

## La compatibilità chimica nel ripascimento con sabbie relitte: il caso degli elementi in traccia a Montalto di Castro (VT).

Daniela Paganelli<sup>1</sup>, Chiara Maggi<sup>1</sup>, Massimo Gabellini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ICRAM, Via di Casalotti, 300 - 00166 Roma

### Riassunto

Nell'ambito dell'utilizzo delle sabbie relitte per il ripascimento dei litorali in erosione, un tema importante è quello della compatibilità chimica delle sabbie in relazione alle caratteristiche geologiche e geochemiche delle aree coinvolte.

L'ICRAM, in tale ambito, ha sviluppato un Protocollo di Monitoraggio che, per quanto riguarda la caratterizzazione chimica, prevede l'analisi dei sedimenti superficiali dell'area di dragaggio. La movimentazione dei sedimenti, infatti, può comportare, in caso di contaminazione, la rimobilizzazione di specie chimiche con possibili effetti sull'ecosistema marino.

In questo lavoro viene presentato lo studio delle sabbie relitte presenti al largo di Montalto di Castro (VT), utilizzate per il ripascimento dell'arenile di Tarquinia (VT). Inizialmente sono state effettuate le analisi chimiche della coltre pelitica secondo lo schema sperimentato in altre aree della piattaforma laziale. Poiché i risultati ottenuti hanno evidenziato alcune anomalie di concentrazione confermando solo parzialmente i dati di letteratura relativi alla distribuzione degli elementi in traccia, sono state eseguite ulteriori indagini specifiche per approfondire sia gli aspetti ambientali relativi alla movimentazione dei sedimenti pelitici superficiali, sia la compatibilità chimica delle sabbie sottostanti da destinare al ripascimento.

Sui sedimenti della coltre pelitica sono state condotte analisi di speciazione mediante estrazioni sequenziali.

**Parole chiave:** ripascimento, compatibilità chimica, elementi in traccia, speciazione, mar Tirreno.

### Abstract

*In beach nourishment activities using relict sands, chemical compatibility related to geological and geochemical characteristics of the area interested by these activities is an important topic.*

*Recently ICRAM has developed an Environmental Monitoring Protocol related relict sands dredging for beach nourishment that involves in particular the superficial sediments analysis in the dredging area. The sediment removing, in fact, can cause the resuspension of chemical species with possible effects on marine ecosystems.*

*In this paper we report the study of the relict sands deposit located off the coasts of Montalto di Castro (Latium, Italy) used for the nourishment along Tarquinia beaches (Latium, Italy). The chemical analysis of pelitic superficial sediments has been carried out according to the monitoring plan used in the other areas of the Latium continental shelf. Since the results obtained had highlighted some anomalies of concentration, partly confirmed by the literature data regarding the trace elements distribution, further specific analyses were carried out in order to investigate environmental aspects of the pelitic sediments removal and the chemical compatibility of the dredging sands below. For this reason, chemical speciation analysis on the pelitic superficial sediments by means of sequential extraction procedure were carried out.*

**Keywords:** beach nourishment, chemical compatibility, trace metals, speciation analysis, Tyrrhenian sea.

## Introduzione

Il ripascimento delle spiagge con sabbie relitte consiste nella ricostruzione degli arenili erosi mediante l'impiego di sabbie marine presenti, a profondità variabili, lungo la piattaforma continentale. Le sabbie relitte sono depositi sabbiosi sommersi formati nel passato geologico, quando il livello del mare era più basso dell'attuale; possono essere affioranti sul fondo del mare oppure essere coperte da sedimenti fini di deposizione recente. Il ripascimento mediante sabbie relitte comprende la fase di estrazione delle sabbie (dragaggio) e quella di ripascimento vero e proprio, che interessano rispettivamente l'area in cui è localizzato il deposito sabbioso che si intende sfruttare (area di dragaggio) e l'area di ripascimento, che coincide con le spiagge da ricaricare. L'impatto di tali attività può generare, sia nell'area di dragaggio sia in quella di ripascimento, diversi effetti, come modificazioni morfologiche e sedimentologiche del fondo, alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua (aumento della torbidità) e disturbo degli organismi necto-bentonici. In particolare, qualora il sedimento superficiale fosse contaminato, la risospensione di rilevanti quantità di sedimento fine potrebbe comportare il rilascio di contaminanti con conseguenti effetti negativi sull'ecosistema marino (Hitchcock et al., 1998; Newell et al., 1998).

Lo studio delle caratteristiche tessiturali e chimiche dei sedimenti dell'area di dragaggio ha l'obiettivo di valutare la qualità dei sedimenti superficiali; il sedimento sottile recente che spesso ricopre le sabbie relitte, per sua stessa natura (elevata superficie specifica), rappresenta un substrato ideale per l'accumulo di contaminanti, e la risospensione, che si verifica quando lo *shear stress* è sufficiente a vincere la coesione del materiale, è un importante meccanismo per la reintroduzione di contaminanti nella colonna d'acqua e nel ciclo del particolato (Kim et al., 2004).

Un'importante considerazione va fatta relativamente alla distribuzione di elementi minori ed in traccia. La concentrazione degli elementi nei sedimenti marini è legata sia alle caratteristiche mineralogiche e geochemiche del sedimento, sia agli eventuali contributi di origine antropica. La presenza di concentrazioni rilevanti di una specie chimica nel sedimento, pertanto può dipendere, esclusivamente, dalle caratteristiche geolitologiche dei bacini versanti, come accade in presenza di determinate province geochemiche. E' questo il caso del dragaggio delle sabbie relitte presenti lungo la piattaforma continentale tirrenica al largo di Montalto di Castro (VT) in cui la vicinanza della provincia mercurifera toscana a nord (monte Amiata) e delle vulcaniti della serie alcali-potassica laziale più a sud, ha determinato la presenza, lungo la piattaforma continentale del Lazio settentrionale, di concentrazioni elevate per Hg, As e Pb (Branca et al., 1996; Niccolai et al., 1993).

## Il quadro normativo di riferimento

Il quadro normativo di riferimento attualmente vigente in Italia, specifico per le attività di dragaggio delle sabbie relitte a fini di ripascimento, è ancora parzialmente *in itinere*.

L'art. 109 del decreto legislativo 152/2006<sup>(1)</sup> regola l'immersione in mare di materiale derivante da attività di escavo dei fondi marini purché ne sia dimostrata la compatibilità ambientale e "l'innocuità". Il ripascimento viene individuato come scelta prioritaria per la destinazione d'uso del materiale proveniente dall'escavo dei fondi marini. In attesa dell'allegato tecnico previsto dall'art. 109 per la regolamentazione di tutte le attività di movimentazione dei fondi marini, le attività di movimentazione dei sedimenti a fini di ripascimento rimangono disciplinate dal Decreto Ministeriale 24 gennaio 1996.

La Legge 179/2002 ed il conseguente passaggio di competenze dallo Stato alle Regioni, stabilisce che l'ente competente per l'istruttoria e il rilascio dell'autorizzazione ad interventi di ripascimento della fascia costiera sia la Regione<sup>(2)</sup>.

Un ultimo accenno riguarda la normativa più propriamente connessa alla qualità del sedimento marino, in particolare il decreto ministeriale 367/2003<sup>(4)</sup>. Nel decreto vengono fissati gli standard di qualità per i sedimenti marino-costieri relativamente ad alcune sostanze pericolose e prioritarie individuate ai sensi del regolamento 2455/2001/EC; si precisa, inoltre, che tali valori non sono vincolanti, ma devono supportare le misure da intraprendere per la tutela del corpo idrico, e decadono qualora il superamento dello standard si verifici in corrispondenza di accertate province geochemiche. Il D.M. 367/2003, sebbene non specifico per valutare la conformità di sedimenti di piattaforma, è tuttora l'unico riferimento legislativo nazionale per la tutela dell'ecosistema marino.

## L'attività dell'ICRAM e la proposta di Protocollo di Monitoraggio

L'ICRAM, sin dal 1999, ha eseguito studi di compatibilità ambientale per il ripascimento mediante sabbie relitte, arrivando, in varie tappe, alla proposta di uno specifico Protocollo di Monitoraggio (Nicoletti et al., 2002, 2006; Paganelli et al., 2005). Tale protocollo prevede un programma di indagini articolato in due capitoli principali: lo studio preliminare di caratterizzazione delle aree interessate all'intervento e il monitoraggio, da condursi sia durante le attività di movimentazione delle sabbie sia dopo il compimento delle attività in oggetto, al fine di valutare gli effetti indotti sull'ambiente. Lo studio di caratterizzazione comporta indagini a diverse scale di approfondimento: una fase di caratterizzazione dell'area vasta, possibilmente estesa all'unità fisiografica, che può essere condotta anche solo su base bibliografica (Fase A), una fase di caratterizzazione delle macroarea (Fase B), che deve essere basata su dati recenti, una fase di dettaglio (Fase C1), da condurre prima dell'inizio dei lavori sull'area oggetto di intervento (quando ormai è stato definito con certezza il corridoio di dragaggio) e nelle sue immediate vicinanze (Fig. 1).

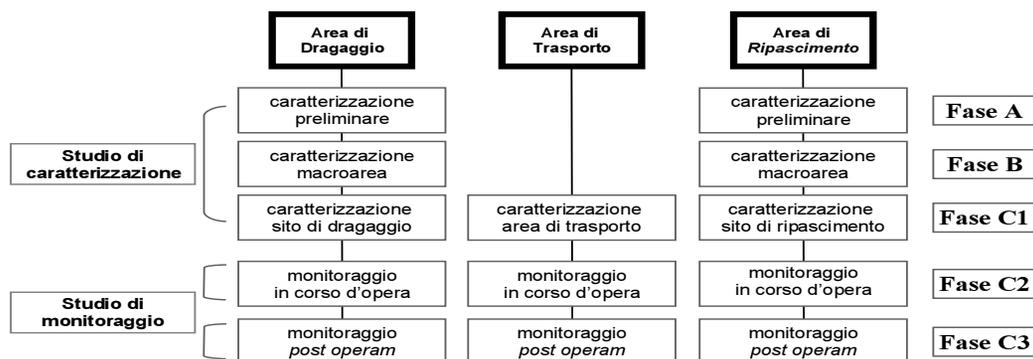


Figura 1 - Schema del protocollo di monitoraggio per lo studio degli aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento (da Nicoletti et al., 2006, modificato).

I parametri da indagare sono quelli riportati nel Decreto Ministeriale 24 gennaio 1996, integrati e corretti alla luce di quanto riportato dalla letteratura scientifica nazionale e internazionale e sulla base delle esperienze maturate dall'ICRAM nella conduzione diretta e nel coordinamento di attività sperimentali (APAT-ICRAM, 2006; Nicoletti et al., 2006). Tali parametri sono: morfologia e batimetria del fondo, caratteristiche fisico-chimiche dei sedimenti, idrologia e dinamica delle masse d'acqua, popolamento macrobentonico e popolamento ittico demersale.

### La caratterizzazione chimica

La caratterizzazione chimica dell'area di dragaggio è un punto chiave per il ripascimento mediante sabbie relitte; essa include lo studio della qualità dei sedimenti superficiali (sabbiosi e/o pelitici) che devono essere movimentati, al fine di valutare la loro compatibilità in relazione alle caratteristiche geologiche e geochemiche delle spiagge da ripascere.

I sedimenti sabbiosi, per le caratteristiche granulometriche (sedimento grossolano), geologiche (depositi relitti) e giaciture del deposito non presentano in genere fenomeni di contaminazione. In effetti, la copertura pelitica, quando presente, protegge le sabbie da possibili inquinanti.

Gli aspetti che devono quindi essere studiati sono principalmente quelli legati alla risospensione del sedimento superficiale, che in caso di sedimenti pelitici potrebbe avere effetti non trascurabili sull'ambiente, anche in considerazione della grande affinità di metalli e contaminanti in genere per le particelle fini.

Il Protocollo di Monitoraggio inizialmente proposto (Nicoletti et al., 2002; Paganelli et al., 2005) prevedeva che la caratterizzazione chimica dei sedimenti superficiali venisse condotta mediante la determinazione del contenuto totale di metalli e composti organici. A tal riguardo bisogna però sottolineare come i soli valori di abbondanza totale non permettano né di risalire alle singole specie chimiche, né di differenziare l'apporto di origine naturale da quello di origine antropica. Questo è particolarmente vero nel caso degli elementi in traccia, che possono essere presenti nei sedimenti marini anche in concentrazioni (totali) assai elevate ma riconducibili a condizioni naturali particolari, come l'affioramento nell'entroterra di specie minerali arricchite in determinati elementi chimici (pro-

vince geochimiche). In questo caso, per esempio, i valori di abbondanze totali, seppure elevati, non sono rappresentativi di una condizione di inquinamento. Inoltre se gli elementi in traccia sono presenti sotto forma difficilmente mobilizzabile, con le normali variazioni dei parametri chimico-fisici attese a seguito della movimentazione delle sabbie, il loro impatto ambientale risulta meno significativo.

Nell'ambito di un progetto di prelievo di sabbie relitte presenti al largo di Montalto di Castro (VT), da utilizzare per il ripascimento del litorale di Tarquinia (VT), l'ICRAM ha ritenuto necessario condurre indagini più approfondite, utilizzando metodiche analitiche in grado di discriminare la ripartizione di alcune specie chimiche nelle diverse fasi del sedimento. Inoltre, al fine di garantire la qualità della sabbia da destinare al ripascimento, è stato deciso di effettuare specifiche analisi chimiche anche sulle sabbie relitte. I valori di abbondanze totali ottenuti per le sabbie relitte sono stati infine valutati rispetto a quanto stabilito nel decreto 367/2003 e confrontati con i valori di concentrazione ottenuti dalle analisi chimiche condotte sui campioni provenienti dalla spiaggia da ripascere.

### Il caso delle sabbie relitte di Montalto di Castro (VT)

In questa area è nota dalla letteratura (Fase A del Protocollo di Monitoraggio, ICRAM, 2002) la presenza di anomalie geochimiche di alcuni elementi quali Hg, Pb ed alcuni elementi del gruppo del Fe, per l'influenza sia del sistema mercurifero del monte Amiata (Toscana), sia delle formazioni vulcaniche della serie K-alkalina (Fig. 2).

La caratterizzazione chimica dell'area di dragaggio (Fase B del Protocollo di Monitoraggio, Maggi et al., 2004) ha previsto, oltre alle indagini sui contaminanti organici, la determinazione del contenuto totale di metalli ed elementi in traccia (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn) mediante mineralizzazione con miscela di acidi forti a caldo, metodica US EPA 3052 e la successiva determinazione analitica con spettrometria di assorbimento atomico, su 36 campioni di sedimento superficiale (Fig. 3).

I risultati hanno confermato quanto riportato in letteratura, evidenziando anomalie di concentrazione per alcuni elementi (Ni, Pb, As, Hg e Cr), probabilmente non riferibili a fenomeni di contaminazione antropica, ma in accordo con le caratteristiche geochimiche dei bacini versanti.

La successiva caratterizzazione di dettaglio del sito di dragaggio (Fase C1 del Protocollo di Monitoraggio, ICRAM, 2004) ha focalizzato l'attenzione sull'area che sarebbe stata effettivamente dragata; sono state identificate 4 stazioni all'interno dell'area i cui sedimenti superficiali sono stati caratterizzati in base ai già citati parametri chimico-fisici (Fig. 4).

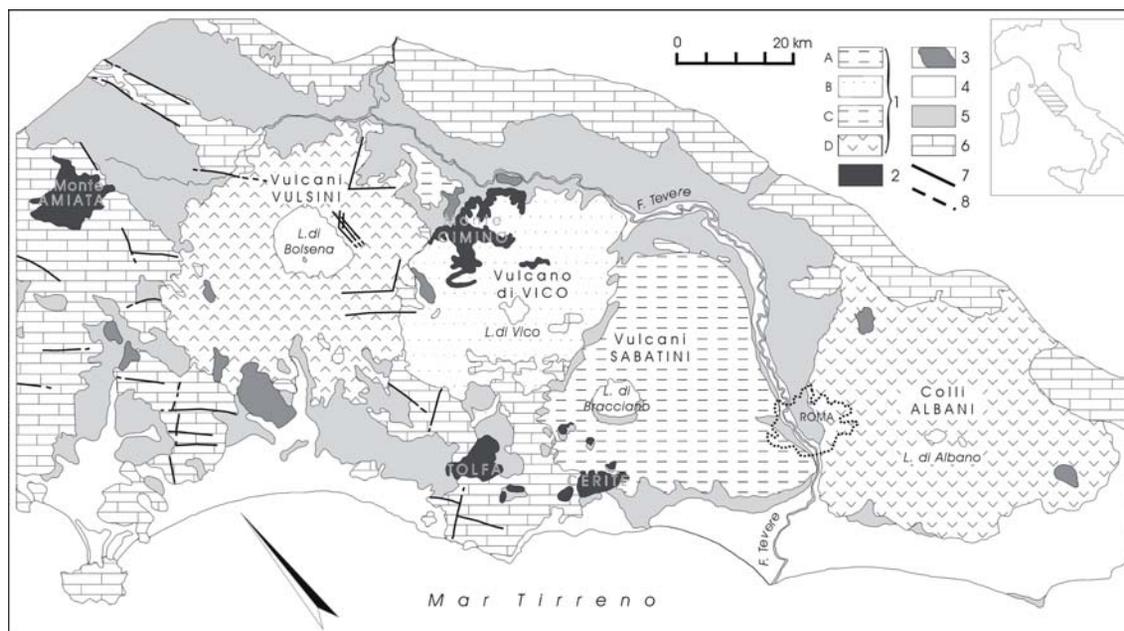


Figura 2 - Schema geologico del dominio vulcanico peritirrenico laziale. Legenda: 1) Vulcaniti alcalino potassiche (Quaternario) (a - Distretto Vulcanico dei Monti Vulsini; b - Distretto Vulcanico dei Monti Vicani; c - Distretto Vulcanico dei Monti Sabatini; d - Distretto Vulcanico dei Colli Albani); 2) Vulcaniti acide (Pliocene-Pleistocene); 3) Travertino; 4) Sedimenti continentali e costieri (Quaternario); 5) Sedimenti argillosi e sabbiosi (Miocene superiore-Pliocene-Pleistocene inferiore); 6) Successioni prevalentemente sedimentarie (Carbonifero-Miocene inferiore); 7) Faglie; 8) Faglie sepolte. (da Locardi et al., 1976, ridisegnato).

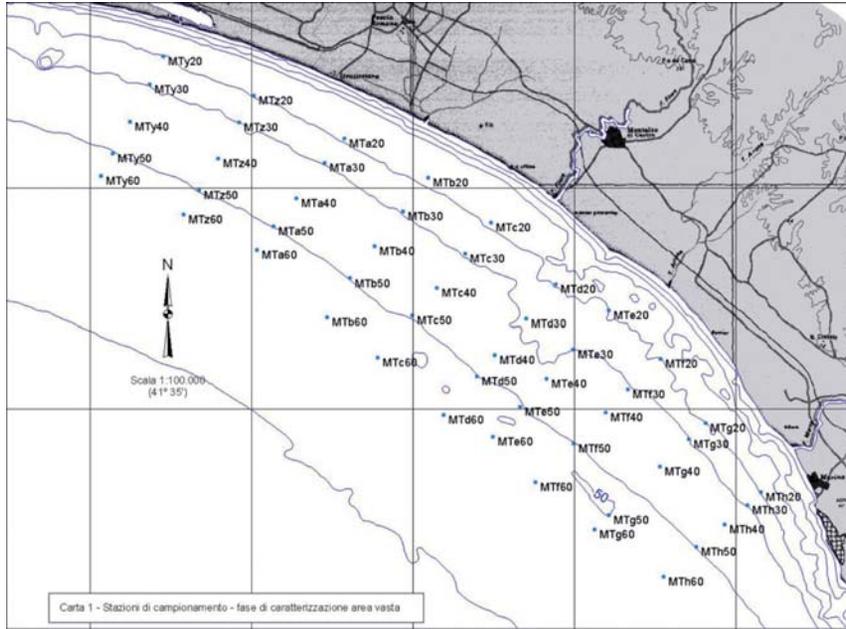


Figura 3 - Piano di campionamento per la caratterizzazione chimica dei sedimenti superficiali, Fase B.

E' importante sottolineare che i risultati ottenuti in questa fase sono quelli vincolanti per la movimentazione delle sabbie, ai sensi del D.M. 24 gennaio 1996. Nell'area di dettaglio non sono state individuate particolari anomalie di concentrazione, se non qualche valore relativamente più alto per As e Hg. Dal confronto con i valori riportati nel D.M. 367/2003 relativo alla fissazione di standard di qualità per i sedimenti marini, è emerso che As e Hg eccedevano il valore stabilito dal decreto. E' da ricordare che il D.M. 367/2003, sebbene non specifico per valutare la conformità di sedimenti di piattaforma, è tuttora l'unico riferimento legislativo nazionale per valutare la tutela dell'ecosistema marino.

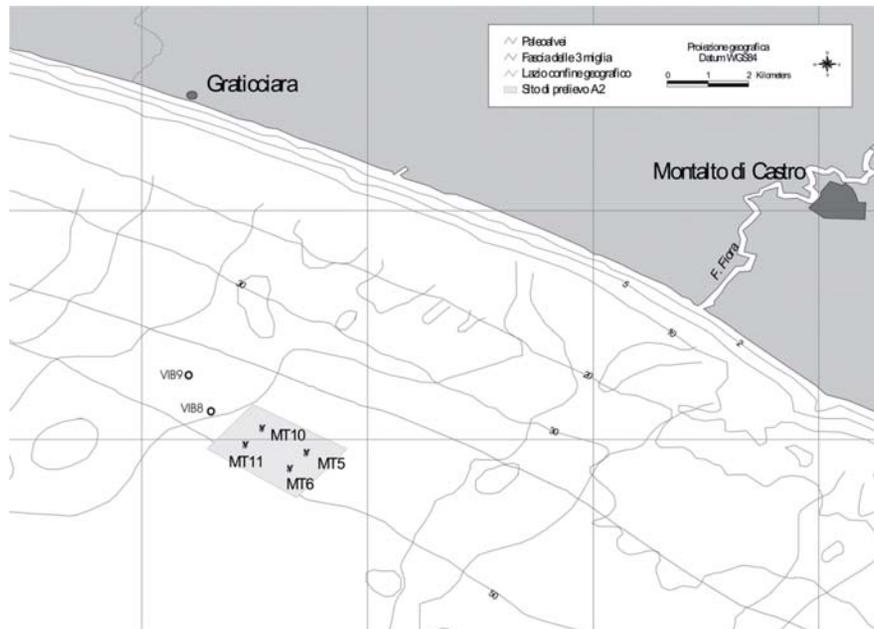


Figura 4 - Piano di campionamento seguito durante la Fase C1, con le 4 stazioni interne al poligono che individua l'area di dragaggio e la localizzazione delle carote prelevate nella successiva fase di approfondimento (VIB8 e VIB9).

In un precedente caso di studio, condotto dall'ICRAM (2001) lungo la piattaforma continentale laziale, al largo di Anzio (Roma), il Protocollo utilizzato, di fatto coincidente con quello seguito per il dragaggio delle sabbie relitte di Montalto di Castro (VT) e sin qui riportato, era risultato idoneo e sufficiente a descrivere le caratteristiche ambientali dell'area studiata, relativamente agli spetti chimici, senza bisogno di ulteriori specifiche indagini.

Per Montalto di Castro, considerata anche la tossicità di As e Hg, la cui concentrazione eccedeva il limite riportato nel D.M. 367/03, si è deciso di integrare il Protocollo di Monitoraggio, con indagini più approfondite, su 2 carote interne al deposito, subcampionate in 4 intervalli (Tab. 1).

Tali indagini avevano lo scopo di studiare, nei sedimenti della copertura pelitica, la ripartizione di Hg e As fra le frazioni a diversa mobilità. A tal fine è stata effettuata una sequenza di estrazioni con solventi a potere estraente crescente (Tessier et al., 1979; Maggi et al., 2006), condotta solo su campioni di sedimento superficiale, provenienti dai carotaggi, con una percentuale rilevante di frazione fine. L'estrazione sequenziale permette, infatti, di distinguere le frazioni più mobili di metallo da quelle residue insolubili.

**Tabella 1 - Livelli di sedimento campionato nelle due carote VIB8 e VIB9.**

Carota VIB8		Carota VIB9	
Campione	Profondità (m)	Campione	Profondità (m)
VIB8(0.5m)	0.5	VIB9(0.7 m)	0.7
VIB8(0.9 m)	0.9	VIB9(1.5 m)	1.5
VIB8(1.5 m)	1.5	VIB9(2.0 m)	2
VIB8(1.9 m)	1.9	VIB9(3.7 m)	3.7

Allo stesso tempo è stata valutata la compatibilità chimica tra i sedimenti provenienti dall'area di prelievo e quelli dell'arenile oggetto di ripascimento, confrontando le abbondanze totali rinvenute nei campioni di sabbie relitte (campioni profondi delle carote) e quelle rinvenute nei campioni di sabbia provenienti dal litorale di Tarquinia. I campioni di sedimento superficiale, VIB8(0.5 m) e VIB9(0.7 m), presentavano un contenuto totale di Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Hg, Cd, As e Zn coerente con i valori riportati in letteratura per la piattaforma laziale (Branca et al., 1996; Cosma et al., 1994; Leoni et al., 1991, 1993; Niccolai et al., 1993); in particolare il tenore di Hg risultava, ad eccezione del campione VIB8 (0.5 m), sempre inferiore al valore di 0,3mg/kg, fissato come standard di qualità ambientale del D.M. 367/2003, mentre il tenore di As superava il valore di 12 mg/kg, fissato nel suddetto decreto, anche in alcuni campioni di sabbia.

Studiando il contenuto di metallo lungo le due carote di sedimento si è osservato che il sedimento superficiale, in cui era presente una quantità maggiore di pelite, risultava caratterizzato da valori più elevati rispetto a quelli rilevati nei campioni più profondi (Tab. 2); in particolare, il campione VIB8(0.5), in cui era presente la frazione pelitica prevalentemente argillosa, presentava tenori più elevati rispetto al campione VIB9(0.7 m).

**Tabella 2 - Percentuale di pelite e abbondanze totali di metalli pesanti (mg/kg s.s.) nei campioni delle carote.**

Campioni	Pelite (%)	Hg	Cd	Cr	Cu	Fe (%)	Mn	As	Ni	Pb	Zn
VIB8 (0.5 m)	57,20	0,4990	0,1142	43,06	20,32	4,1646	566,18	58,30	23,37	23,91	62,89
VIB8 (0.9 m)	0,00	0,0436	0,0407	11,06	3,38	1,3989	408,52	8,27	7,22	4,73	16,66
VIB8 (1.5 m)	0,00	0,0497	0,1852	9,92	4,08	2,7115	580,03	5,34	9,86	4,49	43,33
VIB8 (1.9 m)	0,00	0,0426	0,0416	8,99	4,44	2,2022	441,69	20,31	7,51	4,59	25,26
VIB9 (0.7 m)	21,50	0,1716	0,0586	27,28	9,83	4,2738	658,35	34,11	16,21	11,30	52,24
VIB9 (1.5 m)	0,00	0,0452	0,0458	7,34	4,34	4,3504	600,12	4,72	8,15	5,41	29,51
VIB9 (2.0 m)	0,00	0,0318	0,0483	10,35	2,94	3,0966	514,08	18,05	7,86	3,59	32,09
VIB9 (3.7 m)	9.50	0,0811	0,0490	22,53	5,53	3,6942	659,17	18,88	10,68	5,15	41,16

Le estrazioni sequenziali effettuate sui campioni superficiali hanno evidenziato che nel campione VIB8(0.5) (Fig. 5) più del 50% del contenuto totale di Hg si trovava nella frazione residua e insolubile (anche la frazione estratta con acido nitrico rappresenta forme chimiche decisamente poco mobili).

Per quanto riguarda l'As (Fig. 6) nel campione VIB8(0.5) il 50 % del metallo risultava sottoforma di residuo insolubile, tenendo presente che l'aliquota di metallo estratta con acido nitrico raggiungeva il 14% nel campione VIB8(0.5 m) e il 23% nel campione VIB9 (0.7 m).

Per quanto riguarda i risultati relativi alla determinazione delle abbondanze totali sulle sabbie relitte (campioni profondi delle carote), tutti i campioni analizzati presentavano valori analoghi a quelli riportati in letteratura per la piattaforma laziale e, ad eccezione dell'As, sempre al di sotto degli standard di qualità ambientale fissati nel D.M. 367/2003.

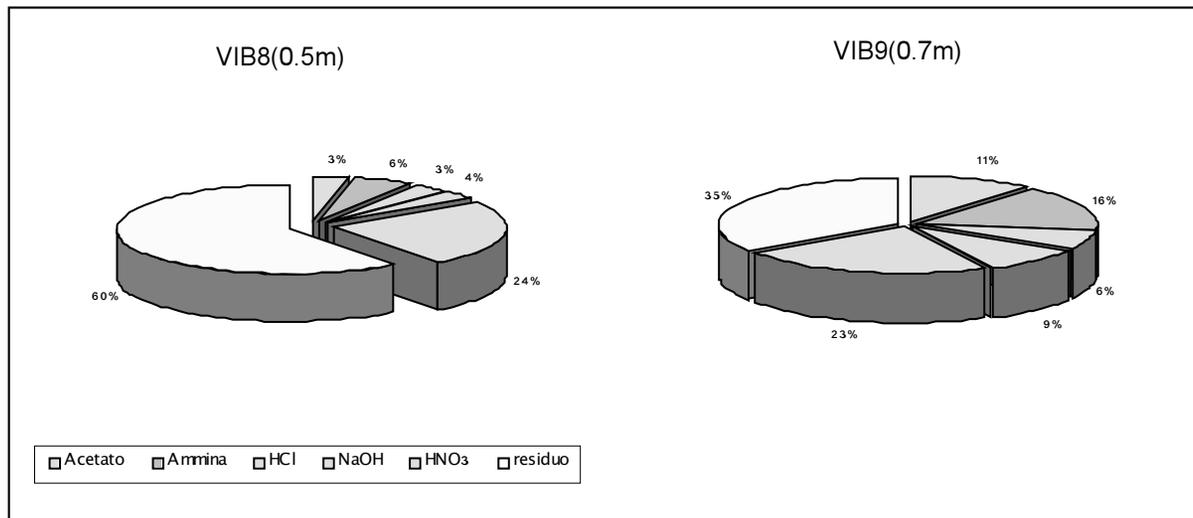


Figura 5 - Ripartizione percentuale delle singole fasi per il Hg nei due campioni di sedimento superficiale.

D'altra parte come messo in evidenza da precedenti studi specifici sulla piattaforma continentale del Tirreno centrale la concentrazione di As presenta un range naturale piuttosto ampio con massimi fino a 80 mg/kg s.s. (ICRAM, 2002).

Una situazione analoga è stata rilevata anche nei sedimenti di spiaggia (Tab. 3) in cui, ad eccezione dell'As, tutti gli altri metalli esaminati presentavano valori di concentrazione bassi e sempre inferiori agli standard di qualità ambientali riportati nel Decreto 367/2003.

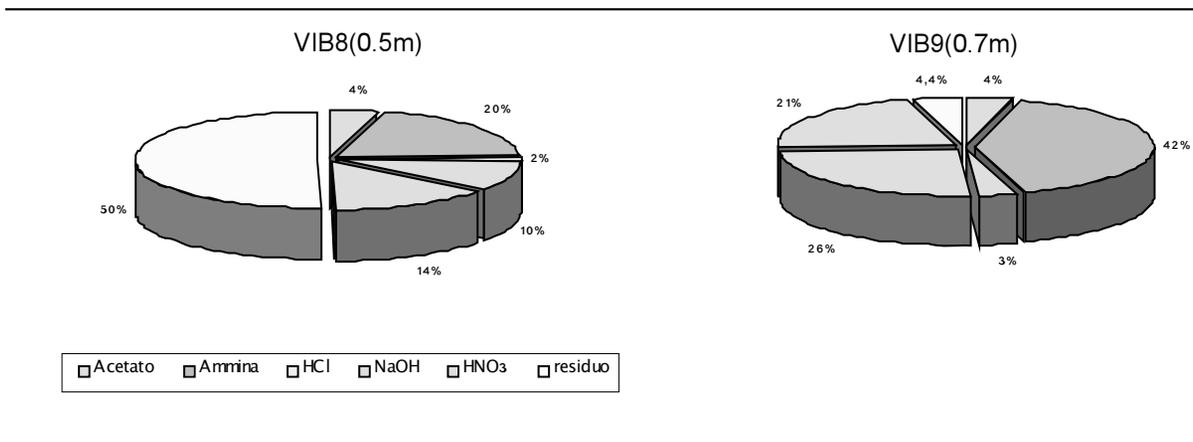


Figura 6 - Ripartizione percentuale delle singole fasi per l'As nei due campioni di sedimento superficiale.

Anche il Hg è risultato presente in concentrazione molto bassa, probabilmente a seguito del comportamento geochimico proprio di questo metallo che predilige le frazioni più sottili di sedimento (Barghigiani et al., 1996). Del resto già Anselmi et al., (1976), aveva osservato l'assenza del minerale cinabro, il maggior responsabile delle elevate concentrazioni di mercurio nella zona, dalle spiagge del Lazio settentrionale, sebbene nella stessa area ne fosse stata accertata la presenza nei sedimenti di piattaforma.

Con queste indagini specifiche è stato possibile osservare che le concentrazioni più elevate rispetto ai valori fissati nel D.M. 367/2003 riscontrate nei campioni superficiali provenienti dai 2 carotaggi, oltre ad essere in accordo con le caratteristiche granulometriche del sedimento, non destavano preoccupazione in quanto il metallo risultava "bloccato" per più del 50% sottoforma non mobile. Inoltre, le caratteristiche chimico-fisiche dei sedimenti appartenenti al deposito sabbioso che si intendeva coltivare erano compatibili con quelle riscontrate nei sedimenti attualmente presenti sulla spiaggia da ripascere.

**Tabella 3 - Abbondanze totali (mg/kg s.s.) nei campioni di sabbia prelevati sulla spiaggia da ripascere (Tarquinia, VT). Fra parentesi è indicata la profondità di prelievo del campione.**

Campione	Hg	Cd	Cr	Cu	Fe (%)	Mn	As	Ni	Pb	Zn
TAR 10 ( 0 m )	0,0642	0,0677	10,79	22,09	1,1698	488,05	16,00	10,72	6,40	52,67
TAR 10 ( 0.5 m )	0,0917	0,0744	15,80	22,37	2,0925	633,08	18,61	11,90	3,54	45,48
TAR 10 ( 1 m )	0,1074	0,0827	21,87	22,47	3,3963	849,48	17,73	14,17	10,92	62,35
TAR 14 ( 0 m )	0,1920	0,0804	14,92	22,05	1,5506	615,06	23,40	11,48	7,22	40,15
TAR 14 ( 0.5 m )	0,0852	0,0672	16,68	22,21	2,3904	706,51	24,83	12,05	5,44	47,56
TAR 14 ( 1 m )	0,0540	0,0739	11,71	22,04	1,4249	552,66	17,16	12,95	5,34	114,13
TAR 18 ( 0 m )	0,0674	0,0662	11,57	22,39	1,3077	491,93	17,26	8,79	7,69	37,81
TAR 18 ( 0.5 m )	0,1231	0,0766	16,43	22,35	1,7852	694,05	21,78	11,23	8,40	42,60
TAR 18 ( 1 m )	0,0957	0,0898	17,84	22,18	2,4007	741,09	23,00	11,18	6,32	48,13
TAR 22 ( 0 m )	0,0540	0,0857	13,72	22,08	1,2725	544,12	18,35	11,21	7,34	30,88
TAR 22 ( 0.5 m )	0,0503	0,0807	12,50	22,27	1,9048	1033,88	37,60	12,21	11,32	40,03
TAR 22 ( 1 m )	0,0475	0,1162	15,77	22,48	2,0708	917,41	29,17	14,14	13,75	56,71
TAR 26 ( 0 m )	0,0673	0,0707	11,55	21,98	2,0067	671,13	24,60	12,51	25,76	60,35
TAR 26 ( 0.5 m )	0,0377	0,0554	10,61	22,46	1,3502	510,89	18,62	11,57	8,68	30,01
TAR 26 ( 1 m )	0,0833	0,0456	10,65	22,31	1,3668	518,24	19,95	9,50	6,12	33,20

## Conclusioni

La procedura di estrazioni sequenziali impiegata ha permesso di studiare la mobilità dei metalli presenti nella coltre pelitica superficiale e di ottenere informazioni ulteriori per valutare la qualità dei sedimenti marini. Tale problema è stato particolarmente rilevante in un'area come quella in esame, interessata da arricchimenti significativi di alcuni elementi, ragionevolmente riconducibili alla presenza di sedimenti derivanti dallo smantellamento di rocce di origine vulcanica, come nel caso del Hg e dell'As.

Alla luce dei risultati ottenuti, il dragaggio delle sabbie relitte appartenenti al giacimento individuato al largo di Montalto di Castro (VT) e il loro utilizzo per il ripascimento della spiaggia di Tarquinia (VT) sono stati dichiarati ambientalmente compatibili. Le Amministrazioni hanno quindi potuto procedere all'esecuzione delle attività di dragaggio e di ripascimento, condotte tra la primavera e l'estate del 2004.

Il caso di studio presentato in questo lavoro ha portato, inoltre, alla modifica del protocollo di monitoraggio originario (Nicoletti et al., 2002; Paganelli et al., 2005).

In base ai risultati emergenti dalla caratterizzazione chimica della macroarea si possono aprire due percorsi metodologici differenti (Nicoletti et al., 2006):

- 1) i risultati della Fase B non evidenziano condizioni anomale di arricchimento nei sedimenti superficiali: nella fase di caratterizzazione dell'area di dragaggio (C1) è prevista la caratterizzazione chimica del solo sedimento superficiale mediante determinazione del contenuto totale;
- 2) nella Fase B le analisi chimiche individuano un arricchimento in alcuni elementi, la cui origine non può essere con certezza attribuita a condizioni naturali: la caratterizzazione dell'area di dragaggio (C1) dovrà essere articolata in una serie di indagini specifiche:
  - ? caratterizzazione chimica dei sedimenti del deposito sabbioso mediante determinazione del contenuto totale;
  - ? identificazione delle frazioni a diversa mobilità per gli elementi in traccia presenti nel sedimento superficiale pelitico dell'area di dragaggio, mediante estrazione sequenziale;
  - ? eventuale caratterizzazione chimica dei sedimenti di spiaggia mediante determinazione del contenuto totale per valutare la compatibilità chimica dei sedimenti del deposito sabbioso e della spiaggia da ripascere.

## Note

- <sup>1)</sup> Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. "Norme in materia ambientale"
- <sup>2)</sup> Nel caso in cui vengano impiegati per il ripascimento materiali provenienti dall'escavo di fondali marini, la Regione, all'avvio dell'istruttoria per il rilascio dell'autorizzazione, deve acquisire il parere della Commissione Consultiva della Pesca ed informarne il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.
- <sup>3)</sup> Tali interventi rientrano, infatti, nell'elenco delle tipologie progettuali dell'Allegato II della Dir. 85/377/CEE, in quanto interventi assimilabili a: "opere costiere destinate a combattere l'erosione e lavori marittimi volti a modificare la costa mediante la costruzione, per esempio, di dighe, moli, gettate ed altri lavori di difesa del mare, esclusa la manutenzione e la ricostruzione di tali opere" e all' "estrazione di minerali mediante dragaggio marino o fluviale".
- <sup>4)</sup> Decreto 6 novembre 2003, n. 367 "Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose, ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152".

## Ringraziamenti

Le attività che hanno portato alla formulazione del Protocollo di Monitoraggio sono state condotte principalmente grazie ai finanziamenti della Regione Lazio, Assessorato Ambiente e Cooperazione fra i Popoli.

## Bibliografia

- Anselmi B., Brondi A., Ferretti O. e Rabottino L. (1976) - *Studio mineralogico e sedimentologico della costa compresa fra Ansedonia e la foce del fiume Mignone*. Rendiconti, vol. XXXII (1): 311-348.
- APAT-ICRAM (2006) - *Manuale per la movimentazione di sedimenti marini*. Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, 67 pp.
- Barghigiani C., Ristori T. e Lopez Arenas J. (1996) - *Mercury in marine sediment from a contaminated area of the northern Tyrrhenian Sea: <20 mm grain-size fraction and total sample analysis*. The Science of the Total Environment, 192: 63-73.
- Branca M.E., Calderoni G. e Petrone V. (1996) - *Geochimica dei sedimenti*. In: Il Mare del Lazio, Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Regione Lazio, Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità: 109-135.
- Cosma B., Drago M., Piccazzo M. e Tucci S. (1994) - *Heavy metal in high Tyrrhenian Sea sediments: distribution of Cr, Cu, Ni, and Mn in superficial sediments*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat, 87: 145-161.
- Hitchcock D.R., Newell R.C. e Seiderer L.J. (1998) - *Investigation of Benthic and Surface Plumes associated with Marine Aggregate Mining in the United Kingdom – Final Report*. Contract Report for the U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service. Contract Number 14-35-0001-30763. Coastline Surveys Ltd Ref. 98-555-03 (Final).
- ICRAM (2001) - *Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: SITO ANZIO AZ, Fase di caratterizzazione-C1*. ICRAM per la Regione Lazio.
- ICRAM (2002) - *Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Fase A – Caratterizzazione della piattaforma continentale laziale (Sintesi dei dati di letteratura scientifica e tecnica esistenti)*. ICRAM per la Regione Lazio.
- ICRAM (2004) - *Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo*

- la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Montalto di Castro – Sito A2. Fase C1 - Caratterizzazione del sito.* ICRAM per la Regione Lazio.
- Kim E.H., Mason R.P., Porter E.T. e Soulen H.L. (2004) - *The effect of resuspension on the fate of total mercury and methyl mercury in a shallow estuarine ecosystem: a mesocosm study.* Marine Chemistry, 86: 121-137.
- Leoni L., Sartori F., Damiani V., Ferretti O. e Viel, D. (1991) - *Trace element distributions in superficial sediments of the Northern Tyrrhenian Sea: contribution to heavy-metal pollution assessment.* Environ. Geol. Water Sci., 17: 103-116.
- Leoni L., Sartori F. e Niccolai I. (1993) - *Metalli pesanti nei sedimenti attuali della piattaforma costiera toscana.* Atti Soc. Tosc. Sci. Nat, CII: 23-60.
- Locardi E. Funicello R., Lombardi G. e Parotto M. (1976) - *The main volcanic groups of Latium (Italy): relations between structural evolution and petrogenesis.* In: International Colloquium of Planetary Geology. Roma, September 22-30, 1975. Proceedings. Geologica Rom., 15: 279-300.
- Maggi C., Nonnis O., Paganelli D. e Gabellini M. (2004) - *Heavy metals in the latium continental shelf (Italy).* “Governare la Complessità con la Complessità”. VIII Congresso Nazionale di Chimica dell’Ambiente e dei Beni Culturali, Colle Val d’Elsa (Siena), 8-11 giugno 2004.
- Maggi C., Bianchi J., Dattolo M., Mariotti S., Cozzolino A. e Gabellini M. (2006) - *Fractionation studies and bioaccumulation of cadmium, mercury and lead in two harbour areas.* Chemical Speciation & Bioavailability, 18 (3): 95-103.
- Newell R.C., Seiderer L.J. e Hitchcock D.R. (1998) - *The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed.* Oceanography and Marine Biology: an Annual Review. 36: 127-178.
- Nicoletti L., Paganelli D. e Gabellini M. (2006) - *Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: proposta di un protocollo di monitoraggio.* Quaderno ICRAM n. 5: 159 pp.
- Nicoletti L., La Valle P., Paganelli D. e Gabellini M. (2002) - *Il ripascimento mediante sabbie relitte: studi di compatibilità ambientale nell’esperienza laziale.* Atti del congresso Processi erosivi delle coste. Fenomeni di sedimentazione e trasporto: prevenzione e risanamento. Vieste, 30 novembre 2002: 48-53.
- Niccolai I., Ferretti O. e Manfredi Frattarelli F.M. (1993) - *Distribuzione degli elementi traccia nei sedimenti superficiali tra l’Isola d’Elba e l’Argentario, Arcipelago Toscano, Studio oceanografico, sedimentologico, geo-chimico e biologico.* Enea Area Energia Ambiente e Salute, S. Teresa (La Spezia): 185-195.
- Paganelli D., La Valle P., Maggi C., Nicoletti L., Nonnis O. e Gabellini M. (2005) - *Il ripascimento della spiaggia di Roma (Ostia): Studio di compatibilità ambientale per lo sfruttamento dei depositi sabbiosi sommersi.* Atti dei Convegni Lincei “Ecosistema Roma”, Roma 14-6 Aprile 2004, volume 218, Bardi Editore (2005).
- Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M. (1979) - *Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals.* Anal. Chem., 51: 844-851.

**Ricevuto il 27/06/2007, accettato il 03/09/2007.**