

# L'interrimento degli invasi artificiali

## un problema, una risorsa

**D**alla fine degli anni '50 in Europa e nel mondo si è verificato un grosso incremento della costruzione delle dighe, con picchi negli anni '60 e '70 (Figura 1) in conseguenza dell'incremento dell'utilizzo idroelettrico agricolo ed industriale dell'acqua. Ai benefici legati alla costruzione dei grandi serbatoi si è sempre accompagnato, tuttavia, il problema della cosiddetta "insidia solida". Gli effetti di tale problema si manifestano con la progressiva perdita di capacità degli invasi che, in alcuni casi, può portare al loro totale interrimento. Le difficoltà tecniche di individuare siti idonei unitamente all'aumento delle esigenze di tutela ambientale, rende sempre più difficile la realizzazione di nuovi invasi. Si rendono pertanto necessario gestire le strutture esistenti attraverso un approccio integrato che permetta sia il ripristino e/o il mantenimento della capacità idrica a cui si accompagna la gestione di ingenti quantitativi di materiale solido da asportare dal fondo degli invasi.

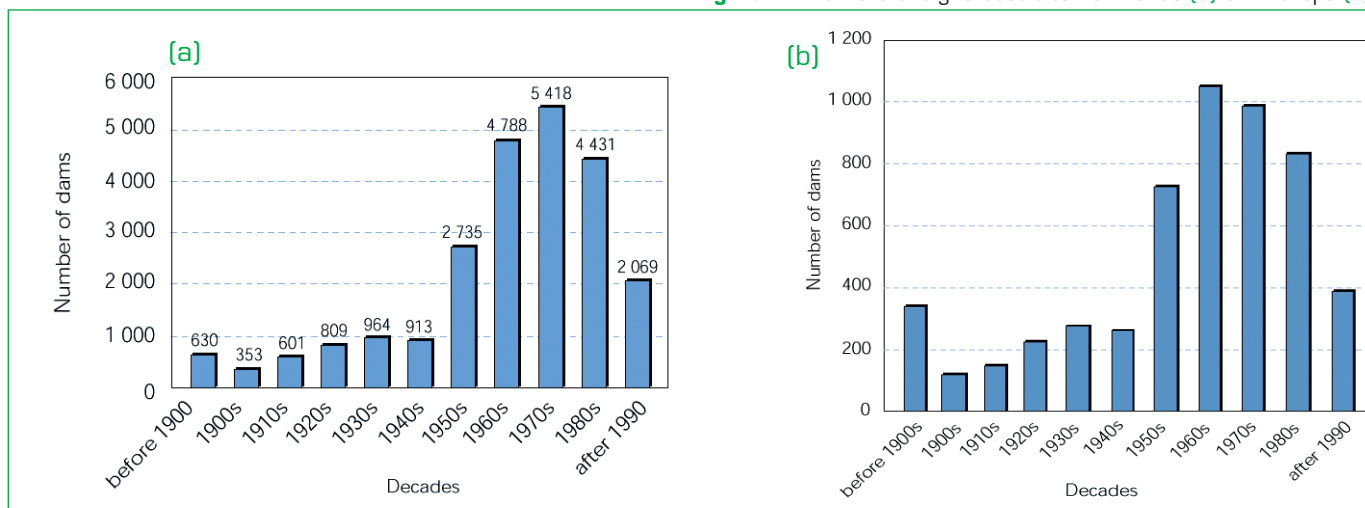
Bruno Molino\*  
Gianfranco Albergo\*\*

Nell'ambito della pianificazione dei bacini idrografici e gestione degli invasi rivestono grande importanza i processi di interrimento, il controllo, il recupero di capacità, l'utilizzo dei sedimenti e la tutela della qualità delle acque. Una gestione economica è connessa all'utilizzo produttivo del materiale rimosso in considerazione anche dei volumi considerevoli in gioco. In quest'ottica, una gestione integrata, attraverso una concertazione con tutti gli attori coinvolti, può portare all'individuazione di soluzioni tecnicamente ed economicamente sostenibili

\*Prof., DIPARTIMENTO SAVA – UNIV. DEL MOLISE

\*\*Ing., IMPRESA SARTI SPA

**Figura 1** - Numero di dighe costruite nel mondo (a) e in Europa (b)



## Il progetto di gestione

L'art. 114 del D.lgs. 152/06 e smi [1] prevede (comma 2) il ricorso ad un Progetto di Gestione per la definizione, tra l'altro delle eventuali attività di rimozione del materiale sedimentato. Il successivo comma 8 richiama il DM 30/06/2004 [2] che reca i criteri per la definizione del progetto di gestione fornendo, tra l'altro, indicazioni sia sulla caratterizzazione quali-quantitativa del materiale sia sulla rimozione e successivo destino del sedimento rimosso. Il progetto di gestione [4] prevede la definizione e l'esecuzione di una serie di funzioni sinteticamente riassunte nel quadro sinottico di Figura 2.

In particolare, le funzioni che concorrono a definire il progetto di gestione, sono di seguito riassunte:

- monitoraggio batimetrico-stratigrafico: concorre alla definizione dei volumi di sedimenti accumulatisi sia in termini assoluti (spessore) sia in termini relativi (tasso annuo di interrimento) nonché alla loro distribuzione spazio-temporale;
- caratterizzazione dei sedimenti: finalizza-

zata sia alla caratterizzazione chimico-fisica sia all'individuazione di un eventuale stato di alterazione (contaminazione) con la finalità di poter definire un possibile uso dei sedimenti [3];

- analisi idrologico-gestionale: consente di raffrontare i volumi affluiti all'invaso con quelli da destinare alle utenze, determinando il rischio conseguente al soddisfacimento delle richieste idriche [4]. La stima di tale rischio permette di decidere in merito alle operazioni di sfangamento e/o ripristino;
- gestione del sedimento: comprende le fasi di rimozione, stoccaggio, trasporto e possibile utilizzo del materiale;
- stima della torbidità: finalizzato alla determinazione della torbidità (concentrazione di solidi sospesi) nel corso d'acqua prima e dopo la realizzazione dello sbarramento;
- tutela dell'ecosistema vallivo: comprendente l'analisi degli effetti della realizzazione di uno sbarramento in un corso d'acqua e di tutte le opere di gestione idrica e dei sedimenti sull'ecosistema vallivo.

La scelta del mantenimento della capacità di vaso ovvero al solo parziale o totale ripristino è strettamente connessa ai risul-

tati del Progetto di Gestione nonché ad aspetti tecnici ed economici.

Sugli aspetti economici gioca un ruolo determinante l'individuazione del destino finale del materiale dragato a cui è subordinata la scelta del sito di stoccaggio e quindi lo smaltimento. Uno degli aspetti cruciali della gestione dei sedimenti lacuali è infatti legata alla collocazione spazio-temporale del materiale rimosso.

Premessa la non contaminazione dei sedimenti, in ottemperanza al Titolo V della Parte IV del D.lgs. 152/06 e smi [1], un mero conferimento in discarica di tali materiali non può che determinare una inerzia alla loro rimozione, in relazione agli elevati costi di smaltimento cui si aggiungono le difficoltà nel reperire discariche per materiali spesso indesiderati.

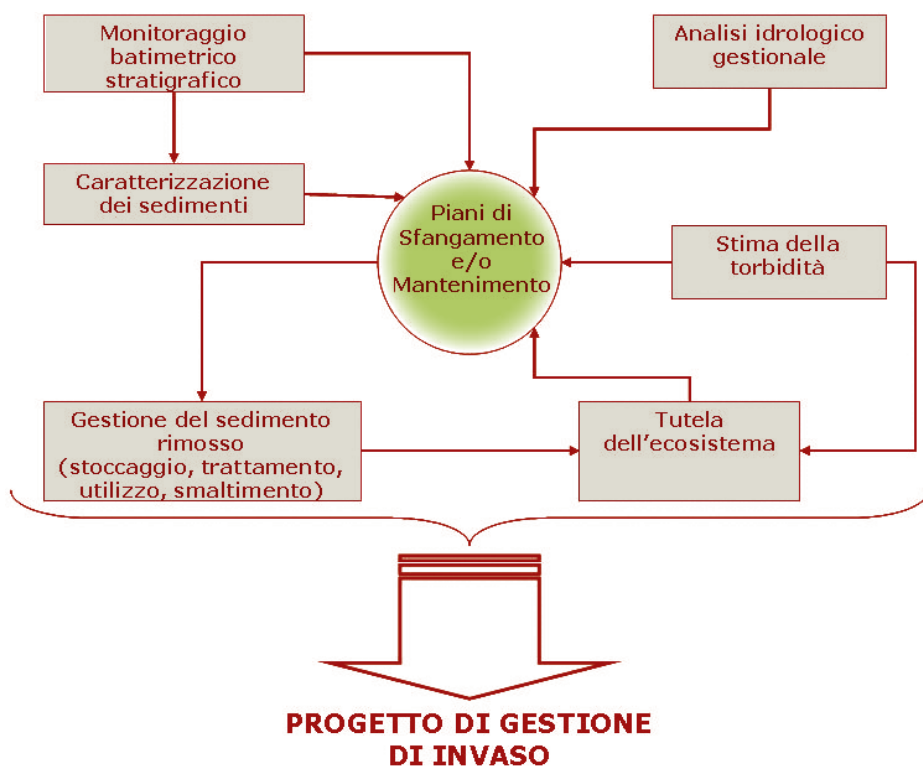
Affinché quindi l'interrimento di un vaso non continui ad essere considerato solo come un problema ma anche una risorsa è necessario pervenire ad una soluzione concordata con tutti gli attori potenzialmente coinvolti, riconoscendo, nel riuso del materiale dragato, l'unica alternativa per una gestione sostenibile dei sedimenti. Ciò è in accordo con la Direttiva 2006/12/CEE e con la Risoluzione del Parlamento Europeo del 13/2/2007 per una maggiore politica del recupero degli stati membri della Comunità Europea.

## Stoccaggio del materiale rimosso

Nell'ottica di svincolare i sedimenti di dragaggio dalla definizione di rifiuto (art. 183 e ss. del D.lgs. 152/06 e smi) e avviarli quindi al riutilizzo, è indispensabile individuare sul territorio un idoneo luogo di stoccaggio, in vista sia di un indirizzamento diretto verso il destino finale sia di un possibile, ove necessario, trattamento del materiale. Recenti esperienze sono state condotte da imprese del settore relativamente, ad esempio, alla separazione granulometrica di sedimento lacuale dragato [5].

La scelta della tecnica di rimozione è fortemente influenzata dalla possibilità di definire il sito di stoccaggio e dai volumi di sedimento in gioco. In particolare, l'im-

Figura 2 - Quadro sinottico



piego di draghe aspiranti-refluenti determina la mobilitazione di una miscela acqua-sedimenti con concentrazione di sedimenti variabile dal 10 al 20% in relazione alla granulometria degli stessi. Ciò determina il trasferimento di grossi volumi di acqua che possono seguire tre possibili destini:

- reimmissione nel corso d'acqua a valle dello sbarramento secondo le specifiche di legge (Allegato 5 Parte III D.lgs. 152/06 e smi);
- reimmissione nel lago specie per invasi ad uso idroelettrico;
- possibilità di trasferimento verso utenze agricole, industriali o potabili.

A questi ultimi due aspetti è legata la possibilità di sfruttare l'energia di posizione fornita all'acqua in seguito al trasferimento per idrosuzione verso siti di stoccaggio a quota maggiore sia del lago sia dell'utenza da servire.

## Il sedimento come risorsa

La possibilità di considerare il materiale dragato non già come un semplice rifiuto ma come una risorsa [4]; [6] con un preciso valore commerciale, permette, come già detto, di assegnare al sedimento un destino diverso dal solo conferimento in discarica.

L'art. 3 del DM 30/06/2004 [2], comma 3 lettera d), prevede la definizione delle modalità di dislocazione, smaltimento o altra riutilizzazione del materiale rimosso, in relazione alle sue caratteristiche qualitative prevedendo la possibilità di riutilizzo "...in relazione alle sue caratteristiche di qualità, ... per colmate, per l'ammendamento di terreni agricoli, ... per riprofilare porzioni della morfometria dell'alveo fluviale in relazione alle specifiche caratteristiche della zona d'alveo interessata...".

Studi recenti ed ancora in atto mostrano la possibilità di utilizzo dei sedimenti in diversi settori fornendo anche indicazioni relative alle indagini specifiche da effettuare sui sedimenti al fine di individuare i diversi possibili usi.

Le opzioni di impiego del sedimento dragato possono essere molteplici, in consi-

derazione del fatto che tale materiale può avere un suo specifico valore commerciale. Il mercato americano, ad esempio, attribuisce alla miscela solida chiamata "manufactured soil" (miscela ottenuta impastando sedimenti dragati con ammendanti) un valore variabile da 3 \$/m<sup>3</sup> per l'impiego in tombamento di discariche a 132 \$/m<sup>3</sup> per l'impiego per giardini [6]. Pertanto, l'ipotesi di commercializzazione del sedimento dragato può essere indubbiamente perseguita, a patto che il materiale sia stato opportunamente caratterizzato per l'uso specifico e che si crei un circuito di aziende in grado di adoperarlo.

## Utilizzo industriale

Sperimentazioni effettuate in Germania e Olanda su sedimenti di canali e porti, hanno permesso di impiegare la frazione più fine per la produzione di granulati leggeri (densità di 0,6-1,2 t/m<sup>3</sup>). Inoltre, giacché la produzione avviene in forni rotanti con temperature di circa 1200°C ne risulta un effetto di inertizzazione termica di eventuali inquinanti metallici e una volatilizzazione di inquinanti idrocarburici. Sempre in Germania, dal 1996 l'argilla dragata è utilizzata per la produzione di mattoni prevalentemente utilizzati nell'edilizia industriale e commerciale [6].

Prendendo spunto dalle attività di utilizzo in Europa dei sedimenti dragati, alla fine degli anni '90 sono stati effettuati campionamenti di sedimenti dall'invaso del Camastra in Basilicata, su cui sono state condotte alcune indagini sulla possibilità di un loro utilizzo per la produzione del cemento Portland, in sostituzione dell'argilla commerciale [7]; [8]; [9].

La sperimentazione effettuata si è basata su prove di cuocibilità effettuate su tre provini: il primo ottenuto dalla miscela di calcare e argilla commerciale ed i restanti due ottenuti miscelando calcare con i sedimenti raccolti dall'invaso.

La cuocibilità si esprime attraverso l'indice B.I. (Burnability Index): un basso valore di tale indice rappresenta una buona risposta del prodotto. In Tabella 1 è riportata la composizione dei tre provini sottoposti a prova di cuocibilità.

I risultati del test di cuocibilità (Tabella 2)

condotto sui tre provini mostrano come i provini preparati con sedimenti del Camastra (Provino 2 e 3) risultino idonei a sostituire l'argilla commerciale giacché determinano un B.I. sensibilmente più basso di quello del provino 1 evitando, inoltre, l'utilizzo di scaglie di laminazione.

**Tabella 1** - Composizione dei provini sottoposti a prova di cuocibilità

PROVINO	COMPOSIZIONE
Provino 1	72% di calcare 27,35% di argilla commerciale 0,65% di scaglie di laminazione
Provino 2	72% di calcare 28% di sedimento argilloso dell'invaso
Provino 3	72% di calcare 28% di sedimento argilloso dell'invaso

**Tabella 2** - Risultati test di cuocibilità

PROVINO	B.I.
Provino 1	62,44
Provino 2	29,91
Provino 3	29,58

## Utilizzo in agricoltura

Tra le possibilità di utilizzo dei sedimenti lacuali consigliate dal DM 30/6/2004 [2] vi è l'ammendamento agricolo. Per ammendante agricolo si intende un materiale da aggiungere al suolo in situ, principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche e/o chimiche e/o l'attività biologica, come definito dal D.lgs. 217/2006 [10].

La possibilità di utilizzo in agricoltura è subordinata ad una idonea caratterizzazione del sedimento dragato secondo le specifiche riportate dal D. lgs. 99/92 [11], nonché alla verifica della compatibilità dei suoli presenti sul territorio circostante ad ospitare il materiale solido dragato. Una sperimentazione in merito è stata condotta presso l'Università degli Studi della Basilicata ipotizzando l'impiego dei sedimenti limo-argillosi dell'invaso del Camastra in Basilicata in agricoltura [12]. I sedimenti (Tabella 3) presentano valori di sostanza organica totale elevati, legati alla presenza di abbondanti residui colturali (residui radicali, erba).

L'abbondante frazione di argilla disponibile

**Tabella 3** - Caratteristiche organiche dei sedimenti

	Argilla	Limo	Sabbia	Materiale organico	
				Humus	Residui
		(g/kg)		(g/kg)	
Sedimenti	358	494	148	10.7	39.3
Suolo sabbioso	308	186	507	11.2	

**Tabella 4** - Confronto tra sedimenti e suolo ammendato

	Densità apparente t/m <sup>3</sup>	Capacità idrica di campo [%V]	Acqua disponibile [cm/cm]	Conducibilità Idrica a Saturazione [mm/h]
Sedimenti	1.4	37.4	0.17	2.97
Suolo sabbioso	1.5	30.1	0.12	4.39
Suolo ammendato Ipotesi 1	1.44	34.8	0.15	5.15
Suolo ammendato Ipotesi 2	1.38	35.5	0.15	5.15

nei sedimenti, in presenza di importanti apporti organici, ha elevate potenzialità di stabilizzazione della sostanza organica presente e di neo-sintesi (formazione complessi argillo-umici, protezione fisica in seguito alla formazione di aggregati). L'aumento del tenore in sostanza organica, oltre a fissare per lungo tempo notevoli quantità di carbonio organico in forma di sostanze umiche, contribuirebbe al miglioramento delle condizioni strutturali del suolo (aumento della porosità e di tutti i parametri ad essa correlati quali infiltrazione, riserva idrica, abitabilità, ecc.).

Nei climi caratterizzati da siccità estiva e da limitata disponibilità di acqua, assume notevole importanza la capacità di immagazzinamento idrico di un terreno la cui ricarica avviene di norma nel periodo autunno-invernale in corrispondenza di un elevato rapporto tra precipitazioni, traspirazione delle piante ed evaporazione del suolo [12].

Nei terreni "leggeri", poco profondi l'apparato radicale non può svilupparsi in profondità, il quantitativo di acqua immagazzinabile è molto limitato e, conseguentemente, le piante sono più esposte ai danni per carenza idrica ed a una perdita di produttività in termini di biomassa totale prodotta.

I terreni che si definirebbero in seguito all'ammendamento con i sedimenti recuperati dall'invaso del Camastra risulterebbero avere una elevata capacità di ritenzione idrica (Tabella 4) e quindi risparmio idrico. I terreni sabbiosi o cosiddetti "leggeri" ammendati, aumentando la componente limoso-argillosa, oltre ad incrementare la capacità di immagazzinamento idrico

vedrebbero ridotto il valore di conducibilità idraulica e conseguentemente l'entità dei processi di lisciviazione. L'ammendamento di sedimenti finalizzato al miglioramento della funzione "filtrante" dei suoli "leggeri" risulterebbe in definitiva anche utile per controllare l'inquinamento della falda freatica e potrebbe, nelle aree dove effettuato, contribuire a rallentare, se non arginare, il processo di desertificazione.

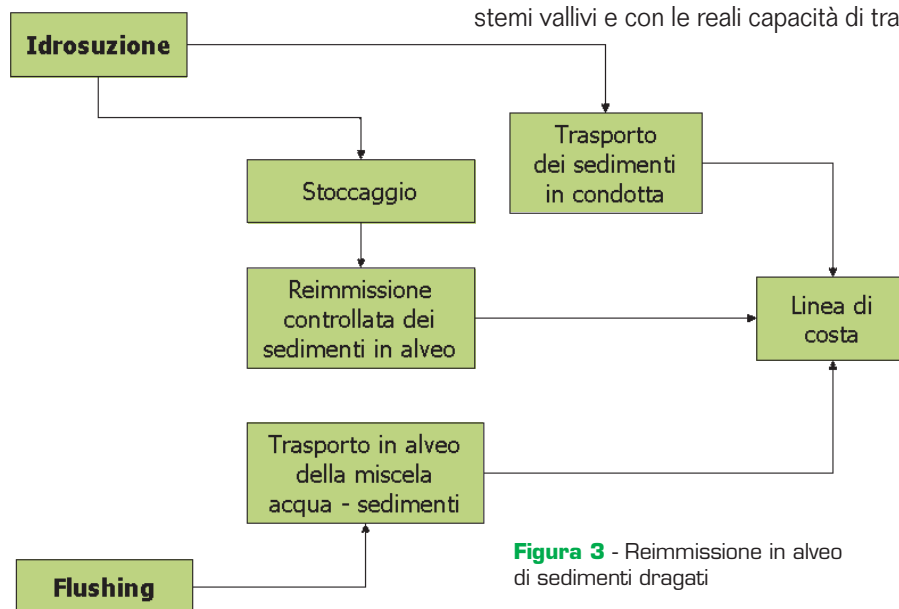
### Utilizzo ambientale

Il DM30/6/2004, prevede all'art. 3 comma 4 [2], la possibilità di rilascio a valle dei sedimenti rimossi mentre, ai successivi commi, impone che durante le operazioni di rilascio in alveo, nella rete idrografica a valle della sezione di restituzione si verifichino valori di torbidità che non alterino l'equilibrio degli ecosistemi.

Purtroppo la normativa non specifica né il valore massimo di torbidità che si può raggiungere né la durata dell'intervallo di tempo in cui si può accettare detto valore massimo. Alcune Regioni (Regione Sardegna, Regione Veneto e Provincia Autonoma di Trento) hanno definito la concentrazioni massime e medie da rispettare in occasione di immissioni in alveo.

La possibilità infatti di immettere in alveo acque provenienti dagli scarichi di fondo durante operazioni di spurgo (flushing) è strettamente connessa con le capacità di trasporto dei successivi tronchi fluviali a valle, e queste, come è noto, sono a loro volta strettamente dipendenti dalle caratteristiche morfologiche, dalle condizioni di equilibrio dei tronchi stessi e dalle portate liquide e solide in gioco. Il rilascio in alveo dei sedimenti dragati potrà avvenire solo se sono rispettati determinati vincoli legati sia per salvaguardare le caratteristiche morfologiche dell'alveo a valle sia per tutelare l'ecosistema negli stessi tronchi. L'immissione nell'alveo di elevate concentrazioni di solidi sospesi, derivanti o da attività di flushing o da reimmissione controllata (rimozione, stoccaggio e immissione in alveo) può infatti determinare effetti deleteri sulle comunità macro e micro bentoniche.

L'immissione controllata dei sedimenti in alveo (Figura 3), in cui la concentrazione dei solidi sospesi reimmessi dovrà risultare compatibile con la tutela degli ecosistemi vallivi e con le reali capacità di tra-

**Figura 3** - Reimmissione in alveo di sedimenti dragati

sporto solido del tratto di alveo posto a valle di uno sbarramento, può risultare determinante per controllare l'erosione di tratti di costa in erosione, in accordo con la Raccomandazione 2002/413/CE per il ripristino della funzionalità del trasporto solido dei corsi d'acqua naturali, anche in maniera artificiale, ai fini della protezione dell'ambiente costiero.

In relazione alla possibilità di impiego del materiale dragato per il ripascimento di tratti di costa in erosione è stata condotta una prima analisi in merito alla possibilità di trasferimento dei sedimenti dell'invaso di San Giuliano sul fiume Bradano (Basilicata) sulla costa jonica lucana, posta a circa 20 km dallo sbarramento. Nel 2002 è stata effettuata, sia all'interno dell'invaso sia nel tratto di costa ionica compreso tra le foci dei fiumi Bradano e Basento l'invaso, una campagna di campionamenti finalizzati alla caratterizzazione granulometrica del sedimento. Una prima analisi tecnica-economica, che prevedeva una modalità di rimozione dei sedimenti lacuali basata sull'idrosuzione con pompaggio, trattamento finalizzato alla riduzione del contenuto d'acqua e successivo trasferimento su gomma fino alla costa, ha permesso di trarre alcune importanti considerazioni relativamente ai benefici economici dell'operazione. Nell'ipotesi di ripascimento del tratto di costa in esame che riporti il litorale alle condizioni che la stessa aveva nel 1949, il volume di sabbie complessivo necessario al ripascimento è di circa 1.000.000 m<sup>3</sup> e consente, per circa 7 km

di spiaggia (distanza tra le due foci) un recupero di spiaggia per una larghezza di poco più di 8 m [13]. In tabella 5 sono riportati i costi complessivi relativi alle operazioni di recupero dei sedimenti dall'invaso e di ripascimento e i benefici conseguenti [13]. Si è ipotizzato un valore specifico medio del fatturato delle attività indotte per la presenza di spiaggia pari 800 €/m<sup>2</sup> di spiaggia.

L'analisi economica effettuata, pur tracciata in condizioni cautelative sia per la definizione dei benefici che dei costi, non porta in conto i benefici derivanti dalla maggiore disponibilità idrica a seguito dello sfangamento dell'invaso, così come non definisce la dinamica di evoluzione del litorale una volta effettuato il ripascimento.

## Conclusioni

In relazione alla necessità che scaturisce da un progetto di Gestione di mantenere e/o ripristinare la capacità di invaso, la gestione del materiale rimosso rappresenta spesso una grossa soglia da superare. Sicuramente una gestione economicamente perseguibile è connessa all'utilizzo produttivo del materiale rimosso in considerazione anche dei volumi considerevoli che normalmente sono in gioco. In buona sostanza è auspicabile che i sedimenti risultino una risorsa e non solo un problema. In quest'ottica, una gestione integrata, attraverso una concertazione con tutti gli attori coinvolti, può portare

all'individuazione di soluzioni tecnicamente ed economicamente sostenibili. La possibilità inoltre di associare alla rimozione del sedimento la gestione di grossi volumi d'acqua può determinare una ulteriore economicità alle operazioni di sfangamento. ■

## Bibliografia

- [1] Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. "Norme in materia ambientale".
- [2] DECRETO 30 GIUGNO 2004: "Criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi, ai sensi dell'articolo 40, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, e successive modifiche ed integrazioni, nel rispetto degli obiettivi di qualità fissati dal medesimo decreto legislativo".
- [3] Albergo G. Molino B., "La caratterizzazione dei sedimenti di laghi artificiali". Siti Contaminati Numero 2 - 2006.
- [4] Molino B., Viparelli R., De Vincenzo A., Albergo G.: "Siltng-Up in Reservoir: a Risk and a Resource" Act of 32<sup>o</sup> Congress of IAHR - Venice 1-6 July 2007.
- [5] Albergo G., Messina F., Sarti L., Corbau C. and Simeoni U.: "Aspects of Management in Reservoirs Sedimentation". 27<sup>th</sup> IAS Meeting of Sedimentology, 20-23 Settembre Alghero, Italy, 2009.
- [6] Bonomo L., Saponaro S. e Careghini A. "Introduzione al problema dei sedimenti contaminati: situazione e prospettive" 1<sup>o</sup> Salone sulle Bonifiche dei Siti Contaminati. 26-28 Settembre 2007.
- [7] Bernardo G., A. Biscione, M. Marroccoli & B. Molino: "Reservoir rehabilitation by the sediment evacuation pipeline system and sediment utilization as raw material for the cement industry". Proceedings of the International Conference on New Trends in Water and Environmental Engineering for safety and Life, Capri, Italy, 3-7 July, 2000.
- [8] Molino B.: "Combined reservoir rehabilitation and sediment utilization: economic defence". Proceedings of the International Conference on New Trends in Water and Environmental Engineering for safety and Life, Capri, Italy, 3-7 July, 2000.
- [9] Valenti G., Bernardo G., Marroccoli M. & Molino B.: "Beneficial Reuse of Reservoir Sediment in the Cement Industry". International Conference on Remediation Of Contaminated Sediments, 30 September - 3 October 2003 Venice (Italy).
- [10] Decreto Legislativo 29 aprile 2006, n. 217 "Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti".
- [11] Decreto Legislativo 27 gennaio 1992, n.99. Attuazione della Direttiva 86/278/CEE, concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.
- [12] Xiloyannis C., Palese M. A., Celano G.: "Proposte di utilizzo in agricoltura dei sedimenti degli invasi artificiali di San Giuliano e del Camastra". Su: "Il processo di interrimento degli invasi: geni, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente". - Autorità interregionale di Bacino della Basilicata - Collana Editoriale di Studi e Ricerche n. 4 Giugno 2004.
- [13] Molino B. "L'interrimento degli invasi e utilizzo dei sedimenti per la tutela dell'ambiente costiero". Atti del Congresso "L'arretramento della costa ionica della Basilicata: complessità, studi, azioni". Metaponto, 26 maggio 2006. Supplemento al numero 2/2008 di "Geologia Ambientale" periodico della SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale.

**Tabella 5** - Analisi costi-benefici

COSTI		BENEFICI	
Volume di sedimenti da rimuovere	1'000'000 m <sup>3</sup>	Volume di sedimenti per il ripascimento	1'000'000 m <sup>3</sup>
Costo unitario di rimozione trattamento	17 €/m <sup>3</sup>	Lunghezza del tratto di spiaggia recuperabile	~ 7 km
Costo di trasporto al litorale	10 €/m <sup>3</sup>	Larghezza del tratto di spiaggia recuperabile	~ 8 m
<b>Sub totale</b>	<b>27'000'000 €</b>	Superficie recuperata	~ 60'000 m <sup>2</sup>
Maggiorazione per posa in opera sulla spiaggia e rischi aziendali	40%	Valore specifico medio del fatturato delle attività indotte dalla spiaggia	800 €/m <sup>2</sup>
<b>TOTALE</b>	<b>38'000'000 €</b>	<b>TOTALE</b>	<b>48'000'000 €</b>