

APAT – ICRAM

ARPAS - AZIENDAUSL1/PMP SASSARI E AZIENDA USL8/PMP CAGLIARI

Indagini straordinarie di monitoraggio della radioattività ambientale nell' Arcipelago di La Maddalena



Giugno 2004

Indagini straordinarie di monitoraggio della radioattività ambientale
nell'Arcipelago di La Maddalena

Autori:

L. Matteocci, R. Ocone, P. Zeppa, P. Innocenzi, A. Di Lullo

APAT

E. Amato, L. Alcaro, C. Della Torre, P. Giordano, S. Giuliani, M. Penna

ICRAM

F. Manca, F. Pinna, M. Garau

ARPAS/PMP Sassari

M. Manunza, M. Cappai, S. Puddu, M. Ragatzu, L. Manca

ARPAS/PMP Cagliari

Indice

SOMMARIO	7
1 Introduzione	11
2 Premessa.....	12
3 Obiettivi dell'attività.....	14
4 Attività in campo e di laboratorio	15
4.1 Campionamento delle matrici ambientali	15
4.2 Misure radiometriche	18
5 Interpretazione dei risultati e conclusioni	21
 ALLEGATO 1	
Serie U-238, Th-232, U-235: Decadimento e tempi di dimezzamento	27
 ALLEGATO 2	
Riepilogo delle attività di campionamento	31
 ALLEGATO 3	
Dati granulometrici sedimenti marini campionati	39
 ALLEGATO 4	
Riepilogo risultati misure di spettrometria gamma per i radionuclidi artificiali su campioni di <i>Posidonia oceanica</i> , sedimenti marini, <i>Jania rubens</i> e <i>Corallina elongata</i>	43
 ALLEGATO 5	
Serie storiche periodo 1998-2003 dell'attività di sorveglianza radiologica ambientale condotte ai sensi dell'art. 104 del D.L.vo 230/1995 dal C.R.R. del PMP di Cagliari nell'area di La Maddalena ed altri siti della Sardegna	55
 ALLEGATO 6	
Riepilogo risultati misure di spettrometria gamma per i radionuclidi naturali su campioni di <i>Posidonia oceanica</i> e sedimenti marini	59
 ALLEGATO 7	
Riepilogo risultati misure di spettrometria gamma per i radionuclidi naturali su campioni di <i>Jania rubens</i> e di <i>Corallina elongata</i>	71
 ALLEGATO 8	
Andamento del decadimento del Th-234 in campione di alga marina rossa	81

ALLEGATO 9	
Riepilogo misure di spettrometria gamma sul Th-234 per campioni (setacciati e non setacciati) di <i>Jania rubens</i> e di <i>Corallina elongata</i>	85
ALLEGATO 10	
Metodica preparazione radiochimica dei campioni per spettrometria alfa ai fini della determinazione degli isotopi dell'Uranio in matrici ambientali	89
ALLEGATO 11	
Riepilogo misure di spettrometria alfa su campioni di acqua marina, <i>Jania rubens</i> e <i>Corallina elongata</i> e sedimenti e relativi rapporti isotopici dell'Uranio	95
ALLEGATO 12	
Dati relativi al Cs-137 nei sedimenti marini su territorio nazionale a seguito delle ricadute di Chernobyl.....	107
ALLEGATO 13	
Riepilogo misure di U-238 (spettrometria alfa), Th-234 (spettrometria gamma) e fattori di concentrazione Th-234/U238 misurati nelle alghe rosse	111
ALLEGATO 14	
Riepilogo risultati misure spettrometria gamma sui campioni di fauna ittica stanziale e ricci	115
ALLEGATO 15	
Bibliografia	121

SOMMARIO

Il presente rapporto riferisce delle indagini straordinarie di monitoraggio della radioattività ambientale nell'Arcipelago di La Maddalena, svolte secondo quanto stabilito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, d'intesa con la Regione Autonoma della Sardegna, in relazione all'evento incidentale occorso nell'autunno 2003 al sottomarino USS HARTFORD, ed in generale alla presenza di sottomarini a propulsione nucleare nell'area.

L'indagine straordinaria costituisce integrazione delle attività ordinarie condotte nell'ambito della sorveglianza radiologica ambientale dell'Arcipelago di La Maddalena e di quelle effettuate, su scala regionale, ai fini dell'art. 104 del D.L.vo 230/1995 e successive modifiche, che proseguono secondo i programmi stabiliti.

Le indagini sono state svolte dal gruppo di lavoro costituito dall' Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT), dall' Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare (ICRAM) e dall' Agenzia Regionale Protezione Ambiente Sardegna (ARPAS), rappresentata dall'Azienda USL 1 - Presidio Multizonale di Prevenzione (PMP) di Sassari e dall'Azienda USL 8 – Presidio Multizonale di Prevenzione (PMP) di Cagliari.

Le attività sono state finalizzate ad evidenziare l'eventuale presenza di anomalie della radioattività ambientale nell'Arcipelago di La Maddalena ed a determinarne l'eventuale origine antropica. In particolare, sono stati definiti i seguenti obiettivi specifici:

1. determinare l'eventuale presenza di contaminazione radioattiva associabile all'evento incidentale verificatosi al sottomarino HARTFORD nell'autunno 2003;
2. determinare la concentrazione di attività dell'Uranio 238 e dei suoi figli (Torio 234), in matrici di alghe marine rosse;
3. stabilire l'eventuale origine antropica della concentrazione di attività di Uranio 238 e dei suoi figli in matrici ambientali significative.

A tal fine è stata svolta una campagna di campionamento in siti rappresentativi dell'Arcipelago di La Maddalena e della Sardegna, nei quali sono state prelevate le seguenti matrici ambientali: acqua marina, *Posidonia oceanica* (pianta marina), *Corallina elongata* e *Jania rubens* (alghe marine rosse), sedimenti, *Paracentrotus lividus* (riccio di mare). Inoltre, al fine di ampliare il quadro conoscitivo, sono stati analizzati campioni di fauna marina stanziale.

Sui campioni raccolti sono state effettuate misure di spettrometria gamma e di spettrometria alfa.

Le attività sono state svolte nel periodo febbraio – maggio 2004.

Dalla valutazione dei risultati delle misure radiometriche emerge quanto segue:

1. le misure di spettrometria gamma non evidenziano la presenza di valori anomali di attività di radionuclidi artificiali (e.g. Cesio 137, Cesio 134, Iodio 131, Cobalto 60). Ciò permette di escludere che a seguito dell'evento incidentale al sottomarino USS HARTFORD dello scorso autunno vi siano stati rilasci all'ambiente della radioattività presente nel sistema di propulsione nucleare del sottomarino stesso. Si possono altresì escludere rilasci rilevabili, di analoga natura, in generale attribuibili alla presenza di sottomarini nell'area;
2. le misure di spettrometria gamma sulle alghe marine rosse mostrano valori di Torio 234 e Protoattinio 234 metastabile elevati (da 1000 a 7000 di Bq/Kg per la *Jania rubens*) rispetto a quelli riscontrati in altre matrici. Le concentrazioni di attività si attestano sullo stesso ordine di grandezza per quanto riguarda i siti di La Maddalena, l'Asinara e Porto Conte. Non si evidenziano pertanto specificità del sito di La Maddalena;
3. contrariamente ai riportati valori di Torio 234 le misure di spettrometria alfa sulle alghe marine rosse mostrano concentrazioni non elevate di Uranio 238 (3-13 Bq/Kg) senza, peraltro, significativa variabilità tra i differenti siti di campionamento. Risulta infatti un fattore di accumulo in attività del Torio 234, rispetto all'Uranio 238, variabile da 200 a 1000. Inoltre, le misure di spettrometria alfa sull'acqua, sulle alghe e sui sedimenti, rispecchiano la composizione isotopica dell'uranio naturale. La concentrazione di attività di Uranio 238 nell'acqua marina, inoltre, non mostra significativa variabilità tra i diversi siti di campionamento.

Alla luce dei succitati risultati è pertanto possibile ritenere che il contenuto di uranio nelle alghe, nell'acqua marina e nei sedimenti non deriva da attività antropiche (uranio depleto o arricchito) e che gli elevati valori del Torio 234 riscontrati nelle alghe marine rosse sono imputabili a processi naturali di accumulo, come descritto in letteratura;

4. le misure di spettrometria gamma effettuate sui campioni di fauna marina stanziale non evidenziano particolarità né differenze tra i vari siti.

In sintesi, i risultati delle indagini condotte permettono di escludere che, a seguito dell'evento incidentale al sottomarino USS HARTFORD, vi siano stati rilasci all'ambiente della radioattività presente nel sistema di propulsione nucleare, nonché altri rilasci rilevabili, di analoga natura, attribuibili in generale alla presenza di sottomarini nell'area. Le indagini stabiliscono altresì che l' Uranio 238 presente nelle matrici ambientali non è di origine antropica e che gli elevati valori di Torio 234 nelle alghe marine rosse, evidenziati dalle misure, sono imputabili a processi di accumulo naturali.

Dalle attività svolte sono comunque emersi spunti per ulteriori approfondimenti scientifici in relazione ai processi di accumulo di radionuclidi in matrici biologiche marine. Pertanto, anche in ragione della rilevanza naturalistica del sito dell'Arcipelago di La Maddalena e della sua sensibilità rispetto ai fattori di pressione antropica, i succitati aspetti, e più in generale la problematica della sorveglianza radiologica ambientale nell'area, continueranno ad essere oggetto di attenzione da parte del gruppo di lavoro.

1 Introduzione

Il presente rapporto riferisce delle indagini straordinarie di monitoraggio della radioattività ambientale nell'Arcipelago di La Maddalena, svolte secondo quanto stabilito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, d'intesa con la Regione Autonoma della Sardegna, in relazione all'evento incidentale occorso nell'autunno 2003 al sottomarino USS HARTFORD, ed in generale alla presenza di sottomarini a propulsione nucleare nell'area.

L'indagine straordinaria costituisce integrazione delle attività ordinarie condotte nell'ambito della sorveglianza radiologica ambientale dell'Arcipelago di La Maddalena e di quelle effettuate, su scala regionale, ai fini dell'art. 104 del D.L.vo 230/1995 e successive modifiche, che proseguiranno secondo i programmi stabiliti.

Le indagini sono state svolte dal gruppo di lavoro costituito dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT), dall'Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare (ICRAM) e dall'Agenzia Regionale Protezione Ambiente Sardegna (ARPAS), rappresentata dall'Azienda USL 1 - Presidio Multizonale di Prevenzione (PMP) di Sassari e dall'Azienda USL 8 - Presidio Multizonale di Prevenzione (PMP) di Cagliari.

Nell'ambito del gruppo di lavoro si è operato con la seguente suddivisione di funzioni e competenze:

Coordinamento tecnico-scientifico ed organizzativo	APAT
Attività di campionamento delle matrici ambientali	ICRAM, PMP-Sassari, PMP Cagliari, APAT
Caratterizzazione biologica dei campioni	ICRAM
Misure radiometriche	PMP Sassari, PMP Cagliari
Armonizzazione delle metodiche delle misure radiometriche e coordinamento delle relative attività	APAT
Analisi dati radiometrici	PMP Sassari, PMP Cagliari APAT
Valutazione risultati indagine	APAT, ICRAM, PMP-Sassari, PMP Cagliari

Le attività d'indagine sono state svolte nel periodo febbraio-maggio 2004.

Ai fini dell'efficace svolgimento delle attività di campionamento il gruppo di lavoro si è avvalso del determinante supporto del Nucleo SDAI della Marina Militare, dell'Ente Parco La Maddalena, dell'Ente Parco Asinara, del Comando Carabinieri per la Tutela dell'Ambiente e del Nucleo Carabinieri Subacquei di Cagliari.

Il gruppo di lavoro si è altresì avvalso del prezioso contributo del Prof. G. Oggiano e del Prof. A. Cossu dell'Università degli Studi di Sassari, rispettivamente per gli aspetti di caratterizzazione geologica e per gli aspetti di biologia marina.

2 Premessa

Al fine di facilitare una migliore comprensione delle attività svolte si premettono le seguenti informazioni.

Nell'Arcipelago di La Maddalena, per la presenza della base militare statunitense, presso la quale sostano sottomarini a propulsione nucleare, esiste dagli anni '70 una rete locale di rilevamento della radioattività ambientale atta a segnalare eventuali variazioni anomale della stessa, potenzialmente riconducibili alla presenza dei navigli suddetti. A tal riguardo è in essere, a cura del Presidio Multizonale di Prevenzione di Sassari, un sistema di controlli radiometrici su matrici ambientali rappresentative, effettuato su base mensile, ed è in funzione un sistema di monitoraggio radiologico, costituito da centraline per il rilevamento automatico ed immediato del superamento di livelli di allarme della radioattività, gestito dal Presidio stesso; ciò in aggiunta ed in maniera indipendente rispetto alle attività di monitoraggio svolte dalla Marina Militare. Occorre rilevare che, come normalmente avviene in tutte le installazioni aventi un reattore nucleare in funzione, i succitati controlli sono soprattutto indirizzati a rilevare l'eventuale presenza di radionuclidi artificiali indicativi di un rilascio all'ambiente della radioattività presente nel reattore e nei sistemi ad esso connessi. Trattasi in tal caso di radionuclidi (e.g. Cesio 137, Iodio 131 etc) risultanti dal processo di fissione nucleare che si verifica nel reattore che, nel caso dei sottomarini, alimenta il sistema di propulsione, o dal fenomeno di attivazione (e.g. Cobalto 60), conseguente all'irraggiamento neutronico dei materiali presenti nel sistema di refrigerazione del reattore stesso. Tali radionuclidi infatti, nell'ipotetico ed estremamente improbabile caso di grave incidente al reattore, sarebbero i primi ad essere rilasciati all'ambiente.

Con riferimento alla presunta anomala concentrazione di Torio 234 e degli altri radionuclidi della famiglia dell'Uranio 238 nelle matrici ambientali di alghe marine rosse, ed all'allarme che ciò ha destato nella popolazione in virtù di un possibile collegamento con l'evento incidentale verificatosi al sottomarino USS HARTFORD, ed in generale con il transito dei sottomarini a propulsione nucleare nell'Arcipelago, occorre considerare quanto segue:

- il Torio 234 è il primo figlio della catena di decadimento radioattivo dell'Uranio 238 (allegato 1) che, come noto, è il principale isotopo dell'uranio naturale. Trattasi, quindi, di un elemento di origine naturale. Se non intervengono processi di separazione selettiva (di tipo naturale o antropico) le attività del Torio 234 e dell'Uranio 238 si trovano in equilibrio secolare (l'attività del figlio, Torio 234, coinciderebbe con quella del padre, Uranio 238), così come l'attività degli isotopi discendenti della stessa famiglia;
- le percentuali in peso dei componenti l'Uranio naturale sono: Uranio 234= 0.0057%, Uranio 235= 0.72% e Uranio 238=99.28%;
- l'Uranio 238 e i suoi figli sono presenti nel combustibile dei reattori nucleari, ivi inclusi quelli per la propulsione dei sottomarini. I criteri base di sicurezza nel campo delle installazioni nucleari prevedono che la matrice stessa del combustibile (ossido di uranio, UO_2), in quanto in grado di trattenere i prodotti di fissione non volatili, costituisca la prima barriera fisica al rilascio di radioattività all'ambiente esterno. A tale barriera vanno poi ad aggiungersi altre tre barriere, rappresentate rispettivamente dalle guaine metalliche, all'interno delle quali trova alloggio il combustibile, dal circuito di refrigerazione del reattore e dal sistema di contenimento. Le caratteristiche chimico-fisiche dei radionuclidi artificiali che si producono durante il funzionamento del reattore fanno poi sì, come sopra indicato, che, in caso d'ipotetico incidente al reattore, questi siano i primi ad essere rilasciati e, con la sola eccezione di eventi di particolare gravità, anche gli unici. L'eventuale rilascio di Uranio 238 è quindi possibile soltanto in caso di eventi a probabilità estremamente bassa e, comunque, sarebbe preceduto dal rilascio di radionuclidi artificiali di facile rilevazione (ad es. Cesio 137, Cesio 134 etc). Tali considerazioni risultano valide anche in relazione ai radionuclidi transuranici, quali ad esempio il Plutonio, che si producono all'interno del reattore nucleare;

- il Torio ha una bassa solubilità ed una spiccata tendenza ad essere rimosso dalla fase disciolta attraverso processi di adsorbimento, co-precipitazione e bio-accumulo. L'Uranio, invece, mostra un'alta solubilità restando, pertanto, in soluzione. Tali diverse proprietà provocano disequilibri di attività tra i radionuclidi appartenenti alla stessa catena di decadimento presenti nelle matrici del sistema acquatico. Quanto sopra è ben noto dalla letteratura, dalla quale risulta altresì che lo studio dei citati disequilibri viene utilizzato per valutare la velocità di sviluppo dei processi responsabili (allegato 15);
- l'Arcipelago di La Maddalena e le zone costiere prospicienti del nord Sardegna sono costituite da graniti, in gran parte peralluminosi, e da rocce metamorfiche di alto grado interessate da parziali fenomeni anatettici. Tali rocce contengono fasi accessorie, quali monazite, allanite e zircone ricche di radionuclidi naturali. La radioattività ambientale, poco significativa nelle rocce tal quali, può aumentare significativamente in sedimenti derivanti dal loro smantellamento erosivo, durante il quale le fasi minerali di cui sopra possono subire notevoli concentrazioni;
- l'identificazione e la misura dell'attività dei radionuclidi viene effettuata con tecniche di spettrometria gamma ed alfa.

3 Obiettivi dell'attività

Le indagini straordinarie svolte sono finalizzate ad evidenziare l'eventuale presenza di anomalie della radioattività ambientale nell'Arcipelago di La Maddalena ed a determinarne l'eventuale origine antropica.

A tal fine sono stati definiti i seguenti obiettivi specifici:

- a) verificare l'eventuale presenza di contaminazione radioattiva associabile all'evento incidentale verificatosi al sottomarino USS HARTFORD nell'autunno 2003;
- b) determinare la concentrazione di attività dell'Uranio 238 e dei suoi figli (Torio 234), in matrici di alghe marine rosse;
- c) determinare l'eventuale origine antropica della concentrazione di attività di Uranio 238 e dei suoi figli.

4 Attività in campo e di laboratorio

Per il raggiungimento dei succitati obiettivi sono state stabilite le corrispondenti attività di seguito descritte:

- a) misure di spettrometria gamma su diverse matrici ambientali per individuare l'eventuale presenza di radionuclidi artificiali, associabili al processo di fissione o di attivazione nel sistema di propulsione nucleare dei sottomarini, in concentrazioni anomale rispetto ai valori di fondo;
- b) misure di spettrometria gamma ed alfa su matrici di alghe marine rosse;
- c) misure di spettrometria gamma (di cui al punto a) al fine di individuare eventuali collegamenti con l'evento incidentale, o in generale con il sistema di propulsione nucleare dei sottomarini in transito nell'area. Infatti, ove verificata l'assenza di radionuclidi artificiali, per le considerazioni espresse in premessa, si deve escludere anche il rilascio di elementi facenti parte della matrice del combustibile nucleare (quali ad es. Uranio 238 e sui figli, Plutonio 239 etc);
- d) misure di spettrometria alfa su acqua marina, alghe e sedimenti, per effettuare un'analisi della composizione isotopica dell'uranio al fine di determinare l'eventuale presenza di uranio arricchito o depleto.

Inoltre, al fine di ampliare il quadro conoscitivo, sono state effettuate alcune misure di spettrometria gamma su campioni di fauna marina stanziale.

In considerazione della rilevanza naturalistica dei siti indagati, l'ICRAM ha effettuato ulteriori campionamenti al fine di svolgere studi sulla qualità ambientale a più ampio spettro, mediante saggi biologici su sedimenti e bentoni.

4.1 Campionamento delle matrici ambientali

I punti di campionamento sono stati scelti individuando in primo luogo aree rappresentative dell'Arcipelago di La Maddalena.

Sono stati altresì individuati ulteriori punti in altre zone della Sardegna al fine di poter costituire opportuni elementi di confronto. Tali punti sono stati individuati considerando le

caratteristiche geologiche dei siti. In particolare, le situazioni omogenee per concomitanza di fattori geologici con l'Arcipelago sono state individuate nelle acque dell'Asinara settentrionale ed al largo di S. Teodoro. Viceversa, situazioni geologiche con rocce prive di fasi ricche di radionuclidi naturali di origine primordiale sono da ritenersi quelle in cui le coste sono costituite da rocce carbonatiche, sia mesozoiche come Porto Conte, che mioceniche come Sella del Diavolo-Cala Fighera (Cagliari) e Bonifacio.

Sono stati pertanto individuati i seguenti siti:

- Arcipelago di La Maddalena: rada di S.Stefano, Stagno Torto, Cala Francese, Secca dei Monaci, Porto Palma, Secca delle Bisce e Isola delle Bisce; per la rada di S.Stefano sono individuati i punti "A", "B" e "C" le cui coordinate geografiche sono riportate in allegato 2;
- siti con caratteristiche geologiche analoghe alla suddetta area: Punta Sabina (Asinara), S.Teodoro;
- siti geologicamente differenti: Porto Conte (Alghero) e Sella del Diavolo-Cala Fighera (Cagliari);

Successivamente, a seguito delle prime risultanze analitiche, si è ritenuto superfluo effettuare campionamenti nel sito di S. Teodoro.

Sono state campionate le seguenti matrici ambientali:

- acqua marina
- *Posidonia oceanica* (pianta marina)
- alghe marine rosse - *Corallina elongata* e *Jania rubens*
- sedimenti
- *Paracentrotus lividus* (riccio di mare)
- campioni di rocce.

Le attività sono state svolte nei seguenti periodi:

- per l'Arcipelago di La Maddalena, nei giorni 11-12 febbraio e nei giorni 4, 5, 9 e 19 marzo;
- per gli altri siti di campionamento, dal 16 al 18 marzo.

In ogni sito campionato sono state prelevate le seguenti quantità per matrice:

- acqua di mare: da 50 a 100 litri circa, prelevati a 5m di profondità;
- alghe rosse: da 1 a 4 kg circa;

- posidonia: da 1 a 2 kg circa (30% di rizomi, 70% di foglie);
- sedimenti: da 1 a 6 kg circa;
- ricci di mare: da 6 a 40 individui;
- roccia: da 2 a 10 kg circa.

In allegato 2 sono riportate le tabelle riepilogative dei prelievi effettuati, la visualizzazione dei punti di campionamento ed alcune foto dei campioni prelevati.

I campioni di fauna ittica stanziale (*Maja squinado* – Grancevola, *Fam. Triglidae* – Capone, *Conger conger* – Grongo, pesci stanziali dell'infraitorale) sono stati prelevati dallo sbarco di motopesca nel periodo marzo-maggio 2004 nei siti di La Maddalena, Alghero, Stintino, Castelsardo e Porto Torres.

Nel complesso si ritiene che le attività effettuate in campo siano state rispondenti agli obiettivi prefissati.

Si evidenziano, tuttavia, difficoltà riscontrate nel reperire sedimenti di granulometria adeguata per rilevare l'eventuale presenza di radionuclidi associati alla frazione fine del sedimento. In alcuni casi sono stati campionati sedimenti ascrivibili alle sabbie con scarsa o nulla presenza della frazione pelitica. In particolare, nell'Arcipelago di La Maddalena tale situazione è stata riscontrata in località Stagnali (Baia di Santo Stefano, punto "C"), nella Secca dei Monaci e nella Secca delle Bisce che, per loro costituzione, sono prive di sedimenti fini.

In allegato 3 si riportano i dati granulometrici dei sedimenti marini.

Per quanto riguarda l'alga *Jania rubens*, si evidenzia che essa è spesso epifita e associata ad altre specie. Risulta pertanto alquanto difficoltoso disporre di campioni axenici che garantiscano l'ascrivibilità delle misure radiometriche al solo tallo di questa specie. Infatti, nel corso delle campagne effettuate, *Jania rubens* è stata spesso rinvenuta in associazione con altre specie e i campioni prelevati presentavano quantità molto variabili di altre specie algali; solo nel sito dell'isola dell'Asinara è stato possibile prelevare campioni costituiti dalla sola *J. rubens*.

Inoltre, come per l'altra *Rhodophyta*, *Corallina elongata*, si sono incontrate difficoltà di reperimento nei siti di campionamento individuati poiché entrambe le specie sono stenoecie,

adattate, in particolare, a condizioni di elevato idrodinamismo quali si incontrano nel solco di battigia, loro habitat.

Quanto sopra evidenziato non ha tuttavia influenzato significativamente le attività di misura e di analisi dati.

4.2 Misure radiometriche

Per tutte le misure radiometriche sono stati utilizzati i dati nucleari estratti dalla libreria "*NUCLEIDE-LARA: Biblioteque de données nucléaires pour la spectrométrie gamma et alpha*" CEA ISBN 2-7272-0212-1.

A) Radionuclidi artificiali

Tutti i campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi spettrometrica gamma per la verifica del contenuto degli isotopi radioattivi artificiali rilasciabili da un reattore nucleare. Le misure sono state effettuate dal PMP di Sassari utilizzando rivelatori al germanio coassiali con efficienza 25-30%.

Le metodiche di misura utilizzate per le analisi spettrometriche gamma sono le seguenti:

Sedimenti

I sedimenti sono stati trattati per l'analisi spettrometrica gamma con rivelatore al germanio intrinseco secondo la norma UNI 10797/99, essiccati a 100° e setacciati ad 1mm.

Posidonia oceanica

La *Posidonia oceanica* è stata trattata secondo la norma UNI 10136/92, omogeneizzata a fresco ed analizzata tal quale.

Alghe rosse

Tutti i campioni sono stati essiccati in stufa a 105° e macinati con un mortaio. In tutti i casi si è valutato il rapporto di riduzione secco/fresco.

Alcuni campioni sono stati sottoposti ad analisi spettrometrica gamma anche a fresco.

Risultati analitici

In allegato 4 sono riportate le tabelle riassuntive dei risultati ottenuti relativamente a *Posidonia*, sedimenti ed alghe rosse. I valori preceduti dal segno < indicano la Minima Attività Rilevabile (MAR).

Per quanto riguarda l'acqua marina, in allegato 5 si riportano dati relativi alle misure di Cesio 137 e Stronzio 90 dal 1998 ad oggi nelle acque marine della Sardegna, e dati riguardanti

alcune misure di Plutonio 238 e Plutonio 239/240 per il periodo 2002-2003, che comprendono i risultati delle analisi ricavate dall'attività di sorveglianza radiologica ambientale ai sensi dell'art.104 del D.L.vo 230/1995 e successive modifiche, svolte dal PMP di Cagliari.

B) Radionuclidi Naturali

Su tutti i campioni prelevati è stata effettuata la determinazione della concentrazione di attività degli isotopi appartenenti alle tre famiglie radioattive naturali (allegato1) con analisi spettrometrica gamma.

Per i campioni di acqua marina, alghe rosse e sedimenti è stata inoltre effettuata un'analisi spettrometrica alfa per la determinazione della concentrazione degli isotopi delle due famiglie radioattive naturali dell'Uranio 238 e Uranio 235.

Spettrometria gamma

Metodiche di analisi

Le misure sono state effettuate dai Laboratori dei PMP di Sassari e Cagliari.

Il PMP di Sassari ha trattato tutti i campioni come sopra descritto. Al fine di verificare la dipendenza del dato ottenuto dalla composizione granulometrica del campione, il PMP di Cagliari ha setacciato i campioni di alghe essiccate per eliminare la frazione di granulometria superiore a 0,5 mm.

Per un controllo dell'affidabilità delle misure sono stati effettuati due interconfronti: il primo ha visto coinvolti i laboratori radiometrici dei due PMP insieme al laboratorio radiometrico dell'APAT, con lo scambio dello stesso campione da analizzare; il secondo è stato effettuato tra i due PMP analizzando lo stesso campione, sia non setacciato che setacciato. Entrambi gli interconfronti hanno evidenziato la rispondenza delle metodiche di misura.

Risultati Analitici

Negli allegati 6 e 7 si riportano le tabelle contenenti, per le matrici analizzate, i valori di concentrazione di attività relativi alle tre famiglie radioattive naturali e agli isotopi Berillio 7 e Potassio 40.

Si evidenzia che in fase di misura è stata riscontrata una variabilità tra campioni omologhi, prelevati nello stesso sito di campionamento, che si riflette nell'intervallo di variabilità delle misure.

Onde minimizzare le problematiche di autoassorbimento ed interferenze, si è optato per la quantificazione dell'attività del Torio 234 dalla riga del Protoattinio 234 metastabile, diretto discendente del Torio 234 in equilibrio secolare (allegato 1).

Al fine di seguire l'andamento nel tempo del contenuto di Torio 234 nelle alghe rosse, si è sottoposto ad analisi spettrometrica gamma lo stesso campione in tempi diversi.

In allegato 8 è presentato il grafico dell'andamento temporale delle misure.

In allegato 9 si riportano, inoltre, due grafici dove vengono riepilogati i valori del Torio 234 nelle due specie di alghe campionate.

Spettrometria alfa

Le misure di spettrometria alfa sono state effettuate dal laboratorio del PMP di Cagliari, utilizzando uno spettrometro alfa con camera a vuoto EG&G Ortec Alpha King con rivelatore a stato solido da 450 mm², risoluzione 19 keV e fondo 7×10^{-5} cps.

Per un controllo dell'affidabilità delle misure è stato effettuato un interconfronto con il laboratorio radiometrico dell'APAT in cui è stata eseguita la spettrometria alfa su uno stesso campione di alga (*Jania rubens*). Il risultato dell'interconfronto ha evidenziato la piena rispondenza dei risultati di misura, nonostante la diversa metodica utilizzata nella preparazione del campione.

Metodiche di analisi

La preparazione dei campioni è avvenuta come segue:

- arricchimento per coprecipitazione e dissoluzione (acqua marina);
- incenerimento e mineralizzazione per lisciviazione acida (alghe e sedimenti);
- estrazione e isolamento chimico con tri-ottilfosfina ossido e tecnica di cromatografia di partizione a fasi invertite;
- elettrodeposizione di una sorgente sottile.

In allegato 10 si riporta la descrizione dettagliata della metodica di preparazione radiochimica dei campioni.

Risultati analitici

In allegato 11 sono riportati i risultati analitici della spettrometria alfa sulle matrici di acqua marina, alghe marine rosse e sedimenti e i relativi rapporti isotopici dell'Uranio.

L'incertezza di misura sull' Uranio 235 è dovuta sia ai valori molto bassi di attività sia alle interferenze spettrali con i picchi prodotti dagli altri isotopi dell'Uranio. Una migliore risoluzione di tali interferenze avrebbe richiesto tempi di misura superiori a quelli a disposizione per l'attività d'indagine. Ciò non ha comunque inciso in maniera significativa sul raggiungimento degli obiettivi.

Non sono state effettuate le misure sui campioni di roccia prelevati, avendo ritenuto sufficienti, ai fini degli obiettivi dell'indagine, i dati acquisiti dalle misure sulle altre matrici.

5 Interpretazione dei risultati e conclusioni

Dai risultati delle misure radiometriche come descritte al paragrafo 4), si possono formulare le seguenti considerazioni:

- A) dall'analisi di spettrometria gamma (allegato 4) non si evidenzia la presenza di valori anomali di attività di radionuclidi artificiali. I dati confermano i risultati dei controlli ordinari della rete locale di sorveglianza radiologica ambientale gestita dal PMP di Sassari.

I valori di Cesio 137 nell'acqua marina e nei sedimenti risultano in linea con quanto storicamente rilevato in altri siti della Sardegna e ricadono all'interno della variabilità dei dati nazionali in relazione alla presenza ubiquitaria di Cesio 137 a seguito essenzialmente delle ricadute dell'incidente di Chernobyl (allegati 5 e 12). Presenza di Cesio 137 si riscontra anche nei campioni di *Jania rubens* prelevati a La Maddalena e Cagliari.

Si può quindi escludere che a seguito dell'evento incidentale al sottomarino USS HARTFORD dello scorso autunno vi siano stati rilasci all'ambiente della radioattività artificiale presente nel sistema di propulsione nucleare del sottomarino stesso. Si possono altresì escludere rilasci rilevabili, di analoga natura, in generale attribuibili alla presenza di sottomarini nell'area.

B) dall'analisi di spettrometria gamma sulle alghe (allegato 7) si sono rilevati valori di Torio 234 e Protoattinio 234 metastabile elevati rispetto a quelli riscontrati in altre matrici. In particolare, i valori di attività del Torio 234 nelle due specie algali analizzate sono in rapporto di circa 1:2. Per *Jania rubens* il range di variabilità tra i campioni non setacciati è compreso tra 600 e 5000 Bq/kg peso secco. Per *Corallina elongata* la variabilità è compresa tra 150 e 1800 Bq/kg peso secco. Nel caso di analisi condotte su campioni setacciati, la variabilità per *Jania rubens* è compresa tra 1100 e 7100 Bq/kg peso secco e per *Corallina elongata* tra 300 e 4200 Bq/kg peso secco.

Le concentrazioni di attività, in relazione alle diverse località di campionamento, si attestano sullo stesso ordine di grandezza per quanto riguarda i siti di La Maddalena, l'Asinara e Porto Conte, non evidenziando pertanto specificità del sito di La Maddalena. Si evidenzia che il valore più elevato si è riscontrato nel campione di *Jania Rubens* prelevato a Punta Sabina all'Asinara, che è risultato costituito dal solo tallo di questa specie.

A fronte dei succitati valori di Torio 234, dalle misure di spettrometria alfa sulle alghe rosse (allegato 11) non si sono, invece, riscontrati elevati valori di Uranio 238, rispecchiando pertanto l'assenza di equilibrio secolare fra Uranio 238 ed i suoi prodotti di decadimento. In particolare, le concentrazioni di Uranio 238 risultano comprese tra 3 e 13 Bq/kg. Inoltre, dette concentrazioni non evidenziano variabilità significative tra i diversi siti di campionamento.

L'accumulo in attività di Torio 234 rispetto all'Uranio 238 varia di un fattore compreso tra 200 e 1000 (allegato 13). Ulteriore conferma è rappresentata dalle misure di decadimento del Torio 234 eseguite su un campione di alga, i cui valori sono ben interpolati dalla curva teorica del Torio 234 in assenza di equilibrio secolare con l'Uranio 238 (allegato 8).

Le misure di spettrometria gamma effettuate sui campioni di fauna ittica stanziale e ricci (allegato 14) non evidenziano particolarità né differenze tra i vari siti.

C) Sulla base delle succitate risultanze della spettrometria gamma, che mostra l'assenza di anomalie nelle concentrazioni dei radionuclidi artificiali, e delle considerazioni espresse in premessa, si può affermare che gli elevati valori di Torio 234 riscontrati nelle alghe rosse non possono essere correlati con l'Uranio 238 presente nel combustibile nucleare dei sottomarini in transito nell'area.

Inoltre, i rapporti isotopici fra l'Uranio 234 e l'Uranio 238, ricavati dalle misure di spettrometria alfa sull'acqua, sulle alghe e sui sedimenti, corrispondono alle normali abbondanze isotopiche naturali. L'abbondanza isotopica dell'Uranio 235, anche considerando le incertezze di misura, è dell'ordine di grandezza caratteristico dell'Uranio naturale.

La concentrazione di attività di U-238 nell'acqua marina non mostrano significativa variabilità tra i diversi siti campionati.

Pertanto i risultati dell'indagine indicano che:

- il contenuto di Uranio nelle alghe, nell'acqua marina e nei sedimenti rispecchia pienamente i rapporti isotopici presenti in natura e, quindi, esso non deriva da attività antropiche (uranio depleto o arricchito)
- e gli elevati valori del Torio 234 nelle alghe marine rosse sono imputabili ai processi naturali di accumulo descritti in letteratura (allegato 15).

Le considerazioni sopra riportate, che escludono ogni correlazione tra il sistema di propulsione nucleare dei sottomarini in transito nell'area e le concentrazioni di Uranio e suoi discendenti nelle matrici ambientali, sono valide anche per i radionuclidi transuranici, quali ad esempio il Plutonio, che si formano nel combustibile del reattore. La presenza di tracce di Plutonio nelle acque marine, come risulta dai dati storici riportati in allegato 5, è coerente con le misure effettuate negli anni 70 in diverse aree del Mediterraneo (Adriatico e Jonio) descritte in letteratura (allegato 15). Tali valori di Plutonio sono comunemente attribuiti alle ricadute conseguenti ai passati programmi di test sugli armamenti nucleari ed alla distruzione in atmosfera del satellite SNAP -9A, contenente Plutonio 238, avvenuta nel 1964.

In sintesi, i risultati delle indagini condotte permettono di escludere che a seguito dell'evento incidentale al sottomarino USS HARTFORD dello scorso autunno vi siano stati rilasci all'ambiente della radioattività presente nel sistema di propulsione nucleare del sottomarino stesso, nonché altri rilasci rilevabili, di analoga natura, attribuibili in generale alla presenza di sottomarini nell'area. Le indagini stabiliscono altresì che l'Uranio 238 presente nelle matrici ambientali non è di origine antropica (arricchito o depleto) e che gli elevati valori

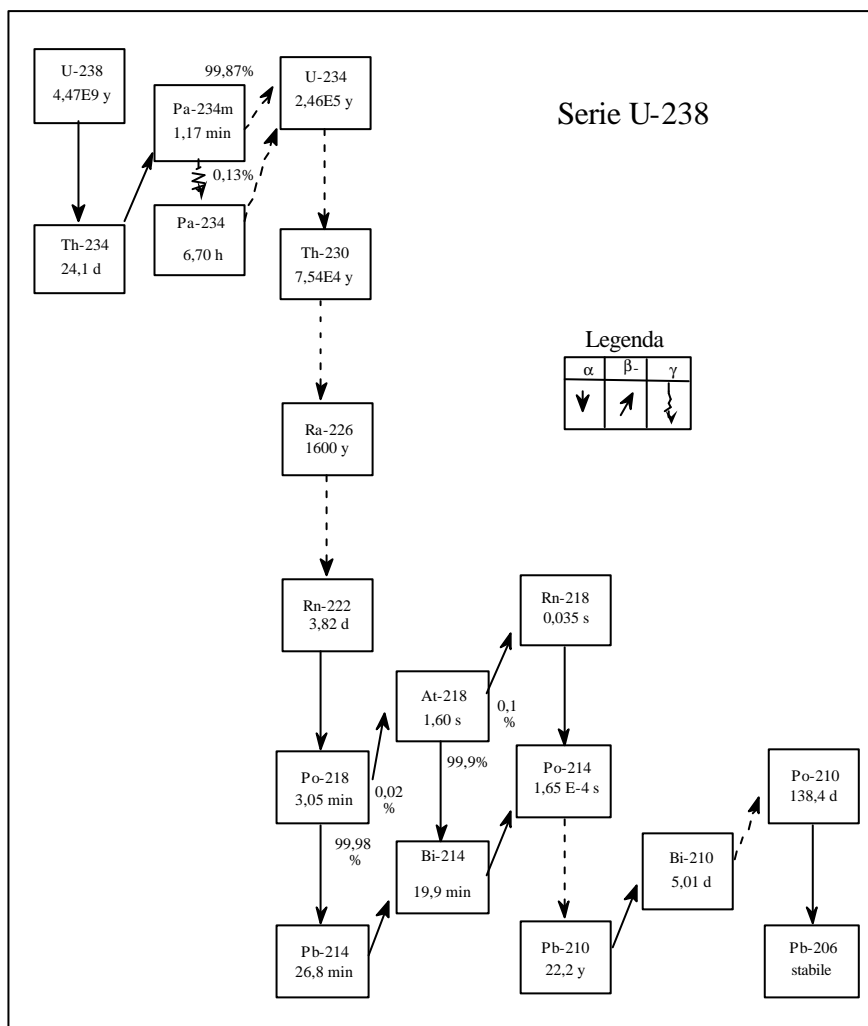
di Torio 234 nelle alghe marine rosse, evidenziati dalle misure, sono imputabili a processi di accumulo naturali.

Dalle attività svolte sono comunque emersi spunti per ulteriori approfondimenti scientifici in relazione ai processi di accumulo di radionuclidi in matrici biologiche marine. Pertanto, anche in ragione della rilevanza naturalistica del sito dell'Arcipelago di La Maddalena e della sua sensibilità rispetto ai fattori di pressione antropica, i succitati aspetti, e più in generale la problematica della sorveglianza radiologica ambientale nell'area, continueranno ad essere oggetto di attenzione da parte del gruppo di lavoro.

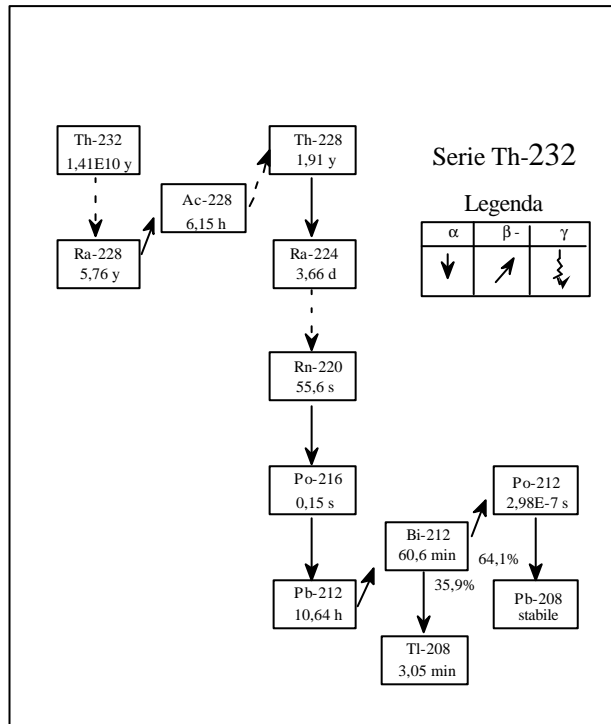
ALLEGATI

ALLEGATO 1

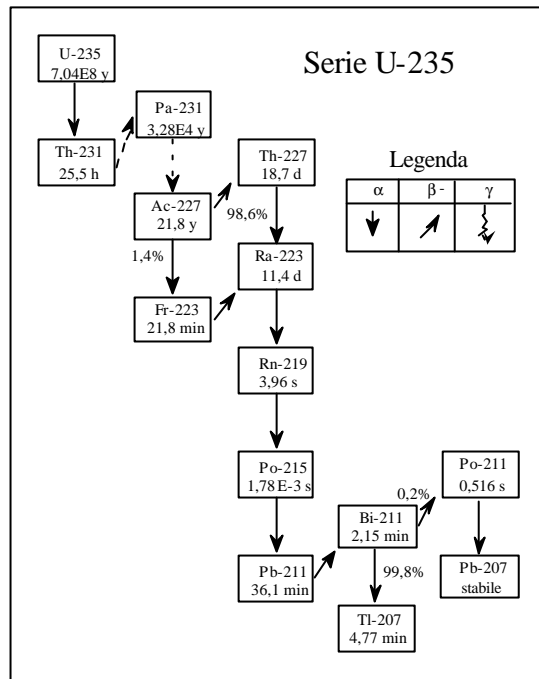
Serie U-238, Th-232, U-235: Decadimento e tempi di dimezzamento



Serie U-238 . Decadimento e tempi di dimezzamento.



Serie Th-232. Decadimenti e tempi di dimezzamento



Serie U-235. Decadimenti e tempi di dimezzamento.

ALLEGATO 2
Riepilogo delle attività di campionamento



Siti di campionamento



Siti di campionamento dell' Arcipelago di La Maddalena

Data	Siti di campionamento	Campione
11.02.'04	Santo Stefano punto "A" (La Maddalena) N 41°12'15" E 009°25'34"	Sedimenti
		<i>Jania Rubens</i> in associazione
		<i>Posidonia oceanica</i>
	Santo Stefano punto "B" (La Maddalena) N 41°11'82" E 009°25'50"	Sedimenti
		<i>Posidonia oceanica</i>
	Santo Stefano punto "C" (La Maddalena) N 41°12'03" E 009°26'38"	Sedimenti
12.02.'04	Stagno Torto punto (La Maddalena) N 41°15'25" E 009°24'44"	Sedimenti
		<i>Posidonia oceanica</i>
	Cala Francese (La Maddalena) N 41°13'30" E 009°22'18"	Sedimenti
		<i>Posidonia oceanica</i>
		<i>Corallina elongata</i>
	04.03.'04	Secca bisce (La Maddalena) N 41°11'17" E 009°31'89"
04.03.'04	Isola delle bisce (La Maddalena) N 41°09'73" E 009°31'73"	<i>Paracentrotus lividus</i>
		<i>Posidonia oceanica</i>
		<i>Jania rubens</i> in associazione
		Sedimenti
04.03.'04	Secca monaci (La Maddalena) N 41°13'10" E 009°32'44"	<i>Paracentrotus lividus</i>
05.03.'04	Cala Francese (La Maddalena) N 41°13'30" E 009°22'18"	<i>Paracentrotus lividus</i>
		<i>Jania rubens</i> in associazione
		Sedimenti

Data	Siti di campionamento	Campione
05.03.'04	Santo Stefano punto "A" (La Maddalena) N 41°12'15" E 009°25'34"	<i>Paracentrotus lividus</i>
		<i>Jania rubens</i> in associazione
		Sedimenti
09.03.'04	Cala Francese (La Maddalena) N 41°13'30" E 009°22'18"	Acqua
	Santo Stefano punto "A" (La Maddalena) N 41°12'15" E 009°25'34"	Acqua
16.03.'04	Porto Conte (Alghero) N 40°35'31" E 008°10'33"	<i>Paracentrotus lividus</i>
		<i>Corallina elongata</i>
		<i>Jania rubens</i> in associazione
		<i>Posidonia oceanica</i>
		Sedimenti
		Acqua
17.03.'04	Punta Sabina, fronte Cala Giordano, Cala dei Ponzesi Asinara (SS) N 41°05'14" E 008°20'58"	<i>Paracentrotus lividus</i>
		<i>Jania rubens</i>
		Sedimenti
		Roccia
		<i>Corallina elongata</i>
		Acqua
18.03.'04	Sella del Diavolo-Cala Fighera (CA) N 39°07'56" E 009°09'66"	<i>Paracentrotus lividus</i>
		<i>Jania rubens</i>
		Sedimenti
		<i>Posidonia oceanica</i>
		Roccia
		<i>Corallina elongata</i>
		Acqua

Data	Siti di campionamento	Campione
19.03.'04	Santo Stefano punto "C" (La Maddalena) N 41°12'03" E 009°26'38"	<i>Paracentrotus lividus</i> ;
		Sedimenti
		<i>Corallina elongata</i>
	Secca bisce (La Maddalena) N 41°11'17" E 009°31'89"	<i>Paracentrotus lividus</i> ;
		Roccia
	Secca monaci (La Maddalena) N 41°13'10" E 009°32'44"	<i>Paracentrotus lividus</i> ;
	Roccia	
	Isola delle bisce (La Maddalena) N 41°09'73" E 009°31'73"	<i>Jania rubens</i> in associazione
	Porto Palma (La Maddalena) N 41°11'12" E 009°27'18"	Sedimenti
28.03.'04	Santo Stefano punto "C" (La Maddalena) N 41°12'03" E 009°26'38"	<i>Paracentrotus lividus</i> ;

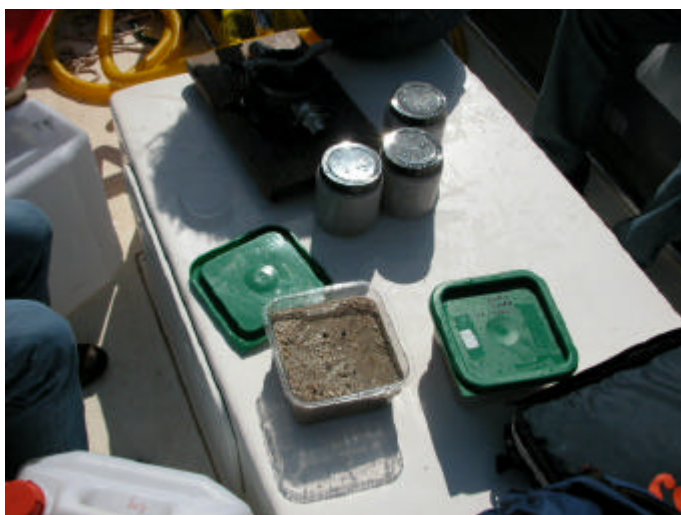
Immagini di alcuni campioni prelevati



Jania rubens in associazione



(La Maddalena)



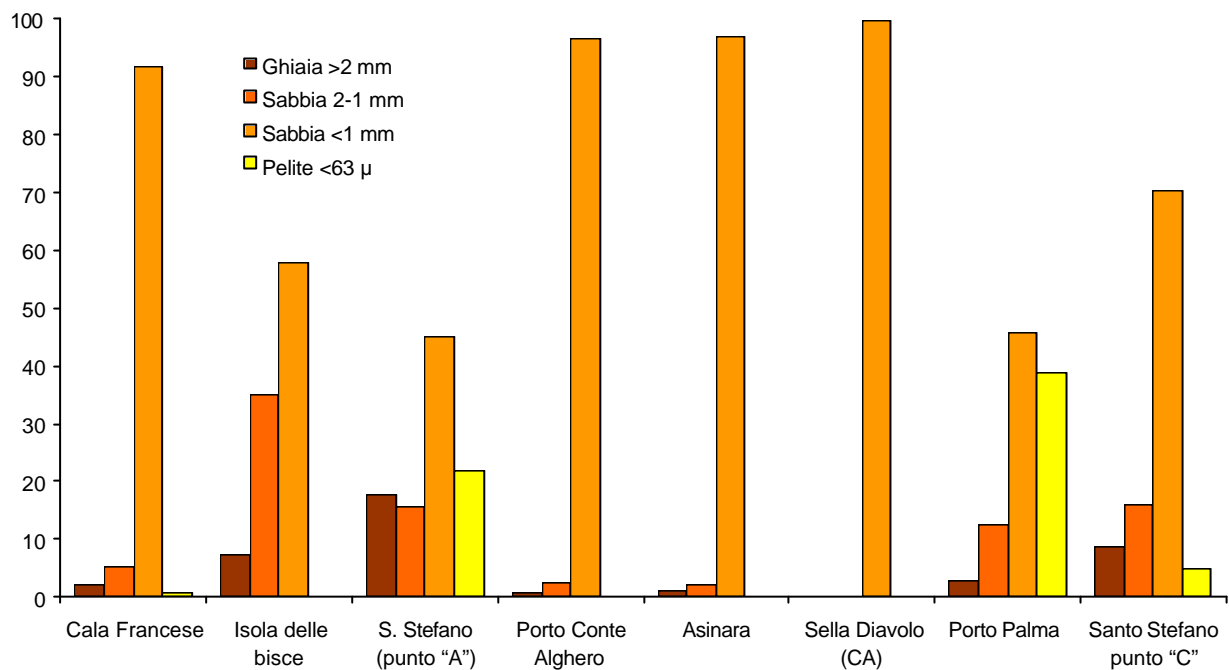
(Asinara)



(Asinara)

ALLEGATO 3

Dati granulometrici sedimenti marini campionati



Istogramma delle percentuali di frazioni granulometriche nei campioni di sedimento

ALLEGATO 4

Riepilogo risultati misure di spettrometria gamma per i radionuclidi artificiali su campioni di *Posidonia oceanica*, sedimenti marini, *Jania rubens* e *Corallina elongata*

Punto di prelievo: La Maddalena – “Punto A”				
Parametri analitici	Jania R.	Jania R.	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	25	29	///	///
Radionuclidi artificiali				
Attività (Bq/kg):	secco	secco	fresco	Secco
Co-60	<1,04	<0,32	<0,17	<0,17
Mn-54	<0,88	<0,29	<0,15	<0,19
Zr-95	<1,72	<0,59	<0,28	<0,29
Ru-103	<0,84	<0,29	<0,14	<0,16
I-131	<0,84	<0,47	<0,23	<0,38
Cs-134	<0,96	<0,30	<0,13	<0,14
Cs-137	<1,04	0,7±0,2	<0,18	2,1±0,3
Ce-141	<1,12	<0,44	<0,20	<0,26
Ce-144	<5,04	<1,69	<0,76	<0,89
Quantità analizzata (g)	508,5	450,0	824,6	661,8
Data prelievo	11/02/04	05/03/04	11/02/04	11/02/04
Data di analisi	11/02/04	12/03/04	18/02/04	22/02/04
T. di conteggio (s)	60 000	86 000	86 000	172 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M500	M500	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto B"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	///	///
Radionuclidi artificiali		
Attività (Bq/kg)	fresco	Secco
Co-60	<0,16	<0,19
Mn-54	<0,15	<0,18
Zr-95	<0,26	<0,37
Ru-103	<0,15	<0,19
I-131	<0,27	<0,59
Cs-134	<0,14	<0,15
Cs-137	<0,17	1,6±0,3
Ce-141	<0,21	<0,33
Ce-144	<0,78	<1,03
Quantità analizzata (g)	815	834
Data prelievo	11/02/04	11/02/04
Data di analisi	19/02/04	26/02/04
T. di conteggio (s)	86 000	172 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto C"			
Parametri analitici	Corallina	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	49	///	///
Radionuclidi artificiali			
Attività (Bq/kg)	secco	fresco	Secco
Co-60	<2,5	<0,18	<0,11
Mn-54	<2,8	<0,14	<0,09
Zr-95	<4,7	<0,28	<0,20
Ru-103	<2,6	<0,13	<0,11
I-131	<6,7	<0,28	<0,36
Cs-134	<2,0	<0,13	<0,09
Cs-137	<2,6	<0,16	0,6±0,1
Ce-141	<3,1	<0,21	<0,19
Ce-144	<1,0	<0,77	<0,59
Quantità analizzata (g)	19,75	818,1	1130,2
Data prelievo	19/03/04	11/02/04	11/02/04
Data di analisi	02/04/04	20/02/04	27/02/04
T. di conteggio (s)	85 000	86 000	172 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	CP 20 ml	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Cala Francese"

Parametri analitici	Corallina	Corallina	Jania R.	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	32	32	26	///	///
Radionuclidi artificiali					
Attività (Bq/kg)	secco	secco	secco	fresco	secco
Co-60	<0,66	<0,50	<0,50	<0,19	<0,25
Mn-54	<0,60	<0,51	<0,47	<0,15	<0,20
Zr-95	<1,06	<1,07	<0,95	<0,30	<0,35
Ru-103	<0,55	<0,58	<0,39	<0,15	<0,16
I-131	<0,58	<2,24	<0,56	<0,20	<0,21
Cs-134	<0,58	<4,67	<0,41	<0,15	<0,18
Cs-137	<0,67	<0,52	0,6±0,2	<0,17	<0,20
Ce-141	<0,81	<0,93	<0,63	<0,21	<0,26
Ce-144	<3,53	<2,80	<2,49	<0,85	<1,06
Quantità analizzata (g)	800,1	168,4	200,0	836,8	1200,5
Data prelievo	12/02/04	12/02/04	05/03/04	12/02/04	12/02/04
Data di analisi	13/02/04	04/03/04	11/03/04	16/02/04	15/02/04
T. di conteggio (s)	60 000	75 000	86 000	60 000	60 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M200	M200	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Isola delle Bisce"				
Parametri analitici	Jania R.	Jania R.	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	35	38	///	///
Radionuclidi artificiali				
Attività (Bq/kg)	secco	secco	fresco	Secco
Co-60	<0,28	<0,57	<0,17	<0,18
Mn-54	<0,27	<0,58	<0,16	<0,16
Zr-95	<0,58	<1,19	<0,32	<0,30
Ru-103	<0,29	<0,56	<0,16	<0,14
I-131	<0,45	<1,52	<0,39	<0,34
Cs-134	<0,29	<0,50	<0,14	<0,14
Cs-137	0,6±0,2	<0,58	<0,16	0,3±0,1
Ce-141	<0,47	<0,91	<0,25	<0,25
Ce-144	<1,85	<2,99	<0,83	<0,87
Quantità analizzata (g)	450,0	160,7	805,0	1280,2
Data prelievo	04/03/04	19/03/04	04/03/04	04/03/04
Data di analisi	10/03/04	03/04/04	16/03/04	15/03/04
T. di conteggio (s)	90 000	85 000	80 000	80 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M500	M200	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena – “Stagno Torto”		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	///	///
Radionuclidi artificiali		
Attività (Bq/kg)	fresco	Secco
Co-60	<0,17	<0,18
Mn-54	<0,15	<0,16
Zr-95	<0,28	<0,32
Ru-103	<0,14	<0,16
I-131	<0,29	<0,55
Cs-134	<0,13	<0,09
Cs-137	<0,16	0,3±0,1
Ce-141	<0,21	<0,27
Ce-144	<0,79	<0,84
Quantità analizzata (g)	835	1200
Data prelievo	12/02/04	12/02/04
Data di analisi	21/02/04	29/02/04
T. di conteggio (s)	86 000	172 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: "Asinara"				
Parametri analitici	Corallina	Jania R.	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	65	25	///	///
Radionuclidi artificiali				
Attività (Bq/kg)	secco	secco	fresco	secco
Co-60	<0,17	<2,9	<0,26	<0,20
Mn-54	<0,15	<2,5	<0,20	<0,17
Zr-95	<0,29	<4,8	<0,36	<0,31
Ru-103	<0,15	<2,6	<0,20	<0,15
I-131	<0,17	<6,5	<0,39	<0,29
Cs-134	<0,16	<2,2	<0,18	<0,17
Cs-137	<0,18	<2,5	<0,21	0,3±0,2
Ce-141	<0,23	<3,4	<0,29	<0,25
Ce-144	<0,95	<11,1	<1,06	<0,90
Quantità analizzata (g)	502,1	17,9	760,9	679,0
Data prelievo	17/03/04	17/03/04	17/03/04	17/03/04
Data di analisi	19/03/04	29/03/04	26/03/04	25/03/04
T. di conteggio (s)	136 800	94 000	60 000	85 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M500	CP 20 ml	M1000	M500

Punto di prelievo: "Porto Conte" - Alghero				
Parametri analitici	Corallina	Jania R.	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	67	29	///	///
Radionuclidi artificiali				
Attività (Bq/kg)	secco	secco	fresco	secco
Co-60	<0,23	<4,3	<0,17	<0,22
Mn-54	<0,19	<3,7	<0,14	<0,19
Zr-95	<0,37	<7,0	<0,25	<0,34
Ru-103	<0,20	<3,8	<0,13	<0,18
I-131	<0,28	<10	<0,18	<0,31
Cs-134	<0,21	<3,0	<0,14	<0,18
Cs-137	<0,23	<3,9	<0,14	<0,21
Ce-141	<0,28	<4,6	<0,18	<0,27
Ce-144	<1,13	<15	<0,75	<1,01
Quantità analizzata	427,7	14,4	807,3	606,6
Data prelievo	16/03/04	16/03/04	16/03/04	16/03/04
Data di analisi	21/03/04	30/03/04	23/03/04	23/03/04
T. di conteggio (s)	89 987	69 200	80 000	80 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M500	CP 20 ml	M1000	M500

Punto di prelievo: "Cagliari"				
Parametri analitici	Corallina	Jania R.	Posidonia	Sedimento
Massa secca (%)	69	30	///	///
Radionuclidi artificiali				
Attività (Bq/kg)	secco	secco	fresco	Secco
Co-60	<0,23	<0,48	<0,11	<0,26
Mn-54	<0,18	<0,49	<0,09	<0,21
Zr-95	<0,34	<0,84	<0,17	<0,36
Ru-103	<0,18	<0,41	<0,09	<0,16
I-131	<0,38	<0,71	<0,17	<0,28
Cs-134	<0,19	<0,4	<0,08	<0,19
Cs-137	<0,21	0,7±0,3	<0,10	<0,19
Ce-141	<0,25	<0,6	<0,14	<0,24
Ce-144	<0,99	<2,3	<0,51	<0,94
Quantità analizzata (g)	479,9	164,8	1090,0	694,0
Data prelievo	18/03/04	18/03/04	18/03/04	18/03/04
Data di analisi	23/03/04	26/03/04	27/03/04	24/03/04
T. di conteggio (s)	80 000	100 000	130 000	85 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M500	M200	M1000	M500

ALLEGATO 5

Serie storiche periodo 1998-2003 dell'attività di sorveglianza radiologica ambientale condotte ai sensi dell'art. 104 del D.L.vo 230/1995 dal C.R.R. del PMP di Cagliari nell'area di La Maddalena ed altri siti della Sardegna

Per il sito di La Maddalena sono riportati anche i valori di Cesio 137 e Stronzio 90 relativi a marzo 2004

Misure di ^{90}Sr e ^{137}Cs in acqua marina

Il protocollo di campionamento prevede che il campione, costituito da cento litri di acqua, venga prelevato a circa 5 km dalla costa ad una profondità di 5 metri dalla superficie.

Punto di prelievo	Coordinate
Arbatax	39° 56' N 09° 46' E
Cagliari	39° 07' N 09° 12' E
La Maddalena	41° 12' N 09° 26' E
Porto Torres	40° 54' N 08° 30' E
Portoscuso	39° 14' N 08° 17' E

Località campionamento: Arbatax

Data campionamento	Sr-90 Bq/mc	Cs-137 Bq/mc
09 giugno 1998	1,0 (±0,1)	2,9 (±0,3)
22 febbraio 1999	4,4 (±0,4)	3,0 (±0,2)
15 settembre 1999	1,3 (±0,1)	3,1 (±0,6)
12 dicembre 2000	2,4 (±0,2)	3,1 (±0,5)
26 giugno 2001	1,7 (±0,2)	2,4 (±0,4)
20 novembre 2001	2,1 (±0,2)	2,1 (±0,4)
09 maggio 2002	0,5 (±0,1)	3,0 (±0,6)
14 maggio 2002	1,2 (±0,1)	2,9 (±0,3)
04 novembre 2003	1,2 (±0,1)	3,0 (±0,1)

Località campionamento: Cagliari

Data campionamento	Sr-90 Bq/mc	Cs-137 Bq/mc
16 dicembre 1997	1,5 (±0,2)	
05 novembre 1998	1,5 (±0,2)	3,3 (±0,3)
26 maggio 1999	1,1 (±0,1)	2,9 (±0,6)
10 febbraio 2000		3,9 (±0,7)
26 ottobre 2000	3,1 (±0,3)	2,9 (±0,5)
11 maggio 2001	1,1 (±0,1)	3,0 (±0,5)
04 dicembre 2001	1,6 (±0,2)	3,3 (±0,6)
09 maggio 2002	1,2 (±0,1)	3,1 (±0,6)
25 ottobre 2002	0,8 (±0,1)	2,9 (±0,5)
16 maggio 2003		2,6 (±0,5)
02 dicembre 2003	0,7 (±0,1)	1,2 (±0,2)

Località campionamento: **La Maddalena**

Data campionamento	Sr-90 Bq/mc	Cs-137 Bq/mc
29 marzo 1998	1,9 (±0,2)	
26 novembre 1998	0,8 (±0,1)	2,9 (±0,2)
15 luglio 1999	1,5 (±0,2)	2,9 (±0,5)
01 dicembre 2000	1,1 (±0,1)	2,6 (±0,5)
22 maggio 2001	1,3 (±0,1)	2,6 (±0,4)
27 novembre 2001	1,8 (±0,2)	2,5 (±0,4)
28 maggio 2002	1,3 (±0,1)	2,5 (±0,4)
26 novembre 2002	1,2 (±0,1)	2,9 (±0,6)
03 giugno 2003	1,3 (±0,1)	3,2 (±0,6)
11 novembre 2003	1,1 (±0,1)	3,0 (±0,8)
9 marzo 2004	1,02 (±0,10)	3,1 (±0,5)

Località campionamento: **Porto Torres**

Data campionamento	Sr-90 Bq/mc	Cs-137 Bq/mc
11 maggio 1998	0,40 (±0,04)	
22 aprile 1999	0,8 (±0,1)	3,7 (±0,6)
15 settembre 1999	1,3 (±0,1)	3,3 (±0,5)
25 maggio 2000	3,4 (±0,3)	
05 dicembre 2000	2,3 (±0,2)	3,8 (±0,7)
29 maggio 2001	1,4 (±0,1)	2,3 (±0,4)
11 dicembre 2001	1,2 (±0,1)	2,0 (±0,3)
21 maggio 2002	1,1 (±0,1)	2,4 (±0,4)
19 novembre 2002	0,8 (±0,1)	2,3 (±0,4)
10 giugno 2003		2,7 (±0,4)
18 novembre 2003	1,9 (±0,2)	3,8 (±0,1)

Località campionamento: **Portoscuso**

Data campionamento	Sr-90 Bq/mc	Cs-137 Bq/mc
22 settembre 1998	1,4 (±0,1)	1,2 (±0,1)
15 dicembre 1999		3,1 (±0,1)

Misure di Pu 238 e Pu 239/240 in acqua marina

Data campionamento	Località di campionamento	Pu238 Bq/mc	Pu239/240 Bq/mc
Giugno 2002	La Maddalena	0.011 (±0,007)	0.044 (±0,010)
Dicembre 2002	La Maddalena	0.034 (±0,012)	0.046 (±0,015)
Dicembre 2003	Porto Torres	0.028 (±0,008)	0.044 (±0,015)
Dicembre 2003	Cagliari	0.013 (±0,009)	0.016 (±0,010)

ALLEGATO 6

Riepilogo risultati misure di spettrometria gamma per i radionuclidi naturali su campioni di *Posidonia oceanica* e sedimenti marini

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto A"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	3±1	3±1
K-40	110±26	176±41
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	38±7	76±11
Pa-234m	39±18	84±24
Pb-214	0,6±0,2	11±2
Bi-214	<0,36	11±2
Pb-210	<37,0	90±30
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	1,5±0,4	12±2
Th-228	<11,4	<20,1
Pb-212	1,0±0,3	13±2
Bi-212	3±1	15±3
Tl-208	0,5±0,1	5±1
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	0,4±0,2	3±1
Pa-231	<4,20	<5,00
Th-227	<0,95	<0,90
Ra-223	<0,89	3,9±1,0
Quantità analizzata (g)	824,6	661,8
Data prelievo	11/02/04	11/02/04
Data di analisi	18/02/04	22/02/04
T. di conteggio (s)	86 000	172 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto B"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	2,2±0,8	2,1±0,9
K-40	99±23	426±98
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	36±7	83±12
Pa-234m	43±19	89±24
Pb-214	1,6±0,3	27±4
Bi-214	1,6±0,4	26±3
Pb-210	<37,2	82±30
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	2,0±0,5	32±4
Th-228	<12,3	<19,1
Pb-212	2,1±0,4	25±3
Bi-212	2,7±1,1	30±5
Tl-208	0,8±0,2	11±1
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	<0,28	4,3±0,8
Pa-231	<4,48	<5,61
Th-227	<1,04	2,2±0,5
Ra-223	<0,99	8,1±1,6
Quantità analizzata (g)	815	834
Data prelievo	11/02/04	11/02/04
Data di analisi	19/02/04	26/02/04
T. di conteggio (s)	86000	172000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto C"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	3±1	3±1
K-40	97±23	182±42
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	42±10	40±6
Pa-234m	66±23	48±14
Pb-214	<0,33	6±1
Bi-214	<0,32	5±1
Pb-210	<37	46±18
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	<0,71	9±1
Th-228	<11,3	<12,8
Pb-212	0,7±0,2	7±1
Bi-212	<2,12	9±2
Tl-208	0,4±0,1	3,1±0,4
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	<0,25	1,9±0,3
Pa-231	<4,29	<3,15
Th-227	<1,02	<0,55
Ra-223	<0,97	2,5±0,7
Quantità analizzata (g)	818,1	1130,2
Data prelievo	11/02/04	11/02/04
Data di analisi	20/02/04	27/02/04
T. di conteggio (s)	86 000	172 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Cala Francese"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	3±1	2±1
K-40	77±18	558±128
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	48±11	37±6
Pa-234m	81±25	65±22
Pb-214	0,6±0,2	7±1
Bi-214	<0,37	7±1
Pb-210	<43,0	<46,7
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	<0,82	7±1
Th-228	<13,6	<16,4
Pb-212	0,7±0,2	7±1
Bi-212	<2,44	7±2
Tl-208	0,2±0,1	2,4±0,4
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	<0,24	1,3±0,3
Pa-231	<4,83	<5,89
Th-227	<0,96	<1,02
Ra-223	<0,87	<0,99
Quantità analizzata (g)	836,8	1200,5
Data prelievo	12/02/04	12/02/04
Data di analisi	16/02/04	15/02/04
T. di conteggio (s)	60 000	60 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - "Isola delle Bisce"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	6±2	2±1
K-40	135±32	404±93
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	113±16	30±5
Pa-234m	140±40	40±15
Pb-214	0,8±0,2	7±1
Bi-214	<0,4	6±1
Pb-210	<41	30±16
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	1,6±0,4	8±1
Th-228	<13	<16
Pb-212	1,6±0,4	8±1
Bi-212	3±1	9±2
Tl-208	0,7±0,2	3,1±0,5
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	0,5±0,2	1,2±0,2
Pa-231	<4,7	<4,67
Th-227	<1,3	<0,80
Ra-223	<1,3	<1,27
Quantità analizzata (g)	805,0	1280,2
Data prelievo	04/03/04	04/03/04
Data di analisi	16/03/04	15/03/04
T. di conteggio (s)	80 000	80 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: La Maddalena - Stagno Torto''		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	<1,69	1,9±0,7
K-40	146±34	1043±240
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	29±6	29±5
Pa-234m	40±18	34±14
Pb-214	1,5±0,3	14±2
Bi-214	1,6±0,4	12±2
Pb-210	<37,5	<35,5
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	3,4±0,6	18±2
Th-228	<12,4	<16,7
Pb-212	3,3±0,5	15±2
Bi-212	3,9±1,4	19±3
Tl-208	1,2±0,2	6,4±0,8
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	<0,28	1,9±0,3
Pa-231	<4,65	<4,5
Th-227	<1,10	0,9±0,3
Ra-223	<1,05	3,3±1,1
Quantità analizzata (g)	835	1200
Data prelievo	12/02/04	12/02/04
Data di analisi	21/02/04	29/02/04
T. di conteggio (s)	86000	172000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M1000

Punto di prelievo: "Asinara"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	3±1	<1,77
K-40	164±38	401±194
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	77±12	27±19
Pa-234m	106±35	22±11
Pb-214	1,6±0,4	11±2
Bi-214	1,5±0,4	10±2
Pb-210	<51	<27,6
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	3±1	13±2
Th-228	<17,1	<15,3
Pb-212	3±1	16±4
Bi-212	5±2	15±4
Tl-208	1,4±0,3	5±1
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	0,5±0,2	<0,5
Pa-231	<5,94	<4,98
Th-227	<1,40	<0,87
Ra-223	<1,42	2±1
Quantità analizzata (g)	760,9	679,0
Data prelievo	17/03/04	17/03/04
Data di analisi	26/03/04	25/03/04
T. di conteggio (s)	60 000	85 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M500

Punto di prelievo: "Porto Conte" - Alghero		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	0,7±0,5	<1,67
K-40	72±17	178±41
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	9±3	24±5
Pa-234m	25±14	20±14
Pb-214	1,1±0,3	9±2
Bi-214	<0,4	9±1
Pb-210	<37	<42
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	<0,8	10±1
Th-228	<11	<22
Pb-212	1,1±0,3	9±1
Bi-212	<2,1	9±2
Tl-208	0,5±0,1	3,1±0,5
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	0,4±0,2	1,5±0,3
Pa-231	<4,4	<5,9
Th-227	<0,9	<1,0
Ra-223	<0,7	<1,2
Quantità analizzata (g)	807,3	606,6
Data prelievo	16/03/04	16/03/04
Data di analisi	23/03/04	23/03/04
T. di conteggio (s)	80 000	80 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M500

Punto di prelievo: "Cagliari"		
Parametri analitici	Posidonia	Sedimento
Radionuclidi naturali		
Attività (Bq/kg)	Fresco	Secco
Be-7	2,1±0,6	<1,79
K-40	127±29	1037±500
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	19±4	13±9
Pa-234m	27±12	<29
Pb-214	1,1±0,2	6±1
Bi-214	1,2±0,2	5±1
Pb-210	<24	20±20
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	<0,72	6±1
Th-228	<7,6	<15
Pb-212	2,1±0,4	6±2
Bi-212	2,8±0,9	8±3
Tl-208	<0,11	2±1
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	0,34±0,12	0,7±0,3
Pa-231	<2,9	<4,78
Th-227	<0,7	<0,89
Ra-223	<0,7	<0,94
Quantità analizzata (g)	1090,0	694,0
Data prelievo	18/03/04	18/03/04
Data di analisi	27/03/04	24/03/04
T. di conteggio (s)	130 000	85 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M500

ALLEGATO 7

Riepilogo risultati misure di spettrometria gamma per i radionuclidi naturali su campioni di *Jania rubens* e di *Corallina elongata*

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto A"				
Trattamento	Non setacciati		Setacciati	
Parametri analitici	Jania R.	Jania R.	Jania R.	Jania R.
Massa secca (%)	25	29	///	///
Attività (Bq/kg):	Secco			
Radionuclidi naturali				
Be-7	68±12	97±15	115±22	174±34
K-40	776±180	672±154	967±124	760±134
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 238				
Th-234	2444±284	1853±206	5300±600	4400±400
Pa-234m	2452±564	1968±435	4500±800	4100±800
Pb-214	3±1	5±1	<8	<13
Bi-214	<2,3	4±1	<8	<13
Radionuclidi naturali: serie del Torio 232				
Ac-228	6±2	5±1	<15	<25
Th-228	140±61	94±27	<216	<361
Pb-212	10±2	14±2	33±4	26±6
Bi-212	18±7	17±4	<52	<81
Tl-208	3±1	5±1	<12	22±12
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 235				
U-235	1,4±0,8	0,9±0,3	<4	<6
Pa-231	<28	<9,17	<90	<1054
Th-227	<4,8	<2,00	///	///
Ra-223	<4,9	<2,43	<10	<17
Quantità analizzata (g)	508,5	450,0	10,0	12,0
Data prelievo	11/02/04	05/03/04	11/02/04	05/03/04
Data di analisi	11/02/04	12/03/04	27/02/04	12/03/04
T. di conteggio (s)	60 000	86 000	236 500	86 400
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco	Secco	Secco
Geometria utilizzata	M500	M500	CP 20 ml	CP_20 ml

Punto di prelievo: La Maddalena - "Punto C"		
Trattamento	Non setacciati	Setacciati
Parametri analitici	Corallina	Corallina
Attività (Bq/kg)	Secco	
Radionuclidi naturali		
Be-7	<24,3	48±12
K-40	486±106	210±18
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>		
Th-234	344±75	832±55
Pa-234m	<599	<766
Pb-214	14±4	15±2
Bi-214	<7	13±1
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>		
Ac-228	<12,5	18±2
Th-228	<121	///
Pb-212	15±4	20±1
Bi-212	<37	<25
Tl-208	5±2	<6
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>		
U-235	4±2	<2
Pa-231	<61	<39
Th-227	<19	///
Ra-223	<14	<5
Quantità analizzata (g)	19,75	23
Data prelievo	19/03/04	19/03/04
Data di analisi	02/04/04	26/04/04
T. di conteggio (s)	85 000	162 182
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco
Geometria utilizzata	CP 20 ml	CP 20 ml

Punto di prelievo: La Maddalena - "Cala Francese"

Trattamento	Non setacciato			Setacciato	
Parametri analitici	Corallina	Corallina	Jania R.	Corallina	Jania R.
Massa secca (%)	32	32	26	///	///
Attività (Bq/kg)	Secco				
Radionuclidi naturali					
Be-7	41±8	40±8	116±18	130±40	230±40
K-40	298±71	235±59	504±123	250±80	630±100
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 238					
Th-234	1709±206	1603±197	1659±197	5500±600	3900±400
Pa-234m	1829±406	1855±394	2034±404	4200±800	3100±600
Pb-214	3±1	3±1	5±1	<9	<11
Bi-214	<1,56	3±1	4±1	<8	<11
Radionuclidi naturali: serie del Torio 232					
Ac-228	<2,89	4±1	9±2	<15	<24
Th-228	<78	55±25	101±33	<262	450±180
Pb-212	6±1	9±2	14±2	23±4	24±5
Bi-212	<9,93	19±6	18±5	<53	<74
Tl-208	3±1	3±1	5±1	<13	<16
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 235					
U-235	0,9±0,5	0,7±0,4	1,7±0,5	<4	<5
Pa-231	<18	<12	<11,7	<99	<136
Th-227	<3	<5	<2,56	///	///
Ra-223	<3	<8	<2,95	16±8	<16
Quantità analizzata (g)	800,1	168,4	200,0	15,0	13,0
Data prelievo	12/02/04	12/02/04	05/03/04	12/02/04	05/03/04
Data di analisi	13/02/04	04/03/04	11/03/04	26/02/04	11/03/04
T. di conteggio (s)	60 000	75 000	86 000	85 600	76 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Secco	Secco	Secco	Secco
Geometria utilizzata	M1000	M200	M200	CP 20 ml	CP 20 ml

Punto di prelievo: La Maddalena - "Isola delle Bisce"				
Trattamento	Non setacciato		Setacciato	
Parametri analitici	Jania R.	Jania R.	Jania R.	Jania R.
Massa secca (%)	35	38	///	///
Attività (Bq/kg)	Secco			
Radionuclidi naturali				
Be-7	145±23	123±19	187±30	142±16
K-40	282±65	491±120	566±100	444±50
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 238				
Th-234	2930±323	1924±231	6100±600	3500±400
Pa-234m	3110±683	2380±483	4100±600	4300±600
Pb-214	11±2	12±2	<10	13±2
Bi-214	9±2	13±2	<10	11±2
Radionuclidi naturali: serie del Torio 232				
Ac-228	10±2	13±2	<21	14±3
Th-228	48±32	77±35	390±180	<69
Pb-212	21±3	19±3	37±6	29±3
Bi-212	22±4	25±6	<52	31±10
Tl-208	7±1	6,4±1	24±10	24±4
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 235				
U-235	1,5±0,4	1,6±0,6	<4	<0,9
Pa-231	<9,68	<14	<88	<17
Th-227	<2,02	<4	///	///
Ra-223	8±2	<6	<14	6±2
Quantità analizzata (g)	450,0	160,7	15,0	100
Data prelievo	04/03/04	19/03/04	04/03/04	04/03/04
Data di analisi	10/03/04	03/04/04	10/03/04	17/03/04
T. di conteggio (s)	90 000	85 000	77 100	86 400
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Secco	Secco
Geometria utilizzata	M500	M200	CP 20 ml	M150

Punto di prelievo: "Asinara"				
Trattamento	Non setacciato		Setacciato	
Parametri analitici	Corallina	Jania R.	Corallina	Jania R.
Massa secca (%)	65	25	///	///
Attività (Bq/kg)	Secco			
Radionuclidi naturali				
Be-7	12±2	65±19	30±14	85±22
K-40	124±29	302±86	<103	430±57
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 238				
Th-234	983±109	4562±1023	2800±400	7710±441
Pa-234m	1089±240	5297±1030	2300±400	7110±784
Pb-214	1,6±0,4	<5	<7	< 14
Bi-214	1,3±0,4	<6	<7	< 15
Radionuclidi naturali: serie del Torio 232				
Ac-228	1,6±0,4	<12	<14	< 24
Th-228	49±14	<163	<223	< 477
Pb-212	5±1	25±6	10±3	33±3
Bi-212	7±2	<17	<46	< 88
Tl-208	1,8±0,3	9±3	<10	< 23
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 235				
U-235	0,3±0,2	<3,2	<3	< 6
Pa-231	<5	<66	<69	< 142
Th-227	<1	<19	///	///
Ra-223	<1	<18	<11	< 23
Quantità analizzata (g)	502,1	17,9	18	20
Data prelievo	17/03/04	17/03/04	17/03/04	17/03/04
Data di analisi	19/03/04	29/03/04	19/03/04	08/04/04
T. di conteggio (s)	136 800	94 000	77 600	20062
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Secco	Secco
Geometria utilizzata	M500	CP 20 ml	CP 20 ml	CP 20 ml

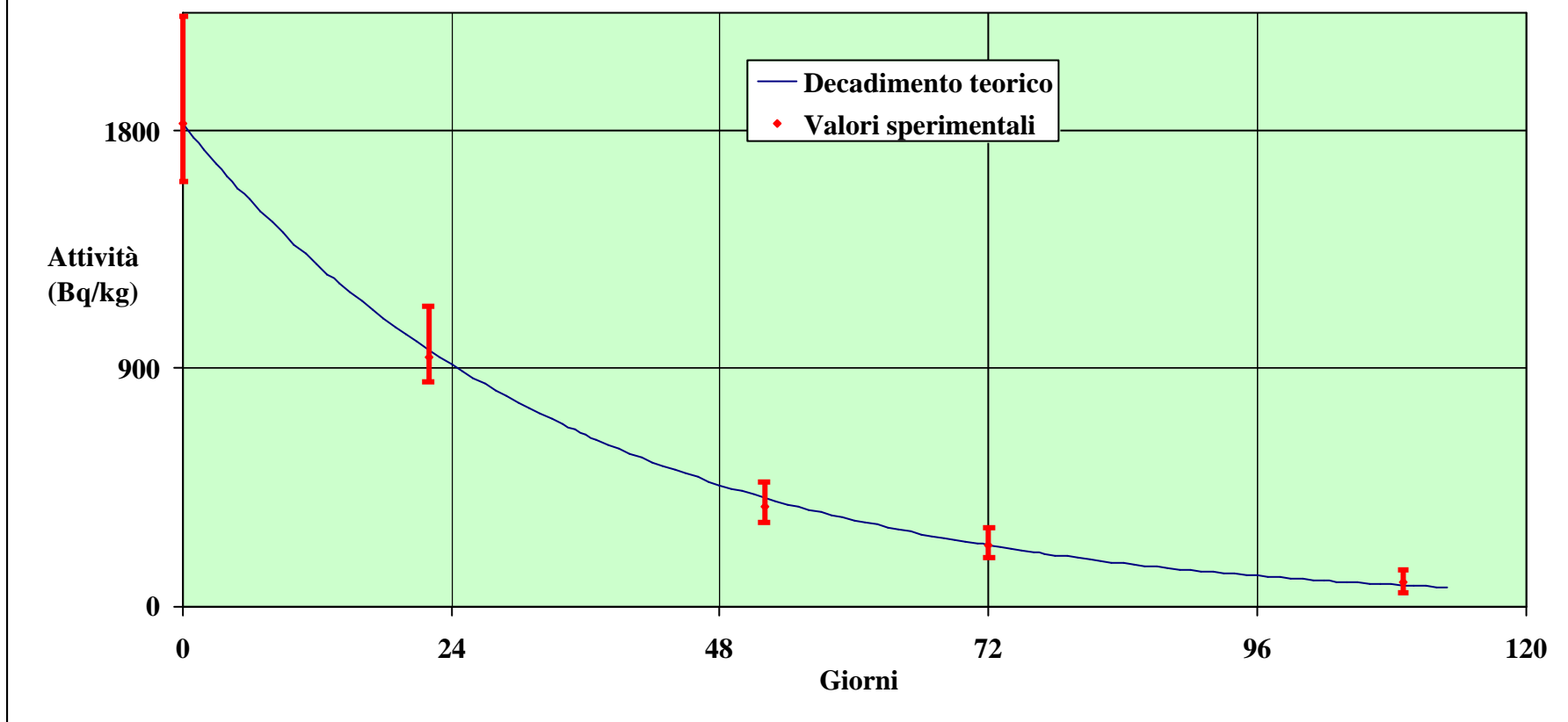
Punto di prelievo: "Porto Conte" - Alghero				
Trattamento	Non setacciati		Setacciati	
Parametri analitici	Corallina	Jania R.	Corallina	Jania R.
Massa secca (%)	67	29	///	///
Attività (Bq/kg)	Secco			
Radionuclidi naturali				
Be-7	17±3	117±32	28±12	133±10
K-40	115±27	323±94	<79	349±25
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 238				
Th-234	402±48	1886±432	1280±160	3164±177
Pa-234m	439±103	2058±725	1100±400	3321±400
Pb-214	3±1	<8	<5	15±2
Bi-214	3±1	<8	<6	15±2
Radionuclidi naturali: serie del Torio 232				
Ac-228	1,6±0,5	<17	<10	14±4
Th-228	<21	<200	<150	///
Pb-212	2,9±0,5	16±5	7±2	22±2
Bi-212	4,3±1,6	<53	<35	<30
Tl-208	0,9±0,2	5±3	<7	14±3
Radionuclidi naturali: serie dell'Uranio 235				
U-235	0,5±0,2	<4,6	<3	<2
Pa-231	<6,3	<95	<61	<52
Th-227	<1,3	<27	///	///
Ra-223	<1,4	<23	<7	<6
Quantità analizzata (g)	427,7	14,4	19,0	17
Data prelievo	16/03/04	16/03/04	16/03/04	16/03/04
Data di analisi	21/03/04	30/03/04	26/03/04	23/04/04
T. di conteggio (s)	89 987	69 200	76 900	240 788
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Secco	Secco
Geometria utilizzata	M500	CP 20 ml	CP 20 ml	CP 20 ml

Punto di prelievo: "Cagliari"				
Trattamento	Non setacciato		Setacciato	
Parametri analitici	Corallina	Jania R.	Corallina	Jania R.
Massa secca (%)	69	30	///	///
Attività (Bq/kg)	Secco			
Radionuclidi naturali				
Be-7	8±2	69±11	<15	92±18
K-40	122±29	366±90	109±40	469±66
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 238</u>				
Th-234	139±18	638±81	320±40	740±80
Pa-234m	150±42	693±161	<290	1100±200
Pb-214	1,1±0,3	5±1	<5	6±4
Bi-214	<0,51	5±1	<5	8±3
Radionuclidi naturali: <u>serie del Torio 232</u>				
Ac-228	2,0±0,5	8±2	<9	20±6
Th-228	<16	<37	<111	<120
Pb-212	1,6±0,4	12±2	<3	15±3
Bi-212	1,5±1,0	14±4	29	<30
Tl-208	0,3±0,2	4±1	<6	16±5
Radionuclidi naturali: <u>serie dell'Uranio 235</u>				
U-235	0,2±0,2	1,0±0,5	<2	<2
Pa-231	<5,7	<12	<52	<44
Th-227	<1,2	<2,5	///	///
Ra-223	<1,1	<3,1	<5	<6
Quantità analizzata (g)	479,9	164,8	16,0	109,0
Data prelievo	18/03/04	18/03/04	18/03/04	18/03/04
Data di analisi	23/03/04	26/03/04	20/03/04	26/03/04
T. di conteggio (s)	80 000	100 000	249 800	11 420
Stato del campione al momento dell'analisi	Secco	Secco	Secco	Secco
Geometria utilizzata	M500	M200	CP 20 ml	M150

ALLEGATO 8

Andamento del decadimento del Th-234 in campione di alga marina rossa

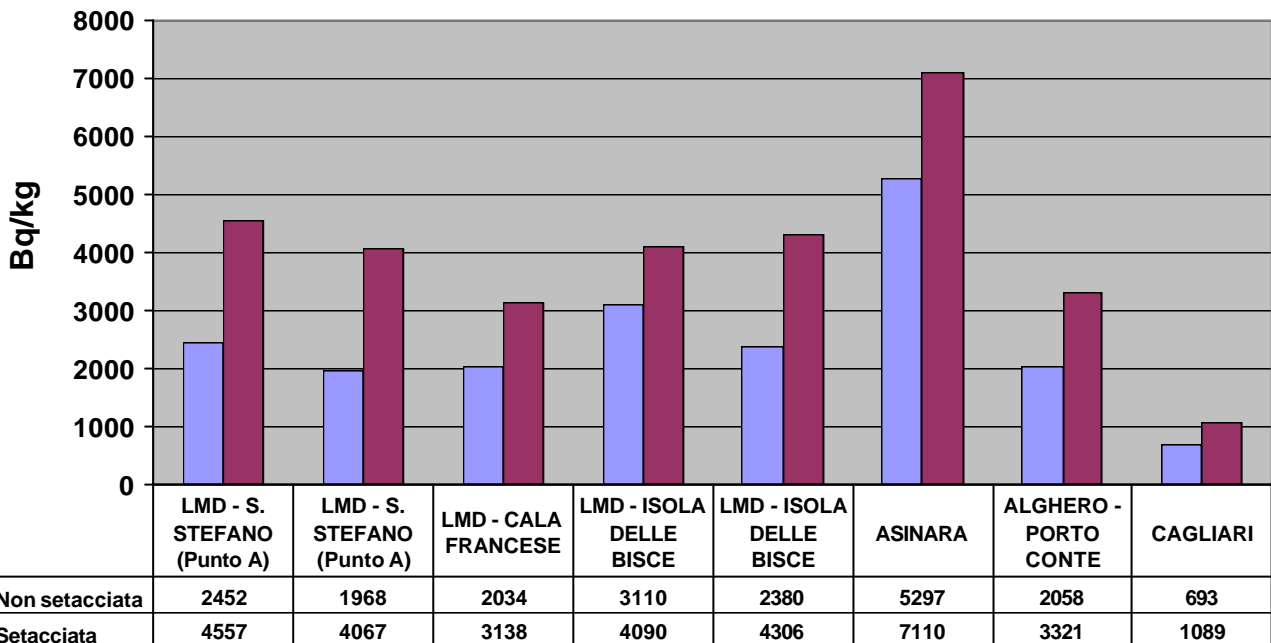
Decadimento del Th-234 in "alghes rosse"



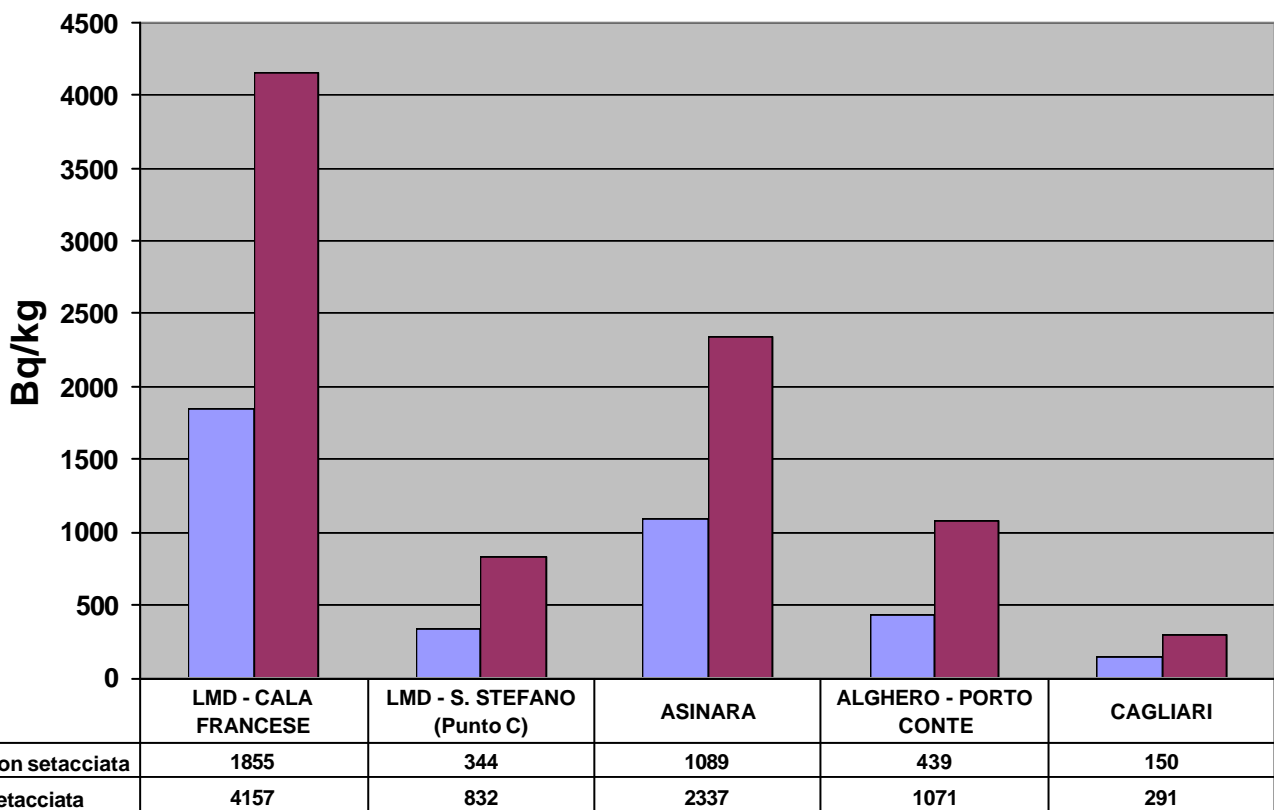
ALLEGATO 9

Riepilogo misure di spettrometria gamma sul Th-234 per campioni (setacciati e non setacciati) di *Jania rubens* e di *Corallina elongata*

Jania Rubens- Attività del Th-234



Corallina - Attività del Th-234



ALLEGATO 10

Metodica preparazione radiochimica dei campioni per spettrometria alfa ai fini della determinazione degli isotopi dell'Uranio in matrici ambientali

GENERALITA'

La determinazione con separazione radiochimica ed alfa-spettrometria delle concentrazioni isotopiche di uranio in campioni di acqua marina, alghe rosse (*Jania Rubens* e *Corallina Elongata*) e sedimenti viene eseguita mediante:

- arricchimento per coprecipitazione e dissoluzione (acqua marina) o incenerimento e mineralizzazione per lisciviazione acida (alghe e sedimenti);
- estrazione e isolamento chimico con tri-ottilfosfina ossido e tecnica di cromatografia di partizione a fasi invertite;
- elettrodeposizione di una sorgente sottile;
- misura radiometrica di spettrometria alfa.

MATERIALI, REAGENTI E SOLUZIONI STANDARD

- Polietilene microporoso da 60-140 mesh (Microtene);
- Triottilfosfina ossido (TOPO) 0,3M in cicloesano (116 g/l);
- Acido nitrico concentrato d 1,413;
- Acido nitrico 8M;
- Soluzione di ferro cloruro (ico) 50 mg/ml (242 g/l Fe Cl₃.6H₂O)
- Acido solforico concentrato d 1,899;
- Acido solforico 1:99
- Ammonio idrossido 30%;
- Acqua ossigenata 30 % w/v;
- Acido fluoridrico 50%;
- Acido cloridrico 1M;
- Rosso metile 1% in etanolo;
- Fenoltaleina 0,05% in etanolo;
- Soluzione 1M Ammonio Carbonato (96 g/l)
- Soluzione standard di ²³²U in HNO₃ 2M certificata.

ATTREZZATURA ED APPARECCHIATURA

- Vetreria comune di laboratorio;
- Contenitore in PE da 100 litri;
- Agitatore ad asta (inox, x80 cm);
- Agitatore magnetico riscaldante;
- Colonne in vetro per cromatografia, da mm 10x200 (diam x alt);
- Centrifuga da laboratorio;
- Apparecchiatura per elettrodeposizione in AC da 12 V fondo scala con celle cilindriche in perspex, da 24 mm di diametro e 90 mm di altezza, con fondo inox porta catodo ad avvvitamento, catodo inox circolare lucidato a specchio da 20 mm di diametro e 220 mm² di superficie utile, anodo in filo di Pt con sagoma elicoidale nella parte immersa;
- Pipette tarate.

ARRICCHIMENTO^{1,2}

Acqua di mare : a 50 litri d'acqua, acidificati al prelievo con 10 ml/l di acido nitrico conc. e lasciati decantare per una notte, si aggiungono 20 ml di soluzione 50 mg/ml di Fe^{3+} in HCl 0,5M e 20 dpm di ^{232}U tracer, si agita per un'ora e quindi si tratta la soluzione con NH_4OH conc. (200-400 ml) fino a reazione alcalina alla fenolftaleina.

Agitare ancora per un'ora e lasciar decantare per una notte.

Sifonare delicatamente il surnatante e centrifugare il precipitato di idrossido ferrico a 3000 rpm per 10 min.

Solubilizzare con la minima quantità di HNO_3 conc., evaporare a secchezza incipiente e riprendere con 100 ml di HNO_3 8M e 5 ml di H_2O_2 30%: scaldare all'ebollizione su piastra per 5-10 min, raffreddare e diluire a 500 ml con HNO_3 2M per la separazione.

Alghe rosse : il campione deve essere preliminarmente essiccato a 105°C per una notte ed omogeneizzato, setacciando la frazione < 500 micron. In capsula di porcellana incenerire 12 ore a 600° in forno a muffola, per eliminare il materiale organico presente, lasciar raffreddare e riporre in contenitore PE ermeticamente chiuso.

Prelevare in capsula di quarzo da 250 ml l'equivalente di 15-20 g di secco e tracciare con 20 dpm di U^{232} . Aggiungere 50 ml di HNO_3 conc. con molta cautela, per evitare la reazione violenta dei carbonati, e 5 ml di H_2O_2 30%. Mineralizzare gradualmente evaporando lentamente sotto lampada IR fino a secchezza e quindi calcinando in muffola a 450°C per 3-4 ore. Ripetere il trattamento di mineralizzazione umida e secca fino a scomparsa di ogni residuo carbonioso (residuo bianco). Riprendere poi a caldo con 75 ml di 8M HNO_3 e filtrare sotto vuoto su membrana da 0,45 micron in esteri misti. Diluire infine la soluzione finale con DW fino ad una concentrazione in acido nitrico 2M (c.a 1:3) per la separazione.

In presenza abbondante di silicati insolubili, dopo la mineralizzazione umida e secca occorre eseguire un'ulteriore attacco acido in contenitore di teflon con miscela di HNO_3+HF secondo quanto descritto a proposito dei campioni di sedimento a cui si rimanda.

Sedimenti : essiccare il campione umido a 105°C per una notte e comunque fino a peso costante ed omogeneizzare, setacciando la frazione < 250 micron. Trasferire in capsula di porcellana, incenerire in forno a muffola a 600° per 12 ore in modo da eliminare la parte organica presente e riporre in contenitore PE ermeticamente chiuso.

Pesare in becker alto di teflon da 250 ml un quantitativo di campione calcinato equivalente a 15-25 g di secco e aggiungere 20 dpm di ^{232}U come tracer.

Con molta cautela per controllare la reazione di attacco dei carbonati presenti, aggiungere 75 ml 8M HNO_3 + 5 ml H_2O_2 30% e lisciviare 2 ore per ebollizione a ricadere. Lasciar decantare, sifonare a freddo ed accantonare il surnatante in becker di vetro da 250 ml.

Aggiungere al residuo 75 ml 8M HNO_3 + 5 ml HF 50% e lisciviare a caldo delicatamente, evaporando a secchezza incipiente per eliminare la silice come SiF_4 : operare sotto aspirazione dei fumi!

Riprendere con 75 ml 8M HNO_3 + 5 ml H_2SO_4 conc e lisciviare nuovamente con delicatezza fin quasi a secchezza, in modo da eliminare l'eccesso di HF, sempre sotto aspirazione.

Riprendere con 75 ml di 8M HNO_3 e digerire all'ebollizione per 30 min. Lasciar raffreddare e centrifugare a 3000 rpm per 10 min. Aspirare il surnatante ed unire all'estratto primario.

Su membrana di esteri misti da 0,45 micron filtrare la soluzione concentrata di uranio così ottenuta e tre aliquote da 15 ml 2M HNO₃ di lavaggio del residuo, diluire poi la soluzione risultante con DW fino ad una concentrazione in acido nitrico 2M per la separazione.

*SEPARAZIONE*³

La TOPO (triottilfosfina-ossido) supportata da Microtene (polietilene microporoso, 60-140 mesh) è un buon estraente dell'uranio in HNO₃ 2M, sia in colonna che in batch.

L'estrattore Microtene-TOPO si prepara miscelando goccia a goccia 2,5 ml TOPO 0,3M in cicloesano con 3 g di Microtene fino a pasta omogenea, che si condiziona con 30 ml di 2M HNO₃ sotto agitazione per 15 min.

Si aggiunge quindi la miscela Microtene-TOPO alla soluzione diluita di arricchimento e si agita per 1 ora.

Si recupera quindi l'estratto su filtro glass-fiber GF/A e lo si trasferisce quantitativamente in colonna di vetro 10x200 mm, aiutandosi con getti di 2M HNO₃ ed avendo cura di fissare il letto con un batuffolo di lana di vetro o di PTFE.

Dopo aver lavato la colonna con 80 ml 2M HNO₃, 20 ml DW, 80 ml 1M HCl e 30 ml DW alla velocità di 1 ml/min, si eluisce finalmente l'uranio con 80 ml 1M (NH₄)₂CO₃ alla stessa portata.

*ELETTRODEPOSIZIONE*⁴

Portare a secco l'eluato finale di uranio scaldando moderatamente su piastra. Si mineralizza a caldo il residuo con 3 ml HNO₃ conc + 2 ml H₂O₂ 30% e si evapora delicatamente fino a secchezza. Si aggiungono 0,5 ml di H₂SO₄ conc + 3 ml di DW ed alcune gocce di rosso-metile. Si porta a pH 4 con NH₄OH (incipiente viraggio rosso-giallo) e si trasferisce in cella elettrolitica insieme con le acque acidule (6 ml, H₂SO₄ 1:99) di lavaggio del becker. Si aggiusta nuovamente a pH 4 e si elettrodeposita su disco di acciaio a 600 mA per 5 ore, avendo cura di aggiungere 10 ml di NH₄OH 1:10 1 min prima del termine. Avviare quindi a spettrometria alfa.

BIBLIOGRAFIA

1. E.P.Horwitz, M.L.Dietz, R.Chiarizia, H.Diamond, *Anal.Chim.Acta* 1992, 266, 25-37
2. *Measurements of Radionuclides in food and the environment -IAEA Vienna 1989*
3. C.Testa, D.Desideri, M.A.Meli, C.Roselli (*Radioact. & Radiochem.* 1991, vol 2, fasc 4, 46-55)
4. N.A. Talvitie (*Anal.Chem.* 1971, 43, 1827)

ALLEGATO 11

Riepilogo misure di spettrometria alfa su campioni di acqua marina, *Jania rubens* e *Corallina elongata* e sedimenti e relativi rapporti isotopici dell'Uranio

Analisi di spettrometria alfa su campioni di acqua marina						
Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Punto A - S.Stefano	5205	301	11/02/04	04/03/04	84612	41.45%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/mc	Concentrazione (ppb)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	45,4 (± 2,7)	3,6 (± 0,2)	0,00633 (± 0,0005)	0,6 (± 0,1)	118 (± 10)	4,1 (± 0,7)
U-234	53,5 (± 3,1)	2,3e-4 (± 1e-5)				
U-235	1,9 (± 0,3)	0,0233 (± 0,0036)				

Località di prelievo	Codice	Quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Cala Francese	5215	301	05/03/04	19/03/04	245120	21.61%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/mc	Concentrazione (ppb)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	48,5 (± 2,8)	3,9 (± 0,2)	0,00597 (± 0,0005)	0,7 (± 0,1)	111 (± 9)	4,2 (± 0,6)
U-234	54 (± 3,1)	2,3e-4 (± 1e-5)				
U-235	2,1 (± 0,3)	0,0257 (± 0,0033)				

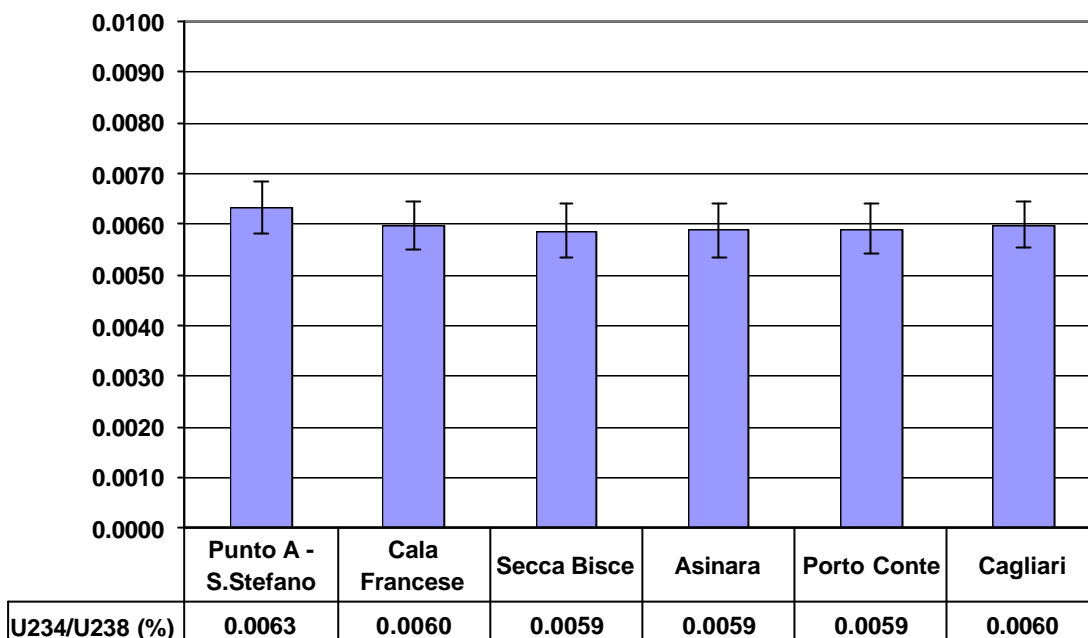
Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Secca Bisce	5209	301	04/03/04	15/03/04	66490	33.72%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/mc	Concentrazione (ppb)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	46,8 (± 3)	3,7 (± 0,2)	0,00587 (± 0,0005)	0,9 (± 0,2)	109 (± 10)	6 (± 1)
U-234	51,2 (± 3,2)	2.2E-4 (± 1E-5)				
U-235	2,8 (± 0,4)	0,0349 (± 0,0056)				

Analisi di spettrometria alfa su campioni di acqua marina						
Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Asinara	5225	501	17/03/04	30/03/04	86715	20.07%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/mc	Concentrazione (ppb)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	37,7 (± 2,4)	3,0 (± 0,2)	0,00589 (± 0,0005)	0,8 (± 0,1)	110 (± 10)	5,1 (± 0,9)
U-234	41,3 (± 2,6)	1,8E-4 (± 1E-5)				
U-235	1,9 (± 0,3)	0,0239 (± 0,004)				

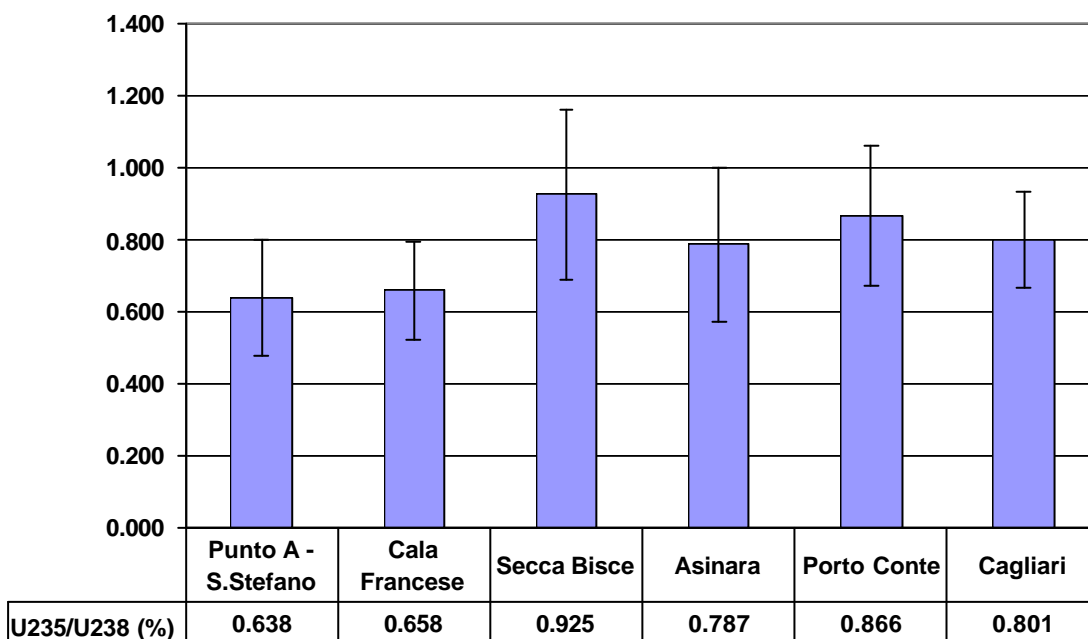
Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Porto Conte	5219	501	16/03/04	24/03/04	98710	23.87%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/mc	Concentrazione (ppb)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	40,4 (± 2,4)	3,2 (± 0,2)	0,00591 (± 0,0005)	0,9 (± 0,1)	110 (± 9)	5,6 (± 0,8)
U-234	44,5 (± 2,6)	1,9E-4 (± 1E-5)				
U-235	2,3 (± 0,3)	0,0282 (± 0,0039)				

Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Cagliari	5227	501	18/03/04	05/04/04	360006	18.65%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/mc	Concentrazione (ppb)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	41,2 (± 2,3)	3,3 (± 0,2)	0,006 (± 0,0005)	0,8 (± 0,1)	112 (± 9)	5,2 (± 0,6)
U-234	46,1 (± 2,5)	2,0E-4 (± 1E-5)				
U-235	2,1 (± 0,2)	0,0266 (± 0,0026)				

Rapporto isotopico U234 / U238 (%) in Acqua Marina



Rapporto isotopico U235 / U238 (%) in Acqua Marina



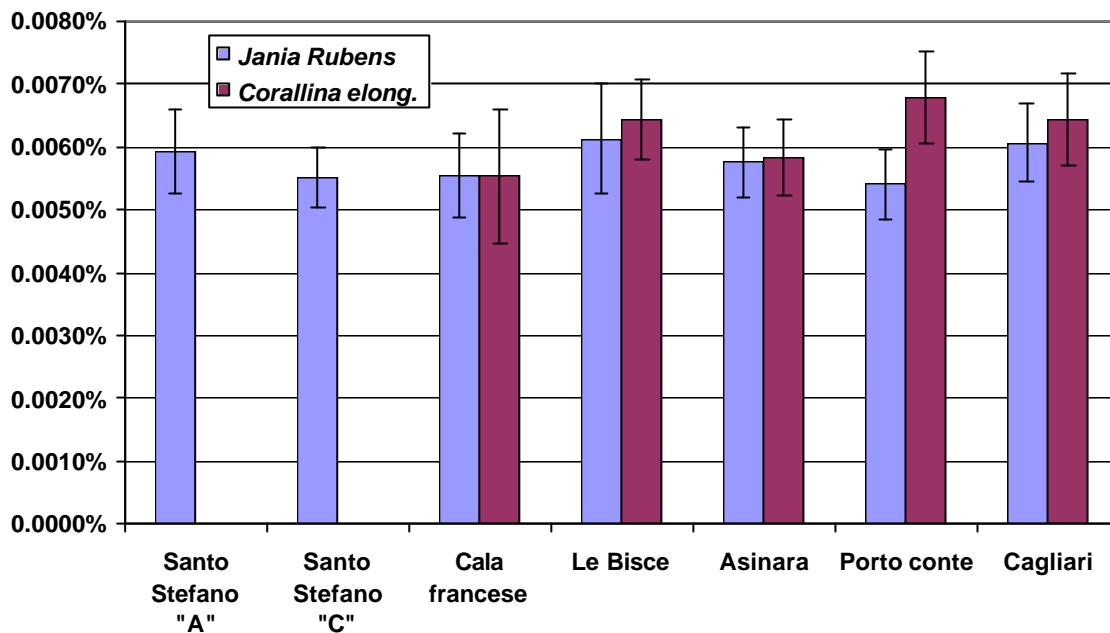
Analisi di spettrometria alfa su campioni di Jania rubens

Località di prelievo	S. Stefano Punto "A"	S. Stefano Punto "C"	Le Bisce	Cala Francese	Porto Conte	Asinara	Cagliari
Codice	5163	5264	5211	5213	5263	5257	5228
matrice	Jania	Jania	Jania	Jania	Jania	Jania	Jania
quantità analizzata	20 g	24,2 g	20 g	20 g	14,1 g	19,2 g	20,1 g
data di prelievo	11/02/2004	19/03/2004	04/03/2004	08/03/2004	16/03/2004	17/03/2004	18/03/2004
data misura	03/04/2004	14/05/2004	01/04/2004	02/04/2004	12/05/2004	23/04/2004	26/04/2004
durata misura (s)	184842	244423	88589	75643	160191	264329	171565
Resa chimica	36.08%	59.85%	43.07%	52.58%	54.69%	63.95%	51.01%
Attività U-238 Bq/kg	8,5 (± 0,7)	12,9 (± 0,8)	9,2 (± 1)	11,3 (± 1)	12,2 (± 0,9)	6,8 (± 0,5)	9,5 (± 0,7)
Attività U-234 Bq/kg	9,4 (± 0,7)	13,2 (± 0,8)	10,5 (± 1,1)	11,7 (± 1)	12,2 (± 0,9)	7,3 (± 0,5)	10,7 (± 0,7)
Attività U-235 Bq/kg	0,5 (± 0,1)	0,6 (± 0,1)	0,5 (± 0,2)	0,6 (± 0,2)	0,7 (± 0,2)	0,3 (± 0,1)	0,5 (± 0,1)
U-238 (ppm)	0,69 (± 0,06)	1,04 (± 0,06)	0,74 (± 0,08)	0,91 (± 0,08)	0,98 (± 0,07)	0,55 (± 0,04)	0,76 (± 0,06)
U-234 (ppm)	4,1E-5 (± 3E-6)	5,7E-5 (± 3E-6)	4,5E-5 (± 5E-6)	5,1E-5 (± 4E-6)	5,3E-5 (± 4E-6)	3,2E-5 (± 2E-6)	4,6E-5 (± 3E-6)
U-235 (ppm)	0,006 (± 0,002)	0,007 (± 0,001)	0,006 (± 0,003)	0,007 (± 0,003)	0,008 (± 0,002)	0,004 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)
Rapporto isotopico (peso) U234/U238 (%)	0,006 (± 0,001)	0,0055 (± 0,0005)	0,006 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)	0,005 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)
Rapporto isotopico (peso) U235/U238 (%)	0,9 (± 0,2)	0,7 (± 0,1)	0,8 (± 0,4)	0,8 (± 0,3)	0,9 (± 0,2)	0,7 (± 0,2)	0,8 (± 0,2)
Rapporto isotopico (attività) U234/U238 (%)	110 (± 12)	103 (± 9)	114 (± 17)	103 (± 12)	101 (± 10)	107 (± 10)	113 (± 11)
Rapporto isotopico (attività) U235/U238 (%)	6 (± 2)	5 (± 1)	5 (± 3)	5 (± 2)	6 (± 1)	4 (± 1)	5 (± 1)

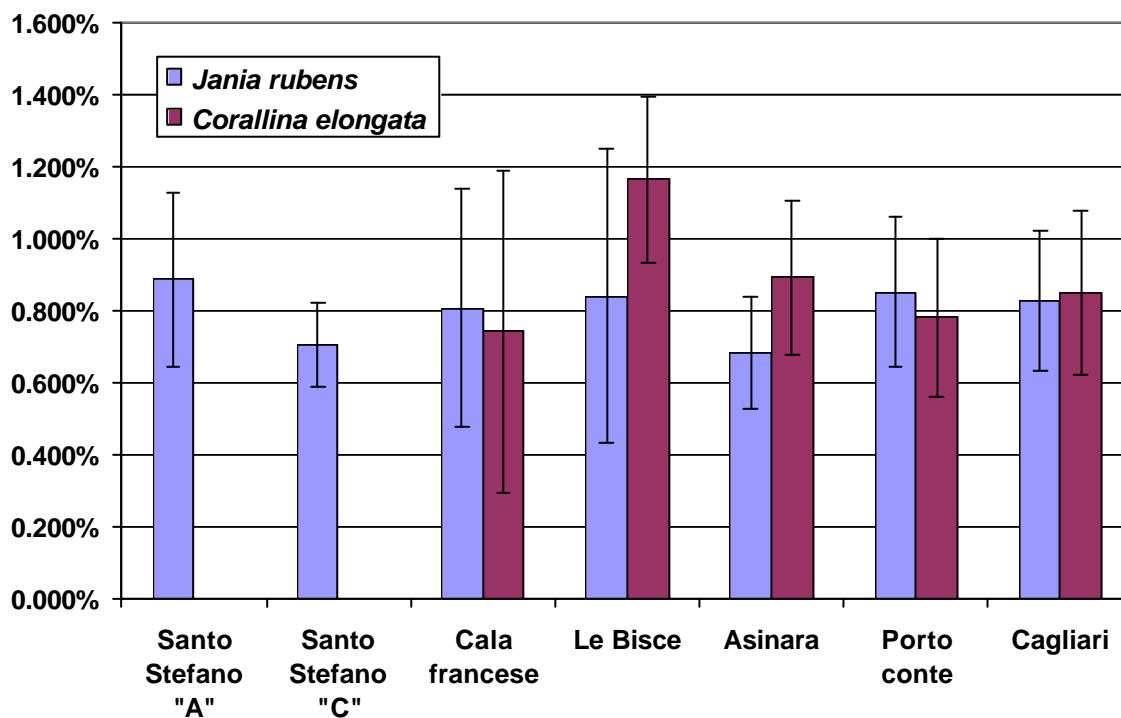
Analisi di spettrometria alfa su campioni di Corallina elongata

Località di prelievo	Cala Francese	Cagliari	Porto Conte	Porto Conte	Asinara
Codice	5164	5229	5221	5256	5222
matrice	corallina	corallina	corallina	Corallina	corallina
quantità analizzata	20,11 g	20 g	20,3 g	20 g	20 g
data di prelievo	11/02/2004	18/03/2004	16/03/2004	16/03/2004	17/03/2004
data misura	31/03/2004	28/04/2004	10/05/2004	30/04/2004	19/04/2004
durata misura (s)	77762	172489	175670	360000	181615
Resa chimica	16.62%	82.13%	70.05%	72.66%	68.06%
Attività U-238 Bq/kg	10 (± 1,4)	4,5 (± 0,4)	4,9 (± 0,4)	3,4 (± 0,2)	6,1 (± 0,5)
Attività U-234 Bq/kg	10,3 (± 1,4)	5,3 (± 0,4)	6,2 (± 0,5)	4 (± 0,3)	6,6 (± 0,5)
Attività U-235 Bq/kg	0,5 (± 0,3)	0,2 (± 0,1)	0,2 (± 0,1)	0,3 (± 0)	0,4 (± 0,1)
U-238 (ppm)	0,81 (± 0,11)	0,36 (± 0,03)	0,4 (± 0,03)	0,27 (± 0,02)	0,49 (± 0,04)
U-234 (ppm)	4,5E-5 (± 6E-6)	2,3E-5 (± 2E-6)	2,7E-5 (± 2E-6)	1,8E-5 (± 1E-6)	2,9E-5 (± 2E-6)
U-235 (ppm)	0,006 (± 0,004)	0,003 (± 0,001)	0,003 (± 0,001)	0,003 (± 0,001)	0,004 (± 0,001)
Rapporto isotopico (peso) U234/U238 (%)	0,006 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)	0,007 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)	0,006 (± 0,001)
Rapporto isotopico (peso) U235/U238 (%)	0,7 (± 0,4)	0,9 (± 0,2)	0,8 (± 0,2)	1,2 (± 0,2)	0,9 (± 0,2)
Rapporto isotopico (attività) U234/U238 (%)	103 (± 20)	120 (± 14)	126 (± 14)	120 (± 12)	109 (± 11)
Rapporto isotopico (attività) U235/U238 (%)	5 (± 3)	5 (± 1)	5 (± 1)	8 (± 1)	6 (± 1)

Rapporto isotopico U234/U238 nelle alghe rosse



Rapporto isotopico U235/U238 nelle alghe rosse



Analisi di spettrometria alfa su campioni di sedimenti

Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
S. Stefano Punto A	5173	23.36	11/02/04	19/05/04	101590	39.10%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/kg	Concentrazione (ppm)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	54 (± 3)	4,37 (± 0,26)	0,00677 (± 0,0006)	1,1 (± 0,2)	126 (± 11)	7,1 (± 1)
U-234	68 (± 4)	2,9E-5 (± 2E-6)				
U-235	3,8 (± 0,5)	0,048 (± 0,006)				

Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Cala Francese	5172	10.7	12/02/04	17/05/04	168402	73.02%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/kg	Concentrazione (ppm)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	15 (± 1)	1,18 (± 0,08)	0,00598 (± 0,0006)	0,8 (± 0,2)	111 (± 11)	5,3 (± 1,2)
U-234	16 (± 1)	7E-5 (± 5E-6)				
U-235	0,8 (± 0,2)	0,01 (± 0,002)				

Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Isola delle Bisce	5210	20.7	04/03/04	26/05/04	195244	64.39%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/kg	Concentrazione (ppm)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	15 (± 1)	1,19 (± 0,07)	0,00613 (± 0,0005)	1,5 (± 0,2)	114 (± 10)	9,5 (± 1,3)
U-234	17 (± 1)	7,3E-5 (± 4E-6)				
U-235	1,4 (± 0,2)	0,018 (± 0,002)				

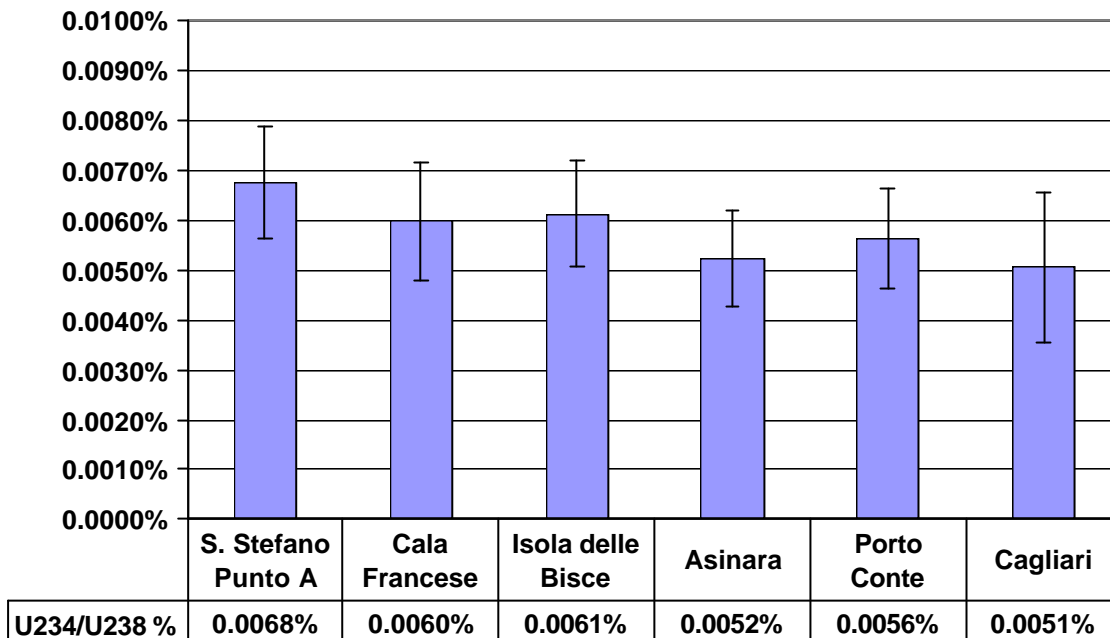
Analisi di spettrometria alfa su campioni di sedimenti

Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Asinara	5226	20.7	17/03/04	21/05/04	247831	44.12%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/kg	Concentrazione (ppm)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	14 (± 1)	1,11 (± 0,07)	0,00524 (± 0,0005)	0,7 (± 0,1)	98 (± 9)	4,4 (± 0,9)
U-234	13 (± 1)	5,8E-5 (±4E-6)				
U-235	0,6 (± 0,1)	0,007 (± 0,001)				

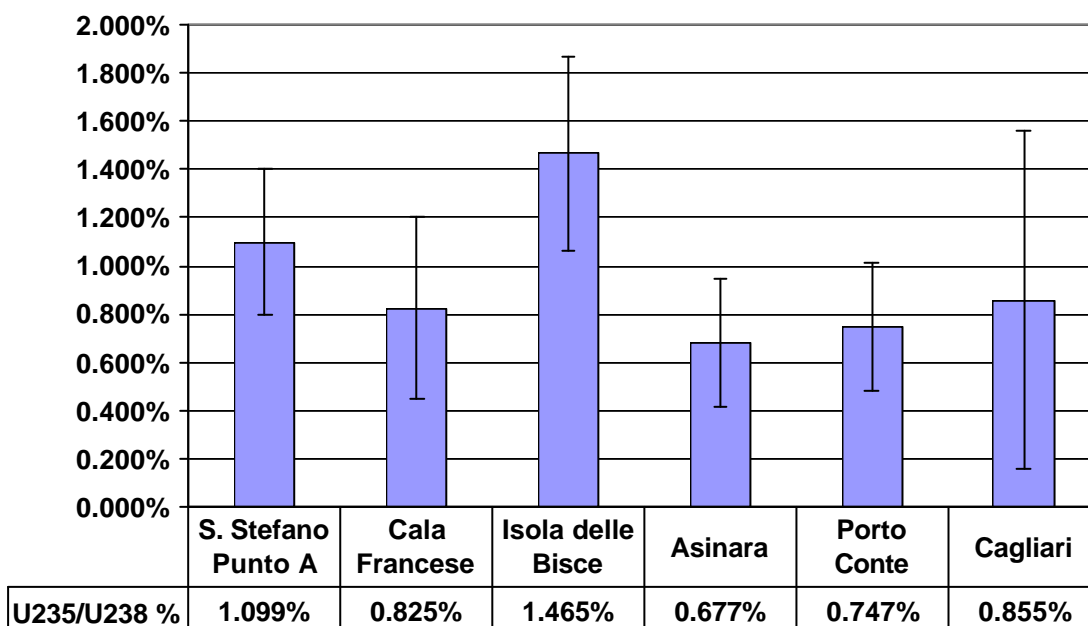
Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Porto Conte	5223	20.7	16/03/04	24/05/04	158520	48.45%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/kg	Concentrazione (ppm)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	22 (± 1)	1,8 (± 0,11)	0,00564 (± 0,0005)	0,7 (± 0,1)	105 (± 9)	4,8 (± 0,9)
U-234	23 (± 1)	1,0E-5 (±6E-6)				
U-235	1,1 (± 0,2)	0,013 (± 0,002)				

Località di prelievo	Codice	quantità analizzata	data di prelievo	data misura	durata misura (s)	Resa chimica
Cagliari	5231	23.4	18/03/04	20/05/04	84513	60.70%
			rapporti in peso		rapporti in attività	
Isotopo	Attività Bq/kg	Concentrazione (ppm)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)	U234/U238 (%)	U235/U238 (%)
U-238	4,3 (± 0,5)	0,35 (± 0,04)	0,00507 (± 0,0008)	0,9 (± 0,4)	94 (± 14)	5,5 (± 2,3)
U-234	4,1 (± 0,4)	1,8E-5 (± 2E-6)				
U-235	0,24 (± 0,1)	0,003 (± 0,001)				

Rapporto isotopico U234/U238 (%) nei sedimenti



Rapporto isotopico U235/U238 nei sedimenti



ALLEGATO 12

Dati relativi al Cs-137 nei sedimenti marini su territorio nazionale a seguito delle ricadute di Chernobyl

Dati da rapporto APAT/Stato dell'Ambiente 6/2001

Cs-137 nei sedimenti marini (Bq / kg peso secco)				
Località di prelievo	Provincia	Valore Medio	Valore Minimo	Valore Massimo
Barena di Passo a Campalto	VE	7.9	3.6	11.6
Cesenatico	FO		1.3	5.7
La Maddalena	SS	1.4	0.1	3.9
Porto Garibaldi	FE	7.1	1.5	14.5
Venezia	VE	3.2	0.9	4.7

Dati in corso di pubblicazione – Anno 2002

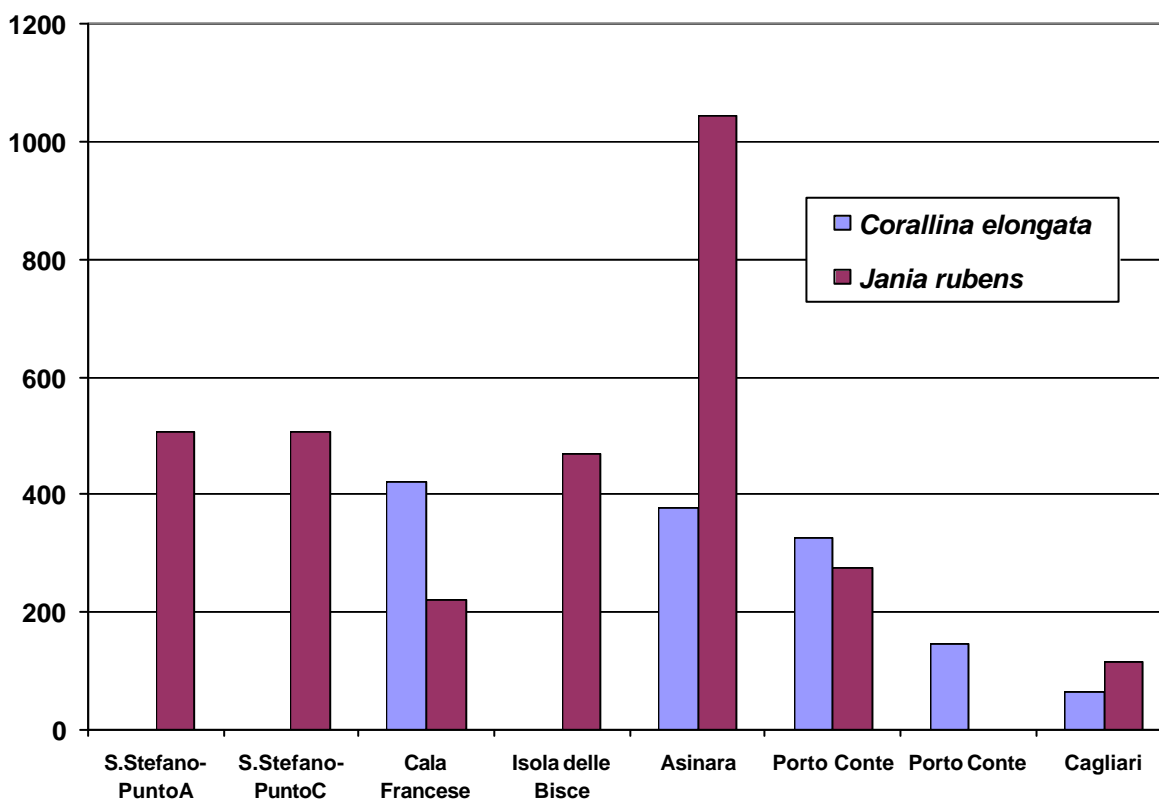
Cs-137 nei sedimenti marini (Bq / kg peso secco)				
Località di prelievo	Provincia	Valore Medio	Valore Minimo	Valore Massimo
Cesenatico	FO	8,38	3.80	16.73
La Maddalena	SS	1.49	0.23	4.58

ALLEGATO 13

Riepilogo misure di U-238 (spettrometria alfa), Th-234 (spettrometria gamma) e fattori di concentrazione Th-234/U238 misurati nelle alghe rosse

Localita'	Matrice	U-238	Th-234	Pa-234m	Th-234(Pa-234m) /U-238
		(Bq/g)			
S.Stefano-PuntoA	Jania	0.009	5.33	4.56	507
S.Stefano-PuntoC	Jania	0.0129	0.832	0.766	507
Cala Francese	corallina	0.01	5.54	4.16	420
Cala Francese	Jania	0.0113	3.88	3.14	220
Isola Bisce	Jania	0.0092	3.49	4.31	468
Asinara	Jania	0.0068	7.71	7.11	1046
Asinara	Corallina	0.0061	2.8	2.3	377
Porto Conte	Corallina	0.0034	1.28	1.1	324
Porto Conte	Corallina	0.0049	0.48	0.722	212
Porto Conte	Jania	0.012	3.16	3.32	277
Cagliari	Jania	0.0095	0.74	1.1	116
Cagliari	Corallina	0.0045	0.32	0.29	64

Fattore di accumulo (Th234/U238) nelle alghe rosse



ALLEGATO 14

Riepilogo risultati misure spettrometria gamma sui campioni di fauna ittica stanziale e ricci

Matrici alimentari

Attività (Bq/kg)	Pesce stanziale dell'infralitorale	Grancevola	Capone
Mn-54	<0,30	<0,34	<0,18
Co-60	<0,34	<0,36	<0,20
Zr-95	<0,54	<0,63	<0,32
Ru-103	<0,30	<0,31	<0,17
I-131	<0,56	<0,43	<0,24
Cs-134	<0,32	<0,32	<0,19
Cs-137	<0,31	<0,35	<0,20
Ce-141	<0,41	<0,42	<0,23
Ce-144	<1,45	<1,64	<0,91
Be-7	<2,47	<2,65	<1,55
K-40	115±56	51±16	88±21
Th-234	5,5±5,0	<8,78	<4,79
Pa-234m	<50,3	<59,8	<30,3
Pb-214	0,5±0,3	<0,62	<0,39
Bi-214	<0,64	<0,74	<0,39
Pb-210	<31,5	86±60	<37,9
Ac-228	2,5±0,5	<1,58	<0,86
Th-228	<18,9	24±12	<14,4
Pb-212	1,3±0,5	<0,52	<0,32
Tl-208	<0,32	0,36	0,21
U-235	<0,32	<0,43	<0,24
Pa-231	<7,72	<7,98	<5,02
Th-227	<2,64	<2,00	<1,15
Ra-223	<1,60	<1,73	<0,96
Quantità analizzata (g)	415	203	468
Punto di prelievo	La Maddalena	La Maddalena	La Maddalena
Data prelievo	21/03/04	19/05/04	19/05/04
Data di analisi	30/03/04	24/05/04	23/05/04
T. di conteggio (s)	85 000	80 000	80 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Fresco	Fresco
Geometria utilizzata	M500	M200	M500
Metodo	UNI 10136: 1992		

Matrici alimentari

Attività (Bq/kg)	Pesce stanziale dell'infralitorale	Pesce stanziale dell'infralitorale	Pesce stanziale "Gronco"	Pesce stanziale misto
Mn-54	<0,16	<0,21	<0,16	<0,14
Co-60	<0,19	<0,23	<0,19	<0,16
Zr-95	<0,31	<0,38	<0,29	<0,26
Ru-103	<0,16	<0,19	<0,16	<0,14
I-131	<0,24	<0,32	<0,19	<0,20
Cs-134	<0,17	<0,22	<0,17	<0,14
Cs-137	<0,20	<0,23	<0,19	<0,16
Ce-141	<0,21	<0,26	<0,20	<0,18
Ce-144	<0,83	<0,97	<0,85	<0,70
Be-7	<1,36	<1,66	<1,33	<1,21
K-40	82±20	75±18	91±22	80±19
Th-234	<4,51	<5,62	<4,15	<3,86
Pa-234m	<27,5	<37,0	<26,1	<24,0
Pb-214	<0,36	<0,44	<0,35	<0,31
Bi-214	<0,37	<0,46	<0,37	<0,32
Pb-210	<37,0	<45,1	<37,0	<38,1
Ac-228	<0,78	<0,96	<0,74	<0,63
Th-228	<13,6	18±8	17±7	<11,5
Pb-212	<0,30	<0,36	<0,29	<0,25
Tl-208	<0,19	<0,23	<0,20	<0,17
U-235	<0,23	<0,27	<0,22	<0,19
Pa-231	<5,00	<5,80	<4,75	<4,15
Th-227	<1,14	<1,42	<1,00	<0,94
Ra-223	<0,92	<1,21	<0,78	<0,77
Quantità analizzata (g)	501	493	513	604
Punto di prelievo	Alghero Porto Conte	Stintino	Porto Torres	Castelsardo
Data prelievo	26/05/2004	27/05/2004	26/05/2004	28/05/2004
Data di analisi	30/05/04	02/06/04	29/05/04	01/06/04
T. di conteggio (s)	80 000	60 400	80 000	80 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Fresco	Fresco	Fresco
Geometria utilizzata	M500	M500	M500	M500
Metodo	UNI 10136: 1992			

Ricci

Attività (Bq/kg)	Ricci (parte edule)	Ricci (parte edule)	Ricci (parte edule)	Ricci (parte edule)	Ricci (gusci)
Mn-54	<0,42	<0,29	<0,38	<1,44	<1,52
Co-60	<0,42	<0,29	<0,36	<1,48	<1,60
Zr-95	<0,85	<0,67	<0,92	<2,83	<2,95
Ru-103	<0,49	<0,42	<0,53	<1,47	<1,60
I-131	<3,29	<4,41	<6,60	<3,14	<3,75
Cs-134	<0,37	<0,24	<0,34	<1,23	<1,26
Cs-137	<0,43	<0,27	<0,33	<1,37	<1,55
Ce-141	<0,74	<0,63	<0,89	<1,75	<1,92
Ce-144	<2,01	<1,42	<1,92	<5,76	<6,34
Be-7	<4,05	2,9±1,5	8,1±2,8	<12,7	<13,4
K-40	65±19	32±11	60±18	178±56	161±52
Th-234	62±20	20±14	86±26	<31,2	<35,2
Pa-234m	<174	<104	<156	<296	<312
Pb-214	1,0±0,4	0,8±0,3	2,4±0,6	<2,89	<3,35
Bi-214	<0,94	<0,60	1,4±0,6	<3,23	<3,66
Pb-210	<148	<108	118±70	<327	<362
Ac-228	<1,97	<1,30	<1,78	<7,22	<7,99
Th-228	<25,6	<18,6	<24,7	<71,9	100±42
Pb-212	0,8±0,4	0,6±0,3	1,4±0,5	<2,24	<2,45
Bi-212	5,3±2,4	<3,96	6,1±2,5	<21,3	<24,3
Tl-208	<0,44	<0,30	<0,43	1,4±1,2	1,2±1,1
U-235	<0,48	<0,34	<0,46	<1,75	<1,95
Pa-231	<8,92	<61,5	<8,20	<36,8	<40,4
Th-227	<4,60	<4,19	<5,92	<9,66	<10,7
Ra-223	<6,61	<7,64	<10,7	<6,71	<7,47
Quantità analizzata (g)	203,5	241,3	183,5	22,5	26,8
Punto di prelievo	Isola delle Bisce	Cala Francese	Isola S.Stefano Punto A	Isola S.Stefano Punto C	Isola S.Stefano Punto C
Data prelievo	04/03/04	05/03/04	05/03/04	28/03/04	28/03/04
Data di analisi	01/04/04	09/04/04	11/04/04	07/04/04	08/04/04
T. di conteggio (s)	65 000	90 000	90 000	165 000	100 000
Stato del campione al momento dell'analisi	Fresco	Fresco	Fresco	Fresco	Secco
Geometria utilizzata	M200	M200	M200	CP 20 ml	CP 20 ml
Metodo	UNI 10136: 1992				

ALLEGATO 15
Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

- Edgington D.N., Gordon S.A., M.M. Thommes, Almodovar L.R., 1970 The concentration of radium, thorium, uranium by tropical marine algae. *Limnology and Oceanography*, **15**(6): 945-955
- Hiorose K., Tanoue E., 1999. Strong organic ligands in marine organisms. *Fresenius J. Anal. Chem.*, **363**: 531-533.
- Ohde S., Hossain M.M.M., Ozaki H., Masuzawa T., 2003. Uranium in coral skeletons determined by epithermal neutron activation analysis. *J. Of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **258**(2): 275-280
- Spies R.B., Marsh K.V., Kercher J.R., 1981. Dynamics of radionuclide exchange in the calcareous algae *Halimeda* at Enewetak Atoll. *Limnol. And Ocean.*, **26**(1): 74-85
- Strohal P., Pinter T., 1973. Thorium in water and algae from the Adriatic sea. *Limnology and Oceanography*, **18** (2): 250-253
- B.A. Napier, Informativa tecnica nell'ambito di una collaborazione tra APAT e US PNNL
- ATSDR. 1990. *Toxicological Profile for Thorium*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Public Health Service, Washington, D.C.
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp147.pdf>
- CIESM, 2002. *Metal and radionuclides bioaccumulation in marine organisms*. CIESMWorkshop Monographs No. 19, Monaco.
<http://www.ciesm.org/publications/Ancona02.pdf>
- IAEA. 1985. *Sediment K_d s and Concentration Factors for Radionuclides in the Marine Environment*, Technical Reports Series No. 247, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Onishi, Y., R.J. Serne, E.M. Arnold, C.E. Cowan, and F.L. Thompson. 1981. *Critical Review: Radionuclide Transport, Sediment Transport, and Water Quality Mathematical Modeling; and Radionuclide Adsorption/Desorption Mechanisms*. NUREG/CR-1322, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- Staven, L.H., B.A. Napier, K. Rhoads, D.L. Streng. 2003. *A Compendium of Transfer Factors for Agricultural and Animal Products*. PNNL-13421. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.
- Amiel A.J., Miller D.S., Friedman G.M., 1973. *Incorporation of uranium in modern corals*. *Sedimentology*, **20**: 523-528
- A.A. Cigna et Al. "Fallout Plutonium cycle in a terrestrial environment: north Italy", rapporto ENEA RT/PAS/88/16
- C. Triulzi et Al. "Isotopi del Plutonio in campioni marini dell'alto Adriatico" atti del Convegno AIRP "Problematiche ambientali e radiotossicologiche relative ad elementi transuranici" ENEA/Casaccia 24 giugno 1986, pp105-120
- C. Triulzi "Radioattività naturale ed artificiale in campioni ambientali del Golfo di Taranto per la caratterizzazione del sito marino della Trisaia" - Atti del XXI congresso AIRP (Palermo 16/10/1979)
- A. Delle Site et Al. "Preliminary results on Pu-239+240 and Pu-238 in some environmental samples of the taranto Gulf" - Rapp. Comm. int. Mer Medit. 25/26, 5 (1979)

