

## Lavori marittimi di dragaggio e di scarica

Giuseppe Roberto Tomasicchio<sup>1</sup> e Ugo Tomasicchio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria delle Acque e delle Strutture, Università di Perugia.

<sup>2</sup>Politecnico di Bari, via Orabona, 4 - 70125 Bari.

### Riassunto

Nel presente lavoro viene fatta un'analisi delle metodologie di dragaggio in uso nei secoli scorsi e di quelle attualmente adottate. Vengono quindi date indicazioni sugli studi da effettuare per l'impostazione dei progetti e sugli aspetti che determinano la scelta delle attrezzature. Dopo un'esposizione delle istruzioni tecniche per la collocazione a mare o a terra dei materiali di risulta, viene proposto un metodo per il calcolo dei costi dei lavori di dragaggio.

### Abstract

*After a brief historical description of the dredging methodologies adopted in the past centuries, a review of the nowadays dredging means is done. Indications concerning the necessary investigations for a correct selection of the equipment are then given. After exposing the technical instructions in use for the sea or land disposal of the dredged materials, a method for estimating the cost of dredging interventions is proposed.*

### Premessa

Il mare può oggi considerarsi come l'ultima frontiera per la conoscenza ed il dominio dell'Uomo sulla Terra.

Infatti, non sembri fuori luogo riflettere sul fatto che, nel momento storico attuale, in cui l'Uomo, spinto dal suo primordiale forte impulso alla scoperta, ha raggiunto la superficie della Luna e cominciato l'esplorazione dello spazio, è sceso solo per alcune decine di metri sotto la superficie dell'acqua ed ha esplorato solo parzialmente le profondità marine, pur utilizzando attrezzature molto sofisticate. Tali riflessioni vanno fatte quando si valuti l'attività finora svolta nelle costruzioni delle opere marittime sottomarine, attività in cui l'Uomo si è cimentato fin dai tempi antichi, fortemente ostacolato dalla carenza di una forza motrice e da una tecnologia dei materiali, che gli permettesse di disporre di mezzi poderosi capaci d'alto rendimento e facilmente manovrabili.

### Evoluzione storica del dragaggio

E' ben accreditata la tesi che i Fenici furono costretti a lasciare le isole dell'Egeo e a trovare nel Mediterraneo più accoglienti punti d'approdo per le loro navi, a causa dell'insabbiamento dei loro porti d'origine, oggi difficilmente riconoscibili a causa del completo colmamento.

Fatti analoghi si ebbero per molti porti romani e medievali; si guardi per esempio ai porti di Traiano e di Claudio alla foce del Tevere, agli antichi porti di Pisa e di Palermo, al porto di Classe a Ravenna e ad altri ancora oggi completamente seppelliti dalle sabbie e distanti chilometri dal mare.

Il lavoro di dragaggio dei porti, sia per realizzare fondali adeguati sia per ripristinarli, risale a tempi antichi e per molti secoli è stato risolto con il sistema del "Bag and Spoon" (Sacca e cucchiaio)

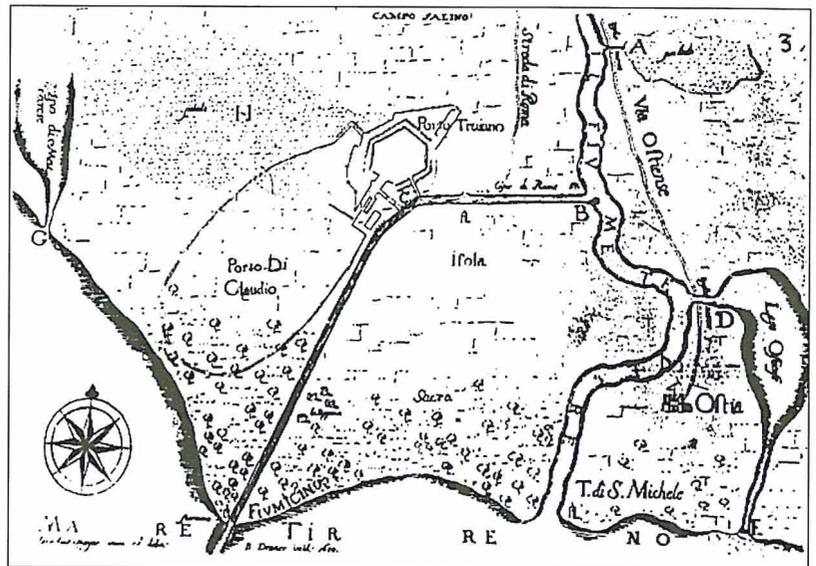


Figura 1 - L'avanzamento della linea di costa della foce del Tevere, come rilevata da de Meyer già nel 1685.

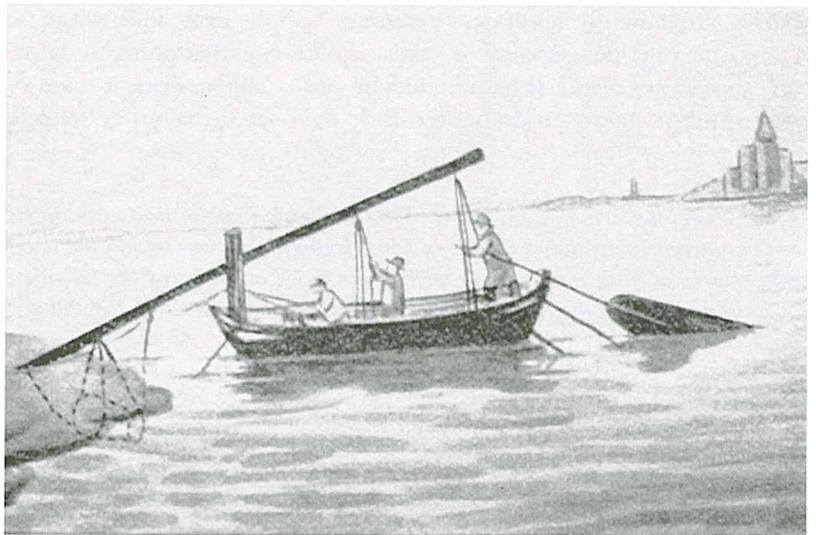


Figura 2 - Bag and Spoon in un'antica illustrazione (1565).

d'origine romana, perfezionato dagli Olandesi nel XV – XVI secolo. Tale sistema, dipinto anche da pittori cinquecenteschi, consiste in un cucchiaio con un lungo manico manovrato a mano mediante cavi. Il cucchiaio penetra nel terreno, si riempie, è quindi sollevato e vuotato, scaricando in una sacca o contenitore il materiale scavato. L'apparecchiatura, installata su piccole barche, era azionata da due uomini; evidentemente la produzione di scavo era molto limitata. Ciononostante, utilizzando la forza lavoro degli schiavi, grandi opere di dragaggio furono realizzate dai Faraoni<sup>1</sup>, dagli Imperatori della Cina<sup>2</sup> (3000 - 2000 a.C. circa) e ai tempi dell'Impero Romano<sup>3</sup> per la costruzione di numerosi canali, di cui alcuni destinati alla navigazione.

<sup>1</sup> Il Faraone Sisostris III fu ricordato come "il re che costruisce canali"; Neco II (600 a. C.) progettò il gran canale che univa il Mar Rosso al Mediterraneo.

<sup>2</sup> Kubilai Kan, il conquistatore mongolo, ricostruì e ripulì il gran canale navigabile (alla cui costruzione avrebbero lavorato ben otto milioni di schiavi per circa cento anni), come riferisce Marco Polo.

<sup>3</sup> Nerone mobilitò una moltitudine di schiavi per realizzare l'idea di aprire il canale di Corinto.

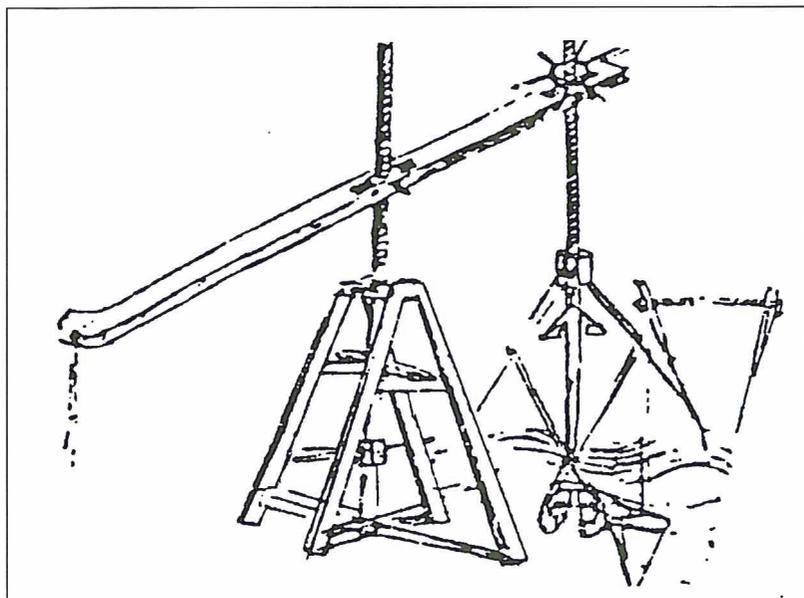


Figura 3 - Draga a cucchiaio di Leonardo.

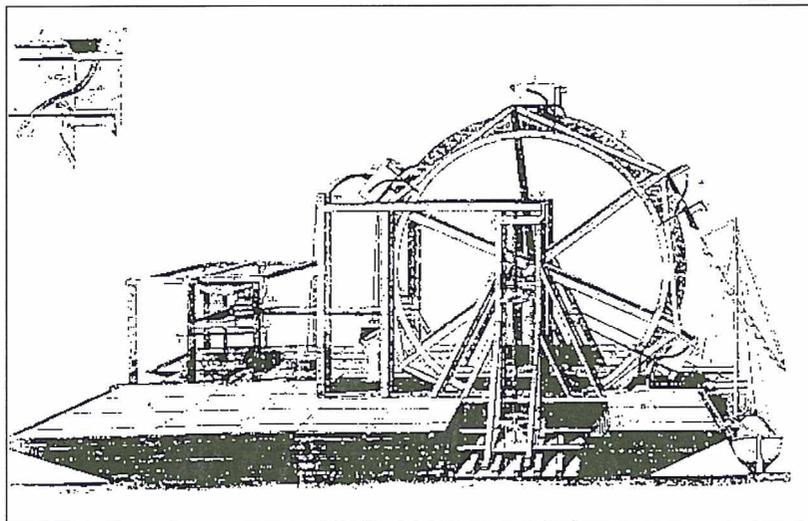


Figura 4 - Draga a ruota di M. de Balme (1718).

Si hanno notizie di un dragatore genovese incaricato nel '400 dal porto di Marsiglia, come anche di maestri veneziani operanti, numerosi, nel dragaggio dei porti dell'Adriatico ai tempi della Serenissima. Anche Leonardo ha progettato alcune draghe. Altre specie di attrezzature usate fra i secoli XVI e XVII, come le norie azionate da cavalli, non hanno prodotto miglioramenti sostanziali.

La scarsa produttività di tali vecchi mezzi rese, pertanto, non economico eseguire, nel passato, dragaggi di notevole entità, il che costringeva, come già visto, all'abbandono dei porti che subivano interrimenti notevoli. Le cose sono cambiate solo quando è stato possibile sostituire il lavoro delle braccia o dei cavalli con altre sorgenti di energia. Ed infatti, il dragaggio meccanico, nato alla fine del '700, si è sviluppato nel corso del secolo XIX, il secolo del vapore, grazie anche all'introduzione della costruzione metallica delle navi.

### I lavori di escavazione

I lavori di costruzione e manutenzione dei porti, come anche quelli di difesa delle spiagge dall'azione erosiva del mare, comprendono di frequente operazioni di dragaggio. Queste, in genere,

per la quantità e la qualità dei materiali da scavare e da portare a discarica o a ripascimento, hanno una valenza economica ed ambientale tanto importante da richiedere un'approfondita ed oculata scelta dei mezzi e delle modalità di dragaggio e di trasporto dei materiali scavati, del luogo di discarica o del loro possibile diverso uso. Pertanto, il progetto dei lavori di dragaggio va sempre accompagnato da un'attenta analisi dei costi e dei benefici, una volta acquisita una buona conoscenza dell'ambiente in cui operare e dei programmi di sviluppo del territorio. Ogni operazione di dragaggio è soggetta ad autorizzazione dell'autorità marittima competente, come più diffusamente si dirà in seguito. Nel caso, poi, che i lavori di scavo comportino una variazione del piano regolatore del porto, il progetto dovrà anche essere sottoposto a valutazione di impatto ambientale (Tomasicchio, 1998).

Di seguito si forniscono alcune informazioni necessarie al progettista di lavori di dragaggio. Esse, in particolare, attengono a:

- i lavori di escavazione;
- i terreni da dragare;
- i mezzi di scavo e di trasporto ed i siti per la discarica dei materiali dragati;
- il reperimento dei materiali per il ripascimento o per la formazione di terrapieni e simili;
- la protezione dell'ambiente marino;
- le analisi dei costi;
- le misurazioni e i controlli.

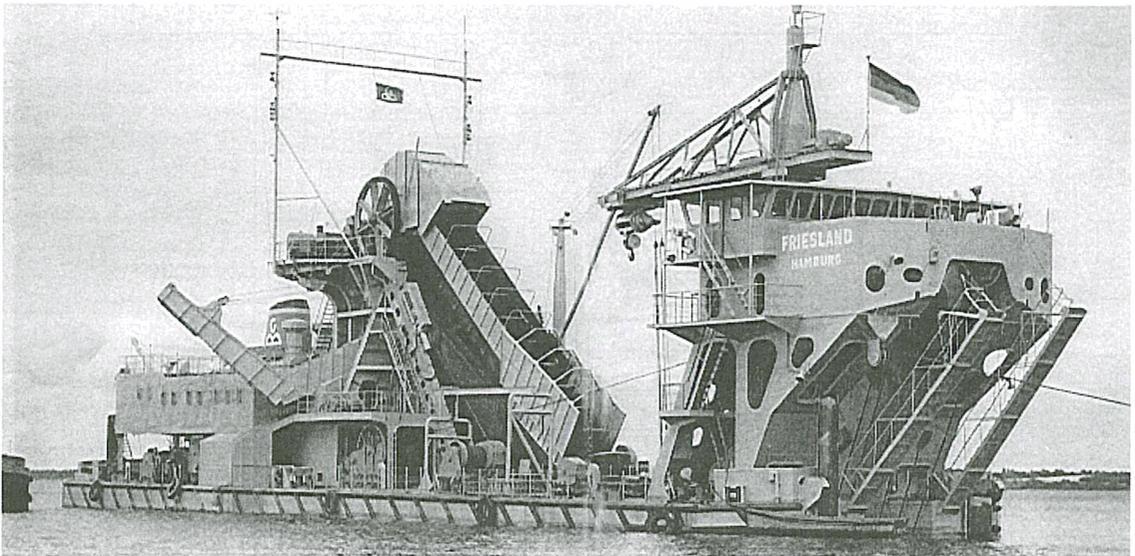


Figura 5 - Una moderna draga a secchie (BILFINGER+BERGER: Dredging B.V).

Gli obiettivi del dragaggio sono essenzialmente:

- realizzare i fondali necessari al transito delle navi nei canali di accesso ai porti e nei bacini portuali;
- facilitare la posa di condotte o di elementi di tunnel sottomarini;
- creare le cunette di fondazione per moli e banchine, dighe frangiflutti e strutture di protezione della costa;
- mantenere gli scavi anzidetti;
- migliorare od assicurare la capacità di portata di corsi d'acqua;
- reperire i materiali per ripascimenti di spiagge, formazioni di terrapieni e simili;
- creare o mantenere la capacità di raccolta dei serbatoi d'acqua.

Seppure meno comunemente, il dragaggio è anche usato per reperire minerali e metalli preziosi o per rimuovere la parte sovrabbondante che li copre (es. le zone diamantifere della vecchia foce dell'Orange, in Namibia, e del Sud Africa). Ognuna di queste operazioni richiede attrezzature adeguate e conviene quindi considerarle separatamente. Non senza ragione, quindi, il dragaggio va visto come un'attività di grande impegno per l'ingegnere, che, se vorrà evitare grosse cantonate, dovrà impegnarsi ad un continuo aggiornamento tecnologico e porre estrema attenzione alle numerosissime variabili geotecniche, meteomarine, marittime, ambientali, operative, che hanno un rilevante impatto economico sul progetto da realizzare.

### I terreni da dragare

La buona conoscenza delle caratteristiche del terreno da scavare rappresenta l'elemento fondamentale del progetto di dragaggio, sia per determinare l'attrezzatura idonea, sia per calcolarne i costi. Il costo dello scavo di un metro cubo di materiale può, infatti, variare in un campo di ampiezza da uno a 100 e più volte. E' quindi indispensabile premettere un'indagine geotecnica, con il prelievo di campioni di terreno, che dia un'indicazione precisa della sua consistenza: possiamo, infatti, incontrare le argille (con il loro maggiore o minore contenuto di acqua), i limi, le sabbie, i ciottoli, la roccia (con la sua maggiore o minore compattezza). Per la definizione tecnico-economica del progetto si dovranno, quindi, preliminarmente analizzare le caratteristiche di granulometria, peso specifico, contenuto in acqua, resistenza alla compressione, resistenza al taglio del materiale da scavare.

Nella tavola che segue, sono riportati i criteri generali per l'identificazione e la classificazione dei terreni da dragare suggeriti dall'AIPCN (1984). Non si riportano i criteri per l'identificazione e la classificazione delle rocce, poiché lo scavo di roccia è meno usuale in mare; essi, comunque, non sono in nulla diversi da quelli utilizzati per le rocce in terraferma.

### Prove di laboratorio ed in situ

Le prove di laboratorio ed in situ per la determinazione delle caratteristiche dei terreni da dragare, anch'esse suggerite dall'AIPCN, comprendono la determinazione:

- della granulometria;
- della forma dei granuli;
- della densità in situ;
- della compattezza (in situ);
- del tenore in acqua;
- dell'indice di plasticità;
- della resistenza al taglio;
- del tenore in CO CA;
- del tenore in materie organiche.

Tabella 1 - Criteri generali per l'identificazione dei terreni da dragare.

Tipi principali di terreno	Identificazione della dimensione dei grani (mm)	Identificazione	Aspetto dei grani e plasticità	Resistenza al taglio
Grossi ciottoli	>200 mm 200 a 60 mm	Esame e calibratura visuale	Forma dei grani: arrotondati	Non applicabile
Ghiaie	grosse 60 a 20 mm medie 20 a 6 mm fine 6 a 2 mm	Facilmente identificabile dall'esame visivo	irregolari con spigoli screpolati e allungati	Possibilità di trovare strati irregolari di ghiaie cementate che hanno l'aspetto screpolati di una roccia debolmente agglomerata. Ghiaie compatte possono trovarsi miste a sabbie

Sabbie	grosse 2 a 0.6 mm medie 0.6 a 0.2 mm fine 0.2 a 0.06 mm	I granuli sono sempre visibili ad occhio nudo. Debolissima coesione quando il terreno è secco.	Tessitura: rugosa liscia levigata	La compattezza dei depositi può variare. La struttura può essere omogenea o stratificata. La miscela con limi o argille può produrre sabbie molto compatte	
Limi	grosse 0.06 a 0.02 Medie 0.02 a 0.006 fine 0.006 a 0.002	In genere i granuli sono invisibili Solo i grossi grani sono visibili ad occhio nudo. La prova di dilatazione permette la migliore determinazione possibile. Il limo può essere impastabile, ma secco, una semplice pressione delle dita polverizza la zolla secca.	Non plastico o poco plastico	In massima parte non plastico: le caratteristiche possono essere identiche a quelle delle sabbie, se la materia è prevalentemente grossa o sabbiosa. Il limo più fino si avvicina all'argilla e ha delle caratteristiche plastiche. Spesso è misto a sabbia e argilla La consistenza del limo varia dalla fase liquida al limo duro avente la consistenza di una pietra.	
Argille	Al di sotto dei 0.002 mm la distinzione fra limi e argille non va fatta unicamente in base alla dimensione media dei granuli, poiché le più importanti proprietà fisiche dei limi e delle argille non hanno un rapporto indiretto con la dimensione dei granuli.	Le argille hanno una coesione e una plasticità significativa ma non reagiscono alla prova di scotimento. I frammenti secchi non si riducono in polvere, ma si fessurano presentando un'alta resistenza al taglio.	Plasticità media (argilla povera)  Forte plasticità (argilla grassa)	Resistenza  Molto molli  Molli  Compatte  Tenaci  Dure	Resistenza al taglio  Possono essere facilmente compresse fra le dita < 20 kN/m <sup>2</sup>  Possono essere facilmente impastate con le mani. 20-40 kN/m <sup>2</sup>  Richiedono una forte pressione per essere impastate con le dita. 40-50kN/m <sup>2</sup> Il pollice lascia la sua impronta. 75-150kN/m <sup>2</sup> Compatte, possono difficilmente essere segnate dall'unghia del pollice. 150kN/m <sup>2</sup>
			La struttura può essere fessurata, intatta, omogenea, stratificata o alterata.		
Torbe e terreni organici				Possono essere identificate per il colore nero o bruno e spesso per il forte odore e per la presenza di materie fibrose o legnose.  Possono essere compatte o spugnose.	
Varie				La resistenza al taglio può variare considerevolmente secondo le direzioni verticale ed orizzontale.	

Per le modalità di prova può farsi riferimento alle British Standards o a norme equivalenti. Le prove di laboratorio vanno fatte su campioni freschi; l'ideale sarebbe effettuarle subito dopo il prelievamento. In ogni modo, è essenziale che le prove semplici del terreno (in altre parole l'uso dello scissometro e del penetrometro a mano) siano fatte direttamente sul terreno per essere confrontate con le prove di laboratorio. La compattezza in situ può essere determinata con una qualsiasi prova, compresa la Standard Penetration Test.

### I luoghi di prelievo e discarica

Il secondo elemento, in ordine d'importanza, da definire in fase di progettazione, è la distanza di trasporto. Essa dipende da molte variabili, una di queste variabili si riferisce nuovamente alla natura del terreno, ma con particolare attinenza agli elementi chimici e batteriologici in esso contenuti possibilmente dannosi per l'ambiente. Va, infatti, sempre posta grand'attenzione alla tutela dell'ambiente, sia nell'individuazione delle zone di prelievo di materiale, sia nella progettazione dell'opera, per non alterare l'equilibrio fisico della zona e l'ambiente di vita vegetale ed animale esistente.

E' in ogni caso importante guardare al materiale dragato come ad una risorsa, piuttosto che ad un rifiuto. Infatti, spesso, il materiale non inquinato proveniente dal dragaggio può avere utili destinazioni, quali ad esempio la formazione di zone particolarmente idonee allo sviluppo della vita animale e vegetale, la protezione ed il miglioramento ambientale delle zone "umide", la formazione di rilevati (per ampliare terrapieni negli ambiti portuali, per formare terrapieni per industrie, aeroporti, isole artificiali) per colmare delle zone basse (paludi, depressioni), per la costruzione di nuclei di dighe di difesa, per ricostituire litorali sottoposti ad erosione. Talvolta, materiali sabbiosi e ghiaiosi possono essere utilizzati per la confezione di calcestruzzi.

### La discarica in mare

Proprio preoccupati del danno ambientale che lo scarico in mare può provocare, i principali Paesi costieri hanno iniziato a trattare della sua regolamentazione nella conferenza di Stoccolma del 1972, dalla quale è poi derivata la *Convenzione di Londra* dello stesso anno, che costituisce oggi il riferimento normativo di base e viene continuamente riveduta ed aggiornata. Alla Convenzione di Londra, che riporta le decisioni volta per volta adottate, aderiscono oltre 70 Stati. Le decisioni prese dai Comitati, che operano nel quadro della Convenzione stessa, vanno tradotte in leggi nazionali di ciascun Paese. Così, dal 1986 in poi, si sono susseguite numerose *Directive internazionali* per il trattamento dei prodotti del dragaggio elencati e distinti in materiali proibiti (metalli pesanti, idrocarburi, batteri, ecc.) ed in materiali che richiedono particolare attenzione. In esse è compresa una nota dei criteri da seguire per la regolamentazione delle operazioni di scavo e discarica dei materiali di dragaggio.

In Italia l'estrazione e la discarica di materiali nell'ambito del demanio marittimo e del mare territoriale è regolamentata dal Codice di Navigazione, che le vuole sottoposte alla concessione del capo del Compartimento Marittimo, concessione che oggi viene rilasciata con estrema cautela e comunque solo a seguito di una preventiva autorizzazione da parte del Ministero dell'Ambiente, secondo norme alquanto complesse. Il primo documento fondamentale è il decreto del Comitato interministeriale del 26 novembre 1980 per la tutela delle acque dall'inquinamento (riconfermato sostanzialmente dalla legge 31.12.82 n. 979). Il Ministero dell'Ambiente, cui successivamente sono state trasferite le competenze di difesa ambientale, ha emanato una circolare in data 4.7.1988, che è praticamente un'esplicazione del documento CITAI, e poi il D.M. 24.01.96 pubblicato sulla G.U. del 07.02.96<sup>4</sup>, nel quale è possibile trovare le indicazioni da seguire per l'ottenimento dell'autorizzazione alla discarica.

<sup>4</sup> Il predetto D.M. precisa che "le attività istruttorie per il rilascio dell'autorizzazione allo scarico nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui di materiali provenienti da dragaggi di fondali di ambienti marini o salmastri o da dragaggi di terreni litoranei emersi, devono essere condotte in conformità alle disposizioni riportate negli allegati A, B/1 e B/2" al decreto. Il punto 2 dell'allegato A elenca gli

*I principi base* restano comunque i seguenti:

1. le zone di discarica devono essere zone di limitata vita animale e vegetale, lontane da zone d'attività balneare e prive di vincoli di tutela biologica, ecologica, archeologica, di ricerca scientifica; i materiali di dragaggio non devono contenere componenti inquinanti in quantità apprezzabili;
2. inoltre, i tempi di dragaggio e le relative modalità devono seguire certe prescrizioni ed essere sottoposti a scrupolosi controlli.

Qualora, invece, il terreno contenesse elementi inquinanti, sarà necessario sottoporlo ad un preventivo trattamento, che, secondo i casi, può comportare aumenti di costo fino a cento e più volte. Il terreno contaminato deve in primo luogo essere trasportato a deposito in un'area isolata, che possa contenere il terreno in un ambiente impermeabile, che impedisca la fuoriuscita d'elementi inquinanti<sup>5</sup>. Il trattamento successivo consisterà in primo luogo nel filtraggio (per esempio con idrocycloni), in modo da separare le particelle più fini in sospensione, che sono quelle cui aderiscono la maggior parte degli elementi inquinanti. Si arriva così a separare i prodotti contaminanti da sottoporre, poi, ad un ulteriore trattamento, che, secondo i casi, potrà essere biologico, chimico, meccanico, onde fornire un prodotto finale neutro.

Un'esperienza interessante di riutilizzo del materiale dragato contenente metalli pesanti è stato fatto al porto di Ravenna (1995-96); il materiale dragato, eminentemente sabbioso, è stato depositato a terra, dove le particelle pesanti hanno potuto sedimentare naturalmente in tempi non lunghissimi, permettendo il riutilizzo del materiale sabbioso disinquinato per opere di difesa costiera ed altro ancora. L'operazione di dragaggio e di discarica, che si prevedeva onerosissima, si è così trasformata, alla fine, in un'operazione economicamente ed ambientalmente vantaggiosa.

L'esempio citato evidenzia i vantaggi derivanti da un attento esame delle possibilità di riutilizzare il terreno scavato, nei modi che si sono innanzi accennati ed in altri ancora. Utile, a questo proposito, la guida pratica allegata al bollettino n. 77 dell'AIPCN, che sviluppa questo argomento. Anche nel caso di un terreno non inquinato, la discarica dovrà avvenire in zona tale da non arrecare danni alla flora e alla fauna ittica. Vanno pertanto escluse le zone dove vegetano, per esempio, praterie di posidonia o colonie di molluschi. Il Ministero dell'Ambiente potrà anche prescrivere una limitazione all'altezza dello strato di terreno da scaricare, per non turbare la morfologia dei fondali.

In diversi Paesi, come ad esempio l'Olanda, gli Stati Uniti, il Belgio, sono stati predisposti spazi idonei, isolati dall'ambiente circostante, per ricevere materiali inquinati e i progetti di dragaggio prevedono destinazioni diverse per i materiali scavati, in funzione della quantità e qualità di componenti inquinanti.

### ***La discarica a terra***

Nel caso di scarico a terra dei prodotti dragati, si rientra nella competenza dei Comuni e delle Regioni, essendo il terreno considerato come rifiuto solido.

Per lo scarico a terra occorre predisporre, attorno alle zone di colmata, arginature adeguate a contenere il terreno rifluito e realizzare pendenze atte a far defluire l'acqua in eccesso, senza arrecare danni alle zone circostanti.

È appena il caso di ricordare che, prima di iniziare i lavori, oltre ad avere la disponibilità ad usare il terreno da parte del proprietario, occorre ottenere dal Comune la licenza edilizia e dalla Provincia l'autorizzazione alla discarica, dietro accertamento che la zona risponda ai prescritti requisiti igienico-ambientali, sulla base dei prelievi dei materiali effettuati dalle ASL.

---

scarichi non autorizzabili, il punto 3 indica gli scarichi autorizzabili, i punti 4 e 5 indicano le modalità della domanda di autorizzazione e dell'attività istruttoria.

<sup>5</sup> Interessante l'esempio del deposito "Slufter" del porto di Rotterdam (uno dei primi e più importanti depositi di terreno contaminato): il materiale inquinato, dragato nella parte più interna e più inquinata del porto stesso, viene versato in questo grandissimo deposito ricavato nel mare e reso assolutamente impermeabile, che viene via via ricoperto di terreno non inquinato, in modo da creare un terrapieno utilizzabile come spazio a servizio del porto.

## Le attrezzature di dragaggio

Le attrezzature di dragaggio vanno scelte secondo il tipo di materiale da scavare, la presenza di moto ondoso nella zona di scavo, il luogo della discarica e la quantità globale di scavo da fare. L'origine delle moderne attrezzature si può riconoscere negli U.S.A.; in Europa esse si sono sviluppate a partire dall'Olanda, facendo tesoro delle esperienze realizzate nello scavo del canale di Suez, dove esiste un'ampia gamma di condizioni diverse per il dragaggio.

Le draghe sono di diversi tipi e dimensioni ed includono le macchine operanti in acqua e quelle a terra.

Le attrezzature di dragaggio si classificano in base alle operazioni di scavo e possono essere raggruppate nei seguenti principali gruppi:

- draghe meccaniche;
- draghe idrauliche;
- draghe speciali a basso impatto;
- draghe d'altro tipo.

L'identificazione delle draghe può essere inoltre fatta in base alla propulsione, cioè semoventi o stazionarie. La scelta dell'attrezzatura di dragaggio va fatta sulla base di una combinazione di fattori, quali:

- il tipo d'ambiente fisico;
- la natura, la quantità e il livello di contaminazione del materiale da dragare;
- il metodo di posizionamento;
- la distanza dal sito di posizionamento.

Le regole di difesa ambientale, in forte evoluzione, richiedono spesso un significativo aumento delle attrezzature di dragaggio.

Fra le *draghe meccaniche* possiamo ricordare: la draga a secchie, la draga a grappo o a benna mordente, la draga a cucchiaio e a cucchiaio rovescio, il pontone rompiroccia;

fra quelle *idrauliche*: la draga aspirante a punto fisso, la draga aspirante con disgregatore, la draga aspirante a testa raspante semovente (tralasciamo di considerare tipi di draghe non idonee per i nostri mari).

La *draga a secchie* scava il terreno con una catena di secchioni che scaricano il materiale in bette affiancate alla draga, che poi vanno a scaricarsi in mare aperto o svuotate mediante idroscaricatore. La draga opera brandeggiando su sei cavi ormeggiati su punti fissi. Può scavare qualsiasi terreno fino alla roccia tenera (secondo la potenza installata fino a carichi di rottura di circa 40 kg/cm<sup>2</sup>) e può scavare sassi e roccia preventivamente frantumata con l'uso d'esplosivo o dall'azione dello scalpello o del martello pneumatico montato su un pontone, non essendo infatti generalmente ammesso l'utilizzo di esplosivo in aree portuali o comunque in aree vicine ad abitati. Ha rendimenti bassi nell'argilla<sup>6</sup> e non molto alti nella sabbia a causa di un incompleto riempimento dei secchioni: ha complessivamente un costo d'esercizio piuttosto elevato per la necessità di servirsi di una serie di bette (trainate da rimorchiatore fino alla zona di discarica o semoventi). Ingombra lo specchio d'acqua per la presenza dei cavi; è in grado di eseguire scavi di grande precisione; non può operare con moto ondoso con altezza d'onda superiore a 50 cm.

La *draga a grappo* o *a benna bivalve* può essere anche autocaricante, se dispone di un pozzo simile a quello di una betta, oppure carica bette affiancate. Attrezzo d'uso flessibile, adatto quindi per l'esecuzione di modeste quantità di lavoro; ha costi unitari elevati e non è utilizzabile per lavori di massa. E' particolarmente adatta per roccia preventivamente frantumata con esplosivo o per interventi di scavo in zone difficilmente accessibili, e può essere usata anche nella costruzione dei moli foranei, nel qual caso la benna effettua l'operazione inversa.

<sup>6</sup> L'argilla compatta provoca anche difficoltà di svuotamento delle bette, alle quali si fa fronte o con scafi che si aprono per consentire la fuoriuscita del materiale dal fondo, o con elevatori a norie che riscavano il materiale dalle bette.

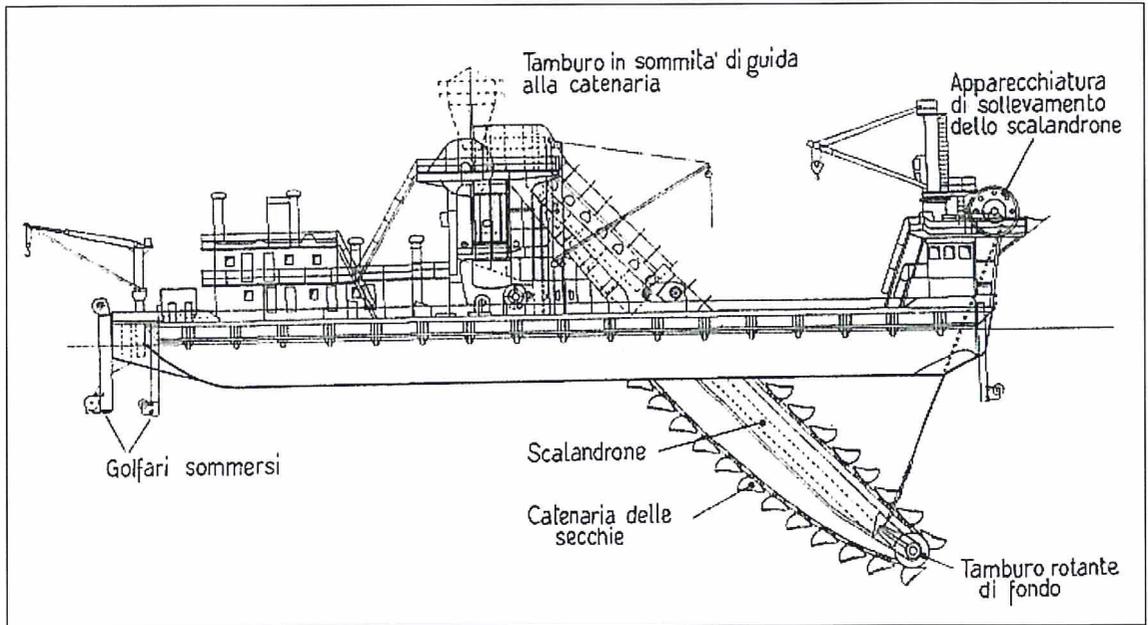


Figura 6 - Schema di una draga a secchie.

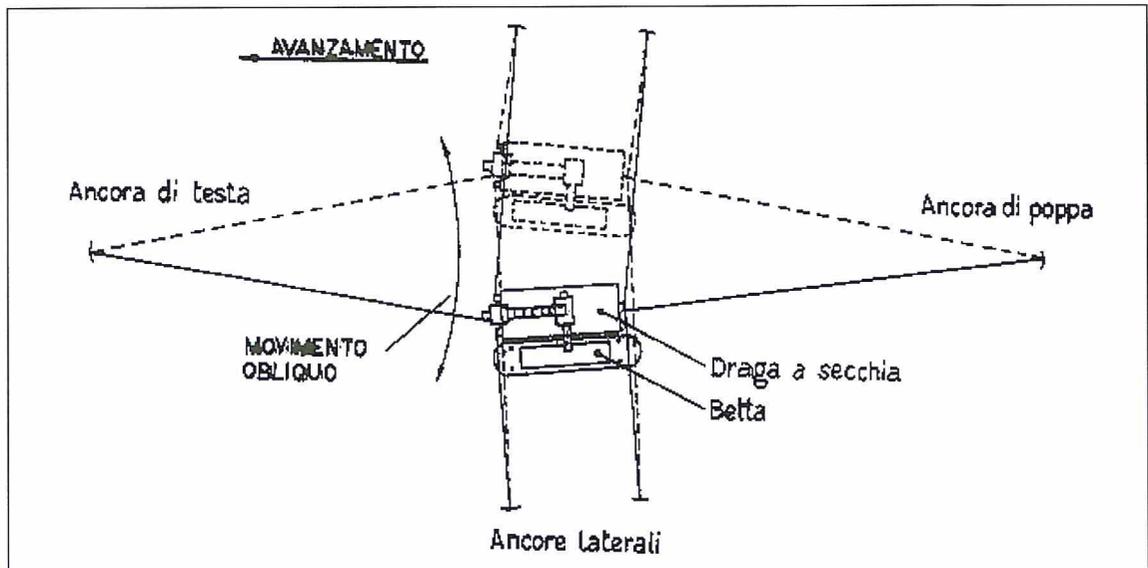


Figura 7 - Metodo di lavoro di una draga a secchie.

La *draga a cucchiaio* è un pontone munito di piloni di acciaio di ancoraggio, su cui è installato un escavatore a cucchiaio frontale o a cucchiaio rovescio, che carica le bette. È un attrezzo di uso limitato, con costo di esercizio elevato, impiegato per lo scavo di materiale compatto, eterogeneo e per scavi di trincee strette.

La draga aspirante a punto fisso è utilizzabile solo per scavo di sabbia sciolta, che non richiede il rispetto di sezioni precise. È un attrezzo di esercizio molto economico, quando può rifluire direttamente, mediante tubazioni, in una zona di colmata; può anche riempire delle bette se la sabbia ha grani grossi. L'equipaggiamento dello scafo conosce una serie di varianti secondo l'uso della draga e del tipo di terreno. In genere l'apparecchiatura di sollevamento ed abbassamento del tubo aspirante, per posizionarlo alla profondità desiderata, è installato a prua.

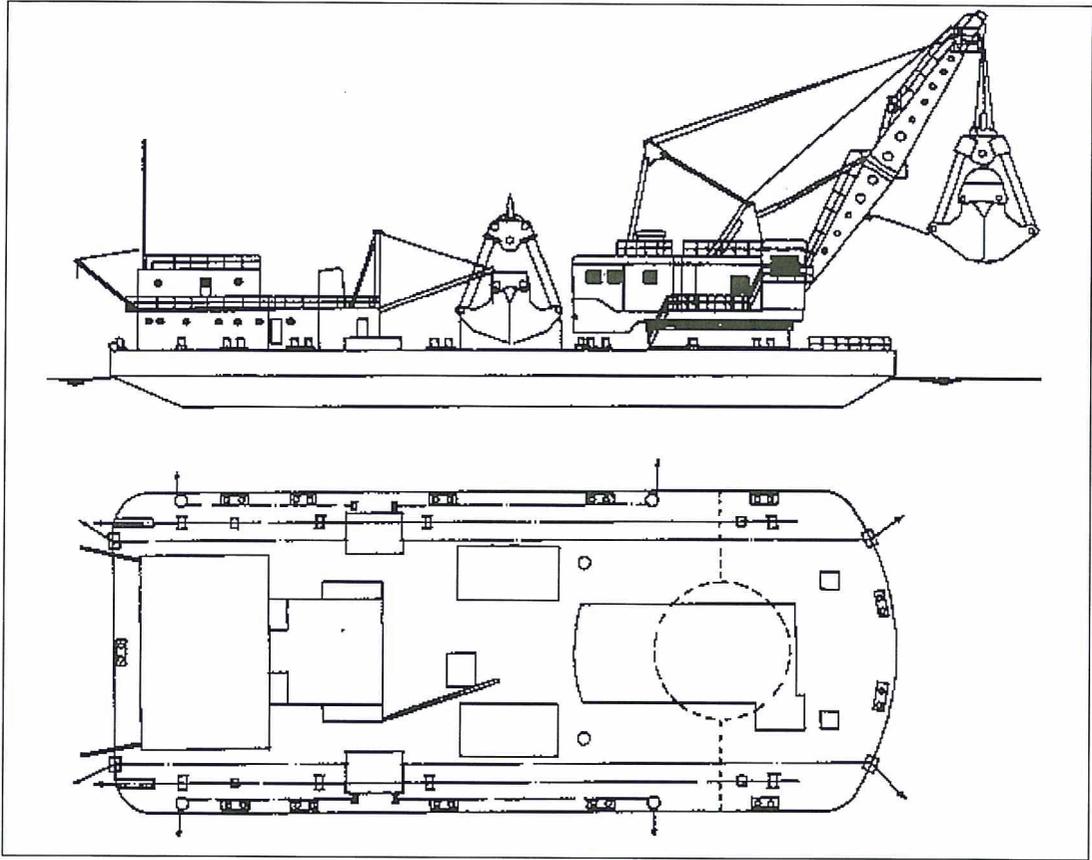


Figura 8 - Draga a grappo.

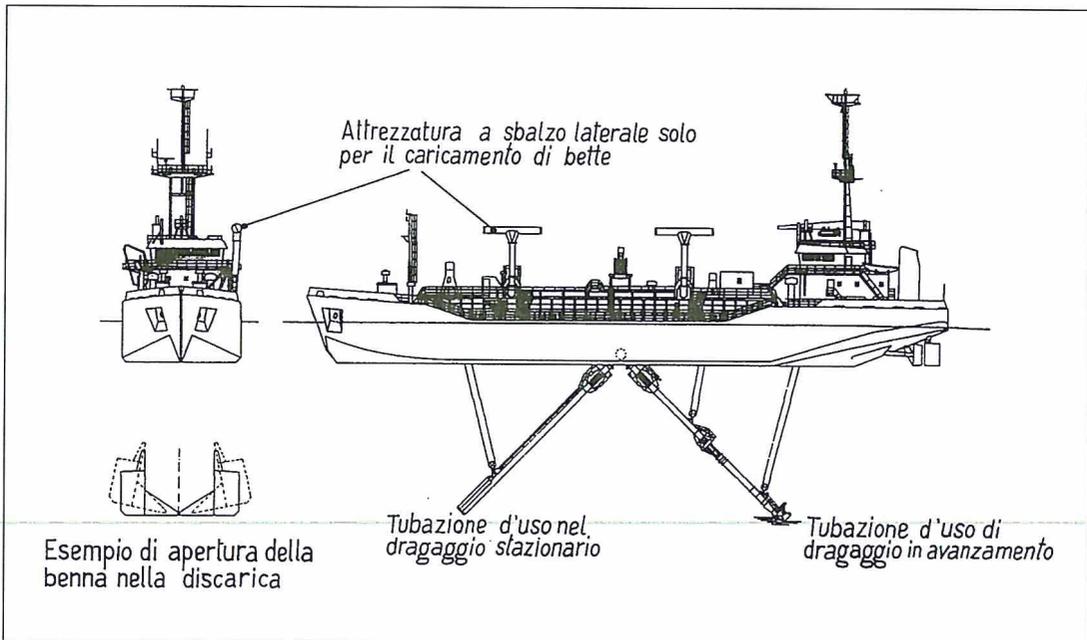


Figura 9 - Draga aspirante - rifluente.

La *draga aspirante con disgregatore* è l'attrezzo d'uso più economico per qualsiasi tipo di terreno, esclusa la roccia, quando vi è possibilità di rifluire direttamente in una zona di colmata; con l'aggiunta di stazioni di pompaggio in serie, può anche arrivare a distanze dell'ordine di una decina di chilometri. Opera brandeggiando su due cavi e avanzando su due piloni infissi nel terreno. Esistono draghe di questo tipo con potenze installate di oltre 15.000 KW. Per lavori di modesta entità, il costo del trasferimento della draga e il montaggio di una lunga tubazione di refluento può essere molto elevato. Per operare ha bisogno di uno stato del mare con onde di altezza non superiore a 0.50 - 0.75 m.

La *draga aspirante a testa raspante autocaricante semovente* opera come una nave, senza alcun cavo; aspira il terreno, mentre naviga, con una pompa collegata ad una specie di ruspa, che striscia sul terreno e che riempie la propria stiva (pozzo). Quando il pozzo è riempito, va nella zona di scarico e svuota il pozzo, mediante apertura del fondo o mediante pompaggio. Può operare anche in presenza di onde alte 2.50 m ed è idonea allo scavo di terreni sciolti. Ha bisogno di fondali adeguati e di specchi acquei di ampiezza sufficiente per l'evoluzione.

Per minare la roccia prima di scavarla, si impiegano dei martelli perforatori o montati su pontone o, per operare in presenza di moto ondoso, montati su piattaforme dotate di piloni, che poggiano sul terreno di fondo. Ove occorre, è possibile l'uso di microcariche (il vecchio sistema D o svedese), che permette di ridurre e quasi annullare l'effetto d'urto nell'ambiente circostante. Quando non sia consentito l'uso degli esplosivi e la roccia abbia carichi di rottura superiore a 40 kg/m<sup>2</sup>, si dovrà fare ricorso alla frantumazione della roccia con mezzi di scavo meccanici, fra i quali il pontone rompi-roccia munito di scalpelli e/o martelli pneumatici; si tratta comunque di operazione laboriosa con costi elevati e produzioni modeste.

È appena il caso di ricordare che, per lo scavo delle cunette, in cui posare le condotte sottomarine (che vengono poi coperte con lo stesso materiale scavato in modo da non interferire con l'azione del moto ondoso), esistono anche particolari attrezzature costituite da macchine escavatrici sottomarine teleguidate, capaci di scavare anche roccia dura.

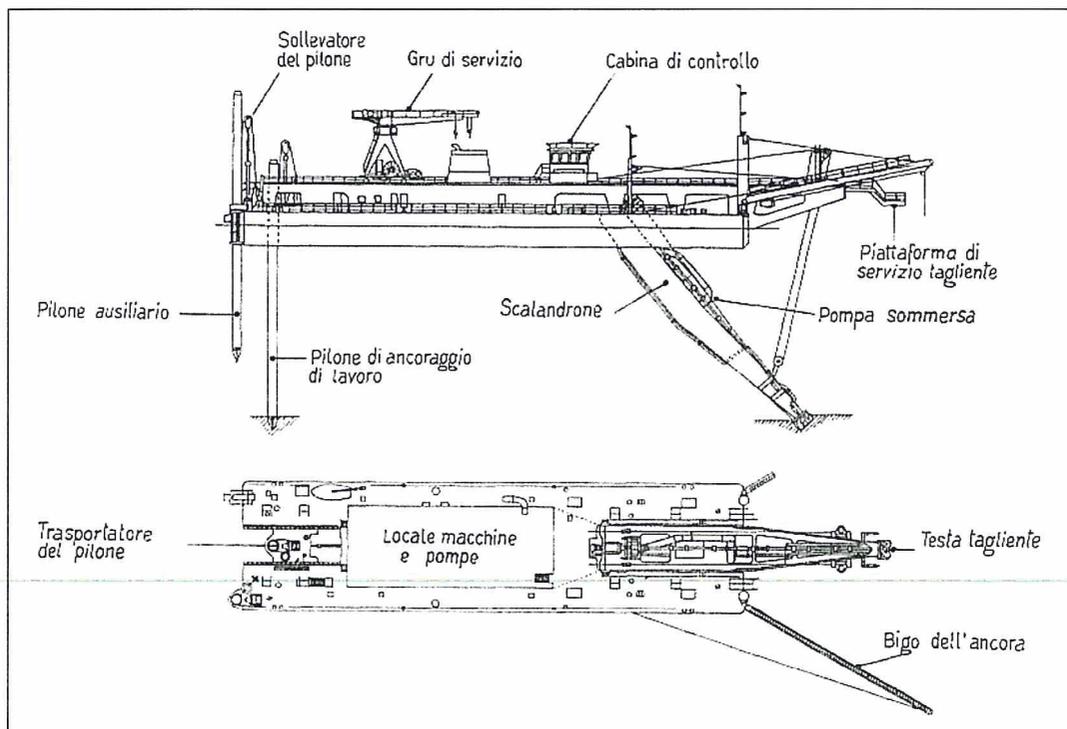


Figura 10 - Draga aspirante con disgregatore.

### Scavo dei bacini portuali

Altro elemento importante per la progettazione è la presenza o meno di transito di navi nella zona da scavare. Generalmente, trattandosi di bacini portuali, non vi sarà da considerare il moto ondoso. Nel caso di *scavo in un bacino portuale nuovo*, l'assenza di transito di navi può orientare verso l'impiego di una draga aspirante rifluente con disgregatore, sempre che esista una vicina zona di colmata ed il terreno non abbia consistenza rocciosa. La convenienza economica lega infatti la distanza della colmata all'entità complessiva del dragaggio. Poiché, aumentando la distanza, aumentano i costi fissi per la formazione e posa della tubazione di refluento e delle eventuali stazioni di pompaggio intermedie, questa soluzione può non essere conveniente se il volume da scavare è limitato, nel qual caso può convenire orientarsi sull'impiego di draga aspirante autocaricante semovente (se ci sono già fondali adeguati: almeno 6 -7 metri), svuotando con pompa i pozzi della draga stessa (se si deve rifluire il terreno in colmata). Se poi il materiale è sabbioso, è preferibile caricare, con la draga aspirante a disgregatore, delle bette e poi scaricarle in mare o, se il terreno va in colmata, con ripresa mediante pompaggio. Se il materiale non è sabbioso, può infine convenire riempire le bette utilizzando una draga a secchie.

Nel caso in cui si debba operare *in un bacino portuale in esercizio*, la presenza di un'attrezzatura di dragaggio stazionaria, come la draga a disgregatore o la draga a secchie, può recare seri intralci alla navigazione e, quindi, va preferito l'utilizzo di una draga aspirante autocaricante semovente tutte le volte che il terreno lo consente (limi, argille non troppo compatte, sabbia, ciottoli, roccia preventivamente ben frantumata). Per i terreni compatti, il dragaggio è ovviamente più complesso: l'argilla può essere scavata con draghe aspiranti con disgregatori potenti o con draghe a secchie. La roccia tenera può essere dragata da una robusta draga a secchie o da draga aspirante con disgregatore particolarmente potenti. La roccia compatta richiede il preventivo minamento con esplosivo. Una volta esplosa, la roccia può essere salpata (come già visto innanzi) con grappo o draga a cucchiaio o, se la pezzatura è sufficientemente minuta, con draga a secchie o draga aspirante autocaricante. Nel caso in cui non sia consentito l'uso di esplosivi, dovrà farsi uso di sistemi meccanici, come già visto al precedente paragrafo.

### I dragaggi di manutenzione

Sia i porti che i canali di accesso sono soggetti, salvo rare eccezioni, ad interrimenti. Il dragaggio di manutenzione rappresenta una costosa necessità per consentire permanentemente l'accesso e l'operatività delle navi. In questi casi il terreno è, ovviamente, sempre incoerente: limi, argille non compatte, sabbie.

Normalmente la draga aspirante, autocaricante, semovente è l'attrezzo più idoneo per questo tipo di dragaggio, purché vi siano adeguati fondali e spazi di evoluzione per la draga. In mancanza di queste condizioni, per quantitativi limitati, può essere conveniente l'impiego di una draga a grappo, che è attrezzo di poco costo e di economica mobilitazione. Per quantitativi rilevanti, come può avvenire nei porti mal progettati, che si trovano ad essere completamente interrati, la draga aspirante con disgregatore rappresenta la soluzione più economica<sup>7</sup>.

Una mareggiata può creare improvvisamente una barra che ostruisce l'accesso al porto, fatto che richiede interventi urgenti di dragaggio dei canali di accesso. E' ovvio che i porti, che possono trovarsi in questa condizione, devono disporre di mezzi effossori adeguati immediatamente disponibili (es. i canali di accesso al porto di Venezia). Talvolta, per dare la possibilità di assorbire senza danno gli effetti di imbonimenti provocati da improvvise forti mareggiate, si realizzano delle "trappole per sabbia": in un punto idoneo del canale si scava una fossa a profondità alquanto maggiore del fondale del canale stesso, con funzione di raccogliere un certo quantitativo di materiale di imbonimento e così consentire di procrastinare l'intervento effossorio di ripristino (i risultati sono spesso modesti).

<sup>7</sup> Un particolarissimo tipo di dragaggio di manutenzione, peraltro non utilizzabile nel bacino mediterraneo, è il dragaggio per agitazione e il "dust pan" basati sullo sfruttamento di forti correnti di marea.

### Scavo di fondazione per moli e banchine

Questo tipo di scavo richiede, normalmente, una grande precisione di esecuzione per evitare non desiderate eccedenze di scavo. È pertanto da prevedere l'impiego di draga aspirante a disgregatore (per terreni sciolti con possibilità di refluento diretto a colmata o, se sabbie, da scaricare in bette) oppure draga a secchie (per terreni compatti o terreni limosi - argillosi da scaricare in bette).

### Reperimento di materiali per ripascimenti, terrapieni e simili

In molte circostanze, il terreno scavato può essere direttamente riutilizzato. È di tutta evidenza che bisogna sempre sforzarsi di trovare il modo di non sciupare una risorsa preziosa, reimpiegando il prodotto del dragaggio come materiale da costruzione, materiale di ripascimento, ecc., tutte le volte che sia possibile. Non si dimentichi, infatti, che spesso è necessario reperire terreno per formare terrapieni, imbasamenti di moli e banchine, nuclei di dighe, ecc. da cave a terra ed a lunga distanza (recenti esempi per la formazione di colmate nei porti di Genova - Voltri e di Bari). A solo titolo di esempio, si accenna all'impiego del materiale dragato per la formazione di "fondazioni galleggianti" costituite da materassi di sabbia su terreno fangoso, come realizzati a La Spezia, Kobe, Ravenna, ecc., o per la formazione di nuclei sabbiosi nelle dighe, come realizzato ad Augusta in un lontano passato<sup>8</sup> od in altri recenti esempi di grandi porti all'estero.

Un particolare tipo di operazione è *il trasporto con by-pass di materiali sabbiosi*.

Molti porti-canale e porti con moli aggettanti in mare determinano alterazioni del litorale, per cui si hanno importanti accumuli di sabbia dal lato sopraflutto ed erosioni dal lato sottoflutto.

Per riequilibrare la situazione del litorale in questione, si procede talvolta installando un'apparecchiatura o a terra o su galleggiante. Questa è una specie di draga aspirante a punto fisso costituita essenzialmente da una pompa collegata, all'aspirazione, ad un tubo brandeggiabile che può aspirare la sabbia nella zona di accumulo e, alla mandata, ad una tubazione, che, by-passando l'imboccatura del porto con un attraversamento subacqueo, trasporta la sabbia nella zona di erosione.

### L'analisi dei costi

Da quanto innanzi esposto, si può ben comprendere come il costo del dragaggio possa variare enormemente a seconda del tipo di terreno da dragare, della sua profondità, delle condizioni del mare e/o del traffico marittimo coesistente, del sito di discarica, della draga scelta o disponibile.

*Il costo del dragaggio* va pertanto determinato sommando alle normali voci di costo, quali la mano d'opera, i consumi, gli ammortamenti, il costo di riclassifica dei mezzi marittimi, l'assicurazione, le manutenzioni, anche il costo dell'usura delle parti della draga a contatto con il materiale dragato: per alcuni terreni, quali le sabbie abrasive e i ciottoli, questo costo può avere incidenze notevolissime, perché pompe, tubi, disgregatori, secchioni possono avere vita brevissima.

Le attrezzature di dragaggio, di norma, vengono utilizzate a ciclo continuo, a causa del loro elevato costo; qualora leggi antirumore vigenti in determinati luoghi impedissero la lavorazione continua, il costo si troverebbe gravato di questo onere. Si deve anche tenere conto che il costo subisce incrementi rilevanti per scavi a grande profondità, che necessitano dell'impiego di attrezzature particolari. Per meglio far comprendere il modo di procedere nell'analisi del costo del dragaggio, si preferisce utilizzare un esempio di calcolo del nolo orario di una draga a secchie in attività di escavazione con ciclo di produzione di otto ore giornaliere (in realtà, l'utilizzazione delle draghe supera di molto le otto ore giornaliere). Si premette una nota di riferimento per chiarire il significato di alcuni simboli e delle formule assunti per la determinazione dei noli (Tomasicchio e Maggi, 1978).

<sup>8</sup> Quando il prelievo del materiale avviene in mare aperto e quindi l'attrezzo utilizzabile è la draga aspirante autocaricante semovente, questa, in relazione al fondale esistente nella zona di scarico, svuoterà il proprio pozzo con apertura diretta o pomperà il materiale attraverso una tubazione.

**Schema di riferimento**

Quota di ammortamento =  $Q_{amm}$ :

$$Q_{amm} = C \frac{(1+r)^n r}{(1+r)^n - 1}$$

dove:

$C$  = capitale da costituire ( $C_s - C_r$ )

$C_s$  = costo all'acquisto (costo storico)

$C_r$  = costo residuo (20% di  $C_s$ )

$r$  = tasso di interesse

$n$  = annualità

Consumo orario carburante =  $C$ :

$$C = PK_s N$$

dove:

$P$  = prezzo del gasolio al litro espresso in lire

$K_s$  = consumo specifico gasolio (=0.2 kg/Kw)

$N$  = potenza complessiva impiegata (Kw)

Spesa complessiva di manutenzione comprensiva di mano d'opera =  $S$ :

$$S = \frac{KC_s}{h}$$

dove:

$K$  = coefficiente dipendente dal tipo di macchina (per i natanti = 0,15)

$C_s$  = costo all'acquisto della macchina

$h$  = numero delle ore lavorative in un anno

Consumo orario lubrificanti =  $L$ :

$$L = K_1 P_L N$$

dove:

$K_1$  = consumo specifico lubrificanti = 0,0055 Kg/Kw

$P_L$  = prezzo dell'olio lubrificante al Kg espresso in lire

$N$  = potenza complessiva impiegata (Kw)

**Calcolo del nolo orario di una draga a secchie in attività di escavazione con ciclo di produzione di 8 ore/giorno**

Caratteristiche del mezzo, che vanno assunte direttamente dal fabbricante:

- potenza totale installata 1.600 KW;
- profondità di dragaggio: m 25 con elinda normale, m 34 con elinda allungata;
- velocità delle secchie = 33 secchie al minuto;
- costo all'acquisto della draga  $C_s$  = lire 13.000.000.000

1) Quota di ammortamento annua con tasso di interesse  $r = 10\%$  e  $n = 10$  annualità:

Il capitale da ricostruire è determinato dalla differenza tra il costo storico ( $C_s$  = lire 13.000.000.000) ed il valore residuo dopo 10 anni ( $C_r$  = lire 2.600.000.000), pertanto si ricava:

$$Q_{amm} = 10.400.000.000 \frac{(1 + 0,10)^{10} 0,10}{(1 + 0,10)^{10} - 1} = \text{£ } 1.695.200.000$$

Considerando pari a 1.760 le ore d'impiego annue (220 gg x 8 ore), si ottiene la quota di ammortamento oraria:  $Q_{amm} = \text{£}/h \text{ } 963.182$ ;

2) Consumo orario carburanti, avendo posto:

P = prezzo gasolio marino = lire 289 (£ 264 alla pompa + £ 25 per il trasporto);

$K_s$  = consumo specifico gasolio = 0,20;

N = 1.600 potenza installata della macchina (KW),

C =  $289 \times 0,20 \times 1.600 = \text{£}/h \text{ } 92.480$ .

3) Spese orarie di manutenzione comprensive di mano d'opera:

$$S = \frac{0,15 \times 13.000.000.000}{1.760} = \text{£}/h \text{ } 1.107.954.$$

4) Consumo orario lubrificanti, ponendo:

$K_1 = 0,0055 \text{ Kg/KW}$  consumo specifico lubrificanti;

P = £ 3.328 al Kg (il costo dell'olio tipo Sigma è di lire 6.050 al kg, che scontato del 45%, diviene 3.328)

e pertanto:  $L = 0.0055 \times 3.322 \times 1.600 = \text{£}/h \text{ } 29.233$

5) Mano d'opera:

n.1 capitano	£/h 30.304
n.1 direttore di macchina	“ 30.304
n.1 ufficiale di coperta	“ 30.304
n.1 motorista	“ 28.871
n.3 marinai (3 x £ 27012)	“ 81.036
sommano	£/h 200.819

Pertanto il costo complessivo  $C_{nolo}$  orario del nolo della draga (a caldo, cioè comprensivo di carburante e mano d'opera) è pari a:  $C_{nolo} = \text{£}/h (963.182 + 92.480 + 1.107.954 + 29.233 + 200.819) = 2.393.668$ , arrotondato a £/h 2.394.000.

Per ottenere il prezzo di progetto, al costo vanno aggiunte le spese generali nella misura del 13% e l'utile dell'impresa pari al 10%.

Usualmente nell'elenco prezzi di progetto si riporta il prezzo di un metro cubo di materiale scavato, questo si ricava facilmente dividendo il costo o prezzo orario, come sopra ricavato, per la capacità di scavo della draga, che, in riferimento alle caratteristiche del terreno da scavare, viene indicato dal fabbricante.

### Misurazioni e controlli

Un argomento abbastanza complesso è quello della misurazione e dei controlli.

In linea generale i controlli vengono effettuati mediante scandagli di prima e seconda pianta, sia in caso di scavo che di riempimento. Al giorno d'oggi si usano ecoscandagli montati su motovedette di misurazione e controllo munite di apparecchiature elettroniche, che consentono di determinare l'esatta localizzazione del natante stesso e di calcolare direttamente il volume scavato (Fig. 11).

Uguale tipo di apparecchiature, se montato sulle draghe aspiranti autocaricanti semoventi, consente di seguire istantaneamente il lavoro eseguito e la produzione della draga stessa.

Le motovedette di misurazione e controllo possono anche essere dotate di apparecchiature per misurare la densità del fondale, per esaminare la possibilità di transito di navi su un fondale fangoso poco consistente (“fluid mud”), economizzando così il volume di terreno da asportare con il dragaggio.

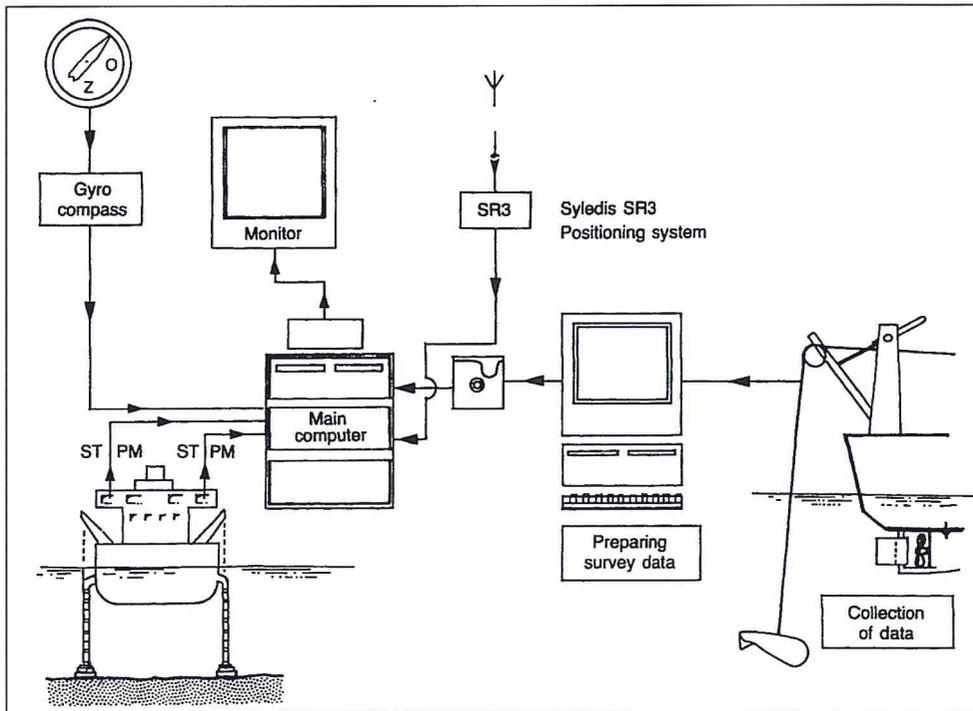


Figura 11 - Lay-out di videoplotter per il monitoraggio del dragaggio (Overseas Decloedt, Brussels).

Nel caso di terreni molto compatti, può invece essere necessario un ulteriore controllo allo scavo, controllo che viene effettuato con il passaggio di una pesante barra metallica situata ad una profondità corrispondente alla quota di progetto e trainata da due rimorchiatori.

Nei dragaggi di manutenzione, eseguiti in zone soggette a rapidi imbonimenti o in casi particolari, in cui risulta impossibile la misurazione con sezioni di prima e seconda pianta, si procede con la misurazione diretta sul mezzo di trasporto. Viene cioè misurata l'immersione del mezzo di trasporto prima di iniziare il carico e a carico compiuto; si determina così il peso del materiale trasportato in funzione della curva di carico, che indica il dislocamento del mezzo in relazione all'immersione stessa. Si esegue poi la misurazione del peso specifico del materiale trasportato e si risale quindi al volume.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il dott. ing. Edoardo Almagia, noto esperto e componente del comitato internazionale di presidenza dell'AIPCN, per il contributo offerto alla stesura di questo rapporto.

### Bibliografia

- Abbot M.B. e Price W.A. (1994) - *Coastal, Estuarial and Harbour Engineers. Reference Book*. Chapman & Hall, Londra.
- AIPCN (1984) - *Rapport d'un groupe de travail du Comité Technique Permanent II*, Supplement au Bulletin n. 47, Bruxelles.
- AIPCN (1992) - *La Valorisation des produits de dragage*. Suppl. boll. 77, Bruxelles.
- AIPCN (1993) - *Bollettino n. 80*, Bruxelles.
- AIPCN (1995) - *Les chenaux d'accès*. Suppl. au Bull. 88, Bruxelles.
- AIPCN (1997) - *Manutention et traitement des matériaux de dragage contaminés*. Suppl. boll. 93, Bruxelles.
- AIPCN (1998) - *Guide de Gestion des matériaux de dragage*. Suppl. au Bull. 97, Bruxelles.
- AIPCN (1998) - *Guide de gestion des matériaux de dragage*. Bulletin 99 - Bruxelles.
- AIPCN (1999) - *Dredging: the facts*. Annex to bulletin n. 102.

- AIPCN (1999) - *Environmental management framework for ports and related industries*. Report of Working Group 4 of Permanent Environmental Commission.
- AIPCN (2000) - *Site investigation requirements for dredging works*. Supplement to bulletin no. 103.
- BHRA (1975) - Ist. Int. Symp. On Dredging technology, Canterbury.
- Cooper (1958) - *Practical Dredging*. Brown, Son & Ferguson, Glasgow.
- IARH (1991) - *Dredging for development*. Barcellona,
- IHC (1993) - *Ports and dredging, 50 years*. - IHC Holland, Sliedrecht,
- Matteotti G. (1995) - *Lineamenti di Costruzioni Marittime*. SG Editoriali Padova.
- Montevecchi M. (1995) - *Il dragaggio: il rispetto dei vincoli ambientali*. AIPCN Sez. Italiana "Giornate italiane di ingegneria costiera, 2° edizione, Ravenna.
- Poydenot (1955) - *Le Canal de Suez*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Puertos del Estado (1996) - *Dragas y Dragados*, 1ª edición.
- Terra et Acqua (1975) - n. 8/9, Int. Ass. of Dredging Companies, Aja.
- Terra et Acqua (1975) - n.10, Int. Ass. of Dredging Companies, Aja.
- Terra et Aqua (1989) - n. 39, Int. Ass. of Dredging Companies Aja.
- Terra et Aqua (1998) - n. 72, Int. Ass. of Dredging Companies, Aya.
- Tomasicchio U. (1998) - *Manuale di ingegneria portuale e costiera*. BIOS, Cosenza.
- Tomasicchio U. e Maggi G. (1978) - *Proposta per una razionale stima, mediante modello matematico, dei costi dei trasporti e dei noli dei mezzi terrestri e marittimi operanti nel settore dei lavori pubblici, quale utile contributo ai fini della valutazione della variazione revisionale del prezzo d'appalto*. Rassegna dei Lavori Pubblici, Roma.
- US Army Corps of Engineers (1995) - *Dredging Research Program*, Technical Report DRP - 95 - 8.

**Manoscritto ricevuto il 30/5/2000, accettato il 20/9/2000.**