UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI ″ FEDERICO II ″

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

TESI DI LAUREA
IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

"L'UTILIZZO DI SEDIMENTI LACUALI: IL CASO DEI SEDIMENTI DELL'INVASO DI PONTE LISCIONE (CB)"

A.A. 2013/2014

RELATORE
Prof.Ing. M. Fabbricino

CANDIDATO
Molino Antonio Jacopo M67/39

1 INTRODUZIONE PAG 3

2 QUADRO NORMATIVO RELATIVO AI SEDIMENTI LACUALI PAG 3

2.1 DEFINIZIONE DI FANGO DI DRAGAGGIO PAG 3

2.2 NORMATIVA IN MATERIA DI RIFIUTI PAG 3

2.3 DEFINIZIONE DI SOTTOPRODOTTO PAG 5

2.4 LA LEGGE 152/2006: IL PROGETTO DI GESTIONE PAG 5

2.5 LA GESTIONE DEI SEDIMENTI LACUALI IN EUROPA PAG 6

3 CARATTERIZZAZIONE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DEI SEDIMENTI LACUALI PAG 6

3.1 L'INTERRIMENTO DEGLI INVASI ARTIFICIALI ITALIANI PAG 6

3.2 CARATTERIZZAZIONE QUALITATIVA DEI SEDIMENTI PAG 9

3.2.1 CARATTERIZZAZIONE FISICA E CHIMICA PAG 9

3.2.2 ANALISI ECOTOSSICOLOGICHE (SAGGI BIOLOGICI DI TOSSICITA' PAG 10

3.2.3 CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE DA PRELEVARE E OPZIONI DI GESTIONE PAG 10

3.2.4 CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLA QUALITA' PAG 12

3.3 UTILIZZO DEI SEDIMENTI LACUALI PAG 13

3.3.1 UTILIZZO DI SABBIE E ARGILLE LACUALI PER AMMENDAMENTO DI TERRENI AGRICOLI PAG 13

3.3.2 UTILIZZO DI SEDIMENTI ARGILLOSI LACUALI PER LA PRODUZIONE DI CEMENTO PORTLAND PAG 13

3.3.3 UTILIZZO DI SEDIMENTI ARGILLOSI LACUALI PER PRODURRE MANUFATTI GEOPOLIMERICI PAG 13

3.3.3 UTILIZZO DI SABBIE LACUALI PER RIPASCIMENTO DI LITORALI IN EROSIONE PAG 14

4 CAMPAGNA SPERIMANTALE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI DELL' INVASO DI PONTE LISCIONE PAG 14

4.1 LA DIGA E L'INVASO DI PONTE LISCIONE (CB) PAG 14

4.2 STIMA DELL'INTERRIMENTO DELL'INVASO DI PONTE LISCIONE PAG 15

4.3 CARATTERIZZAZIONE QUALITATIVA DEI SEDIMENTI PAG 18

5 ANALISI DEI RISULTATI E POSSIBILE UTILIZZO DEI SEDIMENTI PAG 23

6 CONCLUSIONI PAG 29

1 – INTRODUZIONE

I serbatoi idrici rappresentano una risorsa strategica per ogni Nazione: PER QUESTO è IMPORTANTE LA TUTELA è LA SALVAGUARDIA DEGLI STESSI.

Al convegno internazionale di Capri fu proposto un nuovo criterio di difesa della capacità idrica di un invaso artificiale: "**la difesa economica**"(Molino,2000) che venne introdotta come forma evolutiva della difesa passiva. La difesa economica si attiva nel momento in cui i sedimenti che producono l'interrimento nell'invaso possono essere "**dragati e utilizzati**" conseguendo pertanto, non solo il recupero di capacità idrica, ma anche un beneficio economico conseguente al loro utilizzo.

Risultati scientifici molto importanti sono stati ottenuti ipotizzando:

- utilizzo dei sedimenti lacuali argillosi per la produzione di Cemento Portland; (Valenti et al., 2000);
- utilizzo dei sedimenti lacuali limo-argillosi per ammendamento agricolo (Xiloyannis et al.,2004);
- utilizzo di sedimenti lacuali sabbiosi per ripascimento di litorali in erosione.(Molino, 2008);
- Utilizzo di sedimenti argillosi lacuali attraverso il riutilizzo come precursori nella produzione di geopolimeri (Cioffi et al., 2013).

2. QUADRO NORMATIVO RELATIVO AI SEDIMENTI LACUALI

2.1 DEFINIZIONE DI FANGO DI DRAGAGGIO

Il dragaggio consiste, secondo l'EPA, nella rimozione di fango ("***mud***") dal fondo di un corpo idrico.

Il fango ("***mud***") nella letteratura tecnico-scientifica anglosassone è un termine geologico-sedimentologico, mentre quello prodotto, ad esempio, da un impianto di trattamento di acque si definisce "*sludge*".

La definizione di "*mud*" la troviamo sul "*Glossary of Geology*", American Geological Institute (Ed. 1987): ***"Un sedimento sciolto, non consolidato, contenente argille e silt, e comunque composto da tutte le altre plausibili frazioni granulometriche misto ad acqua, in quantità inferiore dell' 80%, proveniente dalle attività di dragaggio di fondali di laghi, dei canali navigabili o irrigui e corsi d'acqua (acque interne), pulizia di bacini idrici*** ".

2.2 NORMATIVA IN MATERIA DI RIFIUTI

Il Catalogo Europeo dei rifiuti, come indicato nell' allegato D del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 e s.m.i., prevede due codici: (CEE 2007)

- CER 17.05.06 rifiuti non pericolosi ovvero che non presentano un livello di contaminazione tale da essere considerati pericolosi. Questi fanghi di dragaggio possono essere smaltiti in discarica oppure essere recuperati in base a procedure previste dalla normativa vigente.
- CER 17.05.05* rifiuti pericolosi ovvero che presentano un livello di contaminazione tale da essere considerati pericolosi. Per i fanghi di dragaggio che rientrano in questa classificazione, l'unica strada percorribile resta quella del trattamento/smaltimento.

In Figura 2.1 si riporta un quadro sintetico dei vari percorsi possibili che possono essere adottati per la gestione dei fanghi di dragaggio (ISPRA, 2013).

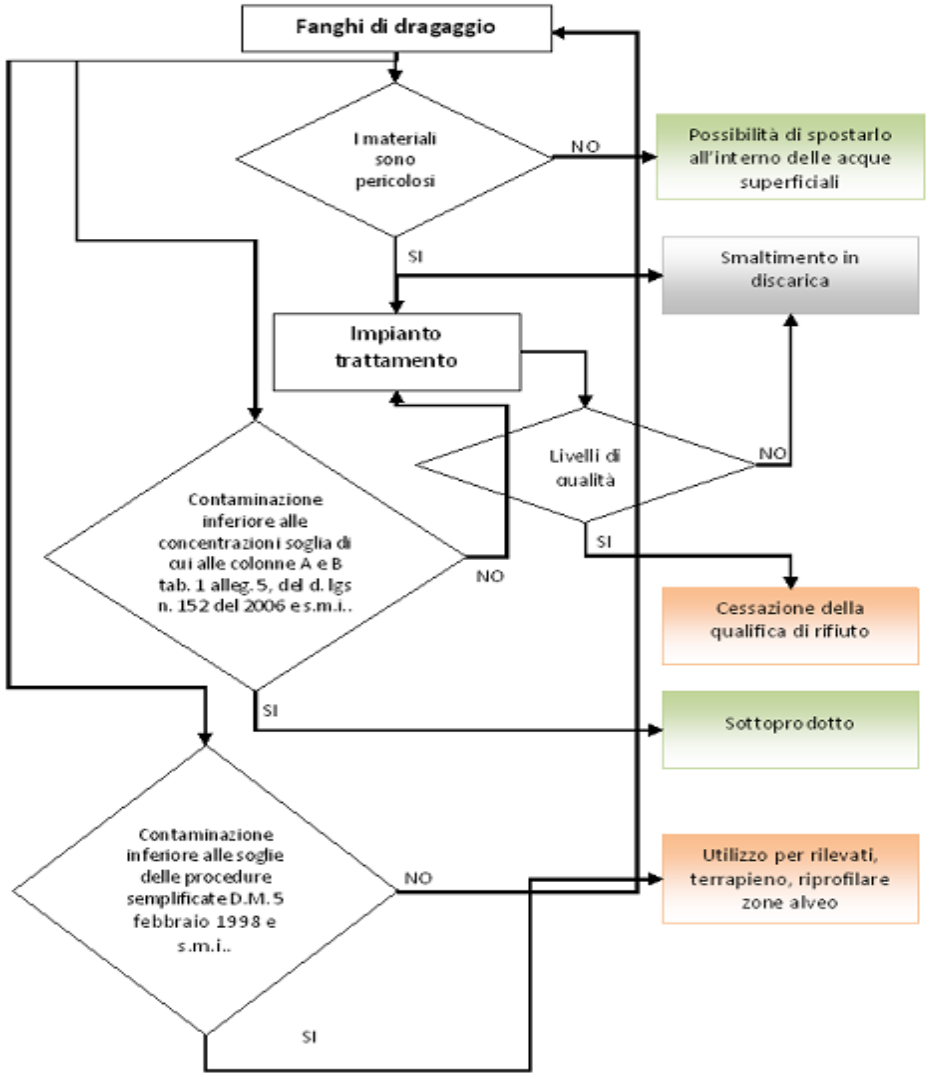

Figura 2.1: Differenti ipotesi di gestione dei fanghi di dragaggio previste dalla normativa vigente.

2.3 DEFINIZIONE DI SOTTOPORODOTTO

L'articolo 5 della direttiva 2008/98/CE definisce "Sottoprodotto" una sostanza od oggetto derivante da un processo di produzione, il cui scopo primario non è la sua produzione ma che sia: (Magri,2010).

-certo che la sostanza o l'oggetto sarà ulteriromente utilizzata;

-la sostanza o l'oggetto può essere utilizzata/o senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;

-la sostanza o l'oggetto utilizzata/o come parte integrante di un processo di produzione;

-l'ulteriore utilizzo legale, se sono soddisfatti tutti i requisiti pertinenti riguardanti prodotti nella protezione della salute e dell'ambiente.

2.4 LA LEGGE 152/2006: IL PROGETTO DI GESTIONE

La 152/06 e i suoi decreti attuativi (D.M. 30/06/2004) contengono le indicazioni per la redazione del "Progetto di Gestione".

Il decreto legge 201/ 2011 ha stabilito, all'articolo 43 che i Gestori di Grandi Dighe dovessero presentare progetti di gestione degli invasi entro il 31 dicembre 2012.

Nell'attuale panorama legislativo nazionale, è stato emanato, recentemente il DECRETO 161/2012: TERRE E ROCCE DA SCAVO che regola il destino dei sedimenti asportati dal serbatoio. Essi possono essere:

- smaltiti in discarica come rifiuti secondo il Decreto Ministeriale 27/09/2011;
- recuperati con procedura ordinaria o con procedura semplificata per i fanghi di dragaggio secondo il Decreto Ministeriale 005/02/1998;
- utilizzati come sottoprodotto, ai sensi dell'articolo 184 del DLgs 152/2006 e ss.mm.ii. (Decreto Legislativo 205/2010).

Affinché i materiali da scavo possano essere classificati come sottoprodotti e non come rifiuti, devono rispondere ai requisiti, in larga parte già indicati al paragrafo 2.3:

a) Il materiale da scavo generato durante la realizzazione dell'opera, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;

b) Il materiale da scavo è utilizzato, in conformità del Piano di utilizzo;

c) Il materiale da scavo è idoneo ad essere utilizzato direttamente, ossia senza alcun trattamento diverso dalla normale pratica industriale secondo i criteri di cui all'allegato III al decreto ministeriale 161/2012;

d) Il materiale da scavo, per le modalità di utilizzo specifico di cui al punto precedente soddisfa i requisiti di qualità ambientale di cui all'allegato 4 del decreto ministeriale 161/2012.

2.5 LA GESTIONE DEI SEDIMENTI LACUALI IN EUROPA

Nell'ambito del Club Europeo dell'ICOLD è stata avviata da ITCOLD (sezione italiana) una indagine al fine di conoscere , le modalità di gestione dei sedimenti lacuali e le regole previste nell'ambito di ciascun paese membro di 24 paesi. Da tale indagine risulta che, fatta eccezione per Italia, Olanda e Slovenia, non esiste una legge specifica per la gestione delle acque e dei sedimenti dei serbatoi idrici.

Emerge, da quest'analisi, che l'Italia, in particolar modo, è l'unico paese europeo che si è dotato di diverse leggi specifiche in materia di gestione dei sedimenti dei serbatoi, peraltro molto articolate ed onerose per quanto riguarda gli adempimenti.

3. CARATTERIZZAZIONE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DEI SEDIMENTI LACUALI

3.1 – L'INTERRIMENTO DEGLI INVASI ARTIFICIALI ITALIANI

I sedimenti che vanno ad interferire negli invasi sono generati dall' erosione idrometrica del suolo o da movimenti franosi. Pertanto è necessario conoscere il tasso di interrimento dei sedimenti al fine di programmare interventi di gestione e conservazione delle risorse idriche.

Si stima che in Italia, il tasso complessivo di interrimento nei grandi invasi sia compreso fra un valore minimo dello 0,1% ed un massimo dell'1% annuo, rispettivamente in condizioni di bacino idrografico boscato o ad agricoltura intensiva.

La perdita percentuale di capacità di invaso media annua, invece ammonta circa all'1,6%.

Nome Invaso	Regione	Comune	Prov.	Volume $m^3 10^6$	Bacino km^2	Anno entrata in esercizio	Volume Sedimento m^3	Perdita media annua capacità %	Perdita totale %
Angitola	Calabria	Maierato	VV	21	154	1965	2214600,7	0,25	10,55
Basso Cixerri	Sardegna	Uta	CA	25,41	94	1992	1085700,0	0,27	4,27
Bidighinzu	Sardegna	Bessude	SS	12,55	52	1959	2498226,2	0,41	19,91
Carmine	Campania	Cannalonga	SA	3,029	13,7 12 all.	1982	205400,0	0,26	6,78
Cedrino	Sardegna	Dorgali	NU	48,66	631,23	1989	4372933,5	0,47	8,99
Disueri	Sicilia	Gela	CL	14	239	1948	67000,0	0,01	45,00
Fabbrica	Campania	Ceraso	SA	1,15	2,121	1983	121220,9	0,42	10,54
Farneto del Principe	Calabria	Roggiano Gravina	CS	27	165 82 all.	1991	3311235,6	0,72	12,26
Macchioni	Campania	Castel Baronia	AV	0,52	2,31	2000	37858,7	0,91	7,28
Occhito	Puglia e Mol.	Macchia Valfortore	FG	290,83	1012	1966	14768681,0	0,12	5,08
Paceco	Sicilia	Trapani	TP	6,7	40+ 37all.	1977	1535917,4	0,74	22,92
Pertusillo	Basilicata	Montemurro	PZ	152,2	530	1963	7419879,7	0,11	4,88
Piano della Rocca	Campania	Prignano Cilento	SA	28,5	102	1994	1929178,2	0,48	6,77
S. Giovanni	Abruzzo	Ocre	AQ	0,41	0,34	1960	23180,6	0,12	5,65
S. Giovanni	Sicilia	Naro	AG	17	79,5	1983	2190614,7	0,52	12,89
Saetta	Basilicata	Pescopagano	PZ	4,5	10	1992	97185,8	0,13	2,16
San Giuliano	Basilicata	Matera	MT	94,7	1631	1966	23173848,0	0,58	24,47
Santa Rosalia	Sicilia	Ragusa	RG	20	97,6	1983	2296226,1	0,46	11,48
Simbirizzi	Sardegna	Cagliari	CA	27,9	7,8+ 17,8 all.	1985	840000,0	0,13	3,01
Sos Canale	Sardegna	Seui-Ulassai	NU	5,06	17	1960	293410,0	0,12	5,80
Tavo	Abruzzo	Penne	PE	9,2	213	1970	984000,0	0,28	10,70

Tabella 3.1 - Stima dell' interrimento di alcuni invasi italiani.

In tabella 3.3 sono riportati invece, per i 38 invasi, i quantitativi in percentuale dei diversi sedimenti depositati e dedotti a seguito di campionamenti.

Nome Invaso e zona di prelievo Centro= zona centrale invaso Diga=zona diga Monte=zona più lontana dalla diga	Sabbia (%)	Argilla (%)	Limo fine (%)	Limo grosso (%)	Densità apparente misurata (Interfaccia acqua sedimento) t/m^3
Angitola centro	6	56	35	3	0,49
Angitola Diga	6	55	36	3	0,50
Angitola monte	10	31	33	25	0,72
Bidighinzu Diga	10	28	59	3	0,68
Bifighinzu Monte P1396	67	13	8	13	0,92
Carmine Diga	18	45	25	13	0,45
Cedrino Diga	4	50	42	4	0,37
Cedrino centro	6	32	46	16	0,44
Cedrino monte	10	30	48	12	0,39
Disueri Diga	1	71	27	2	0,77
Disueri monte	0	72	26	2	0,81
Fabbrica Diga	1	76	22	1	0,40
Fabbrica monte	5	64	27	4	0,42
Farneto Diga	86	8	3	3	1,35
Farneto monte	31	21	26	22	1,13
Macchioni Diga	5	62	31	2	0,52
Occhito centro	8	66	25	1	0,78
Occhito Diga	0	74	24	2	0,71
Occhito monte	5	53	36	7	1,06
Paceco Diga	12	64	20	4	0,64
Paceco monte	8	71	21	0	0,59
Pertusillo Diga	5	66	26	3	0,50
Pertusillo Monte	5	41	47	8	0,60
Piano della Rocca Diga	6	52	24	18	0,65
Piano della Rocca monte	11	27	43	19	1,01
Saetta Diga	5	76	17	3	0,53
Saetta Monte	12	60	24	4	0,54
San Giovanni (Abruzzo)	48	21	21	11	0,87
San Giovanni Naro Diga	3	74	21	3	0,37
San Giovanni Naro monte	0	63	31	6	0,48
San Giuliano Diga	6	70	23	3	0,74
San Giuliano Monte	6	66	26	2	0,66
Santa Rosalia Centro	7	53	38	2	0,50
Santa Rosalia Diga	0	54	42	4	0,45
Santa Rosalia Monte	23	40	20	18	1,06
Sos Canale Diga	11	44	36	9	0,36
Sos Canales centro	19	28	39	14	0,34
Tavo Diga	3	60	35	2	0,53

Tabella 3.2 – Caratteristiche granulometriche dei sedimenti

In conclusione, i costi di intervento, per mitigare l'Interrimento e recuperare capacità, sono così alti da richiedere forme di contributo economico che possono senz'altro scaturire dall'utilizzo dei sedimenti recuperati.

3.2 – CARATTERIZZAZIONE QUALITATIVA DEI SEDIMENTI

Gestione dei sedimenti come non rifiuti

la normativa detta delle regole sia tecniche che amministrative al fine di garantire una corretta gestione dei prodotti dragati. In particolare i due casi si riferiscono a:

- fanghi di dragaggio spostati nell'ambito del sistema di acque superficiali;
- fanghi di dragaggio che possono acquisire le caratteristiche di "sottoprodotto".

E' a quest'ultimo caso a cui daremo attenzione nel prosieguo.

I Sedimenti come sottoprodotti

L' attuale **Art. 12 comma 1 del D.lgs 205/10,** definisce il sedimento come "Sottoprodotto" e non come "rifiuto", qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfi le seguenti condizioni:

a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto.
b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

3.2.1– CARATTERIZZAZIONE FISICA E CHIMICA

Viene fornito un quadro minimo dei parametri da analizzare in qualunque contesto in cui, oltre alle analisi fisico-chimiche risulta necessario effettuare anche indagini ecotossicologiche, per poter stimare correttamente il rischio ambientale legato alla movimentazione di sedimenti.

Al fine di una ulteriore verifica delle peculiarità qualitative dei sedimenti è opportuno confrontare i valori analitici con i valori tabellari del "*Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini*" (APAT – ICRAM 2008) tab. 3.5; tali valori tabellari sono generalmente più restrittivi di quelli riportati nelle Tabelle A e B Allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06.

Tale manuale, se pur finalizzato alle attività di movimentazione dei sedimenti marini, costituisce un punto di riferimento in quanto vengono contemplati ed approfonditi aspetti tecnici utili allo scopo di stimare una eventuale "C*lasse di Qualità*" del materiale e, di conseguenza, permette di esprimere un giudizio sulla compatibilità con le eventuali opzioni di utilizzo dei sedimenti.

3.2.2- ANALISI ECOTOSSICOLOGICHE (SAGGI BIOLOGICI DI TOSSICITÀ)

I test biologici servono a rilevare la potenzialità, che ha la matrice indagata, di provocare un effetto tossico sull'organismo utilizzato come bersaglio.

Tali test, devono essere eseguite su aliquote di sedimento "fresco" (non congelato).

Per la valutazione ecotossicologica dell'ecosistema lacustre, ci si è rifatti alla campagna di Monitoraggi e di analisi effettuati da ARPA Molise. Tra le possibili specie utilizzabili per i test, sono state impiegate: il crostaceo cladocero d'acqua dolce *Daphnia magna* Straus ed il batterio marino *Vibrio fischeri*.

I saggi biotossicologici sono stati applicati:

- al sedimento tal quale, al fine di valutare gli effetti dovuti al contatto diretto tra la matrice e l'organismo test;
- all'elutriato, allo scopo di valutare la tossicità delle sostanze solubili in acqua rilasciate dal sedimento.

Il sedimento tal quale, prelevato con contenitori in vetro e conservato a 4 °C, è stato omogeneizzato manualmente e sottoposto al test con *Vibrio fischeri* entro i 15 giorni successivi al campionamento.

L'elutriato, ottenuto nel più breve tempo possibile con una diluizione 1:4 (p.s./v) del sedimento in acqua distillata, è stato sottoposto alle misure di pH, salinità e processato nell'arco delle 24 ore con gli organismi test *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*.

Il saggio di tossicità acuta su *Daphnia magna* Straus, applicato alla matrice acquosa, è stato eseguito impiegando il kit Daphtoxkit F™ Magna Tests ed applicando il relativo protocollo operativo.

3.2.3-CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE DA PRELEVARE E OPZIONI DI GESTIONE

Vengono individuate 3 classi principali di qualità del sedimento, ciascuna delle quali è compatibile con specifici utilizzi e destinazioni, come riportato nello schema di Tab. 3.6

Classe	Opzioni di gestione
A1	Sabbie (pelite < 10%) da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ripascimento di arenili (previa verifica compatibilità con il sito di destinazione); 2. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero comprese le deposizioni finalizzate al ripristino della spiaggia sommersa; 3. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 4. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 5. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 6. Immersione in mare.
A2	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Ricostruzione di strutture naturali in ambito marino costiero compresa la deposizione finalizzata al ripristino della spiaggia sommersa (solo nel caso di prevalente composizione sabbiosa). 2. Riempimenti di banchine e terrapieni in ambito portuale; 3. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 4. Deposizione in bacini di contenimento (es. vasche di colmata); 5. Immersione in mare.
B1	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 2. Deposizione in bacini di contenimento che assicurino il trattenimento di tutte le frazioni granulometriche del sedimento (incluso il riempimento di banchine).
B2	Materiale da utilizzare o ricollocare secondo la seguente priorità: 1. Riutilizzi a terra (secondo la normativa vigente); 2. Deposizione all'interno di bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Smaltimento presso discarica a terra.
C1	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale secondo la seguente priorità: 1. Rimozione in sicurezza e avvio di specifiche attività di trattamento e/o particolari interventi che limitino l'eventuale diffusione della contaminazione; 2. Rimozione in sicurezza e deposizione in bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo. 3. Rimozione in sicurezza e smaltimento presso discarica a terra
C2	Materiale da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale la cui rimozione e gestione devono essere valutate caso per caso.

Tabella 3.3 - Classi di qualità del materiale caratterizzato e opzioni di gestione compatibili.

3.2.4-CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLA QUALITA'

I principali riferimenti sono costituiti dal **Livello Chimico di Base (LCB)**, e dal **Livello Chimico Limite (LCL),** riferiti nel manuale APAT/ICRAM**.**

Il sedimento afferente a ciascun campione viene attribuito alle ***Classi A1,A2, B1,B2,C1,C2***,

quando si verifica i seguentI casI:

Classe A1	Caso 1	**concentrazioni delle sostanze chimiche < LCB**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna A**	
Classe A2	Caso 2	**concentrazioni delle sostanze chimiche < LCB**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna A**	
	Caso 3	**concentrazioni delle sostanze chimiche < LCB**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna B**	
	Caso 4	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna A**	
Classe B1	Caso 5	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna B**	
	Caso 6	**concentrazioni delle sostanze chimiche < LCB**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna C**	
Classe B2	Caso 7	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna B**	
	Caso 8	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna B +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna B
	Caso 9	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna C +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna B
	Caso 10	**concentrazioni delle sostanze chimiche >LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna B**	
	Caso 11	**concentrazioni delle sostanze chimiche < LCB**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna D +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna B
	Caso 12	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna D +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna B
Classe C1	Caso 13	**concentrazioni delle sostanze chimiche < LCB**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna D +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna D
	Caso 14	**LCB < Conc. Sost. Chim. < LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna D +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna D
	Caso 15	**concentrazioni delle sostanze chimiche >LCL**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna C +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna B
Classe C2	Caso 16	**concentrazioni delle sostanze chimiche >LCL**	**saggi biologici delle 3 specie-test come in Tab. 3.10 colonna C +**	**risp ecotox peggiori o uguali**
				a i valori in tab 3.10 Colonna C
	Caso 17	**concentrazioni delle sostanze chimiche >LCL**	**saggi biologici di una dellespecie-test come in Tab. 3.10 colonna D**	

3.3 UTILIZZO DEI SEDIMENTI LACUALI

3.3.1 - UTILIZZO DI SABBIE E ARGILLE LACUALI PER AMMENDAMENTO DI TERRENI AGRICOLI

Per migliorare la capacità di immagazzinamento idrico, la fertilità biologica e la funzione filtrante dei terreni sabbiosi, si possono aggiungere fino a 4000-5000 m^3/ha di limo-argilla da mescolare bene con la componente sabbiosa.

Per caratterizzare qualitativamente i sedimenti limo-argillosi da utilizzare per ammendamento risulta opportuno effettuare:

- analisi fisico-granulometriche, mineralogiche, chimiche e microbiologiche.

3.3.2 - UTILIZZO DI SEDIMENTI ARGILLOSI LACUALI PER PRODURRE CEMENTO PORTLAND

la tecnica di laboratorio adoperata si è basata su test di "Cuocibilità" effettuati su provini costituiti da 3/4 del volume da calcare e 1/4 da argilla.

E' stato accertato che i provini di sedimenti prodotti con l'argilla recuperata dall' invaso hanno un comportamento migliore di quelli realizzati con un'argilla correntemente impiegata nella produzione di cemento grazie, in particolare, alla presenza di una forte componente ferrosa che elimina anche l'utilizzo di scaglie di laminazione normalmente usata.

Per caratterizzare qualitativamente i sedimenti limo-argillosi da utilizzare per produrre cemento Portland, risulta opportuno effettuare:

- analisi fisico granulometriche, mineralogiche e chimiche.

3.3.3 - UTILIZZO DI SEDIMENTI ARGILLOSI LACUALI PER PRODURRE MANUFATTI GEOPOLIMERICI.

I geopolimeri sono materiali a base alluminio-silicata, caratterizzati da una struttura tridimensionale reticolata. La sintesi dei geopolimeri avviene per miscelazione di materie prime contenenti silice e allumina reattive come ad esempio il metacaolino (2-7), con soluzioni fortemente alcaline, a base generalmente di NaOH o KOH, seguita da un trattamento di "curing" effettuato a basse temperature (max 60-80 C).

Oltre ai pregi in termini di ecosostenibilità, i geopolimeri presentano numerosi aspetti positivi , quali: rapido indurimento, bassa viscosità, elevata durabilità, resistenza ai cicli gelo-disgelo, bassa diffusività dei cloruri, elevata durezza, stabilità termica e resistenza al fuoco così che tali materiali possano trovare impiego in molti settori industriali e civili.

Per caratterizzare qualitativamente i sedimenti limo-argillosi da utilizzare per produrre manufatti geopolimerici risulta opportuno effettuare: analisi fisico granulometriche, analisi chimiche, analisi mineralogiche, analisi termogravimetriche differenziali, test di rilascio di metalli pesanti.

3.3.4 - UTILIZZO DI SABBIE LACUALI PER RIPASCIMENTO

Per tale utilizzo, occorre verificare, anzitutto, la compatibilità dal punto di vista mineralogico e fisico-granulometrico tra le sabbie recuperate dall' invaso e quelle del tratto di litorale in erosione su cui intervenire.

Accertata la suddetta compatibilità, risulterà necessaria la successiva caratterizzazione qualitativa: analisi chimiche e verifica dei limiti tabellari secondo la 152/06 ed il manuale APAT/ICRAM, analisi ecotossicologiche e analisi microbiologiche.

4–CAMPAGNA SPERIMENTALE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI DELL'INVASO DI PONTE LISCIONE

4.1 – LA DIGA E L'INVASO DI PONTE LISCIONE (CB)

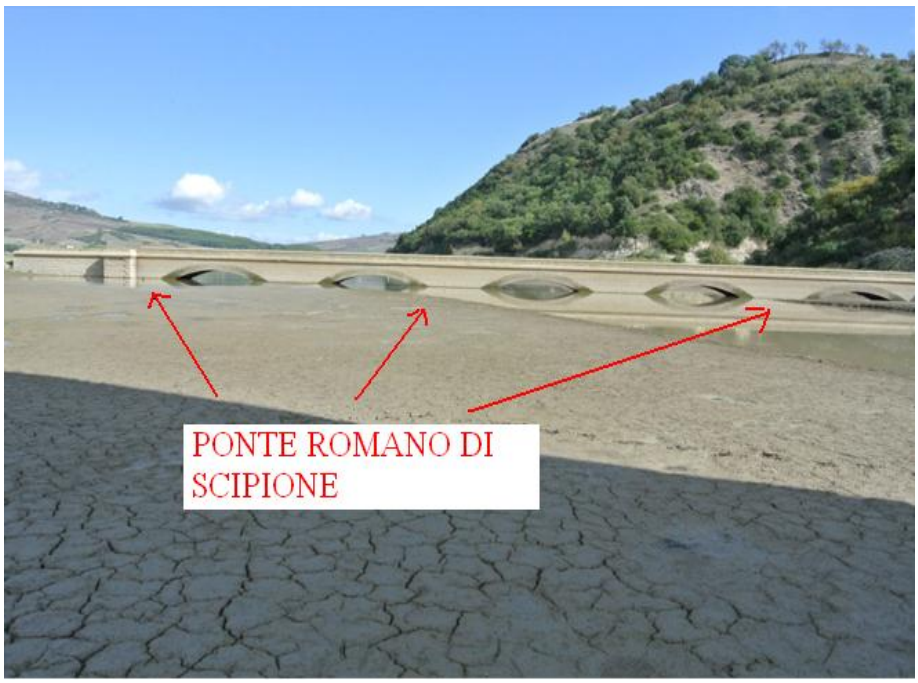

Fig.4.1 Invaso di Ponte Liscione e Ponte Romano di Scipione

Lo sbarramento sul fiume Biferno in località Guardialfiera, ha lo scopo di realizzare un serbatoio atto a compensare la deviazione dei deflussi delle sorgenti della piana di Boiano sul versante tirrenico per l'alimentazione dell'Acquedotto Campano.

DATI CARATTERISTICI DEL SERBATOIO

Superficie del bacino imbrifero sotteso	1043	Km2
Livello di massimo invaso assoluto	12900	m.s.l.m.
Quota di sfioro della vasca di derivazione	9120	m.s.l.m.
Capacità totale	173	Mm2
Capacità di regolazione delle piene (fra quote 12550 e 12900)	25	Mm2
Capacità morta inferiore (sotto quota 9120)	11	Mm2
Capacità utile (fra quote 12550 e 9120)	137	Mm2

Le dinamiche sedimentarie dominanti sono strettamente connesse con l'apporto solido derivante dall'azione del Fiume Biferno e dei torrenti che confluiscono direttamente all'interno del lago di Ponte Liscione

4.2 – STIMA DELL'INTERRIMENTO DELL'INVASO DI PONTE LISCIONE

Per valutare il volume di sedimenti accumulati negli ultimi decenni, nell' invaso di Ponte Liscione è stato utilizzato un approccio basato su un'analisi multitemporale effettuata in ambiente GIS.

In particolare sono stati interpolati e comparati due DEM riferiti a periodi diversi.

Il primo DEM ha ricostruito l'andamento della topografia in un periodo immediatamente precedente all'inizio dei lavori di costruzione dell'opera e, a tal scopo, come base è stata utilizzata una carta quotata del 1965:

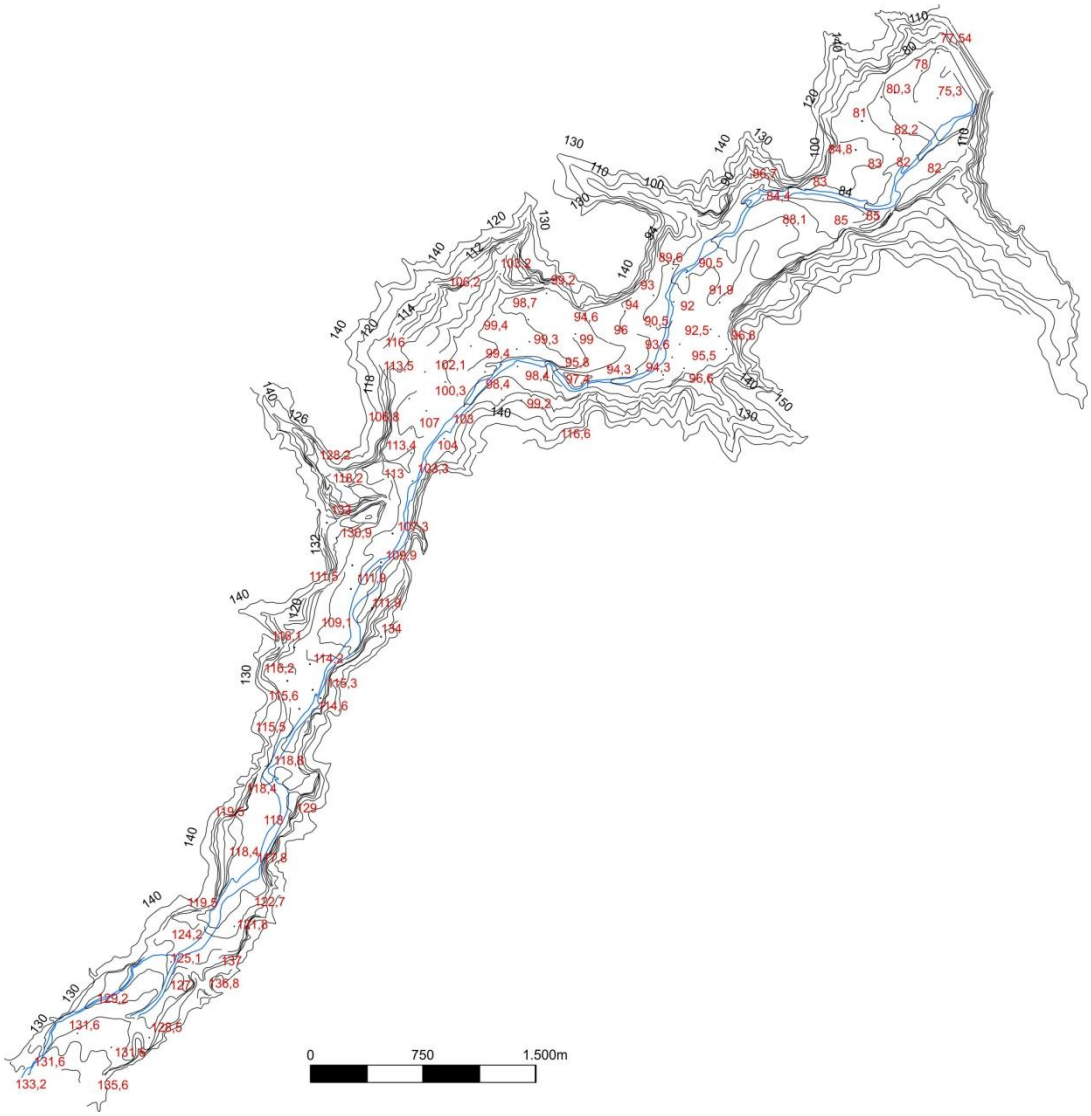

Fig.4.2 – Andamento topografico dell Invaso di Ponte Liscione del 1965.

Il secondo si riferisce alla topografia del lago del 2003, basato su un rilievo batimetrico e topografico effettuato dopo il notevole fenomeno di piena del Biferno, verificatosi appunto nel 2003 (fig. 4.3)

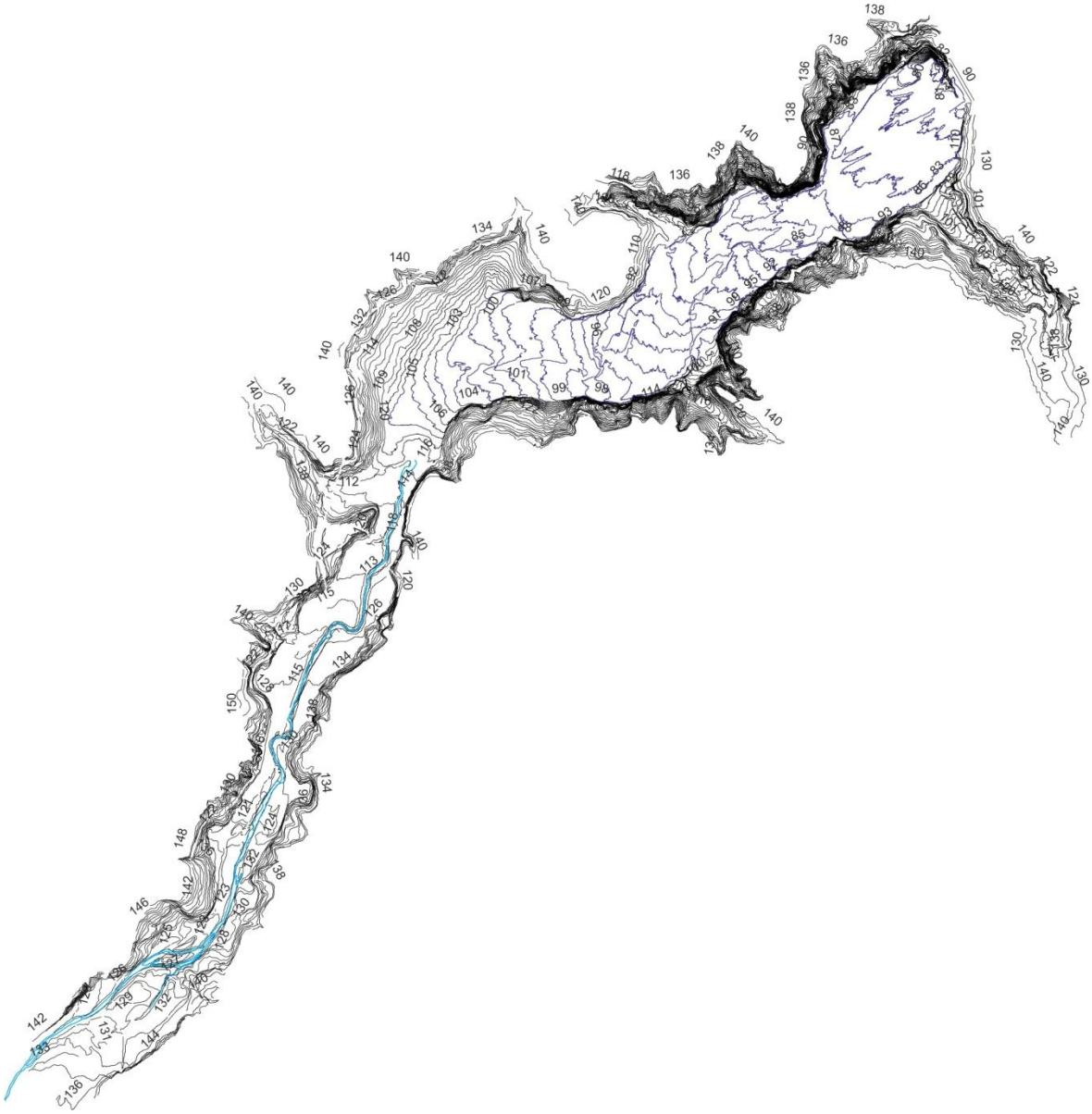

Fig. 4.3 – Andamento topografico Invaso di Ponte Liscione del 2003

Dalla sovrapposizione dei due DEM relativi alle mappe batimetriche dell'invaso del 1965 e del 2003, si è ottenuta la stima dell'interrimento totale dell'invaso pari a circa $4{,}1*10^6\ m^3$ di cui $3{,}1*10^6\ m^3$ a tergo del Ponte Romano di Scipione.

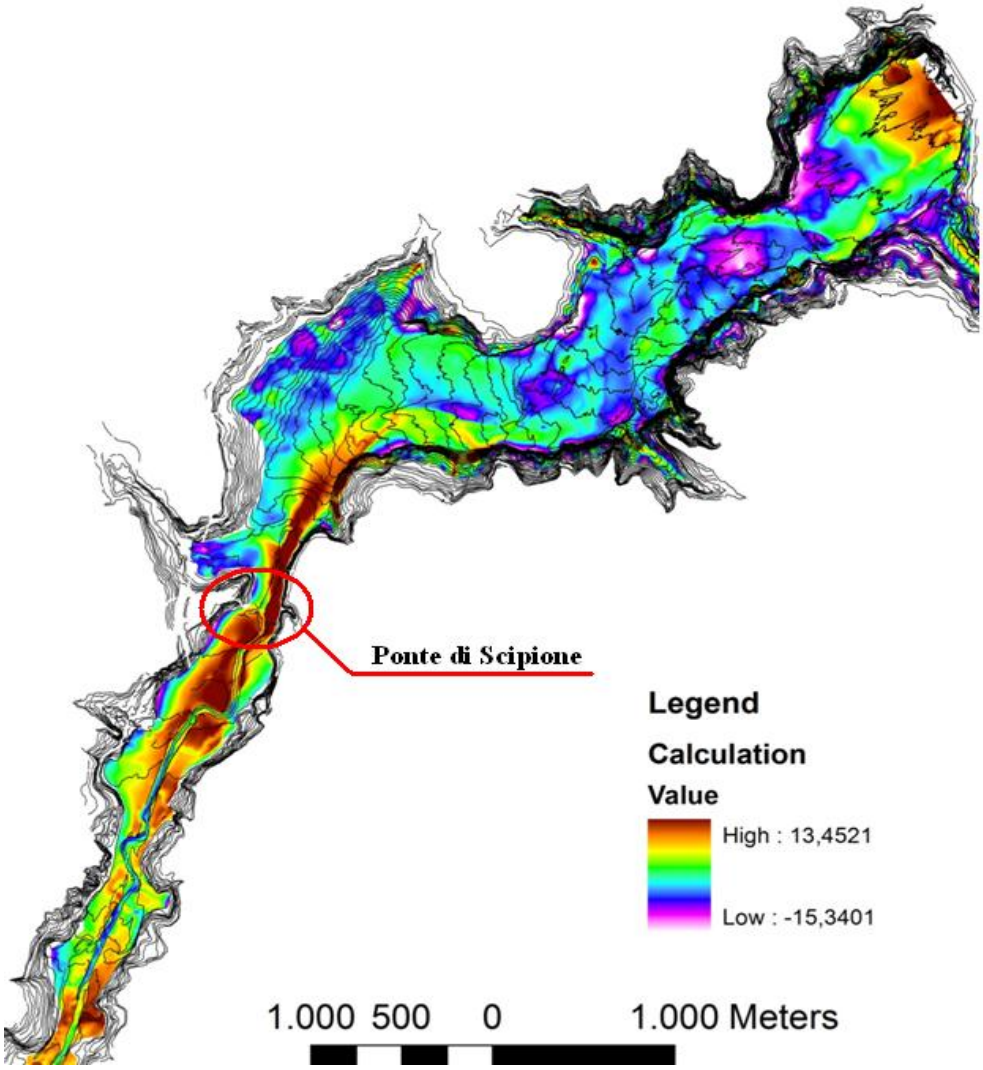

Fig. 4.4 – Carta delle aree di accumulo e valutazione del volume dei sedimenti

4.3 - CARATTERIZZAZIONE QUALITATIVA DEI SEDIMENTI

CAMPIONAMENTO

L'indagine condotta da ARPA Molise nel 2007 ha preliminarmente definito, sul fondo dell'invaso, n° 108 celle unitarie con lato di circa 200 metri (circa 40.000,00 m2), all'interno di ognuna di queste sono state opportunamente prelevate n° 2 campioni di terreno ritenuti sufficientemente rappresentativi delle condizioni medie della cella, ed omogeneizzati al fine di ottenere un campione medio dell'area unitaria (fig.4.5).

Il campione medio è stato suddiviso in n° 4 frazioni e condotto nei laboratori Dipartimentali di Campobasso; una frazione è stata utilizzata per la determinazione delle caratteristiche chimiche, la seconda per la ricostruzione della curva granulometrica e per la determinazione delle

caratteristiche fisiche (contenuto d'acqua, peso specifico, ecc…), la terza per i saggi di ecotossicità e la quarta aliquota conservata in congelatore a – 18° C per ulteriori analisi o raffronti.

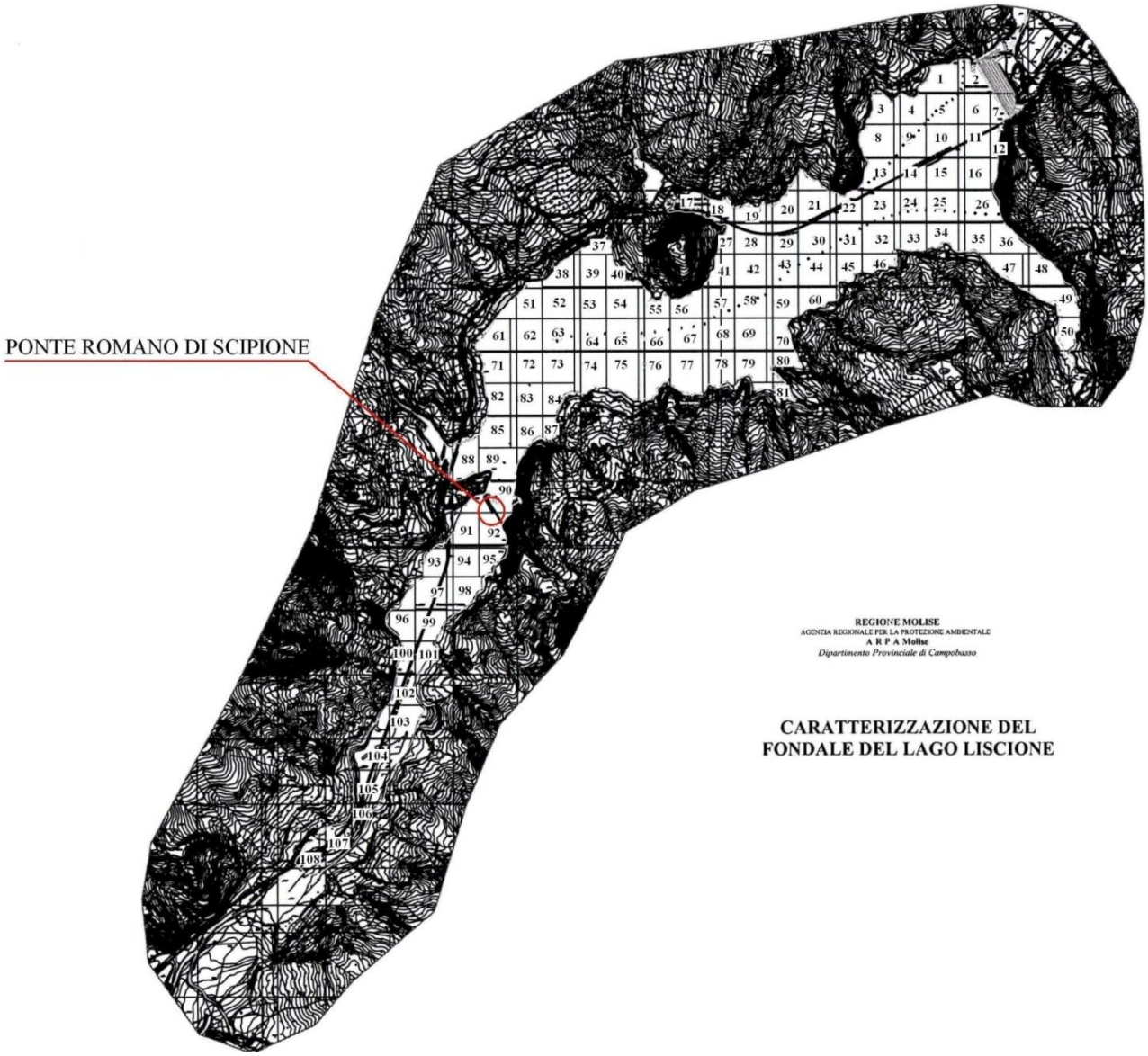

Fig. 4.5 - Invaso di Ponte Liscione e Ponte Romano di Scipione

METODICHE ANALITICHE

Analisi Granulometrica

Dal fuso granulometrico ricostruito in Figura 4.6 è individuabile una composizione granulometrica media dei sedimenti del fondale consistente in una sabbia fine con una percentuale significativa di pelite (fino ad un massimo del 40%).

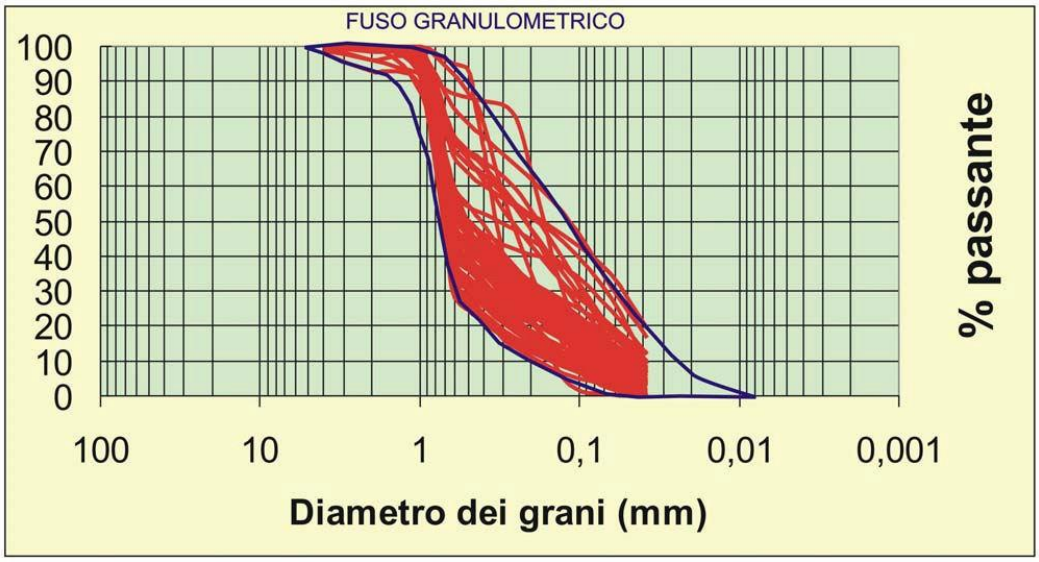

Figura 4.6: **Grafico riassuntivo delle curve granulometriche relative ai 108 campioni prelevati – in azzurro è perimetrato il fuso granulometrico caratteristico del fondale dell'invaso Liscione.**

Analisi Chimiche

Per la caratterizzazione chimica dei sedimenti si è fatto riferimento alle analisi indicate dal Decreto Ministeriale del 24 Gennaio 1996, in particolare nell'allegato B/1.

Sono state effettuate le determinazioni del contenuto dei seguenti elementi:

Analita	D.Lgs 152/2006 Tab. 1/A All. 5	Valori analitici		
		Massimo riscontrato	N° campioni oltre il limite	Valore medio
TOC	----------	*51,20 g/kg s.s.*	----------	*29,95 g/kg s.s.*
Fosforo Tot	----------	*318,90 mg/kg s.s.*	----------	*127,36 mg/kg s.s.*
Azoto Tot	----------	*1545,06 mg/kg s.s.*	----------	*509,57 mg/kg s.s.*
Arsenico	*20,0 mg/kg s.s.*	*21,79 mg/kg s.s.*	***1***	*5,81 mg/kg s.s.*
Alluminio	----------	*3887,00 mg/kg s.s.*	----------	*2096,39 mg/kg s.s.*
Cadmio	*2,0 mg/kg s.s.*	*4,01 mg/kg s.s.*	***2***	*0,28 mg/kg s.s.*
Cromo	*150,0 mg/kg s.s.*	*151,09 mg/kg s.s.*	***1***	*74,84 mg/kg s.s.*
Rame	*120,0 mg/kg s.s.*	*63,43 mg/kg s.s.*	*0*	*30,25 mg/kg s.s.*
Mercurio	*1,0 mg/kg s.s.*	*0,98 mg/kg s.s.*	*0*	*0,14 mg/kg s.s.*
Nichel	*120,0 mg/kg s.s.*	*58,33 mg/kg s.s.*	*0*	*40,29 mg/kg s.s.*
Piombo	*100,0 mg/kg s.s.*	*40,60 mg/kg s.s.*	*0*	*12,93 mg/kg s.s.*
Zinco	*150,0 mg/kg s.s.*	*151,68 mg/kg s.s.*	***1***	*99,30 mg/kg s.s.*
IPA	----------	*< 0,002 mg/kg s.s.*	----------	*< 0,002 mg/kg s.s.*
PCB	*0,06 mg/kg s.s.*	*< 0,006 mg/kg s.s.*	*0*	*< 0,006 mg/kg s.s.*
Pesticidi	----------	*< 0,012 mg/kg s.s.*	----------	*< 0,012 mg/kg s.s.*

Tabella 4.1: Confronto tra i valori riscontrati analiticamente e i limiti tabellari del D.Lgs 152/06

Dal confronto dei dati analitici con i limiti tabellari, così come sintetizzato nella tabella 4.2, emerge che, salvo sporadici casi (n° 5 campioni analizzati su un totale di n° 108), le singole concentrazioni degli analiti ricercati e i loro valori medi sono nettamente inferiori alle CSC riportate.

In tabella 4.2 sono riportati i valori limite tabellari del manuale ICRAM – APAT 2008 relativi al *livello chimico di base* (LCB) e al *livello chimico limite* (LCL);

ANALITA	LCB Tab. 2.3A ICRAM - APAT	LCL Tab. 2.3B ICRAM - APAT	Valore massimo riscontrato	Valore medio riscontrato	N° campioni oltre il limite
TOC	----------	----------	51,20 g/kg s.s.	29,95 g/kg s.s.	----------
Fosforo Tot	----------	----------	318,90 mg/kg s.s.	127,36 mg/kg s.s.	----------
Azoto Tot	----------	----------	1545,06 mg/kg s.s.	509,57 mg/kg s.s.	----------
Arsenico	25 mg/kg s.s.	32 mg/kg s.s.	21,79 mg/kg s.s.	5,81 mg/kg s.s.	0
Alluminio	----------	----------	3887,00 mg/kg s.s.	2096,39 mg/kg s.s.	----------
Cadmio	0,35 mg/kg s.s.	0,8 mg/kg s.s.	4,01 mg/kg s.s.	0,28 mg/kg s.s.	5
Cromo	100 mg/kg s.s.	360 mg/kg s.s.	151,09 mg/kg s.s.	74,84 mg/kg s.s.	21
Rame	40 mg/kg s.s.	52 mg/kg s.s.	63,43 mg/kg s.s.	30,25 mg/kg s.s.	16
Mercurio	0,4 mg/kg s.s.	0,8 mg/kg s.s.	0,98 mg/kg s.s.	0,14 mg/kg s.s.	4
Nichel	70 mg/kg s.s.	75 mg/kg s.s.	58,33 mg/kg s.s.	40,29 mg/kg s.s.	0
Piombo	40 mg/kg s.s.	70 mg/kg s.s.	40,60 mg/kg s.s.	12,93 mg/kg s.s.	10
Zinco	100 mg/kg s.s.	170 mg/kg s.s.	151,68 mg/kg s.s.	99,30 mg/kg s.s.	0
IPA	900 µg/kg s.s.	4000 µg/kg s.s.	< 2 µg/kg s.s	< 2 µg/kg s.s	----------
PCB	5 µg/kg s.s	189 µg/kg s.s	< 6 µg/kg s.s.	< 6 µg/kg s.s	0
Pesticidi	----------	----------	< 12 µg/kg s.s	< 12 µg/kg s.s	----------

Superamento LCB
Superamento LCL

Tabella 4.2: Confronto tra i valori rilevati analiticamente e i limiti tabellari del Manuale ICRAM-APAT 2008.

Analisi Ecotossicologiche

Di seguito è riportata la tabella 4.3 con le scale di tossicità acuta adottate per le matrici elutriato e fase solida.

Elutriato *Riduzione Bioluminescenza %*	Fase solida *S.T.I*	Giudizio *Tossicità*	Classe *Tossicità*
$-10 \leq \Delta \leq 10$	$0 \leq S.T.I \leq 1$	*Assente*	*0*
$10 < \Delta \leq 20$; $\Delta < -10$	$1 < S.T.I \leq 3$	*Lieve*	*1*
$20 < \Delta \leq 40$	$3 < S.T.I \leq 6$	*Media*	*2*
$40 < \Delta \leq 80$	$6 < S.T.I \leq 12$	*Alta*	*3*
$80 < \Delta \leq 100$	$12 < S.T.I$	*Molto Alta*	*4*

Tabella 4.3 - Scale di tossicità acuta.

Sulla matrice acquosa (elutriato) il test su *Daphnia magna* non ha rilevato positività;

il test su *Vibrio fischeri* ha registrato episodi di positività LIEVE in corrispondenza dello sbarramento (aree da 1 a 10), nelle aree 37-39-40-53-54, nelle aree 55-56-65-66-67-74-75-76-77.

Sulla matrice solida (sedimento tal quale) il saggio batterico su Vibrio fischeri ha rilevato fenomeni di positività:

- ALTA - MOLTO ALTA nella parte di monte del bacino lacustre e sulla sponda in sinistra idrografica;
- Si rileva una discreta eterogeneità di valori nella zona centrale dell'invaso;
- MOLTO ALTA in corrispondenza della sponda in destra idrografica;
- LIEVE nella zona prospiciente lo sbarramento.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il fuso granulometrico riportato in figura e i risultati riportati nelle tabelle, evidenziano una netta prevalenza di sabbie fini presenti nei sedimenti depositati.

Da i valori riportati nella tabella delle analisi chimiche, si evince il rispetto pressocchè totale dei limiti tabellari riportati per tali valori nella legge 152/06.

Da i valori riportati nella tabella relativa alle analisi ecotossicologiche si evince che solo in poche celle, i limiti sono superati di pochissimo.

Per quanto detto sopra, considerato il tasso di sedimentazione riscontrato, le dinamiche sedimentarie sia pregresse che in corso, il profilo qualitativo dei sedimenti, non emergono elementi complessivi tali da ritenere necessari interventi particolari ed urgenti sull'invaso prestando peraltro attenzione, qualora si effettuasse un dragaggio, a non rimuovere i sedimenti che destano preoccupazione dal punto di vista qualitativo.

5 – ANALISI DEI RISULTATI E POSSIBILE UTILIZZO DEI SEDIMENTI

Per quanto concerne il bacino, si è stimato un interrimento complessivo nel lago di circa $4{,}5*10^6$ m^3 di cui $3{,}1*10^6$ m^3 rilevati a monte del ponte romano di Scipione. L'area fondale a monte del Ponte, nel periodo autunnale,a seguito dell'abbassamento del livello idrico dell'invaso, risulta

calpestabile e potenzialmente potrebbe essere soggetta ad operazioni di rimozione con mezzi meccanici dei sedimenti ivi depositati. Quest'ultima operazione risulta molto più economica di un dragaggio classico.

Tale ragione economica, unitamente al notevole quantitativo di sedimenti ivi interriti (circa 3/4 del volume complessivamente stimato) ed alle caratteristiche granulometriche di questi che li fanno classificare in misura pari all'88,2% come sabbia fine orientano ad ipotizzare un utilizzo economico delle sabbie lacuali.

L'ipotesi di utilizzo di detti sedimenti sabbiosi risulta confermata anche dalla caratterizzazione qualitativa che è stata effettuata (tab. 4. 1 e 4.2) pur manifestandosi in alcune celle di campionamento valori soglia superati sia per le caratteristiche chimiche sia per i limiti dei test ecotossicologici. Nella tabella 5.1 viene riportata una sintesi dei risultati delle analisi fisiche chimiche ed ecotossicologiche in relazione alle celle di campionamento che vanno dalla 90 alla 108 (fondale del lago a tergo di Ponte Scipione), in modo da coprire tutta l'area fondale a monte del ponte che potrebbe essere sottoposta ad operazioni di rimozione del sedimento depositato.

CAMPIONE		ANALISI FISICHE				
		GRANULOMETRIA				
ID	PROT	GHIAIA %	SABBIA %	LIMO E ARGILLA %	Gs Kg/dm^3	u %
90	4069	0,00	82	18	2,51	28,1
91	970	0,00	87,12	12,88	2,37	27,9
92	969	0,00	93,13	6,87	2,65	27,9
93	968	0,00	90,95	9,05	2,49	28,9
94	967	0,00	84,56	15,44	2,63	44,7
95	966	0,00	88,47	11,53	2,50	19,5
96	963	0,00	89,29	10,71	2,44	27,9
97	964	0,00	93,76	6,24	2,44	32,6
98	965	0,00	96,65	3,35	2,37	25,0
99	3993	0,00	85,35	14,65	2,37	30,3
100	3994	0,00	80,61	19,39	2,51	22,8
101	3992	0,00	94,97	5,03	2,48	27,3
102	3995	0,00	92,56	7,44	2,42	34,7
103	3996	0,00	88,91	11,09	2,52	22,6
104	4001	0,00	83,2	16,8	2,5	25,1
105	4000	0,00	79,7	20,3	2,45	27,8
106	3999	0,00	84,4	15,6	2,46	23,7
107	3998	0,00	84,54	15,46	2,43	22,1
108	3997	0,00	95,73	4,27	2,39	13,9

Tab 5.1 - Analisi fisiche effettuate nelle celle unitarie a tergo di Ponte Scipione

CAMPIONE		ANALISI CHIMICHE														
					METALLI (mg/kg s.s.)									mg/kg s.s.		
ID	PROT	TOC g/kg s.s.	P Tot mg/kg s.s.	N Tot mg/kg s.s.	As	Al	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	IPA	PCB	Pesticidi
90	4069	8,78	129,00	325,00	0,39	1478,00	0,17	27,92	24,47	<0,02	32,79	10,59	59,95	< 2	< 60	< 12
91	970	24,10	22,20	887,61	6,72	2713,30	0,14	105,73	27,32	<0,02	48,14	7,74	117,51	< 2	< 60	< 12
92	969	22,70	107,20	930,09	6,75	2375,80	0,13	101,10	27,73	0,56	45,90	8,70	119,96	< 2	< 60	< 12
93	968	25,90	142,80	853,96	10,13	3332,90	0,14	102,29	29,63	<0,02	47,62	14,43	116,35	< 2	< 60	< 12
94	967	30,90	76,50	174,97	6,33	2004,80	0,26	78,80	28,85	0,05	44,88	8,92	116,28	< 2	< 60	< 12
95	966	24,50	128,40	69,43	3,25	1460,10	0,18	63,52	18,75	<0,02	25,43	4,25	86,15	< 2	< 60	< 12
96	963	25,00	197,40	143,26	9,57	4424,00	0,27	104,70	41,68	<0,02	45,61	19,19	151,68	< 2	< 60	< 12
97	964	23,90	156,50	985,04	9,31	3794,30	0,22	109,56	29,82	0,98	49,42	14,81	131,18	< 2	< 60	< 12
98	965	32,80	7,70	802,44	8,35	3121,50	0,16	99,10	27,50	<0,02	45,33	14,32	123,00	< 2	< 60	< 12
99	3993	14,90	159,00	175,00	<0,3	1113,00	0,22	35,00	25,37	<0,02	31,51	10,42	66,11	< 2	< 60	< 12
100	3994	22,12	136,00	93,00	<0,3	1118,00	0,24	33,06	29,64	<0,02	36,83	11,38	71,02	< 2	< 60	< 12
101	3992	27,66	154,00	99,00	<0,3	974,00	0,32	27,86	29,40	<0,02	33,23	11,46	78,89	< 2	< 60	< 12
102	3995	21,04	197,00	146,00	<0,3	1287,00	0,25	37,42	31,83	<0,02	36,67	12,16	70,25	< 2	< 60	< 12
103	3996	11,04	141,00	103,00	0,30	1285,00	0,21	34,20	26,10	<0,02	34,25	12,54	76,28	< 2	< 60	< 12
104	4001	58,78	196,00	197,00	0,49	1181,00	0,22	38,52	30,75	<0,02	38,09	11,09	83,56	< 2	< 60	< 12
105	4000	22,28	169,00	293,00	0,47	1006,00	0,21	34,56	27,22	<0,02	36,45	11,25	72,97	< 2	< 60	< 12
106	3999	14,12	200,00	114,00	<0,3	1287,00	0,23	36,88	26,48	<0,02	34,22	11,13	74,58	< 2	< 60	< 12
107	3998	25,42	155,00	153,00	0,41	984,00	0,12	19,93	13,72	<0,02	17,54	5,47	65,02	< 2	< 60	< 12
108	3997	14,56	102,00	109,00	0,33	1004,00	0,16	31,38	17,37	<0,02	23,39	7,57	47,12	< 2	< 60	< 12

Tab 5.2 - Analisi chimiche effettuate nelle celle unitarie a tergo di Ponte Scipione

CAMPIONE		ECOTOSSICOLOGIA (*Saggio di tossicità acuta sui VIBRIO FISCHERI*)					ECOTOSSICOLOGIA (*Saggio di tossicità acuta su Daphnia Magna*)
		Elutriato (% rid. Biolum)	Sedimento T.Q.				Elutriato (% Org. Imobili)
ID	PROT	% rid. Bioluminescenza	S.T.I.	U.T.	Limiti Fiduciali 95%	R2	
90	4069	3,16	0,32	1634,11	1117,88 - 2389,41	0,9582	20
91	970	10,48	0,03	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
92	969	10,48	0,04	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
93	968	10,48	0,03	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
94	967	10,48	0,05	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
95	966	10,48	0,07	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
96	963	10,48	0,02	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
97	964	10,48	0,03	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
98	965	10,48	0,03	331,37	249,31 - 440,41	0,9583	20
99	3993	4,53	1,24	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
100	3994	4,53	1,23	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
101	3992	4,53	1,41	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
102	3995	4,53	1,07	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
103	3996	4,53	1,07	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
104	4001	4,53	1,17	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
105	4000	4,53	1,37	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
106	3999	4,53	1,07	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
107	3998	4,53	1,40	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10
108	3997	4,53	1,37	4807,32	2967,07 - 7785,36	0,9537	10

Tab 5.3 - Analisi ecotossicologiche effettuate nelle celle unitarie a tergo di Ponte Scipione

Il fuso granulometrico riportato in figura 4.7 e i risultati riportati nelle tabelle 5.1, evidenziano una netta prevalenza di sabbie fini presenti nei sedimenti depositati.

D'altra parte, in uno studio della dinamica della costa Molisana, (Università del Molise, 2007), si evidenzia la presenza di sabbie fini in diversi tratti del litorale Molisano in erosione (fig. 5.1).

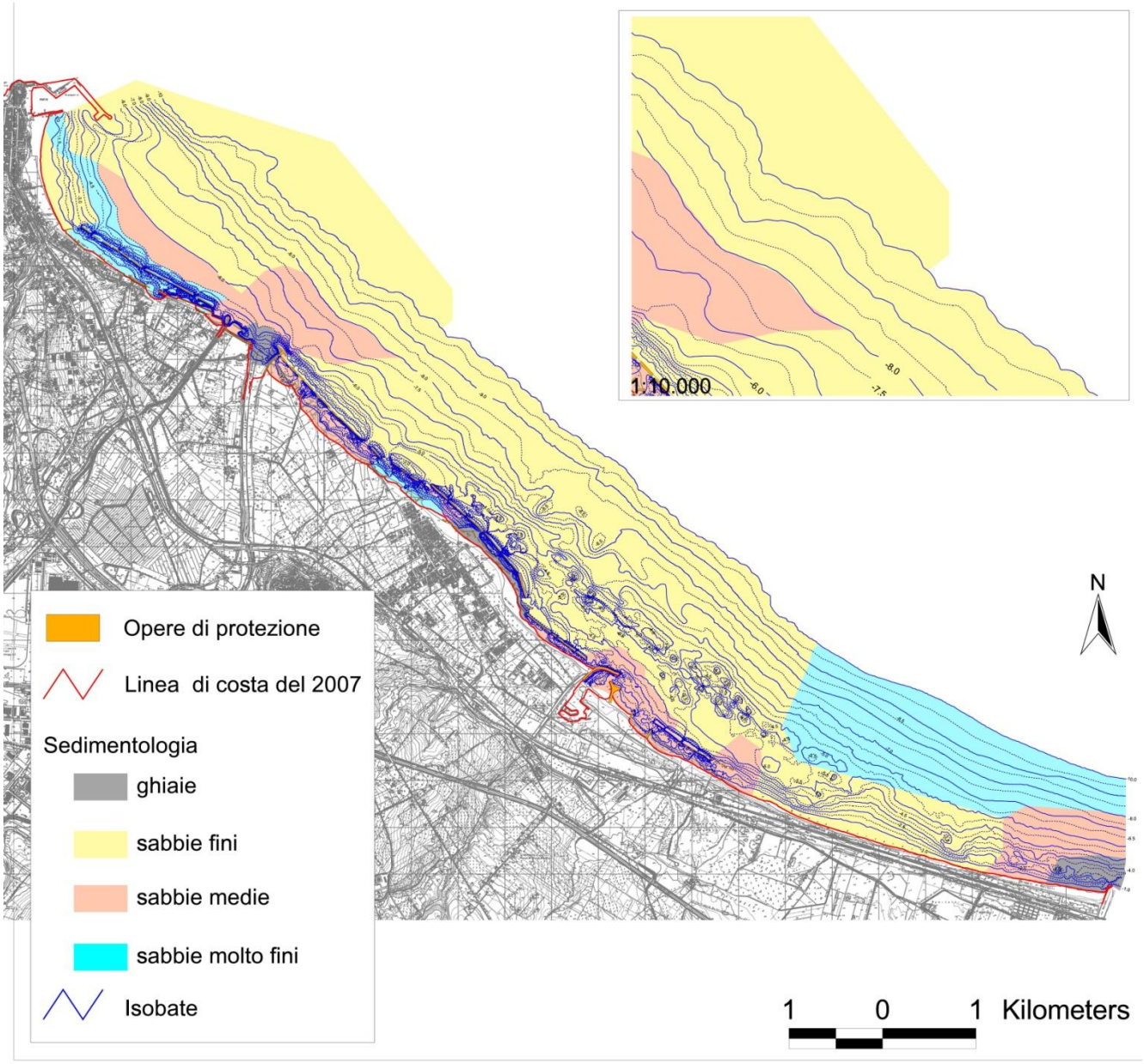

Fig.5.1 – Carta batimetrica e sedimentologica del litorale Molisano

Risulterebbe quindi possibile un utilizzo delle sabbie lacuali prelevate per il ripascimento dei suddetti tratti di litorale includendo allo scopo le sabbie con le stesse caratteristiche granulometriche, e con parametri chimici ed ecotossicologici al di sotto delle soglie limite previste.

Per definire completamente tale utilizzo, andrebbero peraltro effettuate anche analisi microbiologiche.

Ciò porta a concludere che buona parte dell' 88,2% di sabbie potrebbe essere utilizzata per ripascimento, la restante parte per altri prodotti per le costruzioni.

Il quantitativo di sedimento argilloso in misura dell 11,8%, potrebbe essere utilizzato per produrre Cemento Portland (Valenti et al.,2000) o manufatti geopolimerici

6 – CONCLUSIONI

I benefici conseguenti allo sfangamento sono molteplici:

- Recupero di capacità idrica destinabile a potenziali nuovi utenti;
- Recupero di capacità idrica destinabile ad un aumento del Deflusso Minimo Vitale (DMV) e conseguente maggiore tutela dell' ecosistema vallivo.
- Utilizzo, per ripascimento, dei sedimenti classificabili come sabbia fine con concentrazioni di contaminanti chimici inferiori alle soglie sia della tab. 4.2 (estratte dalla 152/06), che dalla tab. 4.3 (estratta dal manuale ICRAM) e con risultati delle analisi ecotossicologiche e microbiologiche soddisfacenti;
- Tutela dell'ecosistema marino in caso di utilizzo delle sabbie lacuali per ripascimento.
- Utilizzo delle sabbie restanti per produrre cemento
- Utilizzo delle argille restanti per realizzare manufatti geopolimerici.

Una attenta valutazione sia dei costi che dei benefici, può portare a un progetto di sfangamento e utilizzo dei sedimenti che trasforma questi ultimi da "rifiuto" a "sottoprodotto", da "problema" a "risorsa".