

## Il progetto SIBSAC: la ricerca

Il progetto SIBSAC si propone un intervento esteso a zone portuali e costiere in presenza di depositi petroliferi per il trattamento integrato di acque di rifiuto (*bilge water, slops*) delle navi e sedimenti contaminati con procedure di *sediment washing* e con la ricollocazione del materiale trattato anche per usi industriali. Le attività inerenti il presente progetto di ricerca avranno una durata pari a 36 mesi ed avranno inizio il 10.09.2010 e si concluderanno il 10.09.2013. L'attuale costo di conferimento in discarica (compreso il trasporto) della frazione fine varia tra 100 e 130 €/t.

Per quanto riguarda le acque esaminate, l'attuazione del decreto n. 182 del 2003 ha creato non poche difficoltà essendosi trovati: da un lato i porti impreparati, considerati i tempi non certo brevi per la costruzione, il collaudo e l'autorizzazione di moderni impianti di stoccaggio, smaltimento e riciclaggio di tali acque; dall'altro lato, armatori e comandanti di navi che hanno dovuto affrontare nuovi oneri dovuti al costo della discarica delle acque e al tempo necessario per avere le autorizzazioni alla discarica. E' quindi evidente l'opportunità di definire nuove soluzioni tecnologiche che limitino i costi della filiera di smaltimento e ne consentano un adeguato trattamento per lo scarico a mare nel pieno rispetto dell'ambiente marino.

Il progetto è articolato nei seguenti obiettivi realizzativi e attività connesse:

- trattamento sedimenti contaminati: ricerca bibliografica; individuazione delle aree portuali e campionamento; caratterizzazione dei sedimenti; prove in laboratorio in *batch* di *soil washing*; prove di recupero dell'agente estraente; allestimento e verifica impianto *bench scale* di *sediment washing*; allestimento e verifica sistema di estrazione del solvente/i; prove di *sediment washing* in laboratorio e individuazione caratteristiche impianto pilota; scelta del processo e dimensionamento dell'impianto pilota; prove su impianto pilota; ridefinizione e ottimizzazione del processo; predisposizione del report finale.

- trattamento acque contaminate da idrocarburi e soluzioni residue da lavaggio sedimenti: ricerca bibliografica; caratterizzazione acque reflue oleose; caratterizzazione area pilota fitodepurazione; prove in *batch* di pretrattamento chimico fisico; prove in *batch* di trattamento biologico; prove di filtrazione su sabbia; scelta dei ceppi batterici; trattamento mediante carboni attivi; MBR; rigenerazione biologica dei carboni attivi; scelta del processo e dimensionamento impianto pilota chimico/fisico/biologico; selezione piante e medium riempimento impianto pilota fitodepurazione; progettazione e realizzazione impianto pilota fitodepurazione; prove su impianto pilota chimico/fisico/biologico, prove su impianto pilota fitodepurazione; ridefinizione e ottimizzazione del processo; predisposizione del report finale; definizione del sistema di controllo; realizzazione del sistema di controllo; test e monitoraggio sugli impianti pilota.

- monitoraggio e controllo dell'impatto in atmosfera del processo: allestimento test e monitoraggio del sistema di controllo delle emissioni degli impianti pilota. Gli impianti realizzati come riscontro dell'attività tecnica-scientifica sono: per il trattamento/bonifica di sedimenti marini e acque contaminate ad elevata salinità, realizzati presso la baia di Augusta; di fitodepurazione includente il pretrattamento delle miscele oleose operante (in parallelo con il precedente) presso la baia di Augusta; per il trattamento di acque

contaminate ad elevata salinità (di sentina, *slops*) operante presso l'impianto SARAS di Saroch - Sardegna); sistemi di controllo ambientale on-line da remoto delle emissioni prodotte dagli impianti suddetti.

Le principali località nelle zone di imputazione geografica dei costi sono costituite dalla **rada di Augusta** e dalla **raffineria Saras di Cagliari**.

Le attività analitiche, le verifiche di processo in *batch* e di tipo *bench-scale*, le attività di coltivazione delle popolazioni batteriche verranno condotte presso il laboratorio di Ingegneria Ambientale dell'Università Kore di Enna e i laboratori dei Consorzi Universitari della Provincia di Palermo e Megara Ibleo.

Il progetto avrà una durata di 36 mesi, e verrà realizzato dalle seguenti organizzazioni:

1. T.I.M.E. - TRASPORTI INDUSTRIA MECCANICA - S.p.A.
2. Università degli Studi di Enna "Kore" (KORE)
3. Consorzio Universitario della Provincia di Palermo (CUPP)
4. Scienza Industria Tecnologia srl (SIT) – soggetto terzo
5. Consorzio Universitario Megara Ibleo (CUMI)
6. SARAS – soggetto terzo
7. HYDROGEA VISION SRL (HYV) – soggetto terzo

## **1. TITOLO DEL PROGETTO: SIBSAC - Sistema integrato per la bonifica e il trattamento di sedimenti e acque contaminate ad elevata salinità**

### **1.1 Sintesi del progetto**

Le acque reflue, contaminate da composti xenobiotici e scaricate nell'ambiente marino, determinano un grave problema ecologico a causa della persistenza e l'accumulo di questi composti. Le ingenti quantità di sedimenti contaminati che richiedono dragaggio, al fine di mantenere o ripristinare le aree costiere e portuali, richiedono strategie gestionali tecnicamente affidabili a costi contenuti. Questa problematica è particolarmente significativa nell'area industriale Augusta-Priolo, una delle più grandi aree petrolchimiche in Italia e in Europa che opera dagli anni '50. Obiettivo principale di questo progetto di ricerca è proporre un impianto di trattamento integrato includente fasi fisiche, chimiche e biologiche per la rimozione di contaminanti da sedimenti e acque reflue da navigazione. In questo contesto viene qui proposto un processo di *sediment washing* che rimuova i contaminanti organici e inorganici. Diversi solventi verranno provati in test di estrazione condotti per determinare le condizioni ottimali (tipologia, dosaggio, tempo di contatto, miscelazione e step di estrazione). **Il trattamento proposto presenta il vantaggio di una tecnologia semplice con costi che possono essere ridotti dal recupero delle soluzioni estraenti.** Il refluo derivante dal lavaggio sarà trattato nella linea acque insieme ad acque di sentina e acque di lavaggio dei serbatoi delle petroliere. La linea acque potrà includere un processo preliminare di pre-trattamento per chiariflocculazione, adsorbimento su GAC e/o BAC, seguito da un bioreattore a membrana. Test in *batch* e di filtrazione su colonna consentiranno di

scegliere il sistema a carbone attivi granulari (GAC) più efficace, di definire le cinetiche di adsorbimento e di fornire informazioni preliminari sul tempo di contatto e la frequenza di controlavaggio. Verrà investigata la possibilità di rigenerazione biologica offline del GAC con lo scopo di ridurre le necessità di un trattamento chimico o termico e gli elevati costi relativi. Test a circuito chiuso verranno condotti per verificare la possibilità di biorigenerare i carboni saturi attraverso l'aggiunta di batteri appositamente selezionati. Verrà analizzata la capacità dei batteri di resistere alla salinità e ai composti refrattari. Un trattamento naturale (la fitodepurazione) sarà anche analizzato in parallelo allo schema proposto.

## **1.2 Descrizione dell'obiettivo generale del progetto**

L'obiettivo generale del presente progetto è l'individuazione di soluzioni efficaci e verificabili per il miglioramento qualitativo delle aree portuali e dei depositi costieri di idrocarburi e la riduzione del derivante impatto sull'ambiente marino. Il primo obiettivo consiste nella messa a punto di una procedura di lavaggio dei sedimenti dragati, quando contaminati, con una tecnologia a basso impatto ambientale che risulti efficace sia per i contaminanti inorganici (metalli in tracce) che organici (POPs, ovvero idrocarburi policiclici aromatici, policlorobifenili, etc.).

Il secondo obiettivo mira a definire un processo di trattamento per acque contaminate da idrocarburi, come le acque di sentina (*bilge waters*) e le acque di lavaggio dei serbatoi (*slops*) che, per le caratteristiche di elevata salinità, richiedono sempre, dopo il trattamento, lo scarico in mare.

## **1.3 Descrizione del trattamento sedimenti contaminati**

Il processo proposto di *Sediment Washing* è un trattamento fisico-chimico basato su una combinazione di diverse tecniche di separazione in grado di rimuovere una gran varietà di contaminanti organici (ad esempio IPA e PCB) e inorganici (ad esempio Metalli Pesanti e Cianuri) che aderiscono alla frazione fine del materiale (argilla, limo o materiale organico).

Il processo di trattamento previsto prende spunto dalla più consolidata tecnologia di "*Soil Washing*" e può rappresentare una valida soluzione per sedimenti contaminati aventi frazione fine (argilla e limo <63µm) inferiore al 40%. Esso consente di recuperare ghiaia e sabbia pulite che sono materiali con ottime caratteristiche geotecniche e che possono essere riutilizzati come materiali di riempimento. Le diverse frazioni pulite, derivanti dal trattamento possono essere anche riutilizzate per ricostituire il sedimento originario.

La *sediment washing* è una tecnologia di bonifica *ex situ* in cui gli agenti inquinanti vengono rimossi dal sedimento mediante il loro trasferimento ad una fase liquida, solitamente acquosa. Il processo si basa essenzialmente su due meccanismi (De Fraja Frangipane et al., 1994): la dissoluzione dei contaminanti nell'agente estraente e la dispersione dei contaminanti nel liquido d'estrazione sotto forma di particelle sospese.

Nelle configurazioni impiantistiche più semplici il liquido di lavaggio è acqua, in quelle più complesse in fase di sperimentazione è costituito da soluzioni acquose contenenti specifici reagenti chimici in grado di promuovere il passaggio degli inquinanti dal suolo alla soluzione estraente. In entrambi i casi il liquido di lavaggio può essere recuperato, depurato e/o ricircolato nell'impianto (Vaccari et al., 2004). In alcuni casi il sedimento, al termine del trattamento, può subire un ulteriore

lavaggio (con estraente depurato, o con acqua pulita) al fine di rimuovere i residui dell'agente di estrazione contaminato, disidratato ed avviato al riutilizzo come terreno bonificato per esempio tramite il riempimento di casse di colmata (Tatàno, 1999). La frazione limo-argillosa, invece, viene generalmente conferita in discarica.

Per il riutilizzo in regime semplificato della frazione fine derivante dal trattamento di sediment washing è necessario che il rifiuto sia classificato come non pericoloso. Da qui nasce l'esigenza di sottoporre talvolta il limo di risulta del processo di sediment washing ad ulteriore trattamento prima del riutilizzo.

Se si pensa che l'attuale costo di conferimento in discarica (compreso il trasporto) della frazione fine varia tra 100 e 130 €/t (Vaccari et al, 2009) si capisce la necessità di individuare soluzioni adeguate dal punto di vista sia tecnico sia ambientale che consentano di recuperare e valorizzare anche la frazione limosa originata dal processo di *sediment washing*.

Il processo di trattamento per la linea sedimenti potrà essere articolato nelle seguenti fasi:

- 1) separazione delle classi granulometriche, permettendo di rimuovere dal sedimento il materiale appartenente ad una certa classe granulometria e di separarlo in più frazioni sulla base delle caratteristiche dimensionali. Tale separazione permette di diminuire i volumi da sottoporre a trattamento e di rendere più omogeneo il materiale da inviare a successivo trattamento;
- 2) omogeneizzazione e disgregazione meccanica della frazione passante al vaglio. Le frazioni granulometriche di fine dimensione vengono convogliate all'interno di sezioni di miscelazione e disgregazione meccanica, all'interno delle quali viene favorita la formazione di una torbida in cui eventuali aderenze fangose presenti vengono disgregate fino al raggiungimento delle condizioni di miscela omogenea;
- 3) condizionamento della torbida. Una volta ottenuta una torbida omogenea si passa al dosaggio mediante agenti estraenti, a seconda dei contaminati presenti;
- 4) trattamento dello sterile con disidratazione e trattamento/riutilizzo delle acque di processo. Nella sezione terminale dell'impianto la miscela decontaminata viene sottoposta a trattamento di disidratazione.

È importante sottolineare che l'intera gestione integrata deve avere come obiettivi principali:

- il recupero totale dell'intera volumetria dragata,
- l'ottenimento di superfici idonee allo sviluppo di attività produttive (relativamente alle caratteristiche geomeccaniche),
- la riduzione del rischio di diffusione dei contaminanti (relativamente alla mobilità dei contaminanti),
- la riduzione dei tempi per l'ottenimento dei risultati finali, ovvero del tempo che intercorre tra l'escavo e l'utilizzo effettivo delle superfici riempite.

#### 1.4 Descrizione del trattamento acque contaminate ad elevata salinità

Viene proposto un processo di trattamento di acque contaminate ad elevata salinità (fino a raggiungere quella marina) consistente in una serie di trattamenti di natura fisica, chimica e biologica.

In particolare lo schema di trattamento da investigare potrà includere: una prima fase di disoleazione atta a recuperare l'eventuale fase libera; una fase di trattamento chimico fisico mediante coagulazione e sedimentazione/flottazione in relazione alle caratteristiche delle emulsioni trattate, atta a ridurre il contenuto di idrocarburi e di metalli pesanti per coprecipitazione.; una fase di affinamento che potrà essere costituita rispettivamente da un trattamento a carboni attivi rigenerati biologicamente con procedura off-line, da un trattamento a carboni attivi biologici seguiti da un bioreattore a membrane (MBR).

Parallelamente ad una filiera di tipo tecnologico, per il trattamento del refluo verrà investigata l'applicazione di tecniche a basso impatto ambientale e a gestione semplificata. Tali tecniche, definite *Constructed Wetlands* (fitodepurazione), si applicheranno a seguito dei trattamenti fisici preliminari/primari costituiti dal sistema di disoleazione/coagulazione e rappresentano sistemi biologici che utilizzano la matrice vegetale unitamente a quella microbiologica per la rimozione degli inquinanti.

Le acque reflue contenenti idrocarburi rappresentano le sorgenti di inquinamento più diffuse nell'ambiente acquatico, data l'emissione di un'ampia varietà di rifiuti industriali oleosi provenienti dal settore petrolchimico, siderurgico e dai trasporti. I reflui oleosi possono essere caratterizzati da una composizione complessa contenendo sia olio (minerale o sintetico) che agenti emulsionanti, inibitori di corrosione, battericidi e altri composti chimici (Althers, 1998). Il trattamento terziario delle miscele oleose può essere effettuato attraverso sistemi biologici. Poiché però l'olio libero risulta inibitorio per questi processi, l'influenza agli impianti biologici non dovrebbe contenerne più di 15-20 mg/l. Da tempo è stata infatti dimostrata la capacità dei microrganismi di degradare i contaminanti organici nocivi a composti privi di tossicità e la possibilità di utilizzarli in impianti di trattamento di reflui industriali. Tali processi sono basati sulla capacità di specifici microrganismi di metabolizzare composti xenobiotici, mediante la produzione di specifici enzimi in grado di degradare i contaminanti di interesse.

Questo principio è stato formalizzato da Alexander (Alexander, 1965) come il **principio dell'infalibilità microbica**: *"I composti organici non naturali non sono totalmente resistenti alla biodegradazione, se le condizioni ambientali sono favorevoli"*.

Specialmente per composti a molecola complessa o per contaminazioni complesse è opportuno non impiegare microrganismi singoli, ma consorzi di microrganismi cooperanti, capaci ciascuno di compiere la degradazione successiva a quella precedentemente compiuta da altro membro del consorzio, effettuando così una degradazione completa.

Diversi batteri che abitano in ambienti marini sono in grado di degradare composti idrocarburi. Essi sono stati spesso isolati come degradatori di alcani o di composti aromatici come toluene, naftalina e fenantrene. Molti batteri marini capaci di degradare gli idrocarburi del petrolio sono stati isolati solo di recente. Questi ultimi sono batteri del genere *Alcanivorax*, *Cycloclasticus*,

*Marinobacter*, *Neptunomonas*, *Oleiphilus*, e *Oleispira* e del genus *Planococcus*. Questi batteri usano sorgenti di carbonio con una preferenza per gli idrocarburi e quindi sono batteri idrocarburoclastici specialisti. Sono stati anche isolati alcuni batteri idrocarburoclastici 'non specialisti': per esempio, *Vibro*, *Pseudoalteromonas*, *Marinomonas* e *Halomonas* sono stati isolati come batteri marini capaci di degradare fenantrene o crisene. Alcuni batteri degradanti gli idrocarburi isolati dagli ambienti marini sono stati classificati in molti generi che includono batteri terrestri degradanti idrocarburi: vale a dire, *Staphylococcus* e *Micrococcus* degradanti naftalene, *Sphingomonas* degradante 2-metilfenantrene e *Geobacillus* degradanti alcani. Diverse ricerche hanno anche riguardato la degradazione degli idrocarburi di petrolio da parte di *Cianobatteri*.

Dal punto di vista applicativo l'uso delle membrane in reattore biologico (MBR) per la separazione delle emulsione oleose viene considerato promettente (Tremblay et al., 2002, Mohammadi et al. 2003; Li et al. 2006), ma alcune preoccupazioni sorgono dalla necessità di rimuovere le sostanze organiche e la biomassa dall'influente per prevenirne l'accumulo sulle membrane.. Il BioReattore può funzionare a carichi volumetrici ed a concentrazione di fanghi in vasca molto più elevate rispetto ai fanghi attivi convenzionali; ciò comporta volumi di reattore biologico nettamente inferiori.

Altra possibilità di affinamento è quello ottenibile mediante adsorbimento su carboni attivi, che può produrre effluenti di qualità elevata con concentrazioni di olio inferiori ai 10 mg/L e valori molto bassi di sostanza organica disciolta (U.S. Department of Defence, 2004). L'utilizzo di sistemi a Carbone granulare Biologicamente Attivato (BAC) per il trattamento delle acque è stato oggetto di ricerca soprattutto nell'ultimo ventennio (Rice and Robinson 1982; Sutton and Mishra, 1994, Seredynska et. al., 2005, Putz et al. 2005). Il processo di rimozione del substrato sulla superficie del Carbone Attivo Granulare (GAC) comprende l'assorbimento sul biofilm e la sua ossidazione microbiologica da parte dei microrganismi. (Morsen e Rehm, 1990; Xiaojian et al., 1991). Il tasso di biodegradazione è però fortemente condizionato dalla disponibilità e distribuzione di nutrienti e dell'ossigeno all'interno dei filtri e dalla persistenza dei composti xenobiotici (Scholz and Martin, 1997).

Una possibile alternativa che voglia utilizzare le potenzialità rigeneranti dei batteri è la Rigenerazione Biologica Off line (OBR). Le possibilità di applicazione di tali sistemi è stata inizialmente suggerita da Sigurdson e Robinson (1978) e diverse sono ormai le applicazioni nel tempo (Aktas e Cecen, 2007). Nessuna di queste riguarda però acque con elevata salinità.

Una potenziale alternativa è quella di condurre il trattamento secondario/terziario del refluo attraverso l'applicazione di un sistema di depurazione naturale (fitodepurazione). Nei sistemi di fitodepurazione i contaminanti sono rimossi dal refluo attraverso diversi meccanismi. I processi di sedimentazione, degradazione microbiologica, precipitazione e *up-take* delle piante sono in grado insieme di rimuovere diversi tipi di inquinanti. Considerando la salinità delle acque da trattare, la selezione delle specie di piante da utilizzare assume la massima importanza. Per cui occorre selezionare le essenze vegetali che dimostrino la massima tolleranza a queste condizioni ambientali. In un recente studio (Klomjek, 2005), sono state valutate diverse essenze vegetali potenzialmente adatte a trattare reflui a elevata salinità. Fra queste i migliori risultati in termini di rimozione di sostanze inquinanti e tolleranza alle condizioni saline sono stati ottenuti con alofite quali *T. angustifolia*, presente naturalmente in acque salmastre, e *D. bicornis*, presenti nelle aree

umide litoranee. Inoltre nell'Environmental National Engineering Handbook del U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service si indicano quali specie resistenti in ambienti altamente salini anche le *Phragmites australis* e lo *Scirpus americanus*. Negli studi di Crites e Tchobanoglous (1998) e in quelli di Reed et. al. (1995) si riporta che le essenze vegetali più frequentemente utilizzate nei sistemi di fitodepurazione sono *Scirpus* sp., *Typha* sp. e *Phragmites communis*. Si tratta di piante adatte a sostenere condizioni di elevata salinità come quella che può contraddistinguere i reflui portuali.

## **2. LUOGHI DI SVOLGIMENTO DEL PROGETTO**

Le principali località nelle zone di imputazione geografica dei costi sono costituite, per quanto riguarda le attività di campionamento di acque e sedimenti e per la predisposizione degli impianti pilota, dalla rada di Augusta e dalla raffineria Saras di Cagliari.

Tutte le attività analitiche, le verifiche di processo in *batch* e di tipo *bench-scale*, nonché le attività di coltivazione delle popolazioni batteriche verranno condotte presso il laboratorio di Ingegneria Ambientale dell'Università Kore di Enna.

### **2.1 Rada di Augusta**

L'attività di prelievo e caratterizzazione dei sedimenti è prevista in corrispondenza del pontile del deposito di combustibili costiero Maxcom, situato nella parte nord-orientale del porto di Augusta e presso il molo del deposito reflui da navigazione della Pontoni s.r.l. situato nella parte Sud del porto di Augusta.

A livello internazionale Augusta costituisce un polo di rilevante interesse per lo sviluppo del commercio con l'estero, perché approdo potenziale per le linee marittime che potrebbero essere istituite per collegare la Sicilia con la Grecia, la Turchia, i Paesi del Mar Nero, del Nord Africa (Egitto, Libia) e del Medio Oriente (Siria, Giordania, Libano).

A partire dagli anni '50 un forte sviluppo industriale ha coinvolto l'intera area che va da Augusta fino a Siracusa, facendo del porto il più grande terminale petrolifero d'Italia. La principale attività svolta all'interno dell'area in esame è il trasporto, la raffinazione e lo stoccaggio di prodotti petroliferi.

Tra le altre attività, è presente ancora oggi la base militare della Marina Italiana e una base della NATO. Inoltre insiste al ridosso dell'area portuale il cantiere navale Noè, la centrale elettrica dell'ENEL Tifeo e il porto commerciale. In più, si segnala la presenza di varie discariche abusive all'interno dei bacini torrentizi che ricadono nel porto.

Presso l'area dell'ex idroscalo, nella parte a Nord della rada, in posizione molto riparata dai venti dominanti, sono presenti pontili galleggianti e banchine, scalo di alaggio, officine meccaniche, cantiere navale, rimessaggio, destinati esclusivamente per il diporto nautico. Circa 150 posti barca per tutto l'anno, stagionale e giornaliero. Può ospitare imbarcazioni con lunghezza massima di 22 metri, pescaggio max 1,7 metri ai pontili, misure superiori alle boe.

La rada di Augusta, grazie alla Gestione Pontoni Srl, rimane uno dei porti in cui è attivo il servizio a mezzo b Bettolina. Questi mezzi possono operare comodamente con la nave all'ancora, quindi senza necessità di ormeggio ai pontili, con una conseguente diminuzione di tempo e costi.

Gestione Pontoni Srl nel porto di Augusta è concessionaria del servizio di ritiro e smaltimento a mezzo b Bettoline delle acque di lavaggio e acque di sentina. Può contare sull'utilizzo di 5 b Bettoline (Emilia, Aroldi, Salvia, Marzia, Nella C) la cui capacità complessiva di stoccaggio è di 1700 tonnellate. Una potenzialità che pone Gestione Pontoni Srl come leader tra le società che, nei porti italiani, gestiscono questo servizio. Per il prossimo futuro i dirigenti della Gestione Pontoni Srl hanno programmato l'acquisto di altri due mezzi che porteranno la capacità di raccolta a oltre 4000 tonnellate. La politica di potenziamento migliorerà il servizio reso in riferimento alla diminuzione di attesa, considerando che i tempi operativi attivi, nell'ambito dei traffici commerciali, sono molto importanti per la gestione delle compagnie di navigazione; questa operazione che proietterà il porto di Augusta tra quelli meglio serviti di tutto il Mediterraneo.

Il porto è formato da una insenatura naturale, separata dal mare aperto, dall'isola dove sorge la città di Augusta. A causa della presenza a sud della diga foranea, realizzata negli anni '20, le acque presentano uno scarso ricambio e il fenomeno dell'accumulo dei sedimenti, come spesso accade nei porti, prevale sull'erosione. Gli apporti naturali di acqua dolce provengono unicamente da piccoli torrenti stagionali.

## **2.2 Lo stabilimento di Sarroch (Gruppo SARAS - Sardegna)**

SARAS svolge la propria attività di raffinazione mediante la raffineria di Sarroch (Cagliari), sulla costa meridionale della Sardegna, la più grande raffineria del Mediterraneo per capacità produttiva e una delle raffinerie a più elevata complessità nell'Europa occidentale. Il ciclo di raffinazione è integrato con l'impianto IGCC, destinato alla produzione di energia elettrica.

Elevata capacità di lavorazione e complessità strutturale: queste caratteristiche fanno dello stabilimento di Sarroch un punto nodale delle attività produttive del Mediterraneo, in grado di effettuare sia i processi di separazione, sia i processi di conversione e di modulare le differenti fasi del ciclo produttivo in base alle caratteristiche dei petroli grezzi da lavorare, per ottenere prodotti petroliferi di elevata qualità commerciale ed ambientale.

La collocazione geografica dello stabilimento produttivo di Sarroch si è confermata nel tempo come ottimale e strategica per gli scambi con i Paesi del Mediterraneo centro-occidentale, sia europei sia nord-africani; allo stesso tempo, la vicinanza degli stabilimenti Polimeri Europa, Air Liquide e Sasol Italy, consente di integrare le operazioni di raffineria con le produzioni di tipo petrolchimico.

La storia di Saras a Sarroch ha avuto inizio nel 1962, quando Angelo Moratti individuò in questo sito un luogo strategico per l'attività di raffinazione del petrolio. Nel 1963 furono avviati i lavori di costruzione degli impianti della raffineria; nel 1965 ebbe inizio l'attività di raffinazione.

Fino alla fine degli anni '80, Saras ha svolto prevalentemente servizi di raffinazione per "conto terzi", ossia raffinazione del petrolio grezzo di proprietà di altre società petrolifere che affidavano a Saras la materia prima per ottenere prodotti petroliferi.

A metà degli anni '90, in vista di una forte riduzione della domanda di oli combustibili ad alto tenore di zolfo, Saras ha avviato un progetto di grande rilevanza industriale, incentrato sulla realizzazione di un impianto di gassificazione dei distillati pesanti della raffinazione e successiva cogenerazione di energia elettrica e termica mediante ciclo combinato (impianto IGCC). Con l'entrata in esercizio dell'IGCC, il ciclo produttivo petrolifero risulta strettamente integrato con quello elettrico, consentendo di massimizzare la conversione della materia prima di partenza in prodotti petroliferi finiti e in energia.

Le attività svolte nel sito di Sarroch possono essere suddivise, dal punto di vista funzionale, nel modo seguente: ricezione materie prime e spedizioni prodotti tramite il terminale marittimo; produzione prodotti petroliferi; produzione energia elettrica nell'IGCC; stoccaggio materie prime, prodotti liquidi e gas liquefatti; spedizione prodotti via terra; servizi ausiliari (produzione energia nella Centrale termoelettrica, trattamento acque in ingresso, trattamento acque di scarico); uffici, officine, magazzini; attività delle Ditte in appalto.

La produzione petrolifera dello stabilimento di Sarroch presenta un'elevata resa di prodotti medi (gasoli) e leggeri (GPL, nafta, benzina), che nel 2009 hanno rappresentato complessivamente circa l'80% della produzione totale. La destinazione dei prodotti della raffineria è prevalentemente, ma non esclusivamente, nel bacino centro-occidentale del Mediterraneo. In particolare, nel 2009, quasi 1/4 della produzione complessiva di prodotti petroliferi è stata assorbita dal mercato regionale sardo.

FIGURE 6 E 7 Il terminale marittimo collegato alla raffineria è costituito da un pontile di 1.600 metri e dalle piattaforme denominate "isola", collegata al pontile mediante una palificata di 1.200 metri. Da qui viene ricevuta la totalità delle materie prime e spedita la maggior parte dei prodotti petroliferi. Il terminale dispone di undici punti di ormeggio indipendenti, nove dei quali sono destinati alla spedizione di prodotti petroliferi finiti e ricezione semilavorati, con possibilità di attracco di navi cisterna fino a 65.000 tonnellate, e i restanti due dedicati alla ricezione delle materie prime, con possibilità di attracco di navi cisterna fino a 300.000 tonnellate. Per essere ammesse al terminale marittimo di Saras, tutte le navi in arrivo devono rispettare elevati standard di sicurezza conformi a criteri internazionalmente riconosciuti cui si aggiungono requisiti definiti da Saras. Una sala controllo dedicata, che nel 2008 è stata completamente rinnovata e dotata delle migliori tecnologie di controllo, è presidiata ed operativa 24 ore su 24, ed è in costante contatto radio con le navi operanti presso il terminale per verificare che tutte le operazioni si svolgano nel massimo rispetto di tutti i requisiti di sicurezza e protezione ambientale.

### **2.3 Laboratorio di ingegneria Ambientale dell'Università Kore di Enna**

Il laboratorio di Ingegneria Ambientale (L.I.A.) dell'Università Kore di Enna è stato inizialmente allestito nel 2001 come laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Catania presso la sede di Enna, grazie ai locali,



## **2.4 SIT - Scienza Industria Tecnologia srl**

SIT ha sviluppato tecniche di misura di gas basate sull'optronica che permettono una acquisizione dati precisa e in tempo reale. Gli strumenti prodotti sono stati applicati in situazioni molto diverse: misura in continua dell'inquinamento ambientale; controllo di processi chimici; rilevazione di parametri biomedici.

SIT ha esperienza nel controllo di materiali e di sistemi utilizzando tecniche complementari per l'analisi di difetti e il controllo di processo. Tra le tantissime si ricordano: lase; ultrasuoni; radiografia gamma digitali; imaging UV e infrarosso; 3D laser scanner; laser per misure di Ossigeno.

SIT srl ha lavorato in molti settori utilizzando un nucleo permanente di fisici e ricercatori e molti collaboratori esterni inseriti in centri di ricerca italiani o europei. Talvolta la ricerca è stata autofinanziata (R:I:A : Ricerca Interna Autofinanziata) , più spesso è stata commissionata da grosse strutture industriali o da enti di ricerca.

Gli strumenti che SIT è in grado di gestire sono: gestione e programmazione del WEB; gestione di dati base; sistemi di acquisizione e trasmissione dati ; reti neurali; tecniche di Montecarlo; Path Integral e metodi stocastici.

## **3. RESPONSABILE DEL PROGETTO**

Il responsabile del progetto è il Dottore Giuseppe Mancini, nato a Catania il 08.04.1969, e laureato in Ingegneria Civile e in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. E' attualmente ricercatore in Ingegneria Sanitaria Ambientale e responsabile del Laboratorio di Ingegneria Ambientale dell'Università Kore di Enna.

## **4. ATTIVITÀ**

### **4.1 OR S: TRATTAMENTO SEDIMENTI CONTAMINATI**

Le attività inerenti la ricerca sul sistema di lavaggio dei sedimenti e sviluppo del prototipo a scala pilota possono essere di seguito elencate:

- messa a punto delle metodiche analitiche sperimentali ottimali al fine di valutare l'efficienza di rimozione dei contaminati;
- valutazione dell'influenza di fattori quali il tipo agenti chimici estraenti-sedimento al variare della concentrazione e del tipo di contaminante presente, il tempo di contatto le modalità di lavaggio.
- la caratterizzazione delle acque di lavaggio e la verifica sperimentale delle loro possibilità di trattamento separato o in congiunzione con reflui di caratteristiche similari o compatibili.

- progettazione realizzazione e verifica dell'impianto *soil-washing* a scala da banco;
- progettazione realizzazione e verifica dell'impianto *soil-washing* a scala pilota;

Le attività descritte verranno articolate in relazione ai seguenti Obiettivi Realizzativi:

*OR SI: CARATTERIZZAZIONE DELLE MATRICI E INDIVIDUAZIONE DEI REQUISITI DI PROCESSO*

La movimentazione dei sedimenti da sottoporre al trattamento di *soil washing* deve prevedere una accurata verifica del loro effettivo grado di contaminazione e degli effetti da questo indotti onde accertare l'esigenza concreta di movimentazione. Con queste attività si intende definire il quadro generale coerente dello stato dell'ambiente marino nelle zone portuali e depositi costieri dove si intende intervenire e le metodologie generali da mettere in atto per la verifica della necessità o meno d'intervento. Nello specifico verranno condotte attività sperimentali quali:

*- Indagini geomorfologiche, sedimentologiche e censimento delle biocenosi bentoniche*

Lo studio dei fondali marini e l'analisi delle caratteristiche chimiche e fisiche dei sedimenti riveste una notevole importanza nella valutazione dell'ambiente marino. I sedimenti possono svolgere un ruolo di trasporto diretto dei contaminanti. Le comunità bentoniche sono state considerate tra i più efficaci descrittori sintetici dell'ambiente: sono, infatti, costituite da organismi sedentari o poco mobili, con cicli vitali relativamente lunghi, la cui distribuzione è strettamente correlata alla principali componenti chimico-fisiche ambientali. La risposta dei popolamenti alle caratteristiche ambientali è di tipo "persistente"; essi cioè non variano istantaneamente al cessare di un afflusso inquinante, ma si riportano verso un migliore equilibrio ambientale molto più lentamente, attraverso stadi intermedi, in funzione della loro resilienza.

Queste attività verranno realizzate dal CUPP presso i siti di campionamento e propri laboratori di ricerca.

*- Indagini sulla variazione genetica di invertebrati marini*

La continua crescita delle conoscenze e delle tecniche utilizzate per lo studio del DNA ha indirizzato i ricercatori ad utilizzare sempre più marcatori genetici per studiare e comprendere la diversità genetica delle popolazioni animali e vegetali da utilizzare per il monitoraggio ed un corretto uso dell'ambiente. Lo studio della variazione genetica delle popolazioni è stato proposto come strumento utile per stimare la vulnerabilità di una popolazione alle alterazioni naturali ed antropiche valutabili attraverso gli effetti sui cambiamenti dei genotipi. Inoltre, l'analisi genetica potrebbe rappresentare un valido e rapido strumento per valutare i danni che alcune sostanze possono provocare all'intera biodiversità dell'ambiente alterato. I campionamenti di *benthos* e sedimenti verranno effettuati con l'ausilio di un battello oceanografico dotato di benna Van Veen (0,18 m<sup>2</sup>) e *box corer*. In concomitanza verranno effettuate analisi idrologiche per mezzo di misure in situ delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque e prelievi d'acqua per la successiva determinazione in laboratorio dei principali nutrienti e composti inorganici.

Anche tale fase verrà condotta presso i laboratori del Consorzio Universitario della Provincia di Palermo (CUPP).

### *- Caratterizzazione chimico-fisica*

Nella prima fase dell'attività di ricerca riguardante il processo di lavaggio, nei sedimenti dragati, verranno valutate le concentrazioni dei contaminanti organici e la concentrazione totale di vari elementi in tracce (arsenico, cadmio, rame, cromo, piombo, mercurio, nichel, zinco, ecc.). Verrà utilizzata una procedura di estrazione sequenziale (schema di Tessier modificato) per valutare le concentrazioni delle diverse fasi. I campioni saranno poi analizzati tramite ICP-MS Quadrupole (Agilent), previa mineralizzazione. Per quanto riguarda la caratterizzazione dei sedimenti, le metodologie analitiche utilizzate devono essere quelle relative a protocolli nazionali e/o internazionali ufficialmente riconosciuti. I risultati della concentrazione totale verranno espressi in mg/kg (riferito a peso secco); i risultati relativi allo studio di geospeciazione (estrazione sequenziale con Tessier modificato) saranno espressi in percentuale, per evidenziare il diverso peso delle differenti frazioni all'interno del totale. La precisione della misura (data dalla RSD%, deviazione standard relativa percentuale) dovrà essere  $\leq 5\%$ .

Tale attività di caratterizzazione verrà condotta dall'Università Kore presso i propri laboratori.

#### *OR S2: VERIFICA E OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO A SCALA DI LABORATORIO (BENCH SCALE)*

Nella seconda fase della ricerca sui sedimenti verranno considerati differenti parametri nella messa a punto della procedura di lavaggio. In relazione alle loro proprietà complessanti e surfattanti e al loro basso impatto verso l'ambiente, per il lavaggio verranno utilizzate sostanze organiche naturali. La concentrazione della soluzione di lavaggio sarà sempre al di sopra della CMC (concentrazione critica micellare). Oltre alla concentrazione della soluzione di lavaggio, verranno considerati sia il tempo di lavaggio e di contatto tra il sedimento e la soluzione di lavaggio sia il rapporto m/v tra sedimento e soluzione di lavaggio. Oltre alla analisi della concentrazione totale degli elementi in tracce studiati prima e dopo il lavaggio, su alcuni dei batches verrà effettuata la procedura di estrazione sequenziale (geospeciazione) prima e dopo il lavaggio.

Tale attività di caratterizzazione verrà condotta dall'Università **Kore** di Enna e dal Consorzio Universitario Megera Ibleo (**CUMI**) presso i laboratori di entrambe le strutture.

#### *OR S3: SVILUPPO DEL PROTOTIPO A SCALA PILOTA E OTTIMIZZAZIONE FINALE DEL PROCESSO DI SEDIMENT WASHING*

L'obiettivo nell'OR 1.3 sarà quello di sviluppare un impianto prototipo in scala pilota in grado di trattare quei sedimenti in cui si riscontrano contaminazioni miste. L'implementazione del processo prevede la realizzazione di due linee parallele per il trattamento dei sedimenti contaminati da metalli pesanti e da contaminati organici. Il processo di trattamento all'interno dell'impianto pilota sarà articolato nelle seguenti fasi:

- 1) separazione delle classi granulometriche. La separazione permette di rimuovere dal sedimento il materiale appartenente ad una certa classe granulometria e di separarlo in due o più frazioni sulla base delle caratteristiche dimensionali. Tale separazione permette di diminuire i volumi da sottoporre a trattamento e di rendere più omogeneo il materiale da inviare a successivo trattamento.

- 2) omogeneizzazione e disgregazione meccanica della frazione passante al vaglio. Le frazioni granulometriche di fine dimensione vengono convogliate all'interno di sezioni di miscelazione e disgregazione meccanica, all'interno delle quali viene favorita la formazione di una torbida in cui eventuali aderenze fangose presenti vengono disgregate fino al raggiungimento delle condizioni di miscela omogenea.
- 3) condizionamento della torbida. Una volta ottenuta una torbida omogenea si passa al dosaggio mediante agenti estraenti opportuni a secondo dei contaminati presenti.
- 4) trattamento dello sterile con disidratazione e trattamento/riutilizzo delle acque di processo (linea acque). Nella sezione terminale dell'impianto la miscela decontaminata viene sottoposta a trattamento di disidratazione.

Tale attività di caratterizzazione verrà condotta dall'Università **Kore** di Enna e dal Consorzio Universitario Megea Ibleo (**CUMI**) presso il sito di realizzazione dell'impianto pilota.

#### **4.2 OR A: TRATTAMENTO ACQUE CONTAMINATE DA IDROCARBURI E SOLUZIONI RESIDUE DA LAVAGGIO SEDIMENTI**

Il petrolio e gli idrocarburi sono le principali sostanze inquinanti presenti nelle acque reflue esaminate. Si rileva in genere una frazione leggera di idrocarburi alifatici e aromatici e organoclorurati originati nel processo di produzione dei composti petroliferi. Le altre sostanze inquinanti possono essere idrogeno solforato, ammoniaca, fenoli, benzene, cianuri e solidi sospesi contenuti metalli e composti inorganici (es. alogenuri, solfati, fosfati, solfuri) (CONCAWE, 1999). Le acque di lavaggio delle cisterne adibite al trasporto di prodotti petroliferi vengono prodotte durante le operazioni di pulizia dei serbatoi di combustibile delle petroliere, effettuate con acqua ad alta pressione e occasionalmente con agenti tensioattivi degradabili (non più ammessi dalle normative in materia di protezione dell'ambiente marino). La percentuale e le caratteristiche degli oli presenti nelle acque di lavaggio sono funzione della tipologia dei prodotti trasportati e del volume residuo presente nelle cisterne. Le caratteristiche delle acque di sentina e le quantità producibili, dipendono dal tipo di nave e dal tipo di attività svolta dalla stessa. Il volume di acqua di sentina, generata principalmente nel vano motore delle navi, è compreso nel range 0.5-50 m<sup>3</sup>/d, dove il valore più basso riguarda i vascelli di medie dimensioni (Tomaszewska et al., 2005). Le attività, prevalentemente di sviluppo sperimentale, inerenti la ricerca sul **sistema di trattamento delle acque e sviluppo del prototipo a scala pilota** possono essere di seguito elencate:

- messa a punto delle metodiche analitiche sperimentali ottimali al fine di caratterizzare le acque contaminate a monte e a valle del trattamento;
- Analisi delle performance dei pretrattamenti
- Individuazione di ceppi microbici idrocarburo-degradanti capaci di operare ad elevati tenori salini.
- Individuazione delle essenze vegetali più idonee alla rimozione degli inquinanti di interesse e che presentano la maggiore tolleranza alle condizioni di elevata salinità.
- Analisi comparativa di differenti sistemi di affinamento biologico per la rimozione del carico inquinante residuo e scelta della soluzione più performante.

- progettazione realizzazione e verifica dell'impianto di trattamento a scala da banco;
- progettazione realizzazione e verifica dell'impianto di trattamento a scala pilota;
- progettazione e realizzazione dell'impianto pilota di fitodepurazione.

Le attività descritte verranno articolate in relazione ai seguenti Obiettivi Realizzativi:

*OR A1: CARATTERIZZAZIONE DELLE MATRICI ACQUOSE E INDIVIDUAZIONE DEI REQUISITI DI PROCESSO*

Le acque di sentina e di lavaggio dei serbatoi, saranno direttamente campionate dalle bettoline di trasferimento dei prodotti petroliferi dalle petroliere operanti nel porto di Augusta e presso la raffineria Saras. Le ulteriori acque saranno prelevate direttamente dalla fase di lavaggio dei sedimenti mediante decantazione. Le acque a monte e a valle del trattamento previsto saranno campionate ed analizzate in accordo a quanto riportato su "Metodi Analitici per le acque" IRSA-CNR (2003). Un ICP-OES (mod. Perkin Elmer 4300 DVTM) sarà usato per l'analisi dei metalli. Il pH sarà esaminato attraverso un pH-metro digitale (mod. 340/SET-1, WTW). La concentrazione di ioni sarà determinata tramite cromatografia ionica (mod. IC. Dionex, DX-600). Il metodo volumetrico sarà utilizzato per valutare l'ammontare di fango prodotto nelle prove di Jar test. Le concentrazioni di olio più basse verranno misurate tramite uno spettrofotometro (FT-IR, Perkin Elmer) con misura dell'assorbanza a 682 nm e mediante gascromatografia.

Questa fase sarà condotta dall'Università **Kore** di Enna e dalla **Saras** presso i laboratori di entrambe le strutture. In questa fase si inseriscono anche le attività volte alla selezione e alla caratterizzazione delle aree idonee alla realizzazione dell'impianto pilota di fitodepurazione. Quest'ultima attività sarà condotta da **HYDROGEA VISION**.

*OR A2: VERIFICA E OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO A SCALA DI LABORATORIO (BENCH SCALE)*

*- Separazione per gravità e precipitazione chimica*

Una fase iniziale di pre-trattamento prevede la separazione per gravità dell'olio libero, contenuto in grande quantità nelle acque da trattare. In presenza di emulsioni stabili, l'efficacia di rimozione dell'olio mediante separazione per gravità e per coalescenza risulta necessaria ma comunque insufficiente. Le emulsioni possono essere destabilizzate tramite reagenti i quali bilanciano o invertono la tensione superficiale, neutralizzano le cariche elettriche stabili o fanno precipitare gli agenti emulsificanti, permettendo la flocculazione di particelle di olio più grandi e la loro successiva rimozione. Con la presente proposta di ricerca si intendono eseguire prove in *batch* di precipitazione chimica mediante apparato Jar test. L'obiettivo principale delle prove Jar test è la determinazione del coagulante più efficiente (da confrontare per diverse tipologie), la sua dose ottimale (anche limitando la produzione di fango) così come le migliori condizioni operative (pH, aggiunta di polielettroliti). In relazione alle caratteristiche delle miscele da trattare, non prevedibili allo stato attuale, verrà esplorata la possibilità di utilizzo alternativo di un sistema a flottazione mediante aria disciolta.

Questa fase sarà condotta dall'Università **Kore** di Enna presso i propri laboratori.

- *Prove di affinamento mediante filtrazione su Carbone Attivo Granulare e carbone attivo biologico*

L'adsorbimento su carboni attivi è ormai riconosciuto come una tra le più efficaci tecnologie di trattamento per la rimozione dei VOCs (Daifullah e Girgis, 2003). I processi di adsorbimento sono infatti tra i trattamenti più impiegati nelle industrie chimiche e petrolchimiche. I carboni attivi utilizzati devono però essere ben classificati in relazione alle caratteristiche che li differenziano ed in particolare alla superficie specifica e alla polarità. Durante la ricerca proposta verranno eseguite, sugli effluenti provenienti dalle precedenti prove di Jar test, prove in *batch* per la determinazione della capacità di adsorbimento del carbone attivo, da selezionare su almeno tre differenti tipologie. Sul carbone attivo più performante verranno condotte prove di filtrazione in continuo su impianto bench scale per la determinazione delle curve di *breakthrough* e delle relative frequenze di controlavaggio. Prove analoghe verranno effettuate con carboni attivi biologici, verificandone la diversità di comportamento con i precedenti in termini di possibile prolungamento della vita utile delle colonne prima della necessità di rigenerazione.

Questa fase sarà condotta dall'Università **Kore** di Enna presso i propri laboratori.

- *Biorigenerazione dei carboni attivi granulari (GAC)*

La biorigenerazione *off line* proposta in questa fase della ricerca prevedrà il desorbimento e l'attività biologica in un sistema *batch* ricircolante. Durante la fase di biorigenerazione *off line* la generica colonna a carboni attivi esausta verrà messa fuori servizio e rigenerata tramite la miscela di batteri acclimatati, nutrienti, ed ossigeno disciolto attraverso il reattore di biorigenerazione dove verrà creato un ambiente favorevole per incentivare la biodegradazione degli adsorbati. Dopo un periodo di rigenerazione una certa quantità di adsorbato sarà stato rimosso dai carboni inizialmente saturi e degradato biologicamente. La colonna verrà rimessa in funzione per effettuare la ri-saturazione atta a valutarne l'aliquota della ripristinata capacità adsorbente (Aktas e Cecen, 2007).

Questa fase sarà condotta dall'Università **Kore** di Enna presso i propri laboratori in collaborazione con il Consorzio Universitario dell'Università di Palermo (**CUPP**).

- *Prove di affinamento mediante reattore biologico a membrane*

Come accennato in precedenza in serie al processo di trattamento mediante carboni attivi verrà studiata la possibilità di applicazione sulla miscela di acque considerate, di un processo biologico a membrane (MBR). E' possibile controllare perfettamente l'età del fango, dato che è esclusa qualsiasi perdita di biomassa attraverso le membrane. Il carico massico reale applicato risulta quindi più basso di quello teorico ed anche la produzione di fanghi biologici in eccesso è inferiore del 20 ÷ 50% rispetto al valore equivalente per uguali condizioni in impianti a fanghi attivi tradizionali. Tenuto conto della soglia di ritenzione delle membrane (generalmente 0,01 µm) diverse macromolecole organiche difficilmente biodegradabili sono trattenute nel sistema, ricircolate nella vasca di aerazione e degradate nel tempo. Le performances di un BRM sono così sempre superiori a quelle di un trattamento classico a fanghi attivi (del 30 ÷ 50% superiore a quanto ottenuto da un trattamento classico). La problematica principale che differenzia il sistema proposto dagli MBR tradizionali è la popolazione biologica che dovrà essere in grado di resistere alla

elevatissima salinità, alla presenza di metalli pesanti in traccia, e dovrà essere in grado di demolire sostanze poco biodegradabili o addirittura refrattarie.

Questa fase sarà condotta dall'Università **Kore** di Enna presso i propri laboratori in collaborazione con il Consorzio Universitario dell'Università di Palermo (**CUPP**).

#### *- Progettazione e realizzazione dell'impianto pilota di fitodepurazione*

Preliminarmente alla progettazione dei sistemi pilota di fitodepurazione, occorre realizzare uno studio approfondito al fine di selezionare le essenze vegetali e il medium di riempimento più idonei. Il medium di riempimento ha un ruolo fondamentale nell'efficienza depurativa dell'impianto perché svolge la funzione di filtro meccanico e chimico per alcune sostanze contenute nel refluo. Al fine di garantire un buon funzionamento dell'impianto, il medium di riempimento deve essere caratterizzato da un punto di vista granulometrico e attraverso lo svolgimento di prove di porosità e di conducibilità idraulica. Per quanto riguarda la selezione delle piante, occorre tenere presente diversi aspetti, fra cui la localizzazione geografica, le caratteristiche climatiche e di habitat, il potenziale di radicamento, di crescita e di resistenza, etc. . Al fine di selezionare le essenze vegetali più idonee in questa fase di attività sarà predisposto uno studio specifico. Un programma valido per valutare le potenzialità della fitodepurazione applicata alla tipologia di refluo in oggetto deve prevedere alcuni obiettivi essenziali:

- censimento delle diverse popolazioni costiere presenti sul territorio, in modo da costituire una banca dati sulle piante utilizzabili al fine proposto in base alle necessità locali;
- messa a punto di sistemi sperimentali per la selezione finale di popolazioni adeguate alla rimozione dei contaminanti di interesse dai reflui oggetto di studio. Le piante saranno coltivate ricreando le condizioni ambientali dell'impianto di fitodepurazione, utilizzando i reflui che vi saranno trattati. I risultati di tale studio potranno essere valutati attraverso *indici di crescita radicale e indici biochimici*.

L'impianto di fitodepurazione sarà alimentato con i reflui pretrattati in un'unità di sedimentazione/disoleazione. Al fine di individuare la soluzione impiantistica più valida l'impianto pilota sarà realizzato in modo da rendere possibile la valutazione dei più diversi schemi impiantistici e delle più diverse condizioni di funzionamento.

Questa fase sarà condotta da **HYDROGEA VISION** presso la rada di Augusta e/o presso il sito della raffineria Saras.

#### *OR A3: VERIFICA E OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO A SCALA PILOTA*

*- Scelta del processo e dimensionamento, conduzione e verifica delle performance dell'impianto pilota.*

L'impianto pilota verrà testato su miscele delle acque considerate per un periodo sufficiente a definirne la performance ma anche ad evidenziare problematiche non emerse durante la sperimentazione a scala da banco. I risultati ottenuti saranno riportati tramite tabelle che verranno riportati in forma adimensionale rispetto alla portata da trattare anche per garantire la possibilità di applicazione a impianti a scala reale. Ulteriori importanti informazioni deriveranno dalla misura

delle capacità degradazione batterica, così come di biorigenerazione da parte delle specie microbiche selezionate ed appositamente allevate durante l'attività di ricerca.

Questa fase sarà condotta dall'Università **Kore** di Enna e dalla Saras presso la rada di Augusta e presso il sito della raffineria.

*- Prove di trattamento mediante fitodepurazione su impianti pilota*

Il trattamento di fitodepurazione viene proposto come strategia alternativa ad una filiera di tipo tecnologico, con l'obiettivo di una valutazione comparativa delle performance ottenibili utilizzando una tecnologia a basso impatto ambientale. Per valutare l'efficienza del sistema saranno condotte varie campagne sperimentali utilizzando diversi schemi impiantistici, applicando diversi tempi di ritenzione idraulica e monitorando i parametri di interesse contenuti nelle acque in ingresso ed in uscita dalle sezioni di trattamento.

Questa fase sarà condotta da **HYDROGEA VISION** presso la rada di Augusta e/o presso il sito della raffineria Saras.

#### **4.3 OR M1: MONITORAGGIO E CONTROLLO DELL'IMPATTO IN ATMOSFERA DEL PROCESSO**

L'Obiettivo Realizzativo M1 mira, in parallelo alle attività precedentemente descritte, a progettare realizzare e verificare un sistema di controllo dei due processi con particolare riferimento alle emissioni in atmosfera e per il controllo dell'impatto anche in termini odorigeni. Tale obiettivo realizzativo si articola nelle seguenti 4 fasi:

- 1. Definizione delle procedure da implementare e confronto con quelle esistenti*
- 2. Realizzazione fisica del sistema*
- 3. Sistema di acquisizione e storage*
- 4. Test e monitoraggio*

Questa fasi saranno condotte dalla società Scienza Industria Tecnologia (**SIT**) presso le proprie strutture e presso i siti di realizzazione degli impianti pilota.

#### **5. TEMPISTICA E VERIFICA DELL'ESITO DEL PROGETTO DI RICERCA**

La presente ricerca contribuirà all'avanzamento della conoscenza, sulle tecniche di lavaggio di sedimenti contaminati e sul monitoraggio, il controllo e le possibilità di rimozione, mediante trattamenti fisici, chimici e soprattutto biologici, di alcune specifiche famiglie di composti xenobiotici appartenenti alle categorie degli idrocarburi e dei metalli pesanti da sedimenti contaminati e acque reflue ad elevata salinità.

I risultati delle ricerche saranno portati a conoscenza dei valutatori attraverso la produzione di *reports* a scadenza concordata. Inoltre, saranno presentati alla comunità scientifica, tecnica e al

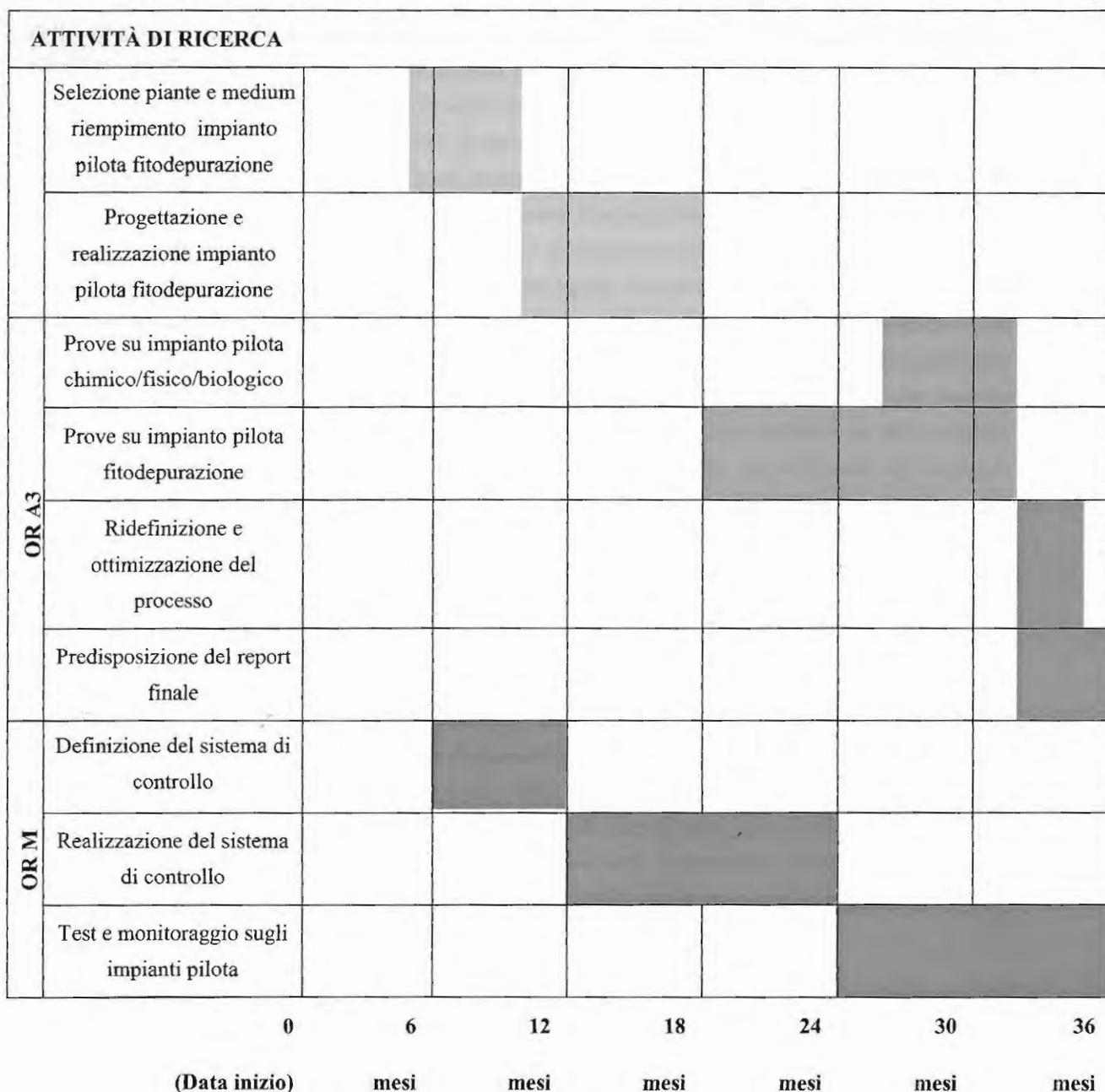
mondo dell'Industria mediante pubblicazione su riviste internazionali e comunicazioni a congressi nazionali e internazionali. Il vaglio dei referee, e della comunità scientifica internazionale, nonché l'interesse del mondo dell'industria verso la replica delle applicazioni proposte in altre aree portuali della Sicilia e più in generale del territorio nazionale come pure presso i SIN costieri correlati ad attività di tipo petrolifero e/o caratterizzati da problematiche di inquinamento dei sedimenti, saranno utili a verificare il livello e la produttività tecnico-scientifica dei partner che hanno proposto la presente ricerca. La formazione di giovani (numero di tesi di Laurea e di Dottorato) sarà un ulteriore criterio di verificabilità del progetto.

Tutti gli impianti saranno testati su un periodo congruo come dettagliato dal programma delle attività e dal relativo cronoprogramma. I risultati espressi in termini di efficienza depurativa e di controllo delle emissioni, saranno verificati durante tutto l'esercizio e dovranno garantire il rispetto di tutte le normative di settore (con particolare riferimento al Testo Unico Ambientale 152/06 e s.m.i.).

Il cronoprogramma previsto per la presente attività di ricerca è il seguente:

ATTIVITÀ DI RICERCA							
	OR SEDIMENTI						
OR S1	Ricerca bibliografica	■					
	Individuazione delle aree portuali e campionamento		■				
	Caratterizzazione dei sedimenti		■	■			
OR S2	Prove in laboratorio in batch di soil washing			■	■		
	Prove di recupero dell'agente estraente				■		
	Allestimento e verifica impianto pilota di sediment washing				■		
	Allestimento e verifica sistema di estrazione del solvente/i				■		
OR S3	Prove di sediment washing in laboratorio e individuazione caratteristiche impianto pilota				■	■	





**Figura 1: Cronoprogramma dell'attività di ricerca**

## 6. INTERESSE TECNICO-SCIENTIFICO

### 6.1 LINEA SEDIMENTI

Le operazioni di dragaggio dei sedimenti hanno recentemente assunto, a causa della frequente contaminazione di natura organica ed inorganica dei materiali dragati, la connotazione di interventi di risanamento ambientale. La presenza di contaminanti nei sedimenti complica la gestione degli interventi di dragaggio, qualora questi debbano essere applicati al solo fine della corretta navigabilità delle strutture portuali, ponendo l'esigenza di adottare nel corso delle operazioni stesse di dragaggio interventi specifici atti a garantire il mantenimento di adeguati standard di qualità

dell'ambiente acquatico. È prevedibile che le quantità di sedimenti di dragaggio tenderanno a crescere significativamente a causa del ricorso sempre più massiccio al trasporto intermodale di beni e merci, della combinazione di diverse modalità di trasporto quali navigazione, trasporto ferroviario e aereo. L'intensificarsi della domanda di mobilità richiederà frequenti interventi di manutenzione e di ampliamento dei porti commerciali, proprio al fine di permettere attracchi agevoli e operazioni di sbarco veloci. **Il problema fondamentale, quando il terreno risulta inquinato, è l'aumento dei costi, necessari per il trattamento e l'eventuale trasporto, che possono arrivare ad essere fino a cento volte maggiori rispetto alla semplice dispersione in mare;** è, quindi, fondamentale pianificare tutto già con la caratterizzazione e l'inquadramento dell'area in esame. I costi delle differenti ipotesi di gestione elencate dipendono fortemente dalle circostanze specifiche. Tra i trattamenti più costosi si osservano i trattamenti termici, che possono arrivare anche a costare fino dieci volte il conferimento in bacini conterminati. In tale contesto, appare chiaro come l'identificazione di processi di decontaminazione dei sedimenti di dragaggio adeguati dal punto di vista tecnico ed economico costituisca uno degli obiettivi fondamentali dell'Ingegneria Ambientale. Con riferimento all'estrazione dei metalli pesanti dalla matrice solida, questa può essere condotta facendo ricorso sia a sostanze inorganiche (e.g. acidi forti: HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> etc.) che a chelanti organici (e.g. EDTA, NTA, EDDS etc.). In genere si preferisce utilizzare questi ultimi, poiché presentano una minore aggressività nei confronti della matrice solida a fronte di efficienze di rimozione dei metalli confrontabili con quelle degli acidi (Vandevivere *et al.*, 2001). Ciononostante, il costo degli agenti chelanti, tra i quali quello più utilizzato è l'Acido EtilenDiamminTetracetico (EDTA), ne ha limitato fortemente l'utilizzo per le applicazioni in scala reale (Holbein, 1994; Bradbury and Scrivens, 1995, Arevalo *et al.*, 2002). Pertanto, al fine di ridurre i costi della *washing technology*, diverse linee di ricerca sono state avviate per studiare il recupero e la rigenerazione della soluzione estraente esausta, contenente i complessi tra l'agente chelante (A) ed i metalli pesanti (Me) (Arevalo *et al.*, 2002) ma ad oggi non si è ancora pervenuti ad una soluzione ben definita e applicabile a scala reale per tale problematica.

## 6.2 LINEA ACQUE

Attraverso il progetto verranno sviluppati specifici consorzi batterici per l'abbattimento dei principali composti xenobiotici (di origine petrolifera e inorganici) che ad oggi non trovano riscontro alcuno in letteratura a causa delle caratteristiche delle acque da trattare. Di queste specie, qualora non oggetto di brevetto, verranno indicate le modalità di selezione e coltivazione. Verranno evidenziati i potenziali vantaggi associati alla additivazione di specie microbiche eterotrofe pure nelle unità di trattamento alimentate con le acque reflue studiate. Il progetto intende anche verificare l'applicabilità al caso dei carboni attivi e la possibilità di migliorarne la tradizionale efficienza mediante processi biologici. I risultati ottenuti dai test di adsorbimento e di desorbimento biologico saranno riportati tramite tabelle e grafici che presenteranno sull'asse delle ascisse la durata del trattamento di filtrazione o biorigenerazione e sull'asse delle ordinate le diverse concentrazioni degli inquinanti nell'effluente. Questi grafici potranno essere utilizzati per stabilire la durata del ciclo di filtrazione e l'avvio della fase di biorigenerazione. Per questo sistema biologico, la principale problematica da superare è legata all'elevata salinità delle acque e alla presenza di emulsioni oleose. La prima induce una rapida alterazione strutturale e metabolica delle

biomasse comunemente utilizzate per la depurazione biologica dei reflui, mentre le seconde possono ridurre in breve tempo la capacità di filtrazione della membrana. In particolare, l'efficienza degli impianti MBR nella rimozione di tali composti verrà comparata con sistemi più tradizionali, individuando il ruolo del tempo di residenza cellulare per l'efficienza di rimozione complessiva e stabilendo in che misura questa sia determinata dall'eventuale biodegradazione piuttosto che dal semplice adsorbimento. A tal riguardo, la scelta di una biomassa già acclimatata, in quanto prelevata da impianti che da tempo operano con reflui a media salinità, ovvero costituendo colture selettive di biomasse alofile, può permettere di superare il primo dei due problemi. Infine verrà effettuato uno studio sulla configurazione impiantistica ottimale per l'inserimento di tale tipo di trattamento nel contesto dell'intero impianto di trattamento dei reflui da navigazione e di derivazione dal trattamento di lavaggio dei sedimenti.

## 7. COPERTURA FINANZIARIA

	10 Set. 2010	2011	2012	10 Sett. 2013	Totale
Totale	300.000,00	3.500.000,00	4.200.000,00	2.000.000,00	10.000.000,00

## 8. VALIDITÀ INDUSTRIALE DEL PROGETTO

L'industria è un elemento strategico di sviluppo per l'economia della Sicilia e quasi un quarto (il 23%) della ricchezza prodotta dall'industria regionale deriva dalle attività chimiche e di raffinazione del petrolio. In Sicilia l'industria petrolchimica occupa il 10% degli addetti all'industria e per la provincia di Siracusa tale rapporto supera il 30%. Nonostante la crisi del settore petrolchimico a livello nazionale, in Sicilia sono presenti impianti di produzione e filiere produttive che oggi sono in grado di competere sui mercati internazionali. Tra questi l'impianto di *cracking* di Priolo rappresenta il più grande impianto di *cracking* esistente in Italia con una capacità produttiva paragonabile a quella degli altri grandi *cracking* europei. Nel polo petrolchimico di Priolo-Augusta esistono problemi ambientali per la cui soluzione sono stati individuati appositi provvedimenti, solo alcuni dei quali in corso di realizzazione.

L'Accordo di programma per la qualificazione e la reindustrializzazione del polo petrolchimico di Priolo fissa come suo obiettivo prioritario quello di qualificare il polo petrolchimico di Siracusa per promuoverne una reindustrializzazione che favorisca l'avvio di processi di sviluppo endogeno e autopropulsivo in grado di valorizzare le potenzialità locali.

A tal fine, l'Accordo, prevede di: costruire condizioni ottimali di coesistenza tra tutela dell'ambiente da un lato e consolidamento degli impianti produttivi esistenti dall'altro; promuovere l'insediamento di nuove attività industriali, anche appartenenti a nuovi settori produttivi, ma comunque sinergiche con la cultura industriale del territorio ed il contesto infrastrutturale e produttivo.

Il progetto prevede la nascita di nuove PMI competitive, in grado di fare sistema con il territorio circostante. Si tratterà a tal fine di favorire nell'area di Priolo l'insediamento di imprese che

impieghino, come input di produzione, l'output delle imprese presenti nel polo petrolchimico o comunque localmente fornitrici, subfornitrici o complementari rispetto a quelle esistenti sul territorio circostante. A tal fine, si favorirà la collaborazione tra le grandi imprese presenti nel polo petrolchimico e petrolifero e le iniziative produttive di piccole e medie dimensioni anche attraverso la formazione di un distretto tecnologico. La nascita di un distretto tecnologico è spesso legata alla grande massa critica ed alle complementarità tra le imprese che vi si sviluppano.

Il progetto attraverso la realizzazione del prototipo a scala pilota potrà consentire una sua implementazione a scala industriale, eventualmente come impianto mobile da utilizzare presso i diversi siti ed aree portuali interessate dalle necessità di dragaggio e/o di trattamento a terra delle acque reflue di navigazione. Una prima applicazione potrà essere trovata proprio come upgrade del trattamento adottato presso lo stabilimento delle raffineria Saras, mentre una potenziale applicazione può essere prevista con riferimento alle operazioni di decontaminazione dei sedimenti dell'area portuale di Augusta per il riempimento delle previste casse di colmata. Per quanto riguarda quest'ultimo ci si appresta a realizzare il programma infrastrutturale necessario a renderlo vero *Hub* portuale. Il Cipe (Comitato interministeriale per la programmazione economica) ha approvato l'allegato delle infrastrutture che sono contenute nel Dpof 2010-2014. Sono stati destinati per la realizzazione di infrastrutture 14 miliardi di euro di cui una parte destinata alla realizzazione dei lavori di ottimizzazione del sistema di trasporto intermodale e marittimo del porto di Augusta per renderlo *Hub*.

**Le opere riguardano la realizzazione del 1° stralcio della terza fase Terminal attrezzato per un importo di 25 milioni di euro; la realizzazione del 2° stralcio della terza fase Terminal attrezzato per un importo di 50 milioni di euro; l'ampliamento piazzali per 90 milioni di euro e consolidamento banchine per circa 29 milioni di euro.** Il porto di Augusta si appresta, in questo modo, a diventare l'elemento portante della strategia del sistema produttivo siciliano realizzando un sistema integrato e sinergico con l'interporto di Catania attualmente in costruzione.

A livello internazionale i porti competitivi sono quelli che hanno un tirante d'acqua di circa 17/18 metri. Se non si ha questo parametro le navi portacontainer non possono attraccare. E sono proprio le navi di questo tipo che creano l'attività di un Porto moderno e competitivo su scala internazionale. In riferimento al Porto di Augusta sono previsti fondali di circa 20 metri. Ciò permetterebbe alle navi fino a 10.000 Teu, ossia "Twenty Foot Equivalent Unit", di muoversi agevolmente nell'ambito portuale. Per raggiungere tale obiettivo la gestione degli interventi di dragaggio finalizzati alla corretta navigabilità della struttura portuale, pone altresì l'esigenza di adottare nel corso delle operazioni stesse di dragaggio interventi specifici atti a garantire il mantenimento di adeguati standard di qualità dell'ambiente acquatico. L'escavazione dei fondali ed il conseguente scarico in mare dei materiali di risulta costituisce infatti un fattore di rischio a causa della possibile diffusione dei contaminanti nell'ecosistema. Ciò implica che la gestione dei sedimenti di dragaggio dovrà essere concepita come la sequenza di diverse fasi (prelievo o dragaggio vero e proprio, trasporto, eventuale trattamento, riutilizzo e smaltimento a terra o in mare), ciascuna delle quali assume una rilevanza particolare in funzione delle caratteristiche di qualità del materiale, delle caratteristiche specifiche del sito, delle motivazioni alla base dell'intervento, nonché degli impatti potenzialmente generabili sull'ambiente.

Risulta evidente come l'introduzione di tale procedura sia in grado di offrire molteplici possibilità di applicazione e, quindi, di soluzioni e tecniche progettuali, che anche in altri paesi d'Europa e del mondo, sono in corso di sviluppo da alcuni anni.