenienti dall'Area Darsena Lucchini del Porto di Piombino iniziato in data 11 febbraio 2019, della durata di 30 giorni;
- Esperimento n°2 – riguardante i sedimenti provenienti dall'Area Vasca Piccola del Porto di Piombino iniziato in data 19 marzo 2019, della durata anch'esso di 30 giorni;
- Esperimento n° 3 – riguardante i sedimenti provenienti dall'Area Darsena Pescherecci del Porto di Piombino prelevati a marzo 2019, iniziato in data 14 maggio 2019, della durata di almeno 60 giorni e quindi attualmente in funzione.

La prima operazione che è necessario compiere durante la messa in opera dei test elettrocinetici è quella di omogeneizzare il sedimento da decontaminare all'interno di secchi e successivamente porlo all'interno della "cella centrale di decontaminazione". Successivamente il sedimento è compattato staticamente applicando una pressione di 40 g/cm^2 per almeno 3 giorni prima dell'inizio del test in modo da eliminare l'eccesso di acqua presente nel materiale. Poi le soluzioni elettrolitiche vengono pompate automaticamente nelle due camere laterali tramite una pompa peristaltica e gli elettrodi sono collegati ad un "alimentatore stabilizzato" che opera in controllo di corrente. Durante l'esperimento si applica una corrente costante di 0.5 A , che produce una densità di corrente pari a 80 A/m^2 . Di seguito si riportano le foto delle fasi di preparazione del test EKR dei sedimenti provenienti dall' Area Vasca Piccola del Porto di Piombino.



Figura 17: Sedimento omogeneizzato e collocamento nella camera centrale



Figura 18: Compattazione del sedimento ed inizio esperimento

Criteri per la progettazione dell'impianto pilota di EK

L'ultima parte del seguente elaborato di tesi è costituita dalla progettazione e dalla prototipazione di un impianto pilota di decontaminazione elettrocinetica di forma cilindrica. L'obiettivo fondamentale è stato quello di ampliare i test da scala di laboratorio a scala pilota e cercare di valutare le condizioni operative dell'impianto in modo da ottimizzare e perfezionare per gli sviluppi futuri il trattamento di decontaminazione.

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto pilota di forma cilindrica cava, composto essenzialmente da un singolo elettrodo (+) posto al centro e da sei elettrodi (-) posti invece all'estremità del cilindro stesso. Questa particolare forma è stata scelta in modo che il flusso elettrico che viene generato dall'applicazione di correnti elettriche a bassa intensità sia diretto radialmente dalla zona centrale verso la zona esterna. L'obiettivo è quello di passare da una configurazione a maglia quadrata/rettangolare ad una costituita da maglie di forma esagonale: al centro di ogni esagono è posizionato un anodo (+) e all'estremità invece sono presenti 6 catodi (-). Ciascuno dei 6 catodi è condiviso da 3 celle contemporaneamente e quindi il flusso elettrico in prossimità del catodo è il doppio rispetto a quello che c'è nell'anodo. Le sperimentazioni future saranno quindi deputate a verificare e studiare gli eventuali effetti benefici della decontaminazione elettrocinetica utilizzando una configurazione a maglie esagonali.

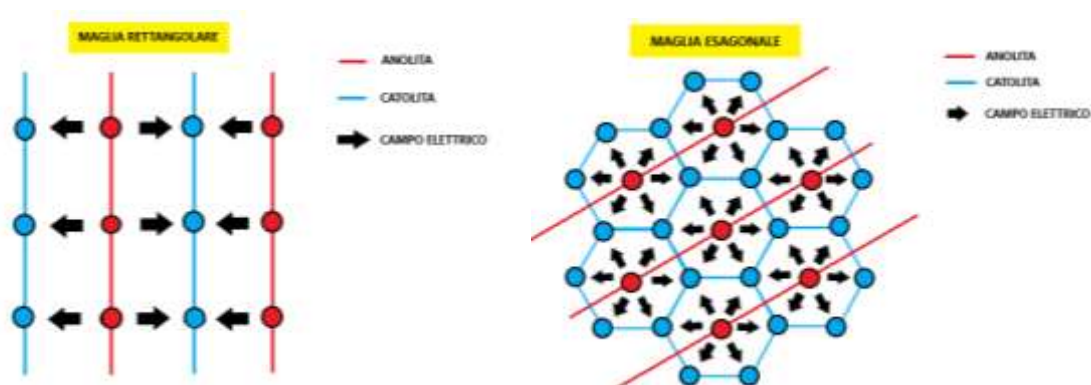


Figura 19: Differenze tra la maglia rettangolare e esagonale

Dopo un ampio studio della letteratura e grazie alle esperienze maturate durante il progetto Life+ Sekret, i principali parametri di dimensionamento possono essere così elencati:

- mobilità degli ioni (elettromigrazione), delle molecole d'acqua (elettrosmosi) o delle particelle cariche (elettroforesi): espressa in $\frac{m^2}{V \cdot s}$ e rappresenta la velocità con cui ioni/molecole/particelle si muovono all'interno di una matrice solida soggetta ad una differenza di potenziale specifica. Lagemann indica i seguenti valori di mobilità media:
 - cationi H^+ (elettromigrazione): $\approx 33 \times 10^{-8} m^2/Vs$;
 - anioni OH^- (elettromigrazione): $\approx 18 \times 10^{-8} m^2/Vs$;
 - ioni metallici (elettromigrazione): $\approx 5 \times 10^{-8} m^2/Vs$
 - molecole d'acqua (elettrosmosi): $\approx 0,5 \times 10^{-8} m^2/Vs$
 - particelle di argilla polarizzate (elettroforesi): \approx compreso tra 0,01 e $0,3 \times 10^{-8} m^2/Vs$

In realtà lo spostamento effettivo degli ioni metallici è probabilmente più lento di quello sopra indicato e considerando un valore prudenziale si stabilisce una mobilità ionica uguale a quella scelta per il progetto Life+ Sekret, pari a $MI = 0,1 \times 10^{-8} \frac{m^2}{V \cdot s}$;

- resistività del terreno (R): è espressa in $\Omega \cdot m$ ed è l'inverso della conduttività espressa in S/m. per un terreno normale la resistività in genere varia tra 10 e 1000 $\Omega \cdot m$, per i

sedimenti marini però le cose peggiorano: infatti la conduttività dell'acqua di mare è pari a $\approx 5 \text{ S/m}$ corrispondente ad una resistività pari a $0,2 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$;

- densità di corrente massima: in seguito alle esperienze ed ai risultati ottenuti dalle prove elettrocinetiche di laboratorio, si imposta una densità di corrente pari a 80 A/m^2 ;
- distanza tra gli elettrodi: nell'impianto pilota progettato la distanza tra l'anodo centrale ed i catodi esterni è pari a 200 mm ;
- ipotesi di dimensionamento: il dimensionamento consiste nel fissare una durata massima ammissibile di decontaminazione ed in base alla distanza tra gli elettrodi, alla resistività del sedimento ed alla densità di corrente andare a calcolare la potenza necessaria in kWh e quindi il costo complessivo dell'energia (considerando un costo dell'energia pari a $0,3 \text{ €/kWh}$). La resistività può essere incrementata lavando il sedimento prima di iniziare il trattamento.

La tensione è pari a $= \text{Resistività } [\Omega \cdot \text{m}] * \text{Distanza } [\text{m}] * \text{Densità } [\text{A/m}^2]$

La potenza, calcolata in kW è pari a $= \frac{\text{Volume } [\text{m}^3]}{\text{Distanza } [\text{m}]} * \text{Densità } [\text{A/m}^2] * \text{Tensione } [\text{V}] * 1/1000$

Progettazione impianto pilota EK

I criteri per la progettazione dell'impianto pilota sono già stati definiti nel Capitolo 4.4 al quale si rimanda. Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto pilota di forma cilindrica cava, stata scelta in modo che il flusso elettrico che viene generato dall'applicazione di correnti elettriche a bassa intensità sia diretto radialmente dalla zona centrale verso la zona esterna. Il disegno è stato sviluppato utilizzando il software di progettazione meccanica Autodesk Inventor.

Dimensionamento geometrico

L'impianto pilota è stato pensato e progettato per il trattamento di una matrice solida del peso totale di circa 60 kg, corrispondente ad un cilindro cavo di spessore 100 mm e di altezza \approx 460 mm. E' stata considerata l'altezza della soluzione elettrolitica all'interno del prototipo inferiore di circa 30 mm (430 mm) rispetto al livello del sedimento stesso, per evitare il verificarsi di un flusso idraulico dell'elettrolita sulla superficie del sedimento. Inoltre, come nell'impianto in scala di laboratorio, è necessario prevedere due geotessili che hanno lo scopo fondamentale di separare il comparto del sedimento dai compartimenti degli elettrodi. Il geotessile da utilizzare è costruito dalla "BOODE waterwell system" ha uno spessore di circa 2 mm ed è lo stesso usato durante il progetto Europeo Life+ Sekret.



Figura 20: Geotextile wrap

Di seguito si riporta un'immagine del file "PDF 3D" generato in seguito alla progettazione dell'impianto, nella quale si evidenziano i singoli componenti che costituiscono il reattore.

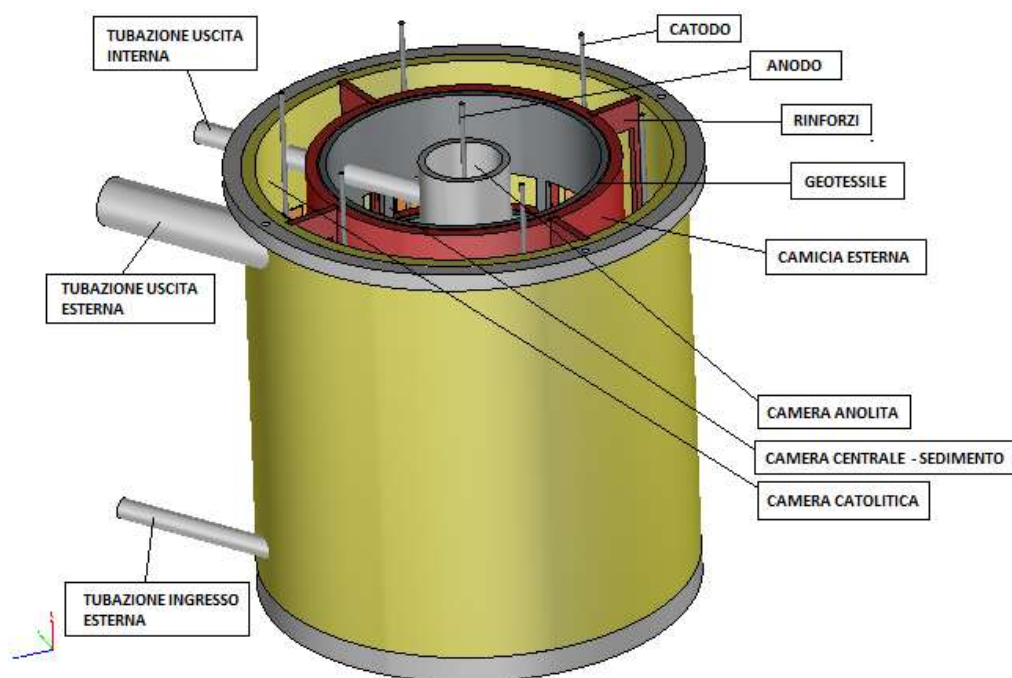


Figura 21: Impianto pilota e singoli componenti

È stata assolutamente necessaria la progettazione di una “camicia” da inserire tra il materiale da decontaminare ed il comparto esterno del catolita con lo scopo fondamentale di bloccare e fermare il geotessile a contatto con il sedimento stesso, in modo che sia impedito nel muoversi e che siano quindi prevenute delle eventuali fuoriuscite di materiale. La camicia è stata inoltre provvista di un’asola per permettere il suo corretto e facilitato inserimento intorno all’alloggio cilindrico. Sono state previste inoltre delle forature a maglia quadrata sia sulla camicia che sulle due componenti all’interno del cilindro cavo: queste sono state progettate per avere una percentuale di foratura di circa il 50%. Non si eccede per non compromettere la stabilità e la resistenza del prototipo stesso. Sempre per migliorare la resistenza dell’impianto sono stati previsti N°4 rinforzi, anch’essi forati per consentire il passaggio dell’elettrolita, da alloggiare nella camera esterna del catolita.

Le camere dell’anolita e del catolita sono a superficie libera ed i livelli degli elettroliti sono mantenuti costanti grazie a 2 tubazioni di troppo pieno. La camera centrale (anolitica) è riempita inizialmente con acqua deionizzata grazie ad una pompa peristaltica a portata fissa, da 60 litri/ora (1 litro/minuto), al fine sia di consentire un buon ricambio idrico all’interno del

reparto anolitico sia di compensare le perdite d'acqua dovute ad esempio all'elettrolisi e all'evaporazione. La pompa è fabbricata da "SEKO" che progetta pompe dosatrici e sistemi di misurazione per i mercati del trattamento delle acque e dei processi industriali. È stato scelto il modello PSH con funzionamento On/Off e contropressione di lavoro massima pari a 0,1 bar. In allegato V è riportata la scheda tecnica della pompa.

Modalità di controllo del prototipo

Da tenere presente è lo sviluppo, come dimostrato dagli esperimenti in scala di laboratorio, soprattutto durante i primi giorni di trattamento, di quantità significative di cloro gassoso: per questo motivo l'impianto è dotato di un tappo a tenuta stagna nel quale è stato previsto un foro di 1/4" filettatura gas, necessario per convogliare e trattare all'interno di uno scrubber il cloro gas sviluppato. Sul tappo è stato previsto inoltre un foro per consentire il passaggio di una sonda di pH/temperatura i cui valori saranno registrati in tempo reale da un software di misura e automazione che controllerà automaticamente una "valvola a tre vie" per il dosaggio della soluzione acida.

La sonda di pH/temperatura sarà acquistata presso l'azienda "Mettler-Toledo S.p.A." che produce sensori che sono utilizzati nelle unità di elettrolisi di importanti impianti industriali qui in Toscana. In parallelo, sempre presso la solita azienda, sarà anche acquistato un trasmettitore multi-parametro. È inoltre da prevedere l'acquisto di un sensore di misurazione del livello di riempimento delle camere interne all'impianto pilota. Quest'ultimo sarà acquistato presso "SICK Italia" che è uno dei principali produttori di sensori e sistemi per l'automazione. Per quanto riguarda il sensore pH/temperatura è stato scelto il modello "NPRO4260I/SG/225", per il trasmettitore è stato selezionato il modello "M300 PROCESS 2-CH, 1/4 DIN", mentre per il sensore di livello è stato scelto il modello "LFP0500-A4NMB". Negli allegati VII/VIII/IX si riportano le relative schede tecniche.

È infine necessaria la realizzazione di un software su misura per l'acquisizione dei suddetti sensori e per il controllo del processo in Labview, visualizzazione su grafico, impostazione dei set point e salvataggio dati su file. Il sistema digitale verrà sviluppato e fornito da "Florence

Engineering S.r.l.”, un’azienda specializzata in risoluzione di problemi connessi all’ingegneria elettronica.

Il concetto di enhanced landfarming

Il landfarming è un processo di trattamento dei sedimenti dragati che può essere definito correttamente come on-site in quanto consiste nel collocare i sedimenti dragati in un bacino confinato ed impermeabilizzato alla base. I sedimenti vengono distribuiti su tutta la superficie del bacino con uno spessore che varia in funzione delle capacità tecniche delle macchine agricole che possono movimentarli. Di conseguenza lo spessore è generalmente al di sotto del metro. I sedimenti quindi vengono regolarmente movimentati per garantire una adeguata ossigenazione degli stessi. Il landfarming consiste infatti nel favorire i processi biodegradativi a carico dell’ecologia microbica del sedimento stesso, con particolare interesse ai processi ossidativi. Un impianto di landfarming deve quindi assicurare il corretto bilanciamento dei nutrienti di sistema ed il trasferimento di ossigeno alle popolazioni microbiche. Questo avviene in genere mediante rimescolamento del materiale e aggiunta di macroelementi come azoto e fosforo e di agenti adatti (bulking agents) a facilitare lo scambio gas all’interno di una matrice, altrimenti a granulometria fine e refrattaria agli scambi gassosi, siano essi ossigeno o i prodotti volatili eventualmente prodotti dalla degradazione dei contaminanti primari. Deve inoltre essere mantenuto un idoneo tenore di umidità e un pH della matrice in trattamento, di fatto condizione imprescindibile per l’attività metabolica microbica. I tempi di residenza in impianto sono variabili, in funzione della natura e concentrazione dell’inquinante e delle condizioni ambientali.

L’enhanced landfarming consiste nell’inoculare la matrice con isolati microbici, siano essi batteri o funghi, autocotoni od alloctoni alla matrice in trattamento, i quali presentino delle attività metaboliche di interesse, quali la capacità di degradare i contaminanti primari dei sedimenti in trattamento.

Nel caso specifico del progetto i sedimenti saranno inoculati con il ceppo fungino *Sclerotinia* sp. MUT 5852, che si è già dimostrato in grado di abbattere significativamente il contenuto in TPH in sperimentazioni in mesocosmo dedicate alla modellizzazione di impianti da landfarming

per il trattamento sia di suoli che di sedimenti di dragaggio fluviali, entrambi contaminati da idrocarburi pesanti (Siracusa, 2018, Becarelli 2019).

La sperimentazione prevede l'inoculo della biomassa fungina ad una percentuale in peso fresco del 10% in mesocosmi sperimentali.

La sperimentazione in mesocosmo prevede l'allestimento di 3 vasi per tempo di analisi in due treni di trattamento: uno inoculato con il candidato fungino: enhanced landfarming ed uno non inoculato: landfarming, contenenti sedimento corretto nel rapporto tra macronutrienti al rapporto specifico di 100:10:1 rispettivamente di C:N:P ed ammendato con il 10% in peso di materiale lignocellulosico (cippato di legno).

Si ottiene quindi un totale di 18 mesocosmi mantenuti in assenza di luce diretta a temperatura ambiente ed omogenati una volta alla settimana, con correzione del contenuto idrico, inizialmente corretto all'80% della capacità di ritenzioni idrica massima, mediante pesata su bilancia di precisione.

Il peso iniziale di ogni singolo mesocosmo è stato corretto a 460 gr, la sperimentazione è iniziata il 28 giugno 2019 e si è conclusa 28 Luglio 2019

Di seguito sono riportate immagini relative all'allestimento dei mesocosmi



Figura 22: Mesocosmi di enhanced landfarming

Cippato
lignocellulosico



Sedimento contaminato



Sedimento contaminato ammendato con
cippato



Figura 23: Strutturante per enhanced landfarming

4. Bibliografia

- Iannelli, R., M. Masi, A. Ceccarini, M. Ostuni, R. Lageman, A. Muntoni, D. Spiga, A. Poletti, A. Marini, and R. Pomi (2015). "Electrokinetic remediation of metal-polluted marine sediments: experimental investigation for plant design". In: *Electrochimica Acta* 181, pp. 146–159. DOI: 10.1016/j.electacta.2015.04.093.
- Iannelli, R., M. Masi, and A. Ceccarini (2016). "Gestione e trattamento degli elettroliti nella bonifica elettrocinetica di matrici contaminate da metalli pesanti". In: *Ingegneria dell'Ambiente* 3.2, pp. 140–152. DOI: 10.14672 /ida.v3i2.466.
- ICRAM (2006). Progetto preliminare di bonifica dell'area marina inclusa nella perimetrazione del sito di bonifica di interesse nazionale di Livorno. Tech. rep., p. 134.
- Lageman, R and WPool (2009). "Experiences with field applications of electrokinetic remediation". In: *Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater*, C. Cameselle and K. R. Reddy. John Wiley & Sons, Inc., pp. 697–717. DOI: 10.1002/9780470523650.ch7.
- Lageman, R, W Pool, and G. A. Seffinga (1989). "In-Situ Bodensanierung durch elektrokinetischen Schadstofftransport". In: *Sanierung kontaminierter Standorte*. Ed. by E. S. Verlag. Vol. 33. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis. Berlin, Germany, pp. 255–282.
- Masi, M. and R. Iannelli (2015). "Trattamento elettrocinetico di sedimenti di dragaggio portuale contaminati da metalli pesanti: il progetto life+ "SEKRET"". In: *Ingegneria dell'Ambiente* 2.2, pp. 45–58. DOI: 10.14672 /ida.v2i2.334.