

7.2.18 Deliverable: List of options for beneficial reuse of dredged sediments (action 4.1)



LIFE Project Number
LIFE08 ENV/IT 000426

LIFE+ PROJECT NAME or Acronym
**“CO-ordinated Approach for Sediment Treatment and
BEneficial reuse in Small harbours neTworks” COAST_BEST**

Deliverable: List of options for beneficial reuse of dredged sediments (action 4.1)

Summary (in English)

In the review, all the options for managing sediments deriving from dredging in marine coastal areas are evaluated. To this aim, all the phases related to management of these materials are reviewed, including characterization, dredging, handling, temporary storage, treatment, transfer or final disposal. As a matter of fact, every single phase of the sediment life cycle may have a significant impact on the appropriate strategies to be selected for management.

The chemical, physical, microbiological and ecotoxicological characterization of sediments is essential for adequate management. In order to assess the feasibility of dredged sediment utilization for reconstruction of the coast profiles, for road sub-base construction or for beach nourishment purposes, the compatibility of the dredged materials with the specific conditions of the target site must be carefully evaluated. The suitability of sediment to reuse depends on the chemical, physical and microbiological quality of the material, while the compatibility between the dredging site and the target site depends on the analogies between the chemical-physical characteristics of the materials present at either site.

Dredging of marine sediments can be performed using different techniques, which are either currently available or should be developed for specific needs. The technique used for dredging can significantly affect the subsequent modes of dredged materials management, as to both transport and temporary storage, and final disposal, as well as to management of the residual water generated. Among the currently available dredging techniques, two main categories are identified:

- Mechanical dredging;
- Hydraulic dredging.

There are also techniques referred to as “mixed hydraulic-mechanical techniques”.

Marine sediments, once removed from their original site, stored and characterized, must in many cases be submitted to a treatment before they can be managed according to the methods identified. Dredged sediment processing may be aimed either at achieving simply an improvement in physical characteristics, such as dewatering or particle size separation, or treating the material by means of chemical or biological process in order to attain a reduction in the level of contaminants.

Depending on physical-chemical and microbiological quality, as well as on the ecotoxicological properties of the material, this (or selected separated fractions), can be recovered for reuse in various environmental restoration applications, or may be stored in special containment facilities or finally disposed of in sanitary landfills.

In particular, two types of management options aimed at utilization for environmental restoration purposed are identified.

Marine environments

- reuse for morphological reconstruction of the seabed profile in the affected area;
- re-immersion into non-coastal marine areas;
- nourishment interventions in emerged and submerged beaches.

Land areas

- filling of dismantled quarries
- use in landworks and embankments
- use in embankments and road and railroad bases
- production of construction materials

In those case where utilization is not feasible, the material must be disposed in confined structures including:

- confined disposal facilities in coastal areas
- sanitary landfills

In the process of identifying management solutions for marine sediments, not only environmental aspects but also logistical, economic and territorial aspects (which are also often site-specific) must be taken into account.

The management of dredged sediments must be planned according to an integrated system based on

the needs and potentials of the concerned context. As detailed in the report, the following specific aspects should be accounted for, in order to evaluate the available management options for dredged materials:

- presence of new areas used for port activities and/or docks and disposal facilities within the harbor area;
- presence of surrounding areas requiring beach nourishment interventions (in case of massive presence of coastal erosion phenomena);
- presence of surrounding areas requiring environmental restoration projects;
- local industry demand of raw materials.

Full text (in Italian)

Premessa

I sedimenti marini rappresentano un ecosistema ricco di biodiversità, nel quale si incontrano e convivono specie biotiche e abiotiche, animali e vegetali.

L'uomo si è sempre avvicinato all'ambiente marino con diversi fini: alla conquista di nuovi mondi, alla ricerca di cibo, per sfruttare risorse.

L'interazione dell'uomo con l'ambiente marino ha portato allo sviluppo di attività di commercio, piscicoltura, mitilicoltura, ecc.

Oggi il mare rappresenta una delle maggiori vie di comunicazione tra i continenti per motivi commerciali ed è sede di notevoli volumi di traffico per il trasporto di merci pesanti di varia natura (cibo, materie prime, ecc.).

Il notevole carico che il mare ha dovuto sopportare, in particolare nel XX secolo, a partire dagli anni del boom economico, ha portato ad una compromissione delle condizioni di salute dell'ambiente marino in un numero sempre maggiore di situazioni.

A partire dagli anni '80, pertanto, all'esigenza di contrastare i fenomeni di sedimentazione nei fondali marini in aree di transito e stazionamento delle grandi imbarcazioni utilizzate per il trasporto, si è aggiunta la necessità di rispettare una normativa ambientale che si è evoluta nel contrasto ai fenomeni di inquinamento riscontrati in molte aree marine costiere.

La necessità di dragare i sedimenti di aree marine costiere è diventata negli ultimi decenni sempre più frequente, considerato il bisogno di approfondire i fondali portuali, mantenere la profondità di navigazione, realizzare infrastrutture e risanare situazioni compromesse in aree marine contaminate, come riscontrato a partire dall'implementazione del Programma nazionale di Bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi del D.M. 468/2001.

La rimozione dei sedimenti marini comporta il problema della loro gestione secondo la normativa vigente, in funzione delle proprie caratteristiche intrinseche.

I sedimenti, infatti, non possono più essere reintrodotti nell'ambiente marino senza prima valutare la possibilità di un loro recupero e riutilizzo quale risorsa, in funzione del loro stato qualitativo e della loro compatibilità con il sito di destinazione.

La reimmissione in mare è da evitare da un lato per la qualità dei materiali dragati, che non sempre possono essere reintrodotti nell'ambiente (dragaggi ambientali), dall'altro perché comporta comunque una potenziale alterazione dell'ambiente marino.

Negli ultimi anni, si è passati da un approccio volto allo smaltimento del sedimento considerato quale rifiuto ad un approccio volto al recupero del sedimento considerato quale risorsa.

La premessa indispensabile per una corretta gestione del materiale dragato è una dettagliata conoscenza delle sue caratteristiche. Infatti, come indicato dal sistema normativo internazionale, solo una approfondita conoscenza della natura e dell'origine dei sedimenti e un'attenta analisi delle loro caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche permette di valutare correttamente gli impatti ambientali che possono derivare dall'attività di dragaggio e poter gestire il materiale nel pieno rispetto dell'ambiente.

In tale ottica, il presente studio è volto all'individuazione delle possibili modalità di gestione, e possibile riutilizzo, dei sedimenti dragati in 9 piccoli porti dell'Emilia Romagna sulla base delle esperienze pregresse e degli studi nazionali e internazionali portati avanti nel settore, in particolare relativamente alle frazioni derivanti dalla separazione granulometrica dei sedimenti.

La costa dell'Emilia Romagna è infatti soggetta a fenomeni di erosione costiera dovuta alle correnti marine e alla subsidenza dei fondali.

Nel corso degli ultimi 30 anni sono stati eseguiti numerosi interventi di dragaggio ai fini dell'approfondimento dei fondali antistanti diversi porti regionali, riutilizzando i materiali recuperati per opere di ripascimento di arenili soggetti a erosione, con sedimenti non contaminati e granulometricamente idonei a tale modalità di gestione.

Ogni volta, però, che i materiali movimentati hanno presentato un tenore percentuale della frazione sabbiosa (diametro delle particelle di dimensioni $\geq 63 \mu\text{m}$) inferiore al 90% non si sono potuti destinare a rinascimento, ma sono stati reintrodotti in mare, a largo delle aree di origine.

Ricorrendo a un processo di separazione fisico-meccanica dei sedimenti dragati, si sarebbero potute realizzare ugualmente opere di rinascimento, utilizzando la sola frazione grossolana, isolata dalla

frazione fine, non idonea a tale tipologia di recupero.

Per la frazione fine (limi e argille, con diametro delle particelle $< 63 \mu\text{m}$), che non può essere riutilizzata per opere di ripascimento, sarebbe opportuno individuare delle idonee modalità di riutilizzo o smaltimento. La sua gestione rappresenta infatti la questione più onerosa in termini di costi e di impatti ambientali negli interventi di dragaggio e gestione dei sedimenti.

Infatti, bisogna considerare che, laddove i fondali marini risultano contaminati da sostanze antropogeniche, queste vanno a concentrarsi principalmente nella frazione fine, a causa del maggior sviluppo superficiale e della presenza di siti attivi carichi elettrostaticamente (nella argille si raggiunge uno sviluppo superficiale pari a $500 \text{ m}^2/\text{g}$ contro i $10^{-4} \text{ m}^2/\text{g}$ delle sabbie).

Laddove non contaminate, le frazioni fini possono essere recuperate per il riutilizzo nel settore dell'industria delle costruzioni, per la produzione di calce e cementi, per la realizzazione di rilevati e sottofondi stradali e/o di terreni in ambito costiero.

Laddove contaminate, devono essere messe a punto delle tecnologie di decontaminazione, in funzione della natura dei contaminanti in esse presenti.

Se il processo di decontaminazione risulta poco sostenibile per motivi economici, ambientali o di altra natura, occorre conferire le frazioni fini in discarica di opportuna categoria o in adeguate strutture conterminate, quali vasche di colmata da realizzare nel rispetto dei requisiti normativi.

La scelta delle soluzioni gestionali dei sedimenti dragati dipende comunque anche dal contesto territoriale di riferimento dell'intervento, quindi dagli aspetti ambientali, logistici, tecnici ed economici associati alle diverse ipotesi.

Inoltre, prima di prendere in esame le diverse ipotesi gestionali, occorre considerare gli aspetti legati alla produzione dei sedimenti, ossia le fasi di dragaggio, movimentazione e stoccaggio provvisorio, che possono condizionare significativamente le scelte successive.

Una volta individuate le possibili modalità gestionali, sarà necessario valutare i vincoli normativi che le regolamentano ed effettuare uno studio degli aspetti logistici, ambientali, tecnici ed economici, in funzione dei quali potrà essere sviluppata un'analisi della fattibilità delle medesime. Relativamente al contesto territoriale dell'intervento assumono un'importanza fondamentale anche le leggi della domanda e dell'offerta che regolano il mercato per il prodotto "frazione granulometrica da sedimenti".

Le fasi degli interventi di rimozione dei sedimenti

Le diverse fasi in cui si articola un intervento di rimozione di sedimenti dal fondale marino sono strettamente connesse tra loro e influiscono significativamente sulle modalità di gestione di tali materiali. Consideriamo pertanto, nel presente capitolo, gli aspetti relativi alla caratterizzazione, al dragaggio, al trasporto, allo stoccaggio provvisorio e al trattamento che possono condizionare la gestione finale dei sedimenti movimentati.

Caratterizzazione

La caratterizzazione chimico-fisica, microbiologica ed ecotossicologica dei sedimenti è fondamentale ai fini della loro gestione.

Il recupero del materiale dragato quale risorsa per la realizzazione o il soprizzo di terreni costieri, per rilevati e sottofondi stradali o per opere di ripascimento di arenili emersi e sommersi è infatti subordinato alla verifica di idoneità e di compatibilità con il sito di destinazione.

L'idoneità dipende dalla qualità chimico-fisica e microbiologica e dalla negatività dei saggi biologici condotti sul sedimento, mentre la compatibilità tra sito di prelievo e sito di destinazione dipende dall'analogia tra le caratteristiche chimico-fisiche dei materiali in essi presenti.

Nel 2006 l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) e l'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ICRAM), oggi entrambe confluite nell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sull'Ambiente (ISPRA), hanno predisposto il "Manuale per la movimentazione di sedimenti marini", con l'obiettivo di definire le linee guida da adottare per interventi di gestione dei sedimenti dragati. Vengono indicate le modalità di prelievo dei campioni di sedimento da sottoporre a caratterizzazione a monte dell'intervento di dragaggio, il set dei parametri da determinare e la tipologia di saggi eco

tossicologici da effettuare, definendo strategie differenziate in funzione dell'ambito territoriale in cui ci si trova (porti, aree litoranee e non, canali). Quindi si fornisce una classificazione dei materiali in funzione dei risultati della loro caratterizzazione, associando a ciascuna delle cinque classi individuate le possibili opzioni gestionali perseguibili.

Nel caso si operi una separazione granulometrica dei sedimenti prelevati, la caratterizzazione ai fini della gestione deve essere eseguita su ogni singola frazione dimensionale ottenuta del materiale di partenza. Il set dei parametri da determinare deve essere definito, tra quelli significativi per l'ambiente marino, in funzione delle risultanze delle indagini già eseguite nell'area di prelievo e della peculiarità della stessa (eventuale presenza di attività produttive e di insediamenti residenziali), nonché della modalità di gestione che si intende perseguire.

Tra i parametri chimico-fisici devono comunque essere determinati mineralogia (nel caso di ripascimenti), granulometria, metalli pesanti, idrocarburi, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), pesticidi organo clorurati, policlorobifenili (PCB), esaclorobenzene, composti organostannici, carbonio organico totale, azoto totale, fosforo totale. Tra i parametri microbiologici *Escherichia coli*, enterococchi fecali, salmonelle, spore di clostridi solfito riduttori, stafilococchi e miceti (nel caso di ripascimenti). Per quanto riguarda i saggi biologici, devono essere scelte almeno tre specie-test appartenenti a gruppi tassonomici diversi, di cui almeno una da applicare alla fase solida del sedimento (sedimento tal quale o centrifugato) e almeno una da applicare alla fase liquida (elutriato).

Quindi, dall'incrocio dei risultati di tali indagini, è possibile classificare i sedimenti caratterizzati e definire uno o più scenari d'intervento per le diverse frazioni granulometriche da gestire.

Dragaggio

Il dragaggio dei sedimenti marini può avvenire utilizzando diverse tecniche attualmente disponibili o che possono essere messe a punto per esigenze specifiche. La tecnica utilizzata per il dragaggio può influenzare molto significativamente le successive modalità di gestione, sia in fase di trasporto e di stoccaggio provvisorio, sia in fase di destinazione finale e gestione delle acque derivanti dalla disidratazione dei sedimenti dragati.

Tra le tecniche di dragaggio disponibili sul mercato distinguiamo due macrocategorie:

- dragaggio meccanico;
- dragaggio idraulico.

Esistono anche delle tecniche così dette miste idraulico-meccaniche.

Nel caso delle tecniche meccaniche i sedimenti vengono disgregati, scavati e sollevati ricorrendo a sistemi che utilizzano una forza meccanica e minimizzando la quantità d'acqua rimossa insieme al sedimento. Sedimenti di tipo coesivo con tali tecniche rimangono intatti, mantenendo una densità prossima a quella del materiale in situ. A tale categoria appartengono le draghe a secchie (*bucket line dredgers*), le draghe a benna o a cucchiaio (*backhoe dredgers*) e le draghe a grappo (*grab dredgers*).

Le draghe a secchie sono le più produttive, con un tasso di produzione che varia tra i 50 e i 1500 mc/ora, mentre quelle a benna e a grappo presentano tassi di produzione intorno ai 500 mc/giorno.

Il sedimento prelevato meccanicamente, una volta depositato in apposito serbatoio a bordo dell'imbarcazione attrezzata per il dragaggio (pontone, ecc.) o di altra imbarcazione adibita al trasporto (betta autopropulsa, ecc.) risulta palabile e presenta un contenuto d'acqua residuo non maggiore del 30% in peso.

Ciò comporta la possibilità di ottenere una separazione granulometrica dello stesso e la successiva disidratazione in tempi relativamente brevi, senza gravare eccessivamente per la gestione delle acque di risulta del processo, che, se contaminate, dovranno essere sottoposte ad idoneo trattamento prima di essere reintrodotte nell'ambiente marino (tab.3, Parte III, d.lgs. 152/2006).

Le tecniche di tipo idraulico si basano sul sollevamento e sull'allontanamento del materiale rimosso mediante pompaggio. Il materiale movimentato, costituito da un fango (miscela sedimento e acqua, in proporzione 1 a 5 circa), è trasportato fino al sito di stoccaggio mediante tubazioni, ad opera di draghe dotate di pozzo di carico o tramite bette di appoggio. Le principali draghe idrauliche sono la draga aspirante stazionaria (*stationary suction dredger*) e la draga aspirante semovente con pozzo di

carico (*trailing suction hopper dredger*).

Sono stati sviluppati dei sistemi di dragaggio che effettuano un'azione combinata idraulico-meccanica, disgregando il materiale e allontanandolo mediante pompaggio, come la draga aspirante stazionaria con disgregatore (*cutter suction dredger*).

La necessità di effettuare dragaggi ambientali, volti a minimizzare gli impatti sull'ambiente circostante, assicurando elevata selettività e precisione nel posizionamento e nel taglio, prevenendo la perdita di materiale, limitando l'incremento di torbidità e la dispersione di sostanze dannose, ottimizzando la concentrazione del materiale dragato in relazione alla sua destinazione finale, ha fatto sì che fossero sviluppate speciali draghe ambientali: il disgregatore ambientale a disco (*disc bottom dredger* o *environmental disc dredger*), lo *scoop dredger*, il *sweep dredger*, l'*auger dredger*, lo *pneuma system*.

I tassi di produzione delle draghe idrauliche variano sensibilmente in funzione delle dimensioni dello specifico sistema utilizzato, dai 50 mc/ora ai 5000 mc/ora per la *cutter suction dredger*, ai 10000 mc/ora per la *trailing suction hopper dredger*, ai 400 mc/ora per *environmental disc dredger*, *scoopdredger*, *sweepdredger* e *auger dredger* e ai 1800 mc/ora per lo *pneuma system*.

Ad ogni modo, il dragaggio deve avvenire in condizioni di sicurezza, operando con sistemi chiusi, in grado di minimizzare il contatto dei lavoratori con il materiale dragato.

Trasferimento a terra e stoccaggio provvisorio

Il trasferimento dei sedimenti dragati al sito di stoccaggio provvisorio a terra dipende fortemente dalla tecnologia di dragaggio utilizzata. In particolare, per dragaggi di tipo meccanico il sedimento, palabile, viene caricato a bordo di bette autopropulse, ovvero inserito all'interno di pozzi di carico presenti a bordo del pontone utilizzato per il dragaggio, quindi trasportato fino a terra e trasferito nel sito di stoccaggio provvisorio.

Nel caso di un dragaggio idraulico il trasferimento avviene tramite apposita tubazione collegata al sistema aspirante, che refluisce direttamente il sedimento pompabile in vasca di stoccaggio. In questo caso il sistema di stoccaggio provvisorio dovrà assicurare una maggiore capacità rispetto al caso del dragaggio meccanico, considerati i maggiori tassi di produzione e l'elevato volume d'acqua rimosso: un dragaggio meccanico genera un fango con rapporto in volume sedimento/acqua pari a circa 1 a 1, mentre in un dragaggio idraulico tale rapporto diventa pari a circa 1 a 5.

Le vasche di stoccaggio devono essere dotate di un sistema per la disidratazione del sedimento e la raccolta dell'acqua separata, che deve essere caratterizzata per verificarne lo stato di qualità ai sensi della normativa vigente in materia di scarichi in corpi d'acqua superficiale prima della sua re immissione in mare.

Trattamento

I sedimenti marini, una volta rimossi dalla loro sede di origine, stoccati e caratterizzati, in molti casi devono essere sottoposti ad un trattamento prima di poter essere gestiti secondo le modalità individuate.

Il trattamento può essere volto al raggiungimento di un risultato esclusivamente di tipo fisico, quale una disidratazione spinta o una separazione granulometrica, ovvero di un risultato di tipo chimico o biologico, quale la riduzione del livello di concentrazione dei contaminanti e l'abbattimento delle specie microbiologiche indicatrici dello stato di contaminazione in esso presenti.

In considerazione del fatto che una stessa tecnologia può portare a risultati diversi se applicata a sedimenti provenienti da aree diverse, in ragione delle differenti caratteristiche chimico-fisiche, microbiologiche e eco tossicologiche dei materiali trattati, è opportuno avviare una fase di ricerca e sperimentazione preliminarmente all'implementazione del processo ipotizzato. Tale fase deve essere finalizzata a:

- ottimizzare la concentrazione del materiale dragato, in relazione alla sua destinazione finale (recupero e/o trattamento);
- valutare l'applicabilità e le rese di trattamenti mirati alla decontaminazione di sedimenti caratterizzati da contaminazione multipla (sostanze di diversa natura);
- valutare gli effetti prodotti da ciascun trattamento sulla classe di contaminanti cui esso non

- risulta espressamente dedicato;
- individuare le modalità di combinazione più appropriate delle singole tecnologie all'interno di uno o più schemi di processo (valutazione di sistemi di trattamento integrati);
 - valutare le relazioni esistenti tra alcune caratteristiche dei sedimenti (distribuzione granulometrica, concentrazione assoluta e relativa dei diversi contaminanti nelle diverse frazioni della matrice) e rese di rimozione/immobilizzazione conseguibili mediante l'applicazione delle diverse tecnologie, così da poter contribuire alla costruzione di un quadro di riferimento per la selezione della/e tecnologia/e più appropriata/e per il trattamento dei sedimenti.

La sperimentazione acquisisce pertanto un'importanza fondamentale per individuare lo specifico processo di trattamento a cui sottoporre i materiali dragati.

L'esito del trattamento selezionato è determinante per la successiva gestione, che dipende principalmente dalle caratteristiche dei materiali ottenuti a valle del trattamento.

Ai fini di un recupero per il loro riutilizzo, i sedimenti possono essere sottoposti ad un pretrattamento che porti alla formazione di diverse frazioni dimensionali e ad una disidratazione.

Laddove è presente uno stato di qualità non idoneo alle forme di riutilizzo ipotizzato, dovrà seguire un trattamento di decontaminazione volto ad abbattere il contenuto delle sostanze inquinanti. Tale trattamento può essere basato su processi di tipo biologico, chimico-fisico o termico. E' anche ipotizzabile l'adozione di una sequenza di trattamenti differenti, volti all'allontanamento o alla degradazione di diversi tipi di contaminanti.

Separazione granulometrica

La classificazione dimensionale è l'insieme delle tecnologie necessarie a rimuovere i detriti o il materiale appartenente ad una certa classe granulometrica (es. ghiaia) e a separare il sedimento in due o più classi sulla base delle proprietà fisiche (come ad esempio accade nella separazione della sabbia dai limi).

Le apparecchiature che permettono di realizzare questa fase sono i vagli, i bacini di sedimentazione, i classificatori, gli idrocycloni, le celle di flottazione ed altre ancora.

La separazione per dimensione è un pre-trattamento che rende più omogeneo il materiale da inviare alle successive manipolazioni, ma può anche essere considerata un processo di trattamento vero e proprio dal quale si possono ottenere sabbie pulite da destinare a opere di rinascimento e/o frazioni fini da destinare a smaltimento o recupero.

La presenza dei contaminanti varia notevolmente in funzione delle caratteristiche geochimiche e della natura del solido costituente il sedimento. L'esperienza mostra che i principali fattori che influenzano l'entità dell'adsorbimento di alcuni contaminanti sul sedimento sono la percentuale della frazione fine del sedimento e il contenuto di materia organica, fattori che comportano una elevata attività superficiale e, pertanto, una maggiore tendenza a legarsi con sostanze contaminanti. La sabbia, che presenta una limitata superficie specifica e una ridotta densità di carica superficiale, infatti, mostra una scarsa reattività e un grado di contaminazione spesso inferiore a limi e argille. In generale la separazione sabbia/limo di un sedimento di qualità opportuna, permette il riutilizzo immediato della sabbia in esso contenuta, idraulicamente tramite l'impiego di bacini di sedimentazione oppure meccanicamente attraverso l'impiego di idrocycloni.

A valle della separazione granulometrica sarà possibile individuare modalità gestionali distinte per le diverse frazioni dimensionali formate.

La separazione granulometrica può avvenire a secco o ad umido. E' comunque preferibile la seconda soluzione, perché permette di aumentare la velocità del processo. Deve però seguire una fase di disidratazione per rendere le singole frazioni ottenute palabili e recuperabili per gli utilizzi possibili.

Disidratazione

La disidratazione (*dewatering*) dei sedimenti può essere passiva o meccanica. La disidratazione passiva consiste nell'addensamento del materiale dragato dovuto alla riduzione dell'acqua in esso

contenuta attraverso la sedimentazione, l'evaporazione naturale o con l'impiego di opportuni sistemi drenanti. Un esempio di disidratazione passiva è il conferimento del materiale in grandi bacini di raccolta, provvisti sul fondo di un letto di materiale drenante.

Appartengono al *dewatering* meccanico tutte quelle tecnologie applicate alla disidratazione dei fanghi industriali e civili e nei processi dell'industria mineraria. In generale le apparecchiature coinvolte richiedono una certa energia per poter spremere, pressare e quindi disidratare il materiale dragato. Il contenuto di solido in peso può arrivare al 70%. Le apparecchiature più utilizzate sono: filtri-pressa, presse a nastri filtranti, filtri a vuoto, centrifughe, ecc. I sedimenti possono essere anche condizionati chimicamente (aggiunta di flocculanti) per aumentare l'efficienza della filtrazione.

Le condizioni iniziali dei sedimenti influenzano la scelta dello specifico processo di disidratazione adottato: infatti, un sedimento rimosso con tecnica meccanica presenta un contenuto d'acqua pari al massimo al 50% circa del volume di fango dragato e può essere sottoposto ad una disidratazione passiva, mentre per un sedimento dragato idraulicamente il contenuto d'acqua può arrivare a costituire l'80% del volume totale di fango e per una disidratazione passiva occorrono tempi ben più lunghi, quindi diventa preferibile un *dewatering* meccanico. Inoltre nei due casi cambia significativamente il volume di acqua derivante dalla disidratazione, che deve essere caratterizzata ed eventualmente inviata a trattamento, con dei riflessi notevoli in termini di tempi e costi associati all'intervento.

A valle della disidratazione si può procedere con il recupero o lo smaltimento dei sedimenti e/o delle loro frazioni granulometriche, ovvero con un processo di trattamento volto a migliorarne le condizioni chimico-fisiche, microbiologiche e/o eco tossicologiche.

Nel caso in cui si faccia ricorso ad un trattamento termico di decontaminazione dei sedimenti, le alte temperature a cui questi vengono sottoposti portano inevitabilmente alla disidratazione del materiale.

Decontaminazione

Laddove dai risultati della caratterizzazione risulti uno stato di contaminazione dei sedimenti e/o delle singole frazioni ottenute dalla loro separazione granulometrica destinate al recupero, risulta necessario ricorrere ad un processo di trattamento di tali materiali, volto a ridurre il contenuto delle sostanze inquinanti in essi presenti.

Trattamenti biologici

Un sedimento contaminato da inquinanti organici o metalli pesanti risulta potenzialmente in grado di auto depurarsi, data la presenza naturale nella matrice stessa di microrganismi capaci di degradare i contaminanti stessi. Il processo di biodegradazione può comunque essere indotto somministrando microrganismi specifici, enzimi o ammendanti in grado di favorire i processi di degradazione

Per quel che concerne i trattamenti biologici ex situ possiamo parlare di:

- **Compostaggio.** Il processo può avvenire con diverse modalità impiantistiche (cumuli, areazione forzata). Generalmente il sedimento viene miscelato preventivamente con materiale a basso peso specifico e biodegradabile che incrementa la porosità dell'ammasso (cippato di legno, rifiuti vegetali), facilitando la circolazione interna dell'ossigeno, dell'umidità e degli eventuali additivi. I rendimenti sui sedimenti contaminati da IPA sono alti (circa il 90%) e il materiale può anche avere un limitato contenuto di argilla. Le difficoltà di tale trattamento nascono nel controllo delle emissioni di componenti volatili, soprattutto durante le operazioni di rimescolamento.
- **Bioreattori.** Questa tecnologia tipicamente ex situ, consiste nel trasferire il materiale contaminato all'interno di un dispositivo chiuso nel quale sono controllati accuratamente tutti i parametri che governano i processi degradativi. In questi apparati si può effettuare la mobilizzazione dei metalli, che sono lisciviati e recuperati da tubi di scarico dei liquidi; i tubi ed un sistema di valvole possono portare queste soluzioni in altri bioreattori dove i metalli sono precipitati e recuperati. In questi reattori si può anche ricreare condizioni di

anaerobiosi e si può variare il potenziale redox per effettuare dei cicli di adsorption/desorption. Inoltre il circuito chiuso permette l'eventuale utilizzo di batteri alloctoni e batteri geneticamente modificati per migliorare le prestazioni del processo. I bioreattori trovano applicazione nella degradazione di composti difficilmente eliminabili con gli altri processi biologici, inoltre l'efficienza di rimozione degli inquinanti è superiore al 90% e si raggiunge in tempi brevi (giorni o poche settimane).

Trattamenti chimico-fisici

I trattamenti chimico-fisici sono differenziabili in processi di natura fisica, in cui viene favorito il trasferimento di fase dei contaminanti o comunque la loro separazione dalla matrice solida del sedimento, e processi di natura chimica, in cui viene alterata la struttura chimica dei contaminanti con generazione di composti meno tossici e/o più facilmente separabili dalla matrice del sedimento.

Tra i principali processi vengono proposti i seguenti.

- **Sediment-washing.** Basati sul trasferimento dei contaminanti in una frazione liquida, eventualmente addizionata con opportuni reagenti (tensioattivi, soluzioni acide, soluzioni alcaline, agenti complessati e solventi organici). Il lavaggio è un processo di trattamento di tipo fisico-chimico realizzato ex situ: il materiale contaminato viene sottoposto a lavaggio con agenti estraenti con lo scopo di creare condizioni idonee alla mobilizzazione degli inquinanti. Il tipo di agenti estraenti utilizzati nei trattamenti di lavaggio varia in funzione della natura della contaminazione nonché delle modalità con le quali i diversi contaminanti si trovano legati al sedimento. È noto infatti come il comportamento dei contaminanti all'interno della matrice di un sedimento sia strettamente connesso a fattori quali la composizione mineralogica, la presenza di sostanza organica (la quale può dar luogo a fenomeni di complessazione dei contaminanti), il pH, le condizioni redox, le condizioni di ageing, ecc. Gli agenti estraenti più utilizzati sono: soluzioni acquose, acidi, basi, tensioattivi, solventi, agenti chelanti, agenti riducenti, ecc. L'estrazione dei contaminanti avviene promuovendo meccanismi opposti a quelli che ne hanno comportato l'immobilizzazione all'interno della matrice del sedimento. Pertanto, l'estrazione delle specie ioniche trattenute da forze di natura elettrostatica richiede l'utilizzo di soluzioni ad elevata forza ionica, mentre quella delle specie ioniche trattenute a mezzo di legami covalenti richiede l'applicazione di forti agenti complessanti; per la rimozione di specie metalliche risulta invece necessario l'impiego di agenti chimici in grado di modificare il pH del materiale (nel caso ad esempio di specie presenti sotto forma di ossidi o carbonati) o le condizioni redox (nel caso ad esempio di specie presenti sotto forma di solfuri o legate agli ossidi di ferro e manganese). I trattamenti di lavaggio dei sedimenti permettono di rimuovere: metalli pesanti, solventi alogenati, composti aromatici, policlorobifenili (PCB), fenoli, pesticidi, gasolio ed olii. L'impiego di acidi o basi può risultare in alcuni casi economicamente svantaggioso in quanto sono di regola richiesti valori di pH notevolmente acidi o notevolmente basici per ottenere adeguate efficienze di estrazione. Può risultare inoltre necessario provvedere alla neutralizzazione del pH a valle del processo di estrazione. L'impiego di agenti chelanti è preferibile rispetto a quello di agenti estraenti acidi o basici, a causa delle efficienze di estrazione potenzialmente superiori e della selettività nei confronti dei contaminanti. È bene ricordare che l'efficienza di determinati agenti chelanti è funzione delle condizioni di pH, il che potrebbe richiedere la correzione di tale parametro. La scelta dell'agente chelante più idoneo per il trattamento dei sedimenti contaminati deve essere effettuata sulla base della selettività nei confronti degli inquinanti di interesse, dell'efficienza di estrazione conseguibile, delle caratteristiche di tossicità nonché di quelle di biodegradabilità ed infine delle possibilità di reimpiego della soluzione estraente esausta. Il sediment washing arriva a una riduzione del 90% dei contaminanti organici e del 70% di quelli inorganici. Il prodotto ottenuto può essere utilizzato quale topsoil.
- **Stabilizzazione/solidificazione** I processi di inertizzazione sono finalizzati a ridurre la mobilità degli inquinanti presenti nel materiale, attraverso una duplice azione di fissazione chimica e strutturale del rifiuto all'interno di una matrice inerte. Essi constano di due fasi,

così definite dall'EPA:

- per stabilizzazione s'intende quell'insieme di tecniche che è in grado di ridurre il potenziale pericoloso del rifiuto attraverso la conversione dei contaminanti nella loro forma meno solubile, meno mobile e meno tossica;
- per solidificazione invece s'intende quell'insieme di tecniche che operano la trasformazione del rifiuto in una massa solida ad alta integrità strutturale.

Sono i reattivi impiegati a determinare le caratteristiche dei processi e dei prodotti di inertizzazione. I trattamenti a base di reagenti inorganici quali cemento, calce e silicati, grazie al basso costo dei reagenti, alla semplice tecnologia ampiamente applicata nel settore dell'edilizia, ai contenuti costi di investimento e alla facile realizzazione e gestione degli impianti, rappresentano la maggior parte delle applicazioni su scala industriale.

In determinati casi il processo di stabilizzazione/solidificazione può trasformare chimicamente i contaminanti presenti nel sedimento e renderli più facilmente lisciviabili.

I sedimenti altamente contaminati richiedono comunque una fase di decontaminazione preliminare per ottenere un prodotto finale riutilizzabile.

Il prodotto ottenuto può essere riutilizzato per determinati tipi di costruzioni e per la copertura di discariche.

Trattamenti termici

I trattamenti termici consentono di trattare i sedimenti contaminati da sostanze organiche e inorganiche.

In generale, in funzione della temperatura raggiunta durante il processo, si possono distinguere il desorbimento termico e i trattamenti di termodistruzione quando le temperature di trattamento non superano i 550÷650 °C per i primi e per i secondi quando sono comprese tra 600 e 2.000 °C.

- Desorbimento termico. Si raggiungono temperature intorno ai 300 °C. Si potrà precedere il riscaldamento essere diretto tramite essiccatore a letto fluido o, in alternativa un riscaldamento di tipo indiretto con tamburo rotante a pareti riscaldate. Il desorbimento termico è un trattamento termico di tipo ex-situ idoneo per matrici solide come terreni, fanghi e sedimenti che presentino contaminazione soprattutto da composti organici volatili e semi-volatili; per quanto concerne i composti inorganici, l'unico che può essere efficientemente trattato è il mercurio, ma solo per quanto riguarda le sue forme chimiche volatili. Il materiale viene sottoposto a temperature tali da permettere il passaggio alla fase vapore dei composti presenti, che vengono poi allontanati mediante un flusso gassoso (opportunamente depurato prima dello scarico nell'atmosfera). Il principale svantaggio è relativo agli elevati costi energetici che rendono il desorbimento termico più costoso di altri trattamenti; inoltre, come per gli altri sistemi termici, può essere percepito negativamente dalle comunità locali e sono generalmente necessarie procedure amministrative più lunghe e complesse per ottenere le autorizzazioni. È inoltre necessario assicurare il rispetto degli standard ambientali e dei limiti normativi per le emissioni gassose. Esistono varie tipologie di unità di desorbimento: forno a tamburo rotante, a coclee, a nastro trasportatore, a pale ecc.; tra queste, la tipologia più diffusa è quella a tamburo rotante. Il sistema necessita di una fase di pre-trattamento del materiale e di sistemi di post-trattamento del materiale solido, delle emissioni gassose e dei residui derivanti dai sistemi di trattamento delle emissioni. I principali parametri di processo sono la temperatura, il tempo di residenza, il grado di mescolamento, la pressione di esercizio, la quantità di particolato trasferita dal desorbitore al flusso gassoso, l'emissione di polveri, la quantità di materiale trattato e la presenza di cloro, zolfo, diossine e furani (che influenzano il successivo sistema di trattamento gas).
- Termodistruzione. Il riscaldamento fino ai 1400 °C per rimuovere i contaminanti dalla matrice sedimento può precedere la successiva aggiunta del materiale ad una miscela cementizia, all'interno di un forno a rotazione. Il prodotto ottenuto può essere riutilizzato per la realizzazione di edifici e per il ripristino di habitat. Tale processo è in grado di rimuovere tutti i contaminanti organici e gran parte dei metalli presenti nei sedimenti. Nelle

applicazioni con letto fluidizzato le alte temperature convertono tutti i contaminanti organici a monossido di carbonio, idrogeno e metano. Il prodotto ottenuto può essere riutilizzato senza restrizioni, nel caso in cui non contenga metalli, ed evitandone la disidratazione.

- Vetrificazione. Una torcia al plasma che arriva a raggiungere una temperatura di 5000°C circa scioglie il sedimento mediante un flusso per la produzione di vetro, che può essere introdotto sul mercato per recuperare parte dei costi sostenuti in fase di trattamento.

Destinazione Finale

In funzione dello stato di qualità chimico-fisico e microbiologico, oltre che delle proprietà ecotossicologiche, i sedimenti e le loro frazioni granulometriche, eventualmente trattati, possono essere recuperati per il riutilizzo in diverse forme di ripristino ambientale, ovvero possono essere conferiti in apposite strutture di contenimento o smaltiti in discarica. In particolare, è possibile distinguere tra le seguenti tipologie di gestione:

RIUTILIZZO IN FORME DI RIPRISTINO AMBIENTALE

A MARE

- *utilizzo per riprofilare porzioni della morfometria del fondale della zona interessata*
- *reimmissione in aree marine non costiere*
- *ripascimento di arenili emersi e sommersi*

A TERRA

- *riempimento di cave dismesse*
- *esecuzione di terrapieni e arginature*
- *rilevati e sottofondi stradali e ferroviari*
- *produzione di materiali da costruzione*

COLLOCAZIONE IN STRUTTURE CONTERMINATE

- *refluimento in casse di colmata*
- *conferimento a discarica*

Nel presente studio ci si propone di affrontare la gestione dei sedimenti, separati nelle diverse frazioni granulometriche derivanti da un processo di classificazione dimensionale.

Tale processo agevola notevolmente la gestione dei sedimenti, in quanto permette un recupero selettivo delle diverse frazioni dimensionali ottenute e, in molti dei casi in cui è stata riscontrata una situazione ambientalmente compromessa, permette di isolare i contaminanti presenti nelle frazioni più fini del sedimento, riducendo sensibilmente il volume di materiale da smaltire quale rifiuto.

La separazione granulometrica è un processo fisico-meccanico che permette la formazione di diverse frazioni di materiale, omogenee per dimensioni, a partire da un insieme unico. Nel caso dei sedimenti, le frazioni ottenute si distinguono, in funzione del diametro medio delle particelle solide, tra:

- ghiaia;
- sabbia grossolana;
- sabbia fine;
- limo;
- argilla.

Ai fini gestionali, le classi granulometriche sopra elencate possono ridursi a due:

- frazione grossolana (sabbia) caratterizzata da un diametro delle particelle $\geq 63 \mu\text{m}$;
- frazione fine (pelite) caratterizzata da un diametro delle particelle $\leq 63 \mu\text{m}$.

Le modalità di gestione di queste si distinguono in quelle volte al loro recupero per il riutilizzo in diverse forme di ripristino ambientale e quelle volte al conferimento all'interno di idonee strutture conterminate.

Tra le opzioni gestionali volte al recupero dei materiali si distinguono diverse tipologie, in funzione delle caratteristiche dimensionali delle frazioni granulometriche. In particolare, la frazione sabbiosa può essere riutilizzata per opere di ripascimento di arenili emersi e sommersi, mentre la frazione fine può essere riutilizzata per la realizzazione di terreni costieri, o per rilevati e sottofondi stradali. L'idoneità al recupero con tali finalità dipende dalle qualità chimico-fisiche, mineralogiche, microbiologiche ed ecotossicologiche e, nel caso di opere di ripascimento, dalla compatibilità con il sito di destinazione dei materiali gestiti.

Laddove è presente una situazione ambientalmente compromessa, generalmente la frazione fine è quella caratterizzata da un maggior livello di contaminazione, in ragione dell'elevato sviluppo superficiale e numero di siti "attivi" che presenta, che favoriscono interazioni di natura elettrostatica con gran parte delle sostanze contaminanti che possono presentarsi nell'ambiente marino. Pertanto, prima di poter riutilizzare tale frazione, è necessario provvedere alla sua detossificazione, mediante un trattamento specifico per il tipo di contaminazione riscontrato. Nel caso in cui non sia sostenibile un trattamento di detossificazione, può essere ipotizzabile il refluito in strutture conterminanti della frazione fine tal quale.

Nella fase di selezione delle soluzioni gestionali dei sedimenti marini e delle loro frazioni granulometriche acquisisce un'importanza fondamentale un approccio di tipo integrato che consideri tutte le possibili interferenze degli interventi ipotizzati con le attività che interessano l'area costiera coinvolta, siano esse di tipo turistico-balneare, ricreative, di pesca commerciale, industriali, agricole o di altro tipo.

In tale contesto, le coste dell'Emilia Romagna sono sede di numerose attività, in particolare di tipo turistico-ricreativo, grazie alle quali gli arenili acquisiscono una notevole importanza per l'economia regionale. I fenomeni di erosione costiera compromettono tali attività, andando a ridurre sensibilmente, anno dopo anno, l'estensione degli arenili. Pertanto diventa estremamente importante la possibilità di realizzare interventi di ripascimento degli arenili, che comportano una gestione integrata dei sedimenti rimossi dai fondali delle aree portuali e costiere.

Come indicato nel "Manuale per la gestione dei sedimenti marini" predisposto da APAT e ICRAM, le attività di dragaggio e/o deposizione non sono da effettuarsi nelle seguenti aree:

1. aree archeologiche marine;
2. zone marine di tutela biologica;
3. zone marine di ripopolamento;
4. aree marine protette;
5. aree protette territoriali costiere (parchi e riserve naturali, nazionali e regionali);
6. zone marine che ospitano praterie di fanerogame;
7. aree destinate ad usi legittimi (cavi, condotte e installazioni petrolifere, poligoni militari, maricoltura, trasporti marittimi, barriere artificiali, terminali off-shore, ecc.);
8. Siti Rete Natura 2000;
9. ASPIM (aree specialmente protette);
10. zone di particolare pregio biologico (aree di nursery delle principali specie ittiche demersali, ecc.);
11. "Santuario per i Mammiferi marini".

Nei casi di cui ai punti 10 e 11, le attività possono essere effettuate purché si dimostri la ininfluenza delle attività di immersione e/o di prelievo nei confronti delle esigenze biologiche di quelle specie per la protezione delle quali tali aree sono state individuate.

Le attività di deposizione non sono inoltre da effettuarsi in aree marine entro le 3 miglia nautiche dalla costa, con l'eccezione delle attività di ripascimento.

RIUTILIZZO A MARE

Per la gestione dei sedimenti rimossi dal fondale marino è naturale pensare ad un ricollocamento nel loro ambiente di origine. Mentre fino agli anni '90 la reintroduzione a largo delle coste (oltre le 3 miglia nautiche) era la modalità di gestione più diffusa, se non l'unica, a valle di un dragaggio, con l'evolversi della normativa italiana e internazionale sull'ambiente marino, anche le attività di movimentazione dei sedimenti hanno subito una serie di restrizioni, volte principalmente alla salvaguardia del mare e delle specie in esso viventi.

Pertanto le soluzioni gestionali verso cui ci si sta orientando sono quelle che comportano un riutilizzo dei sedimenti dragati in varie opere, principalmente in ambito marino-costiero.

I sedimenti classificabili come rifiuti pericolosi ai sensi del D.Lgs. 152/06 devono comunque essere smaltiti e non possono essere recuperati in alcun modo.

Va inoltre considerato che trovandosi in ambito portuale, è possibile utilizzare i sedimenti dragati esclusivamente in strutture conterminate, quali casse di colmata o opere strutturali comunque chiuse.

Reimmissione in aree marine non costiere

L'immersione deliberata in mare di materiale di escavo dei fondali e dei terreni litoranei emersi, nonché la movimentazione dei fondali marini derivante da attività di posa di cavi e condotte, disciplinato dall'articolo 35 del D.lgs 152/99, è oggi normata dall'articolo 109 della legge 152/2006. Per quanto concerne la problematica dello smaltimento dei materiali dragati, fino a tempi abbastanza recenti, la metodologia privilegiata è stata quella dell'immersione in mare in siti specifici oltre le 3 miglia nautiche dalla costa. Successivamente, l'indicazione fornita dall'articolo 35 del D.Lgs. 152/99, che riprende quanto indicato dalla Convenzione di Londra del 1972 (in particolare nella risoluzione di approvazione del D.M.A.F. - "Dredged material assessment framework"), è stata quella di considerare il materiale di risulta una "risorsa" da recuperare, piuttosto che un materiale di rifiuto. In considerazione di ciò, dunque, un'alternativa da preferire allo scarico in mare è l'utilizzo benefico dei materiali dragati con o senza specifici trattamenti, anche perché è ormai chiaro che il fondo del mare non può essere usato come una discarica in quanto non possiede una capacità illimitata di assimilazione e smaltimento. Sul piano internazionale è fiorente la presenza di convenzioni internazionali inerenti lo scarico in mare dei materiali: in particolare possiamo citare la Convenzione di Londra (protocollo 96) del 1972, la Convenzione di Barcellona (protocollo Dumping del 1995) per quanto riguarda l'area Mediterranea e la Convenzione OSPAR del 1992 (entrata in vigore nel febbraio 1999) per l'area del Nord-Est Atlantico, che sostituisce la Convenzione di Oslo del 1972 e la Convenzione di Parigi del 1974.

Tutte confermano i seguenti principi essenziali:

- il principio precauzionale: possono essere scaricate in mare solo determinate sostanze con un percorso specifico scaturito dalla caratterizzazione dei sedimenti, dall'ipotesi di impatto e dal successivo monitoraggio;
- il principio "chi inquina paga": si attribuisce al soggetto che introduce sostanze inquinanti nell'ambiente, la responsabilità di sostenere i costi per le misure di riduzione dell'inquinamento prodotto;
- il principio di gestione integrata delle zone costiere: ogni intervento in questa fascia di territorio deve essere contestualizzato nell'ambito di una gestione "integrata", che contempli tutti gli aspetti socio-economici, oltre che prettamente ambientali.

Per una scelta idonea del sito di immersione in mare si procede con una prima fase di acquisizione dei seguenti elementi conoscitivi riguardanti l'area vasta nella quale localizzare il sito:

- caratteristiche dinamiche della massa d'acqua (onde e correnti);
- caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche della colonna d'acqua;
- caratteristiche del fondale (morfologia, batimetria, granulometria e caratteristiche chimiche dei sedimenti);
- principali biocenosi bentoniche, popolazioni ittiche esistenti, aree di nursery e di alimentazione;
- presenza di aree interdette allo scarico;
- presenza di altre aree di scarico o di fonti inquinanti.

Questa fase può essere condotta su base bibliografica, purché i dati di riferimento siano da ritenersi rappresentativi della situazione attuale. Qualora l'insieme di tali informazioni risulti insufficiente dovranno essere svolte apposite indagini. Sulla base delle caratteristiche generali dell'area, ricavate dalla prima fase, nella seconda fase deve essere individuato il sito specifico di immersione. Questo deve essere dimensionato in funzione dei volumi di materiale da rilasciare, tenendo in considerazione anche la possibilità di ulteriori scarichi da ripetersi periodicamente in base alle

esigenze di gestione a lungo termine. La superficie del sito di immersione deve essere sufficientemente estesa in rapporto alla quantità dei materiali da scaricare. Il ricoprimento teorico medio del fondale non deve essere superiore a 5 cm, spessore che risulta generalmente compatibile con i processi di ricolonizzazione da parte degli organismi bentonici. Si raccomanda l'individuazione di più siti di immersione al fine di poter disporre di alternative in caso di «saturazione» del primo sito selezionato. L'area del sito di immersione deve essere definita secondo forme geometriche regolari (quadrati o rettangoli), suddivisibili in subaree unitarie di 1 mn x 1 mn nelle quali differenziare temporalmente i volumi di materiale da scaricare. Devono essere individuate, inoltre, almeno due aree di controllo (di almeno 1 mn x 1 mn) che abbiano le stesse caratteristiche del sito e che non siano influenzate da attività di origine antropica e presumibilmente anche da quelle di scarico.

Del sito di immersione e delle aree di controllo devono essere determinate, eventualmente mediante l'ausilio di indagini in-situ, le seguenti caratteristiche:

- dinamica della massa d'acqua (onde e correnti);
- parametri chimico-fisici della colonna d'acqua;
- batimetria;
- popolamento ittico demersale (prelievo di organismi tramite pesca a strascico).

Nello specifico sito d'immersione e nelle potenziali zone di influenza dello scarico, nonché nelle aree di controllo, quando compresi all'interno della piattaforma continentale, deve essere inoltre predisposto un piano di indagine e campionamento di sedimenti superficiali seguendo le indicazioni sotto riportate (cfr. Figure 1):

- morfologia (tramite Side Scan Sonar con range di definizione appropriato);
- per siti di immersione con superficie maggiore di 2 mn² deve essere posizionato un numero di stazioni di campionamento non inferiore a due per ogni mn²;
- per siti di immersione con superficie minore di 2 mn² devono essere previste comunque almeno 3 stazioni di campionamento;
- nelle aree di controllo devono essere posizionate almeno 3 stazioni di campionamento per ogni mn².

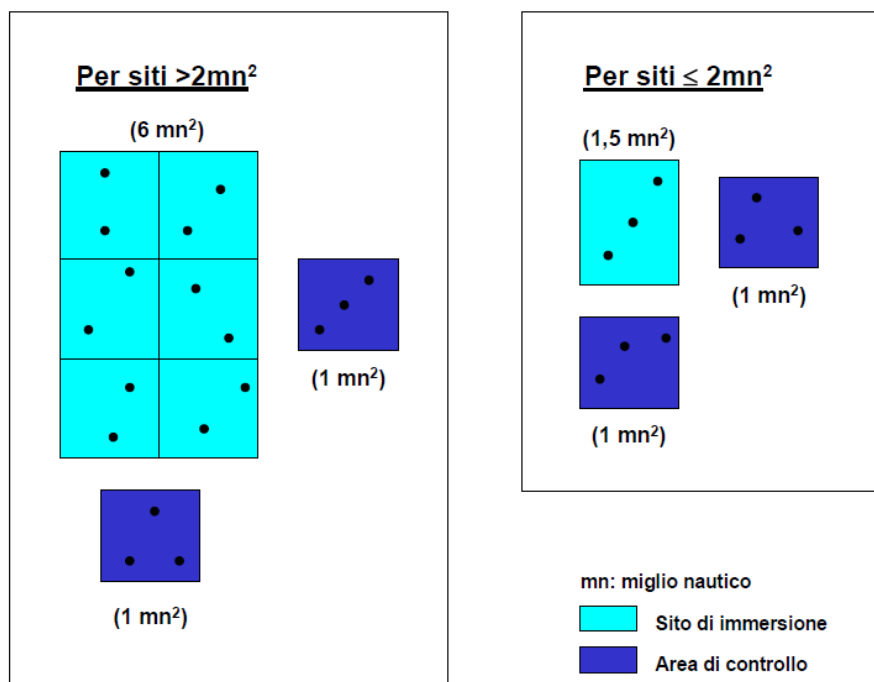


Figure 1 - Esempio di campionamento di sedimenti per la caratterizzazione di siti di immersione (fonte APAT-ICRAM, 2006)

Nelle stazioni di campionamento devono essere eseguite le seguenti indagini:

- analisi chimico-fisiche e microbiologiche del sedimento; queste ultime devono essere

- eseguite qualora siano presenti impianti di maricoltura nel raggio di 5 mn;
- attribuzione delle specie zoobentoniche ai relativi gruppi ecologici e trofici e analisi delle comunità bentoniche attraverso gli specifici indici;
 - analisi ecotossicologiche su specie-test a breve e lungo termine tramite l'applicazione di saggi biologici e prove di bioaccumulo e/o prove per la valutazione degli effetti biochimici (biomarkers) su specie animali stanziali.

Dovrà essere verificato che il sito non risulti di tipo dispersivo, ovvero che sussistano le condizioni idrodinamiche e sedimentarie per cui la quasi totalità del materiale rimanga sul fondale all'interno del sito stesso.

Le principali tecniche di immersione sono lo scarico diretto da *hopper* e da *betta*. Le tubazioni alimentate da draghe idrauliche non devono essere utilizzate in quanto tendono a formare estese nuvole di sedimenti fini in sospensione. Le perdite di materiale per dispersione dovrebbero essere stimate attraverso l'impiego di idonei modelli numerici di simulazione. Durante il trasporto, prima e dopo l'operazione di sversamento, dovranno essere esclusi, con opportuni metodi di contenimento, rilasci accidentali o perdite di materiale in navigazione. Dovranno inoltre essere allestiti opportuni sistemi per il monitoraggio in tempo reale delle rotte seguite durante il trasporto e per la registrazione delle stesse per successive verifiche.

Riprofilatura della morfobatimetria del fondale della zona interessata dal dragaggio

La scelta di una reintroduzione in mare dei sedimenti dragati acquisisce il significato di una forma di ripristino ambientale, se volta a ripristinare la morfologia d'origine del sito di prelievo, alterata dall'intervento di dragaggio. Una delle principali conseguenze delle attività di dragaggio di sedimenti marini, infatti, è costituita dall'alterazione della morfobatimetria del fondale dell'area di intervento. Ciò è inevitabile in interventi di bonifica mediante rimozione di hot spot presenti sul fondale marino.

Sulla base della classificazione del materiale da dragare, delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dell'area all'interno della quale verranno effettuate le operazioni di dragaggio, delle modalità e dei tempi di esecuzione del dragaggio, deve essere elaborata un'analisi dei possibili impatti sull'ambiente circostante il sito di dragaggio, in particolare relativamente alla variazione della morfologia e della batimetria dei fondali, oltre che sull'aumento della torbidità delle acque e sui possibili aumenti di concentrazione nella colonna d'acqua dei contaminanti riscontrati nei sedimenti in fase di caratterizzazione.

Qualora siano ipotizzabili tali effetti, dovranno essere individuate le misure di contenimento e di mitigazione da adottare.

Nel caso di dragaggi ambientali, una diffusione della contaminazione che interessi spessori diversificati del fondale dell'area interessata può comportare variazioni anche brusche delle quote di escavo. Ciò porta ad un'alterazione significativa della morfobatimetria del fondale, che può essere riportato ad una quota uniforme grazie a interventi di riprofilatura utilizzando sedimenti qualitativamente idonei e compatibili con quelli presenti nel sito di destinazione.

Ripascimento di arenili

Tra le possibili modalità di recupero dei sedimenti dragati, quella del ripascimento degli arenili, laddove applicabile, appare una delle più sostenibili in termini economici, logistici e di impatto ambientale. Oltre a permettere la valorizzazione del materiale dragato quale risorsa utile, poi, rappresenta la migliore soluzione per affrontare il problema di erosione delle coste, ben integrandosi con gli aspetti legati alla fruizione delle spiagge a scopo turistico-balneare. Il ripascimento costituisce quindi uno dei possibili sistemi di gestione integrata per i sedimenti dragati.

Una spiaggia sufficientemente larga, con dune al retro, è l'unico sistema litoraneo in grado di soddisfare contemporaneamente le tre principali valenze dell'ambiente costiero, costituite dalla difesa del territorio e degli abitati, dal supporto all'economia turistico-balneare e dall'elevata qualità ambientale.

Essendo l'equilibrio di una spiaggia strettamente correlato con il bilancio dei sedimenti in entrata e in uscita dalla stessa, si può parlare di bilancio positivo quando la spiaggia avanza e negativo

quando arretra. Il fattore di alimentazione primario è l'apporto di sabbia da parte dei fiumi, mentre il fattore di sottrazione più importante è costituito dalla subsidenza.

Quando il trasporto solido fluviale si riduce significativamente e la subsidenza si incrementa, si verifica l'erosione delle spiagge e l'approfondimento dei fondali antistanti.

Alla base della riduzione degli apporti di sabbia al mare da parte dei fiumi vi sono le escavazioni di inerti lungo gli alvei fluviali, la realizzazione di opere di regimazione lungo gli alvei, la difesa dei versanti montani dalle frane, la mancata pulizia degli alvei in pianura e l'abbandono della montagna da parte di gran parte della popolazione contadina che determina una riduzione del seminativo, più erodibile, a favore della diffusione di boschi e prati, meno erodibili. Anche una riduzione della piovosità dovuta alle modificazioni climatiche contribuisce a tale fenomeno. Un incremento degli apporti di sabbia al mare da parte dei fiumi si può ottenere solamente intervenendo su tali fattori causali. Non potendo intervenire su piovosità e tendenza allo spopolamento, occorre agire sui restanti fattori.

La subsidenza è il fenomeno di abbassamento della quota del suolo rispetto al livello medio del mare. Le cause possono essere naturali o antropiche. Le principali cause naturali sono il costipamento dei sedimenti e i movimenti tettonici. La subsidenza naturale è quindi un fenomeno inarrestabile che può essere contrastato solamente con innalzamenti del terreno ottenuti grazie agli apporti sedimentari dei fiumi. Le cause antropiche di subsidenza possono essere la bonifica di aree paludose costiere, l'estrazione di acqua dalle falde, la coltivazione di giacimenti sotterranei di materie prime quali gas e petrolio. Gli abbassamenti dovuti alla subsidenza non si limitano alla terraferma, ma interessano anche la spiaggia sommersa.

Opere a mare finalizzate a fronteggiare il fenomeno dell'erosione costiera quali moli e scogliere sono elementi che interferiscono sulla dinamica litoranea, determinando effetti positivi e negativi in ambito locale. Bloccando l'avanzata del mare con opere rigide, infatti, le spiagge così protette possono entrare in erosione a distanza di alcuni anni perché il fondale sul lato mare di tali opere si approfondisce. Dal punto di vista di una gestione integrata di tali opere con gli aspetti relativi alla fruizione del litorale per scopi turistici, inoltre, la presenza di opere rigide a mare rende le spiagge meno appetibili e pregiate, determinando di conseguenza un minor valore degli immobili dell'area litoranea. Da oltre un decennio i limiti e i difetti delle scogliere parallele emerse sono stati discussi dalla comunità scientifica a livello nazionale e internazionale. L'indicazione pressoché univoca è quella del loro abbandono, almeno per quanto attiene la difesa delle spiagge oggetto di fruizione turistica.

Uno studio realizzato in Emilia Romagna per conto del Ministero dei LL.PP. olandese tra il 1987 e il 1989 ha valutato sotto il profilo tecnico-economico diverse alternative d'intervento a fronte dei problemi derivanti dalla protezione delle spiagge, quali opere rigide in cemento armato o in massi rocciosi (scogliere, pennelli) e ripascimento. Ne è risultato, per una spiaggia tipo lunga 5 km, che la soluzione più conveniente è il ripascimento artificiale fino a valori del deficit per chilometro pari a 80.000 m³/anno di sabbia.

Le scogliere parallele emerse e i pennelli con il passare del tempo hanno evidenziato, accanto ad un'elevata capacità di smorzamento dell'energia del moto ondoso, una serie di effetti negativi che ne hanno reso sconsigliabile l'utilizzo. Tra questi i più rilevanti sono il peggioramento della qualità dei fondali e delle acque di balneazione, ma soprattutto lo spostamento dell'erosione sui litorali limitrofi.

A causa della subsidenza e della lontananza di fonti naturali di alimentazione delle spiagge, anche il beneficio di interferire con il moto ondoso può venire a mancare, facendo entrare in erosione i tratti protetti da scogliere, per cui sono sempre più frequenti le richieste di intervento di ricostruzione delle spiagge protette da opere rigide tramite il ripascimento.

La domanda turistica nazionale ed internazionale si è indirizzata sempre più verso località in grado di offrire un'elevata qualità dell'ambiente litoraneo. Ciò ha portato ad una maggiore affermazione delle spiagge prive di opere di difesa rigida rispetto a quelle con scogliere.

In attesa di una ripresa degli apporti solidi da parte dei fiumi e del blocco della subsidenza antropica, la soluzione non può quindi che essere il ripascimento artificiale.

Visto che nei dossi sottomarini scoperti presenti al largo di numerosi tratti di costa sono presenti notevoli quantitativi di sabbia e che le tecnologie fornite dal mercato permettono di spostarne sulla

costa grandi volumi in breve tempo, è auspicabile perseguire tale tipologia di intervento.

L'aspetto più critico del ripascimento è la necessità d'intervenire periodicamente con opere di manutenzione per integrare la sabbia asportata dal mare. In realtà questo, che viene percepito come un limite a livello locale, è un vantaggio a scala più ampia, perché la sabbia che fuoriesce dalle zone di apporto va ad alimentare le spiagge limitrofe garantendo così l'equilibrio di diversi chilometri di litorale.

Negli interventi di ripascimento delle spiagge, le fonti di prelievo della sabbia possono essere cave di prestito a terra, zone litoranee interessate da una costante accumulo di materiale, barre all'imboccatura dei porti e accumuli sottomarini. Tra le diverse modalità di attuazione del ripascimento quella basata sull'utilizzo di sabbie sottomarine è risultata la migliore per i bassi costi unitari della sabbia, per la possibilità di apportare in tempi ridotti ingenti volumi di materiale e per l'impatto ambientale pressoché nullo.

Altro aspetto critico è legato alla granulometria del materiale dragato, che può risultare inferiore rispetto a quella delle spiagge da ripascere, per cui l'intervento può sembrare tecnicamente non idoneo e quindi inopportuno. In realtà è del tutto limitativo concepire il ripascimento come un'operazione di ricostruzione della sola spiaggia emersa, laddove il moto ondoso è in grado di ridistribuire la sabbia sull'intero profilo e quindi anche sulla spiaggia sommersa, secondo una scala decrescente delle granulometrie. Apportando sabbia in notevole quantità in uno degli estremi di una spiaggia da ripascere, si riesce, infatti, a garantire l'equilibrio dell'intero tratto sfruttando la capacità del mare di spostare la sabbia per decine di chilometri secondo la direzione prevalente di trasporto lungo costa. In pratica si riattiva artificialmente il meccanismo naturale di alimentazione delle spiagge, un tempo garantito dagli apporti fluviali, partendo da un punto diverso dalle foci dei fiumi. I risultati sono l'allargamento in tempi rapidi della spiaggia emersa e il rinforzo delle barre sommerse. Elementi, questi, determinanti ai fini di una maggior dissipazione dell'energia del moto ondoso durante le mareggiate, a cui consegue una riduzione dei danni alle infrastrutture presenti a terra.

Ad ogni modo, essendo richiesta un'analogia delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti rimossi con quelle degli arenili da ripascere, questo rimane un aspetto critico in tale tipo di intervento. Per massimizzare il recupero dei sedimenti dragati in opere di rinascimento, una volta verificata l'idoneità in termini chimici, microbiologici ed eco tossicologici, i sedimenti dragati possono essere sottoposti ad un processo di classificazione granulometrica, che porti alla formazione di diverse frazioni dimensionali, da destinare a utilizzi differenziati.

In riferimento alle possibili opzioni di gestione dei materiali da movimentare in particolare nel caso dei ripascimenti, vengono utilizzati i termini di spiaggia emersa e spiaggia sommersa, intendendo, nel primo caso, la porzione di arenile al di sopra del limite superiore della più alta "alta marea sizigiale" mentre nel secondo la zona posta al di sotto del limite inferiore della più bassa "bassa marea sizigiale".

La conseguente distinzione utilizzata tra ripascimenti sulla spiaggia emersa e sommersa è comunque da considerarsi di carattere meramente operativo, dovuta alle modalità di deposizione, in quanto, al termine dell'intervento di ripascimento destinato al ripristino della linea di riva, i materiali raggiungeranno una condizione di equilibrio, in funzione dell'idrodinamismo, delle caratteristiche granulometriche, ecc.

Come indicato nel "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini" APAT-ICRAM, ai fini della determinazione di compatibilità dei sedimenti di apporto, devono essere disponibili le seguenti informazioni relative al sito da ripascere:

1. planimetria generale dell'area da ripascere comprensiva delle isobate ed eventuale relativa documentazione fotografica;
2. caratteristiche meteomarine climatologiche annuali, stagionali ed estreme;
3. regime sedimentario e trasporto solido litoraneo nel tratto di costa interessato;
4. analisi storiografica dell'andamento della linea di costa e dei fondali e delle eventuali opere o interventi di protezione;
5. possibili fonti d'inquinamento e stato ambientale delle spiagge da ripascere (superficie emersa e sommersa), in modo tale da scongiurare eventuali coperture di siti contaminati;
6. caratteristiche cromatiche, mineralogiche, granulometriche e chimiche;

7. principali popolamenti macrobentonici presenti nel sito di ripascimento e nell'area circostante fino alla batimetrica dei 10 m, salvo la presenza di praterie di fanerogame marine.

In tal caso l'indagine è estesa al limite inferiore della prateria;

8. principali popolazioni ittiche esistenti nell'area ed eventuale presenza di aree di nursery.

Le informazioni richieste possono essere desunte dalla letteratura; in particolare i dati relativi alle informazioni di cui ai punti 5, 6 e 7, non devono essere antecedenti i 3 anni, purché in tale periodo non si siano verificati eventi significativi che abbiano modificato le condizioni preesistenti. Qualora le informazioni bibliografiche relative ai suddetti punti non fossero esaustive, sarà necessario effettuare una specifica indagine di campo, da concordare caso per caso con l'Autorità competente all'esame della richiesta di autorizzazione.

Indipendentemente dalle conoscenze pregresse, all'interno dell'area interessata al ripascimento, saranno prelevati almeno 2 campioni (uno ubicato sulla spiaggia emersa e uno sulla spiaggia sommersa), lungo sezioni equidistanti tra loro massimo 200 m e perpendicolari alla linea di costa. I campioni, in numero comunque non inferiore a quattro, dovranno essere sottoposti alle analisi granulometriche.

In fase di progettazione dell'intervento deve essere fornita una documentazione tecnica contenente le specifiche progettuali dell'intervento, comprese le eventuali strutture fisse di protezione, le modalità e i tempi d'esecuzione del ripascimento e le valutazioni sulla necessità di ripetere gli interventi nel tempo (Piano di manutenzione), attraverso la previsione della stabilità del materiale depositato. Sulla base della integrazione delle informazioni riguardanti le caratteristiche meteomarine e la tipologia del sedimento, delle caratteristiche del sito da ripascere e delle operazioni di deposizione, deve essere fornita una sintetica descrizione dei possibili impatti che tali attività possono causare all'ambiente. In particolare, devono essere messi in evidenza i possibili effetti di un aumento della torbidità sui popolamenti macrobentonici ed ittici in prossimità del sito da ripascere. Devono essere inoltre esplicitate le eventuali misure di mitigazione proposte.

Conseguentemente all'ipotesi di impatto, lo specifico piano di monitoraggio per interventi di ripascimento deve considerare almeno i seguenti parametri:

- le caratteristiche meteomarine;
- granulometria dei sedimenti superficiali;
- rilievi topografici della linea di riva e della spiaggia emersa e rilievi batimetrici dell'area di intervento e della costa limitrofa al termine della stagione estiva e invernale e dopo mareggiate estreme;
- livelli di torbidità nell'area e nelle immediate vicinanze del sito da ripascere;
- principali popolamenti macrobentonici presenti nel sito di ripascimento e nell'area circostante fino alla batimetrica dei 10 m salvo la presenza di praterie di fanerogame marine.

In tal caso l'indagine è estesa al limite inferiore della prateria, valutando anche eventuali effetti sul suo stato di salute.

Si definiscono di ridotta entità quegli interventi di ripascimento, occasionali o periodici, volti a ricostruire il profilo della spiaggia e che comportano un apporto di sabbia inferiore a 20 metri cubi per metro lineare di spiaggia e complessivamente inferiore a 5.000 metri cubi. Il materiale utilizzabile per queste attività è quello di origine marina, parte integrante della medesima spiaggia, che, periodicamente e/o naturalmente, si accumula su fondali limitrofi, in assenza di eventi che ne abbiano modificato le caratteristiche fisiche (granulometria, mineralogia, ecc.) e la qualità ambientale.

Accertata una prima volta la compatibilità ambientale delle attività previste nell'area di interesse, per i successivi interventi, occasionali o periodici, le indagini ambientali di caratterizzazione e/o monitoraggio, possono essere adeguatamente ridotte, nella quantità dei campioni, nel numero di parametri e nella periodicità delle analisi, attraverso una valutazione caso per caso.

Le attività di prelievo e deposizione non devono comunque alterare lo stato di salute delle eventuali biocenosi sensibili presenti nell'area.

RIUTILIZZO A TERRA

Per i sedimenti dragati classificabili quali materiali non pericolosi, oltre al recupero per opere in ambito marino, è ipotizzabile il riutilizzo a terra in diverse forme di ripristino ambientale, quali l'esecuzione di terrapieni e arginature, la realizzazione di terreni costieri, ovvero di rilevati e sottofondi stradali o ferroviari, il riempimento di cave dismesse, nonché per la produzione di materiali da costruzione. In tutti questi casi è necessaria l'idoneità dei materiali gestiti dal punto di vista chimico-fisico, microbiologico, ecotossicologico e geotecnico, ai sensi della normativa vigente in materia di recupero di rifiuti non pericolosi. In particolare sarà necessario operare la dissalazione del materiale mediante un processo di lavaggio con acqua dolce, volto ad abbattere il contenuto di ioni salini, quali cloruri e solfati. Ad ogni modo la possibilità di un riutilizzo in tal senso dipende strettamente dal mercato esistente nel contesto territoriale d'interesse. Prima di poter ipotizzare una tale soluzione gestionale è opportuno individuare soggetti pubblici o privati interessati alla risorsa sedimento e l'eventuale esistenza di Piani o Progetti che prevedano la realizzazione di tali opere.

Esecuzione di terrapieni e arginature, realizzazione e sopralzo di terreni costieri

In tutti quegli ambiti territoriali in cui sia necessario realizzare opere in prossimità del litorale, quali terrapieni e arginature, è possibile utilizzare i sedimenti dragati dal fondale marino, purché risultino conformi a tale scopo dal punto di vista ambientale e strutturale.

Analogamente, tali materiali possono essere sfruttati per la ricostruzione e il sopralzo di terreni costieri, in particolar modo laddove sussista la necessità di ripristinare aree salmastre per l'insediamento di specie animali e vegetali caratteristiche di habitat palustri. Quest'ultima ipotesi appare essere una delle più sostenibili, considerata la natura del materiale gestito e la non necessità di sottoporlo ad alcun tipo di trattamento, nel caso in cui presenti un buono stato di qualità dal punto di vista chimico, microbiologico e ecotossicologico.

L'uso della frazione sabbiosa, opportunamente dissalata, per il ripristino di un terreno costiero può conferire elevata permeabilità, favorendo la coltivazione di quelle colture che soffrono di un eccessivo ristagno dell'acqua, quali meloni, angurie e certi tipi di viti.

Rilevati e sottofondi stradali e ferroviari

I sedimenti marini, a valle di un processo di dissalazione, possono essere utilizzati per la realizzazione di rilevati e sottofondi stradali o ferroviari. Questo tipo di opere richiede però un elevato grado di stabilità dei materiali dal punto di vista strutturale, per assicurare la tenuta sotto alti carichi. A tal fine, i sedimenti devono essere sottoposti a un processo di stabilizzazione meccanica, mediante miscelazione con appositi agenti stabilizzanti, quali calce o cemento, in idonee condizioni. In particolare, la frazione argillosa, una volta stabilizzata, può essere posta come strato di base su cui disporre una sequenza di materiali diversi, con la funzione di sottofondo stradale, come mostrato in Figure 2.

PACCHETTO TIPO CARRABILE	SPESSORE (cm)
Strato di usura	3
binder	7
Strato di base	10
Misto stabilizzato	30
Geotessuto 200 g/m ²	//
Geomembrana HDPE	0,2
ARGILLA STABILIZZATA A CALCE	40 minimo

Figure 2 – Sequenza materiali in sottofondo stradale

La miscelazione dei sedimenti o delle loro frazioni granulometriche con altri materiali può portare, poi, alla produzione di topsoil, spesso realizzati per il ripristino di aree industriali da riqualificare.

Riempimento di cave dismesse

I sedimenti dragati possono essere utilizzati per il riempimento di cave e miniere dismesse. Devono comunque presentare un basso tenore di salinità. In questo modo, impermeabilizzando adeguatamente a valle dell'inserimento dei sedimenti, si risolve il problema della loro gestione e

contemporaneamente si possono prevenire fenomeni di drenaggio acido da parte delle piogge che altrimenti si infiltrano all'interno delle strutture minerarie ed eventi franosi e cedimenti strutturali che possono pregiudicare la stabilità dei terreni in superficie.

Produzione di materiali da costruzione e di altro tipo

Come nel caso dei sottofondi stradali, le frazioni granulometriche derivanti dalla separazione dei sedimenti dragati possono essere utilizzate come materie prime per la produzione di prodotti da impiegare in opere di ingegneria civile, quali mattoni, tegole e piastrelle, o in altri settori industriali. Tra questi prodotti, la malta è un conglomerato costituito da una miscela di legante (ad esempio cemento e/o calce), acqua e materiale inerte (sabbia fine). Viene utilizzata in edilizia per realizzare intonaci o per collegare e tenere uniti altri materiali da costruzione, cui la malta fluida si adatta aderendovi tenacemente fino a dare una struttura monolitica ad indurimento avvenuto (malta di allettamento). Nelle murature antiche e in generale quelle con malte a base di calce, la funzione della malta è principalmente quella di compensare le asperità dei blocchi (pietre o laterizi) e quindi quella di distribuire il carico sull'intera superficie d'appoggio reciproco. La malta non ha quindi la funzione preminente di "incollare" i blocchi, come si potrebbe pensare, soprattutto quella tradizionale.

Le sabbie silicatiche (cioè composte da silicati) ben selezionate, prive di argilla, sono usate per la produzione del cemento.

Esiste inoltre un impiego industriale da parte delle aziende che si occupano della lavorazione dei metalli: gli stampi utilizzati per le operazioni di fusione possono infatti essere realizzati con sabbie priverivate di apposite resine.

Le sabbie a composizione prevalentemente quarzosa sono usate come abrasivi, mentre sabbie composte da minerali di alterazione quali le zeoliti sono ricercate per la produzione di filtri per l'acqua.

Raccolta in sacchi, la sabbia può essere utilizzata dal genio civile o militare per realizzare opere di difesa contro lo straripamento dei fiumi o contro esplosioni.

La sabbia viene anche utilizzata per la realizzazione del vetro e dei microprocessori in silicio.

In edilizia e nel restauro si usa la sabbatura per pulire superfici mediante un getto di aria e sabbia (più o meno fine) che asporta lo strato superficiale.



Figure 3 - Aggregati per materiali sciolti e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade

L'argilla è malleabile quando idratata e può quindi essere facilmente lavorata con le mani. Quando è asciutta diventa rigida e quando è sottoposta a un intenso riscaldamento, subisce una trasformazione irreversibile diventando permanentemente solida e compatta. Queste proprietà rendono l'argilla uno dei materiali più economici e largamente usati nella produzione ceramica fin dall'antichità. Le prime testimonianze di utilizzo di questo materiale da parte dell'uomo per creare manufatti risalgono al periodo neolitico, quando i primi oggetti di argilla (ciotole, vasi, ecc.) venivano cotti direttamente sul fuoco.

L'argilla, attualmente, oltre che nella ceramica, è usata anche in molti processi industriali, come la preparazione della carta, la produzione di cemento, laterizi, filtri chimici.

L'argilla è talvolta utilizzata per usi esterni cosmetici, come ad es. la maschera a base di argilla, che molte persone applicano sulla pelle. Il principio secondo cui agisce è la sua variabile consistenza a

contatto con l'acqua; l'argilla disciolta parzialmente in acqua viene applicata come fango, con uno spessore dell'ordine di millimetri, su una zona della pelle (tipicamente sul viso, ma anche su tutto il corpo). Dopo un periodo dell'ordine delle decine di minuti si asciuga completamente divenendo un film rigido aderente perfettamente ad ogni asperità. La parte dello strato della pelle più esterna (strato corneo dell'epidermide) lentamente si scolla dallo strato granuloso dell'epidermide e resta adesa all'argilla, la quale, venendo rimossa, esfolia questo piccolo strato di cellule morte superficiali che abbandonano il corpo del soggetto. Come risultato la pelle appare al tatto (ed otticamente) notevolmente più liscia e morbida. Questo accorgimento estetico è stato usato empiricamente per millenni da varie culture antiche, fino a giungere pressoché invariato ai giorni nostri.

Nell'orticoltura e floricoltura indoor, spesso vengono utilizzati materiali o miscele di materiali in sostituzione o per la replicazione del suolo; a queste applicazioni viene adattata un tipo di argilla trattata denominata "argilla espansa". Si tratta di granuli, sferette rozzamente irregolari, ottenute principalmente mediante trattamento termico di piccole quantità di argilla. A secondo della granulometria, vengono utilizzate per diversi tipi di colture. La principale caratteristica per cui viene apprezzata l'argilla espansa è il drenaggio che è possibile ottenere col suo utilizzo come suolo puro o miscelato con altro terriccio.

CONFERIMENTO IN STRUTTURE CONTERMINATE

Laddove non venga individuata la possibilità di un recupero per ripristino ambientale o per il riutilizzo in cicli produttivi, i sedimenti rappresentano un rifiuto da smaltire in apposite strutture. A tale scopo, possono essere individuate discariche di idonea categoria, ovvero casse di colmata in ambito costiero, dove refluire i materiali dragati.

Refluimento in casse di colmata

Tra le strutture conterminate idonee al ricevimento dei sedimenti classificabili non pericolosi rientrano le casse di colmata, strutture a mare opportunamente impermeabilizzate, che, se realizzate in ambito portuale, possono essere utilizzate quali banchine a scopi commerciali. In questo caso è necessario applicare un processo di stabilizzazione dei materiali in esse contenuti, al fine di rendere la superficie della struttura capace di sopportare carichi pesanti. Tale ipotesi di gestione si configura come una modalità di recupero dei sedimenti come materia prima utilizzata per la costruzione di una struttura avente una specifica funzione, risolvendo contemporaneamente il problema del loro smaltimento.

Per la caratterizzazione del sito preposto a contenere sedimenti provenienti da dragaggi sul quale dovrà sorgere la struttura di contenimento dei materiali dragati, devono essere eseguite le seguenti indagini:

- caratteristiche meteomarine;
- caratteristiche batimetriche, geologiche, geotecniche e geomorfologiche;
- caratteristiche granulometriche, chimiche e biologiche.

La caratterizzazione dell'area deve riguardare lo spessore del materiale coinvolto nella eventuale movimentazione del fondale durante la costruzione della struttura di contenimento. In ogni caso deve essere caratterizzato uno spessore di almeno 50 cm in corrispondenza del fondo dell'intera superficie occupata dall'opera.

In questa fase dovranno anche essere individuate la destinazione d'uso finale dell'area, la prossimità di aree urbane e industriali, di aree protette o sensibili o di elevato pregio naturalistico, oltre che di zone di maricoltura, pesca, nursery, transito di specie ittiche migratorie e mammiferi marini, di strutture particolari quali cavi, condotte, ancoraggi, impianti di desalinizzazione, piattaforme, di passaggio preferenziale di navi, di zone militari e di ogni altro elemento che possa caratterizzare il sito in maniera significativa, condizionando i pareri e le valutazioni associate all'intervento di deposizione dei sedimenti.

Ulteriori aspetti tecnici da considerare nella progettazione di una tale tipologia di intervento sono:

1. deve essere fornita una relazione geologica (incluse le misure di permeabilità) sulle

caratteristiche litologiche dei materiali sottostanti la vasca e di quelli costituenti la conterminazione laterale;

2. devono essere descritte opportunamente le caratteristiche geometriche della vasca e gli aspetti progettuali delle strutture e delle dighe di contenimento;
3. devono essere identificati eventuali percorsi preferenziali di fuga degli inquinanti eventualmente presenti nei sedimenti, considerando anche le potenziali variazioni di volume dei sedimenti dragati prima, durante e dopo la loro collocazione;
4. deve essere prevista una adeguata conterminazione della struttura tale da evitare la diffusione di contaminanti eventualmente presenti nei sedimenti nelle aree circostanti;
5. il materiale dragato deve essere collocato ad elevata concentrazione di solido, evitando lo stramazzone non controllato di materiale di risulta;
6. devono essere previsti sistemi di mitigazione per limitare la fuoriuscita di materiali fini dalle condotte effluenti, favorendo la sedimentazione all'interno delle vasche (es. barriere mobili, predisposizione di percorsi di intercettazione, ecc.), evitando l'uso di additivi chimici che possano compromettere la qualità delle acque e dei sedimenti presenti all'interno delle conterminazioni;
7. il riempimento deve avvenire in modo tale da deporre i sedimenti meno contaminati sul fondo della vasca, lateralmente e nella parte superiore della stessa (deposizione selettiva);
8. devono essere create le condizioni per il monitoraggio della qualità delle acque in uscita dalle vasche, come effluenti superficiali.

Allo scopo di valutare le possibili alterazioni di carattere chimico e biologico nell'area di collocazione del materiale dragato e nelle zone limitrofe, deve essere redatto uno specifico piano di monitoraggio durante e dopo le attività di deposizione. Le attività di monitoraggio devono essere commisurate alla qualità e quantità del materiale dragato. Principalmente devono essere sottoposte a monitoraggio:

1. la qualità chimica, ecotossicologica e la presenza di solidi sospesi nelle acque di efflusso;
2. la qualità delle acque piezometriche ospitate nei depositi naturali ed artificiali costituenti la conterminazione laterale e del fondo del bacino;
3. la qualità dei sedimenti e del biota nell'area marina circostante il bacino, privilegiando l'impiego di indicatori biologici;
4. le possibili perdite di materiale e il rilascio di contaminanti eventualmente presenti sia nell'effluente sia da vie preferenziali.
5. i dati meteorologici ai fini della valutazione della stabilità delle opere di contenimento e dell'ingressione da parte delle acque marine a causa di eventi significativi di mareggiata.

Possono essere previste vasche di stoccaggio temporaneo per l'approvvigionamento dei sedimenti per tempi brevi. In questo caso devono essere prese misure di isolamento appropriate sul fondo e lungo le pareti in dipendenza della qualità del materiale e dei tempi di permanenza.

Le casse di colmata devono assicurare l'impermeabilità delle pareti laterali e dello strato di fondo, secondo le specifiche dettate dalla normativa vigente in materia. A tal fine, è preferibile individuare siti per la loro realizzazione in corrispondenza di strati argillosi continui naturalmente presenti nel sottosuolo, che garantiscano tali condizioni di impermeabilità e che costituiscano il fondo della struttura conterminata, su cui immergere gli elementi laterali.

Conferimento a discarica

I sedimenti dragati, laddove non applicabili modalità alternative di riutilizzo, possono essere gestiti come rifiuti e conferiti in discarica di opportuna categoria, in funzione delle loro caratteristiche. La maggiore criticità deriva dalla presenza di una discarica di opportuna categoria a distanza relativamente ridotta dal sito di stoccaggio provvisorio dei sedimenti, o, comunque, dall'area di dragaggio. In particolare, il conferimento a discarica rappresenta spesso la soluzione più sostenibile per i sedimenti classificabili come materiali pericolosi ai sensi della normativa vigente. Infatti, per tale tipologia di materiali non è consentito il recupero per il riutilizzo a mare o a terra, né il refluitamento in casse di colmata. Non è neanche possibile miscelarli con materiali non pericolosi per diluirne i livelli di concentrazione delle sostanze inquinanti in essi contenute. Si può invece sottoporli a un trattamento volto alla loro decontaminazione a monte del riutilizzo o del refluitamento

in colmata, ma tale tipologia di intervento diventa antieconomica se il quantitativo di materiale da trattare è al di sotto di certi valori.

E' anche vietato refluire in colmata sedimenti sottoposti ad un processo di stabilizzazione dei contaminanti, che risultino quindi inerti e non biodisponibili, ma comunque al di sopra dei limiti di concentrazione che li classificano come materiali pericolosi.

Gestione integrata

Nell'individuazione delle soluzioni gestionali per i sedimenti asportati dai fondali marini dovranno essere presi in considerazione gli aspetti logistici, ambientali ed economici specifici del contesto territoriale di intervento.

La gestione dei sedimenti dragati deve essere pianificata secondo un sistema integrato basato sulle esigenze e le potenzialità del contesto territoriale di intervento. A valle di una caratterizzazione adeguata dei materiali da movimentare, andranno considerati quali riferimenti essenziali per orientare le operazioni di recupero dei sedimenti i seguenti aspetti fondamentali:

- presenza di nuove aree da adibire ad attività portuali e/o a banchine e vasche di colmata in ambito portuale;
- situazioni che richiedono interventi di ripascimento (arenili soggetti a erosione costiera);
- richiesta del mercato di materie prime nell'ambito della realtà industriale locale;
- situazioni che richiedono interventi di riqualificazione ambientale.

Lo sfruttamento sostenibile della risorsa sedimento comporta una riduzione degli impatti ambientali derivanti da un intervento di asportazione di sedimenti dal fondale marino, permettendo di minimizzare i quantitativi di materiale da conferire in discarica e mettendo a disposizione una materia prima utile per differenti applicazioni.

Un sistema di gestione integrata dei sedimenti deve quindi permettere di definire in fase progettuale tutte le fasi dell'intervento di movimentazione, a partire dal dragaggio, per arrivare fino alla gestione finale, mantenendo tutte le operazioni necessarie all'interno di un'area ristretta dove realizzare l'intervento.

A tal fine andranno effettuate delle ricerche di mercato volte ad individuare soggetti pubblici e privati, potenziali utilizzatori finali della risorsa sedimento o delle frazioni derivanti dalla sua separazione granulometrica, per definire le modalità di gestione di tali materiali, una volta rimossi dalla loro sede di origine. Dovrà inoltre essere valutata la fattibilità delle soluzioni ipotizzate nel contesto territoriale d'intervento, in termini di aspetti ambientali, logistici ed economici.

Come indicato nelle *Linee guida per la gestione integrata delle zone costiere* predisposte dalla Regione Emilia Romagna nel novembre 2004, andranno considerate, in particolare,

... le interrelazioni tra i processi naturali (di dinamica della costa) e le attività umane ed economiche presenti nell'area in esame, definendo scenari di causa-effetto correlati e i ruoli dei diversi soggetti coinvolti.

Infine, nell'ottica della futura sostenibilità dell'assetto delle spiagge, delle opere di difesa dalle ingressioni marine, della conservazione delle zone naturalistiche e considerando i molteplici interessi in gioco, spesso conflittuali, sulla fascia costiera, occorre individuare strumenti di partecipazione e concertazione volti a "raffreddare" tali conflitti per la ricerca di un punto di equilibrio fra le diverse esigenze dei portatori di interesse.

A tal fine,

... il monitoraggio delle condizioni fisiche della costa e dei fattori che alle diverse scale influenzano la dinamica costiera, è un tema fondamentale alla base della gestione integrata della costa, sia come individuazione delle aree critiche, sia come conoscenza delle tendenze evolutive dei vari fattori in gioco che può portare alla definizione di scenari a medio e lungo periodo importanti ai fini della pianificazione.

Si rende necessario, inoltre, mantenere e sviluppare la rete di monitoraggio della costa, con rilievi da effettuarsi periodicamente che aggiornino le informazioni relative alla linea di riva, all'entità del fenomeno della subsidenza, alle variazioni del profilo di spiaggia, finalizzate a valutare l'efficacia e gli impatti sul sistema ambientale litoraneo delle opere di difesa realizzate e a prevedere la necessità

di realizzare ulteriori interventi in tal senso. Ciò sarà di supporto per la predisposizione degli indirizzi di governo del territorio per i vari livelli amministrativi, che dovranno garantire la diffusione delle conoscenze acquisite per promuovere la partecipazione di tutti gli attori socio-economici interessati.

Per poter agire secondo un sistema di gestione integrata è indispensabile, poi, realizzare un sistema informativo geografico che raccolga tutti i dati e le elaborazioni dei vari soggetti operanti sull'ambiente costiero.

Alla luce delle esperienze maturate in diversi contesti territoriali e in particolare in Emilia Romagna, gli interventi di ripascimento appaiono i più sostenibili per la difesa del litorale, riducendo il deficit dei sedimenti circolanti lungo la costa e favorendo lo sviluppo del turismo, grazie all'allargamento delle spiagge e a un impatto ambientale quasi nullo.

Il perseguimento di una tale tipologia di gestione, vuole che in fase progettuale degli interventi di dragaggio sia prevista anche la successiva movimentazione dei materiali rimossi e la loro messa a ripascere, previa eventuale separazione granulometrica, coinvolgendo i soggetti preposti.

Esperienze pregresse

LA GESTIONE INTEGRATA DEI SEDIMENTI NELLA REGIONE MARCHE

Al fine di garantire la tutela, il ripristino e la riqualificazione delle coste e la difesa e il recupero delle spiagge soggette a fenomeni di erosione, nel 2004 è stato predisposto dalla Regione Marche il "Piano di gestione integrata delle coste". Tale Piano ha dato inizio alla realizzazione di una serie di interventi, coordinati tramite degli strumenti programmatici chiari e di sicura attuazione.

In tale contesto, la Regione Marche ha sottoscritto nel 2007 il "Protocollo d'intesa per la pianificazione di interventi di salvaguardia, tutela, riqualificazione ambientale del litorale marittimo della regione Marche" (cofirmatari Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e ISPRA già ICRAM) e nel 2008 l'"Accordo di Programma per il dragaggio e lo sviluppo sostenibile delle aree portuali presenti nella Regione Marche" (cofirmatari Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ISPRA, i Comuni di Civitanova Marche, Fano, Numana e Senigallia e l'Autorità Portuale di Ancona).

Il Protocollo d'intesa ha previsto la programmazione di interventi di ripascimento, quali il ripristino morfologico di arenili mediante l'utilizzo di sabbia sottomarina e di ciottoli e ghiaia di origine alluvionale. Riguarda inoltre attività di sperimentazione per lo sviluppo di nuove tecnologie funzionali alla gestione dei sedimenti. ISPRA (ex ICRAM) in collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche (Dipartimento di Scienze del Mare), ha avviato una serie di studi volti all'individuazione di tecnologie per il trattamento innovative ed ecocompatibili finalizzate al recupero e riutilizzo dei sedimenti. In particolare, la sperimentazione è basata su un trattamento di biodegradazione dei composti organo-stannici, in scala di laboratorio e pilota.

L'Accordo di programma presenta importanti elementi innovativi in merito a tematiche ambientali e di sicurezza della navigazione, conciliandole con aspetti relativi allo sviluppo funzionale degli spazi portuali, con notevoli vantaggi economici e racchiude soluzioni tecniche per una gestione mirata dei materiali oggetto degli interventi di dragaggio, al fine permetterne un opportuno recupero/riutilizzo. E' finalizzato all'attuazione degli interventi di dragaggio per scopi manutentivi, nelle aree portuali di: Civitanova Marche, Fano, Numana, Senigallia, Ancona, alla realizzazione di studi per la progettazione di nuove strutture di contenimento per i materiali oggetto degli interventi di dragaggio, a favorire la gestione integrata e ambientalmente compatibile dei sedimenti, prevedendo interventi di recupero e riutilizzo degli stessi (ripascimenti, immersione in mare, refluento nella cassa di colmata), ad aggiornare il quadro conoscitivo regionale, in relazione agli interventi e alle ipotesi di gestione individuate, a promuovere l'attività di sperimentazione per lo sviluppo di nuove tecnologie di trattamento volte ad incentivare il recupero/riutilizzo dei sedimenti. Tra gli interventi programmati, il dragaggio dell'area della diga foranea nel Porto di Numana e ripascimento di arenile con i 4.000 mc di sabbie rimossi e la realizzazione della vasca di colmata di Ancona (superficie: 89.000 m², capacità 200.000 m³, di cui 100.000 m³ destinati al refluento di sedimenti provenienti dai porti regionali, non compatibili con ipotesi di gestione alternative), oltre a opere di riempimento, consolidamento e realizzazione di nuovi spazi fruibili, funzionali allo sviluppo del

porto.

La delibera di Giunta Regionale n.255 del 23/02/2009 ha approvato le “Linee guida per la gestione dei materiali derivanti da attività di dragaggio, in area portuale, in area marina fluviale o litoranea”, nelle quali si forniscono i criteri per il campionamento e la caratterizzazione dei sedimenti, si classificano i sedimenti in diverse classi qualitative in funzione delle loro caratteristiche fisiche, chimiche e tossicologiche, si dettano i criteri generali per l’individuazione di opportune soluzioni di gestione dei materiali dragati.

IL RIUTILIZZO PER RILEVATI A TERRA IN U.S.A. E CANADA

Nel 1987 l’USACE (*United States Army Corps of Engineers*), sezione dell’esercito statunitense specializzata in ingegneria, ha censito i progetti che hanno previsto il riutilizzo dei materiali dragati come risorsa negli Stati Uniti e in Canada, individuando 1300 progetti, dei quali 43 in California. Tra questi, alcuni degli interventi hanno previsto il riutilizzo dei sedimenti per la realizzazione e la ristrutturazione di banchine portuali per il carico delle navi, di barriere anti rumore, di strutture per il controllo delle maree, di sottofondi per linee ferroviarie, di terreni costieri. In altri casi i sedimenti sono stati trattati con un prodotto ricavato dalla demolizione delle automobili per essere poi utilizzati per la formazione di rilevati per campi da golf. In altri ancora sono stati miscelati con cenere volatile e un appropriato attivatore per preparare malte cementizie con cui sono state riempite miniere dismesse per ridurre il drenaggio acido. In un ulteriore caso dei sedimenti incontaminati sono stati collocati in un’area soggetta a maree per favorire la sopravvivenza di due specie in via di estinzione.

In Tunisia nel 1999 è stato progettato l’interramento di 900 dei 1600 ettari del Lago Sud per il successivo sviluppo residenziale dell’area.

Nella città di S.Pietroburgo, in Russia, nel 1999 sono stati dragati notevoli volumi di sedimenti contaminati da metalli e sostanze organiche, separati in frazioni granulometriche (sabbiosa e fine), quindi riutilizzata la frazione sabbiosa per opere civili e conferita in discarica la frazione fine.

In Canada, nel 1995, i sedimenti del porto della città di Sorel, sul fiume St. Lawrence, sono stati dragati per favorire la navigazione e sono risultati contaminati da elevati livelli di concentrazione di metalli. E’ stato quindi sviluppato un progetto che ha previsto la disidratazione dei sedimenti e la loro decontaminazione. La disidratazione è stata lenta, per l’elevato contenuto della frazione fine. Durante la disidratazione il 30% circa del materiale è stato rimosso per rendere il sedimento riutilizzabile.

Il Regno Unito nel 1999 ha dato inizio a uno studio per valutare il possibile riutilizzo dei sedimenti dragati in opere di ripristino di aree paludose in tutto il paese, facendo ricorso a materiali provenienti da porti e baie per fornire un habitat idoneo a specie di palude.

Bibliografia

APAT - ICRAM, 2007, *Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini – rev.1*

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Regione Marche – ISPRA già ICRAM, 2007, *Protocollo d’intesa per l’attuazione di un programma di interventi urgenti di salvaguardia, tutela, riqualificazione e valorizzazione ambientale del litorale marittimo della Regione Marche*

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Regione Marche – ISPRA - Comuni di Civitanova Marche, Fano, Numana e Senigallia - Autorità Portuale di Ancona, 2008, *Accordo di Programma per il dragaggio e lo sviluppo sostenibile delle aree portuali presenti nella Regione Marche*

B. DeShields, Associate Environmental Scientist, 2000, *The beneficial reuse of dredged material for upon disposal*

Regione Emilia Romagna, 2004, *Linee guida per la gestione integrate delle zone costiere*