



Afflusso di Acque Sotterranee nella Laguna di Venezia

Dr. Claudio Cabianca

Tutor: ing. Maurizio Ferla

Data	Firma stagista	Firma tutor	Firma responsabile servizio

Abstract

Da qualche anno oramai team di scienziati del CNR-ISMAR in collaborazione con altri istituti cercano di quantificare il flusso di acque sottomarine (SGD) nella laguna di Venezia con lo scopo di comprendere il bilancio idrico totale del bacino. A tal fine sono stati compiuti campionamenti per tutta la laguna utilizzando camere bentiche, piezometri a punta retrattile e prelievi superficiali di acque. La comprensione dei flussi di acqua dolce è avvenuta tramite il conteggio degli isotopi del radio ($^{223}, ^{224}, ^{226}, ^{228}\text{Ra}$) applicato ad un bilancio di massa per l'elemento e con l'utilizzo di un modello idrodinamico per adattare i risultati alla morfologia lagunare.

Si è scoperto come i flussi di acqua dolce sottomarina siano molto rilevanti per quantità ed importanza quando si parla di apporto di inquinanti e nutrienti nel bacino lagunare.

Prefazione

INDICE

1	<i>Introduzione</i>	5
1.1	La Laguna di Venezia	5
1.2	le acque sotterranee	6
2	<i>Materiali e Metodi</i>	7
2.1	L'utilizzo degli isotopi del radio	9
2.2	I campionamenti e le analisi di laboratorio	11
3	<i>Risultati</i>	15
4	<i>Conclusioni</i>	21
	<i>Bibliografia</i>	23
	<i>Indice delle figure</i>	24

1 Introduzione

1.1 La Laguna di Venezia

La laguna di Venezia è uno specchio d'acqua di 550 km² ubicato lungo la costa Nord Est italiana affacciata sul Mare Adriatico. La profondità media si aggira attorno al metro e l'excursus medio di marea varia da 0.3 a 0.8m. La laguna in quanto tale presenta canali, barene, paludi, terre emerse con valori di 44 km² per quanto riguarda il sistema suolo e 506 km² per il sistema acqua composto a sua volta da 66 km² di canali e 440 km² tra fondali, velme e barene.¹

La laguna è in collegamento col mare attraverso 3 bocche di porto: Chioggia, Malamocco, Lido larghe da 400 a 800 m che consentono un ricambio delle acque interne ed un ossigenazione delle stesse. Durante le maree sigiziali lo scambio di acqua tra laguna e mare si aggira attorno ai 350 milioni di metri cubi mentre durante maree di quadratura attorno a 175 milioni di metri cubi. Da queste bocche si dipartono numerosi canali naturali tortuosi che si dipanano sino a zone remote del bacino lagunare ed ai quali si aggiungono anche dei canali artificiali ad andamento rettilineo e notevolmente più profondi della media.

Seguendo l'idrodinamicità e la distribuzione dei canali, è possibile suddividere l'intero bacino della laguna in 4 sottobacini: Sud (dipendente dalla bocca di Chioggia), Centrale (dipendente dalla bocca di Malamocco), Nord-centrale e Nord (dipendenti dalla bocca del Lido) (Solidoro et al 2004).

La laguna di Venezia è in contatto anche con la terraferma per mezzo di 11 fiumi di piccola-media portata che sversano nel bacino acque dolci, nutrienti ed inquinanti. Nel corso dei secoli alcuni dei maggiori corsi d'acqua sono stati deviati cosicché oggi l'afflusso medio dal bacino scolante è di soli 35 m³*s⁻¹. La salinità della laguna pertanto varia geograficamente a seconda che ci si trovi in prossimità delle foci dei fiumi o delle bocche di porto ed oscilla tra 5 ‰-35‰. A queste naturali oscillazioni si aggiungono poi le variazioni stagionali dovute al diverso apporto di acqua dolce da parte del bacino scolante (1850 km²) ed alle piogge in loco.

¹ <http://www.salve.it/it/default.htm> (Nov 2008)

1.2 le acque sotterranee

In questo progetto di ricerca, vengono ricercati i flussi di acque sotterranee, cioè acque freatiche intrappolate sotto la superficie terrestre a varie profondità in terreni permeabili. Normalmente questi accumuli di acque si trovano nel sottosuolo tra lenti di argilla o materiale impermeabile ma possono raggiungere la superficie terrestre attraverso pozzi o sorgenti o nel momento in cui la stratificazione geologica raggiunge la superficie o un forte dislivello come lungo le coste. I serbatoi più profondi possono rimanere indisturbati per lungo tempo fino a contenere l'acqua fossile, mentre a profondità minori si incontrano le falde freatiche che si ricaricano in tempi più brevi e vengono disturbate da attività antropiche. Per quanto riguarda gli acquiferi nel sottosuolo lagunare se ne possono riconoscere 9 sovrapposti per uno spessore totale di 1000 m (Carbognin et al 1977) e sono in contatto con le zone di ricarica dell'alta pianura veneta o più in là della fascia pedemontana ad 80 km a Nord.

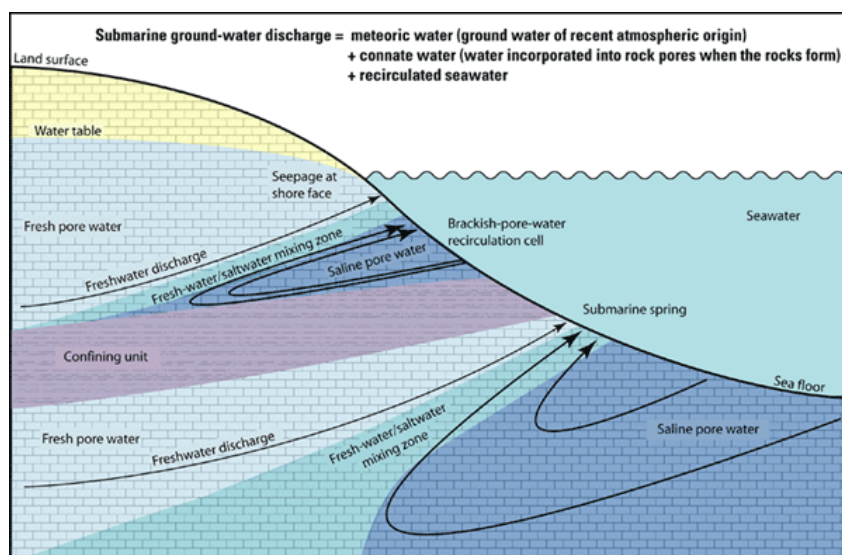


Figura 1: i flussi di acque sotterranee (fonte: internet)

Il flusso-emissione di acqua sotterranea Submarine Groundwater Discharge (SGD) è un processo molto diffuso negli ambienti costieri governato da fattori climatologici, idrogeologici e oceanografici. Il gradiente idraulico è il motore che trasporta le acque superficiali e del sottosuolo verso la costa. Processi oceanografici come le onde, la spinta di marea e la circolazione sottomarina influiscono sul grado di emissione di acque sotterranee sottomarine.

Negli ultimi anni il deflusso di acque sotterranee, è stato riconosciuto come fenomeno che influenza fortemente le acque costiere, il bilancio geochemico ed i cambiamenti nell'ecosistema e molti sforzi sono stati compiuti al fine di trovare nuove tecniche e metodi

per quantificare l'SGD. Le difficoltà maggiori sono data dal fatto che le emissioni sono di tipo diffuso e non puntuale rendendo così complicata la valutazione complessiva del fenomeno.

L'impatto dell'uomo su questi estuari sotterranei è causato soprattutto dal dragaggio di canali e di fondale costiero aumentando conseguentemente il contatto tra l'acqua marina e l'acqua dolce delle falde più superficiali. A questo si aggiunge l'eccessivo sfruttamento delle falde freatiche che abbassa la pressione degli acquiferi e quindi la superficie potenziometrica causando l'infiltrazione dell'acqua di mare all'interno delle falde di acqua dolce, la risalita del cuneo salino con depauperamento della risorsa acqua e del suolo costiero.

Negli anni 2000, un progetto del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine CNR-ISMAR è giunto alla conclusione che c'è un deficit di almeno il 15% nel bilancio idrico tra la laguna di Venezia e il suo bacino di scolo. Dopo aver calcolato la componente di evapotraspirazione, si è giunti alla conclusione che questo deficit è dato dalle infiltrazioni di acqua piovana negli acquiferi che poi alla fine scaricano in laguna questo flusso di acqua dolce sotterraneo (Zonta 2001). Questo flusso è stato dichiarato importante a scala locale perché può interessare fino al 50% dei flussi di acqua dolce (Moore 1996) ed in quanto tale può costituire un importante percorso per i nutrienti e gli inquinanti che giungono nel bacino lagunare.

2 Materiali e Metodi

Il flusso delle acque dolci sotterranee può essere misurato direttamente tramite l'utilizzo di camere bentiche posate sul fondo lagunare. Il problema di questo metodo è dato dal fatto di avere delle stime puntuali che non possono essere considerate come spazialmente rappresentative del flusso medio di acqua dolce sotterranea, inoltre le camere bentiche non danno informazioni sui flussi integrati nel tempo in quanto i periodi di campionamento sono limitati.

La camera bentica è formata da un cilindro in acciaio della profondità di 20cm aperto sul fondo. Col suo diametro può ricoprire un'area di 2.550 cm². Alla sommità è presente un tubo di sfogo al quale viene attaccato un sacchetto di plastica per il campionamento. L'acqua sotto al fondale, dall'interno della camera sommersa è spinta verso l'alto e può venir campionata tramite il sacchetto. Il flusso di acqua sotterranea viene calcolato dal

cambiamento di volume dell'acqua presente nel sacchetto campionatore in un tempo misurato.



Figura 2: camera benthica (fonte: foto Claudio Cabianca)

Un altro sistema valido per misurare l'SGD è il piezometro a punta retrattile che può prelevare campioni a profondità maggiori delle camere benthiche ma anch'esso fornisce stime puntuali. Questo strumento viene infilato nel fondale e, collegato ad una pompa, permette di estrarre l'acqua sotterranea alla profondità desiderata.



Figura 3: piezometro a punta retrattile (fonte: foto Claudio Cabianca)

2.1 L'utilizzo degli isotopi del radio

Al fine di determinare il flusso di acqua dolce sotterraneo, si potrebbe usare una caratterizzazione chimica dei campioni ma interverrebbero delle complicate derivate dal fatto che l'acqua di falda può comprendere anche una componente di acqua marina intrusa dalla costa. Siccome il mescolamento di acque sotterranee a diversa salinità comporta precipitazioni e reazioni di scambio ionico con i sedimenti dell'acquifero, le concentrazioni di ioni in soluzione diventano non-conservative e quindi non possono essere utilizzate come traccianti per riconoscere le diverse componenti e stimare i flussi netti.

Per risolvere questo problema si utilizzano allora degli isotopi naturali di uranio, stronzio, radio, radon ossigeno ed idrogeno i cui rapporti non vengono influenzati da successivi cambiamenti di concentrazione per diluizione o precipitazione di sostanze insolubili. In questo progetto di ricerca compiuto dal CNR-ISMAR e sovvenzionato dall'ISPRA vengono utilizzati gli isotopi 223 224 226 228 del Radio. Difatti le acque dolci di falda al contatto con acque salmastre si arricchiscono in radio per reazioni di scambio ionico che coinvolgono i sedimenti. Un rilascio di radio nell'acqua di falda definisce pertanto il fronte di interazione sotterraneo tra acque di falda a diversa salinità. La quantificazione del bilancio di radio nel sistema lagunare sarà compiuta a partire dalla conoscenza del quantitativo dei singoli apporti in laguna:

- scambi col mare attraverso le bocche di porto (corrente entrante)
- apporti i origine fluviale
- desorbimento dalle particelle di sedimento
- diffusione dalle acque interstiziali
- drenaggio del sistema di barene
- apporto di acque sotterranee

le perdite invece di radio saranno date da:

- scambi attraverso le bocche di porto (corrente uscente)
- decadimento radioattivo

Scritto in forma matematica, il flusso di acqua sotterranea sarà poi compreso meglio utilizzando la relazione di bilancio di massa:

$$J_{out} + J_{decay} = J_{in} + J_{river} + J_{diff} + J_{marsh} + J_{desorp} + J_{sgd}$$

Con :

J_{out} = export di radio nello scambio di acqua fra laguna e mare Adriatico

J_{decay} = perdita di radio per decadimento radioattivo che dipende dal tempo di residenza

J_{in} = flusso di radio nella laguna di Venezia dal mare Adriatico

J_{river} = flusso di radio dai fiumi

J_{diff} = flusso diffusivo di radio dai sedimenti sub ed inter tidali

J_{marsh} = flusso di radio associato alla percolazione di acque interstiziali dalle barene

J_{desorp} = radio liberato per desorbimento dalla particelle di sedimento risospese

J_{sgd} = flusso di radio da apporti di acque sotterranee

$$J_{\text{out}} = V_{\text{out}} \times C_{\text{bay}}$$

dove V è la somma dei volume del prisma tidale e del deflusso dei fiumi mentre C è la concentrazione media del radio.

$$J_{\text{decay}} = V_{\text{bay}} \times C_{\text{bay}} \times \lambda_{\text{ra}}$$

Dove λ_{ra} è la costante di decadimento dell'isotopo specifico.

$$J_{\text{in}} = V_{\text{in}} \times C_{\text{ocean}}$$

Cioè il volume del prisma tidale è stato moltiplicato per l'attività media nell'acqua di mare

$$J_{\text{river}} = V_{\text{in}} \times C_{\text{river}}$$

Cioè il volume del deflusso fluviale è moltiplicato per l'attività media nell'acqua dei fiumi

$$J_{\text{diff}} = F_{\text{diff}} \times A_{\text{sed}}$$

Cioè la diffusione calcolata per i sedimenti è moltiplicata per l'area del fondale

$$J_{\text{marsh}} = F_{\text{marsh}} \times A_{\text{marsh}}$$

Dove il valore del flusso calcolato per le barene è moltiplicato per l'area delle barene che è in relazione all'altezza del livello idrico in laguna nel periodo di campionamento.

$$J_{\text{desorp}} = S_{\text{sed}} \times V_{\text{sed}} \times C_{\text{sed}}$$

Dove la concentrazione massima giornaliera di particelle in sospensione ($S_{\text{sed}} \times V_{\text{sed}}$) è moltiplicata per l'attività media nel sedimento.

Al fine di adattare l'equazione di bilancio di massa all'ecosistema lagunare è stata compiuta anche un'analisi di scala conoscendo le estensione delle barene, il prisma tidale, la portata dei fiumi, le concentrazioni medie di ^{223}Ra :

$$\underbrace{J_{out}}_{10^9} + \underbrace{J_{decay}}_{10^8} = \underbrace{J_{in}}_{10^8} + \underbrace{J_{river}}_{10^6} + \underbrace{J_{diff}}_{10^7} + \underbrace{J_{marsh}}_{10^7} + \underbrace{J_{desorp}}_{10^6} + \underbrace{J_{SGD}}_{10^9}$$

come si nota quindi per la laguna veneta le componenti principali del bilancio di massa del ^{223}Ra sono il decadimento radioattivo, i flussi tra mare e laguna e la diffusione dall'acqua interstiziale.

Quindi la differenza fra il radio esportato dalla laguna attraverso gli scambi col mare aperto, il decadimento e l'apporto delle diverse sorgenti elencate precedentemente, può essere attribuito all'apporto di acque sotterranee.

2.2 I campionamenti e le analisi di laboratorio

La mia partecipazione al progetto scientifico ha riguardato quasi esclusivamente la preparazione dei campioni per le analisi del radio e in parte una fase di campionamento in loco avvenuta a Maggio- Giugno 2008.

La ricerca sugli studi dei flussi di acqua dolce sotterranea in laguna di Venezia proseguono dal periodo 2002-2005 tramite la National Science Foundation, poi nel periodo 2004-2006 con programma di ricerca del CORILA (consorzio per la gestione del centro di coordinamento delle attività di ricerca inerenti il sistema lagunare di Venezia) fino alla campagna di campionamento di buona parte della laguna da parte del CNR-ISMAR a cui ho partecipato. Questa campagna è stata suddivisa in 7 periodi di prelievo di campioni distribuite secondo le stagioni a partire da Ottobre 2006 per terminare a Giugno 2008, unico mese in cui ho partecipato.

Durante i primi anni di ricerca (2002-2004), furono campionati solo 2 siti: isola della Cura e Porto Marghera per un totale di oltre 200 misurazioni distribuite in 17 differenti punti dei siti enunciati.

Siccome le aree erano troppo piccole e quindi poco rappresentative, data l'importanza nel comprendere il fenomeno delle SGD, si è deciso di campionare l'intera laguna (30 determinazioni) utilizzando poi modelli idrodinamici per una migliore comprensione dell'ambiente lagunare in toto.

Il modello idrodinamico utilizzato è il modello bidimensionale agli elementi finiti sviluppato dal CNR-ISMAR che risolve le equazioni per le acque profonde integrate sulla verticale nelle loro formulazioni con il livello idrico ed il trasporto. Con il metodo degli elementi finiti è quindi stato possibile ricostruire accuratamente la morfologia e la batimetria della laguna descrivendo i complicati processi idrodinamici che la caratterizzano. Per essere più precisi il modello è stato inoltre calibrato confrontando i risultati con i dati mareografici rilevati dall'ISMAR.

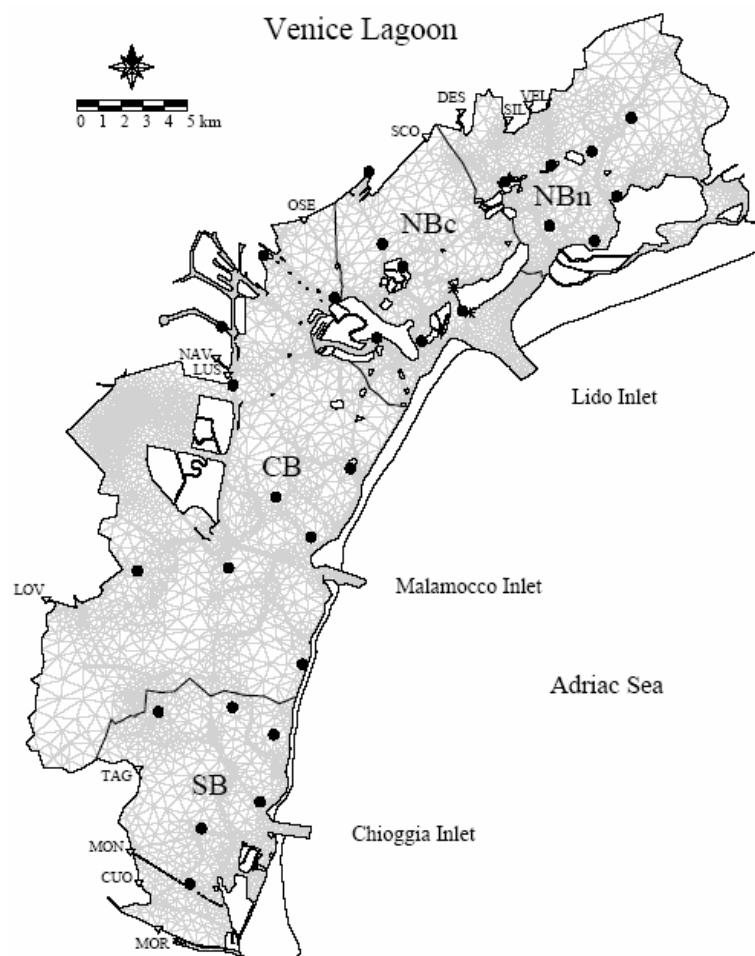


Figura 4: punti di campionamento e suddivisione in sottobacini. Si nota anche la struttura agli elementi finiti del modello idrodinamico (fonte: Ferrarin et al 2008)

Durante i campionamenti è stata prelevata acqua tramite un piezometro, tramite camere bentiche o anche solo acqua tal quale a profondità di circa 50 cm. Per ciascuna stazione è stata misurata anche la temperatura, la salinità e la conducibilità elettrica tramite strumento elettronico.

Una volta raccolto un quantitativo d'acqua sufficientemente elevato, una parte è stato tenuto per l'analisi dei nutrienti in laboratorio (nei punti in cui si è riscontrata significativa variazione di salinità rispetto all'acqua superficiale), mentre una parte è servita per

l'estrazione in campo del radio. Per far questo si è fatta passare l'acqua prelevata attraverso 15 mg di fibra acrilica impregnata di ossido di manganese (MnO_2) con un flusso di scorrimento inferiore a 1 L per minuto.



Figura 5: passaggio dell'acqua prelevata attraverso le fibre di MnO_2 (fonte: foto Claudio Cabianca)

una volta impregnate, le fibre sono state portate nei laboratori del CNR-ISMAR per le analisi e la preparazione dei campioni.

Prima di procedere con il conteggio degli isotopi è necessario sciacquare le fibre con acqua distillata per togliere eventuali impurità, quindi asciugarle bene tramite compressore.

Per prima cosa è stato necessario misurare gli isotopi ^{223}Ra e ^{224}Ra tramite l'apparecchiatura RaDecc perché il loro tempo di dimezzamento è molto breve. In particolare prima veniva eseguita la misura per l'isotopo ^{224}Ra che ha tempo di dimezzamento pari a 3,66 giorni e successivamente quella per l'isotopo ^{223}Ra con $t_{1/2}$ pari a 11,4 giorni.

Il RaDecc (radium delayed coincidence counter) è uno strumento che tramite un rilevatore ed un circuito riesce a discriminare il decadimento alfa dei vari figli del radio misurando il tempo di decadimento. I campioni da rilevare sono posti in un circuito chiuso contenente elio.



Figura 6: RaDecc (fonte: internet)

Una volta usufruito dei campioni per l'analisi degli isotopi a vita breve si è potuto procedere con la preparazione per l'analisi di quelli a vita lunga ($^{226}^{228}\text{Ra}$). L'estrazione del radio dalle fibre di manganese e la successiva precipitazione ha seguito la seguente procedura:

- Ciascun campione di fibra è stato immerso in una miscela composta da 130ml di HCl e 130ml di $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$
- Quindi il becker contenente la miscela e fibra è stato posto a scaldare su piastra elettrica per circa un'ora a 90°C al fine di schiarire la fibra.
- Una volta raffreddata la miscela si è proceduto alla filtrazione con pompa attraverso filtri di vetro da 70mm di diametro. Si è posta molta attenzione a filtrare tutto il contenuto e non lasciare residui nel becker.
- Sono stati quindi aggiunti 5 ml di soluzione satura di $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ e 25 ml di H_2SO_4 per far avviare una precipitazione di BaSO_4 all'interno del filtrato.
- Lasciata riposare la miscela una notte per la completa precipitazione, si è proceduto a raccogliere il precipitato ed eliminando volumi sempre più piccoli di soluzione, così da raccogliere il tutto in provette da 15 ml. Si è posta particolare attenzione a trasferire tutto il precipitato eventualmente sciacquando con acqua distillata.
- Al fine di concentrare sempre più il precipitato separandolo dalla soluzione, si sono poste le provette in una centrifuga per 10 min a 1500 giri / minuto.



Figura 7: i campioni di fibra immersi nella miscela e posti su piastra per lo schiarimento (fonte: foto Claudio Cabianca)



Figura 8: la filtrazione della miscela (fonte: foto Claudio Cabianca)

Questa procedura di preparazione dei campioni è servita in quanto le provette sarebbero poi state spedite in un laboratorio esterno per il conteggio degli isotopi a vita lunga.

I campioni di acqua raccolti sono serviti anche per l'analisi dei nutrienti NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 . Per quanto riguarda la preparazione di questi campioni per le successive analisi, si è proceduto alla filtrazione (filtro $0,45 \mu\text{m}$) con lo scopo di togliere le impurità. Successivamente è stato suddiviso il filtrato in contenitori più piccoli di uguale capacità per le analisi che sarebbero state compiute da un altro laboratorio del CNR-ISMAR.

3 Risultati

Con i primi campionamenti effettuati all'Isola della Cura si sono scoperte le prime caratteristiche tipiche del fenomeno di SGD in laguna di Venezia. Mentre normalmente si osserva una diminuzione del flusso di acqua sotterranea allontanandosi dalla linea di costa, all'Isola della Cura i valori aumentavano con la profondità e la distanza. Questo fatto è stato attribuito a probabili fenomeni di escavo del canale campionato però dà indicazione su come sia possibile che in vari punti della laguna, il fondale sia stato alterato e quindi si presentino condizioni diverse dalle situazioni classiche. Per quanto riguarda invece i campionamenti effettuati in zona industriale, si è visto che il flusso di acqua dolce sotterraneo risponde molto più rapidamente alle precipitazioni che avvengono in terraferma di quanto non avvenga in laguna aperta e che trasporta un significativo carico di ammonio nel bacino lagunare.

Con i primi campionamenti dislocati in tutta la laguna si è cominciato a notare come l'acqua cambi salinità con le diverse stagioni probabilmente a seguito delle diverse precipitazioni e come i valori di attività del ^{224}Ra siano maggiori nella zona Nord e Sud piuttosto che in quella centrale.

Per quanto riguarda i valori dei nutrienti, in particolare l'azoto, si è osservato come sia molto più elevato nel periodo invernale piuttosto che in quello primaverile a causa del minore assorbimento dovuto alla scarsa presenza di fitoplancton. Per quanto riguarda il fosforo si è visto come la concentrazione sia più elevata in primavera rispetto all'inverno e la spiegazione può essere legata al tempo di residenza all'interno del bacino lagunare, perché a causa delle esigue precipitazioni in quel periodo, non c'è stato apporto di inquinanti dai fiumi.

Con il passare del tempo, sono stati raccolti 118 campioni di acqua per la determinazione dell'attività degli isotopi del Radio, 73 campioni per l'analisi dei nutrienti, compiute 170 misurazioni puntuali di deflusso di acque sotterranee, 18 posizionamenti di camere bentiche in 5 siti differenti ed infine 6 prelievi lungo il profilo verticale di sedimento in 3 diverse stazioni.

I risultati sono che la distribuzione dell'attività degli isotopi ^{223}Ra ^{224}Ra è caratterizzata da variazioni stagionali in quanto in primavera ed estate 2007 si sono registrati valori superiori al doppio di quelli invernali 2007-2008. Questo fatto varia la teoria inizialmente formulata per cui le attività degli isotopi fossero strettamente legate agli apporti meteorici perché si nota come i periodi più umidi presentino attività più basse. L'analisi dei risultati porta quindi a ritenere che la maggior parte dell'attività del radio sia determinata dalla circolazione di acqua marina all'interno dei depositi sedimentari superficiali e che quindi le precipitazioni condizionano l'afflusso di acqua dolce in maniera minore di quanto non facciano i processi che controllano la circolazione di acqua salata o salmastra. Questa nuova teoria è avvalorata dalla correlazione tra attività del radio e tempi di residenza perché periodi di grandi escursus di marea o di forti correnti causano un aumento di circolazione attraverso i sedimenti e, conseguentemente, anche un maggiore apporto di Ra. Quindi ci si aspetta di trovare attività di Ra più elevate in corrispondenza di tempi di residenza dell'acqua all'interno della laguna più bassi.

Per stimare i tempi di residenza dell'acqua dei sistemi costieri è possibile utilizzare il rapporto $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ perché a causa del maggiore decadimento dell'isotopo 224 rispetto a 223, il rapporto risulterà più basso quando il tempo di residenza sarà più lungo.

Dalle analisi campionamenti dell'autunno 2006 si è notata una corrispondenza tra tempi di residenza e valori del rapporto isotopico ma, siccome dai rilievi invernali e primaverili si è notata qualche discrepanza, si è pensato che l'ipotesi dei tempi di residenza non bastava a spiegare le variazioni di valori osservati, doveva esserci un qualche altro input rilevante.

A fine Maggio 2007 è stato compiuto un campionamento di 24 ore in barena durante l'escursione mareale maggiore dell'intero mese, al fine di determinare l'input di radio da questo tipo di ambienti. I risultati hanno dimostrato come le paludi-barene possano apportare un elevato valore all'interno del bilancio di massa di radio. Difatti la parziale o completa sommersione di questi ambienti lagunari favorirebbe la percolazione dell'acqua nel suolo aumentando l'attività degli isotopi a vita breve del radio lungo il percorso del flusso idrico.

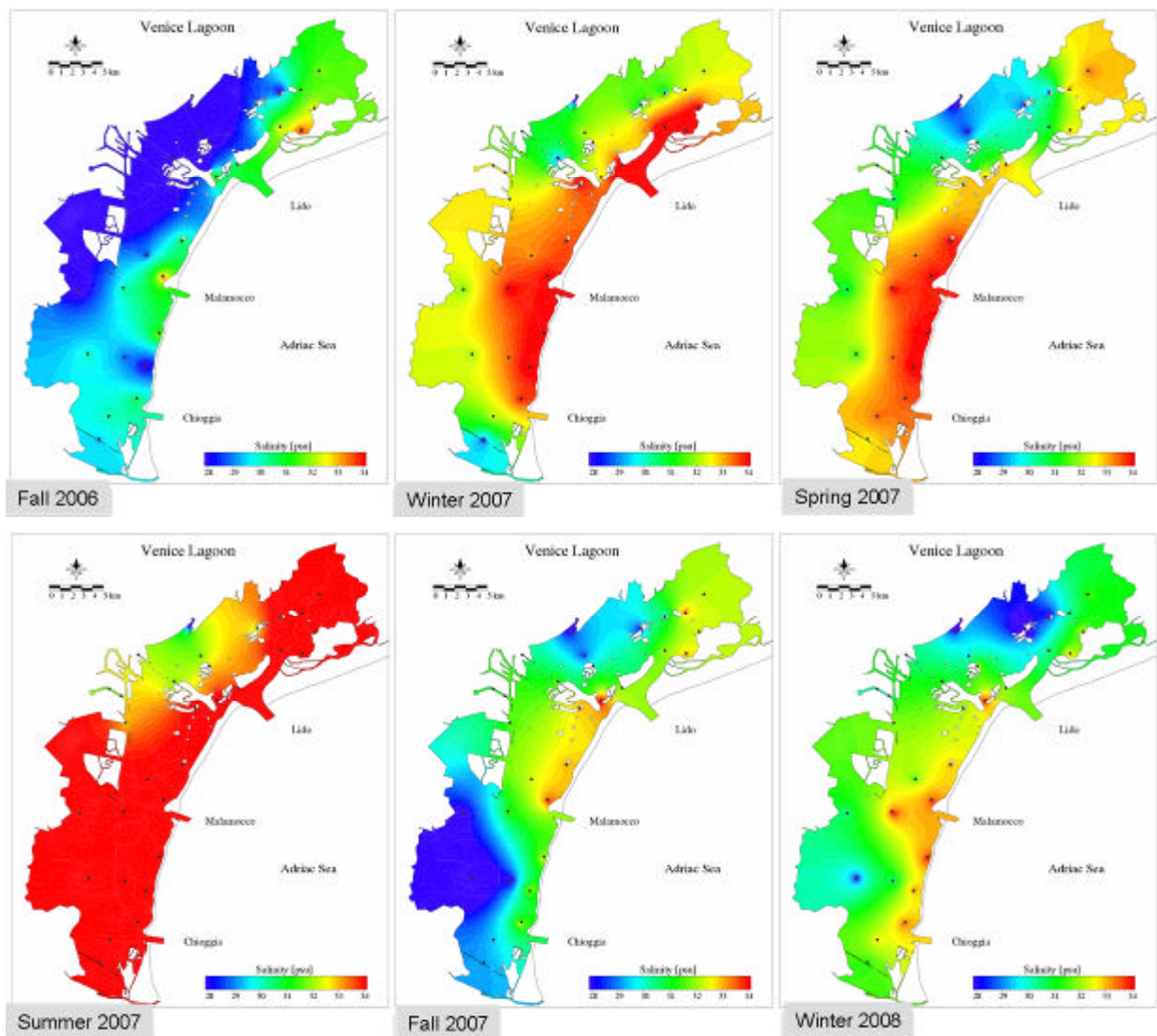


Figura 9 : distribuzione stagionale della salinità nella laguna di Venezia (fonte: APAT report)

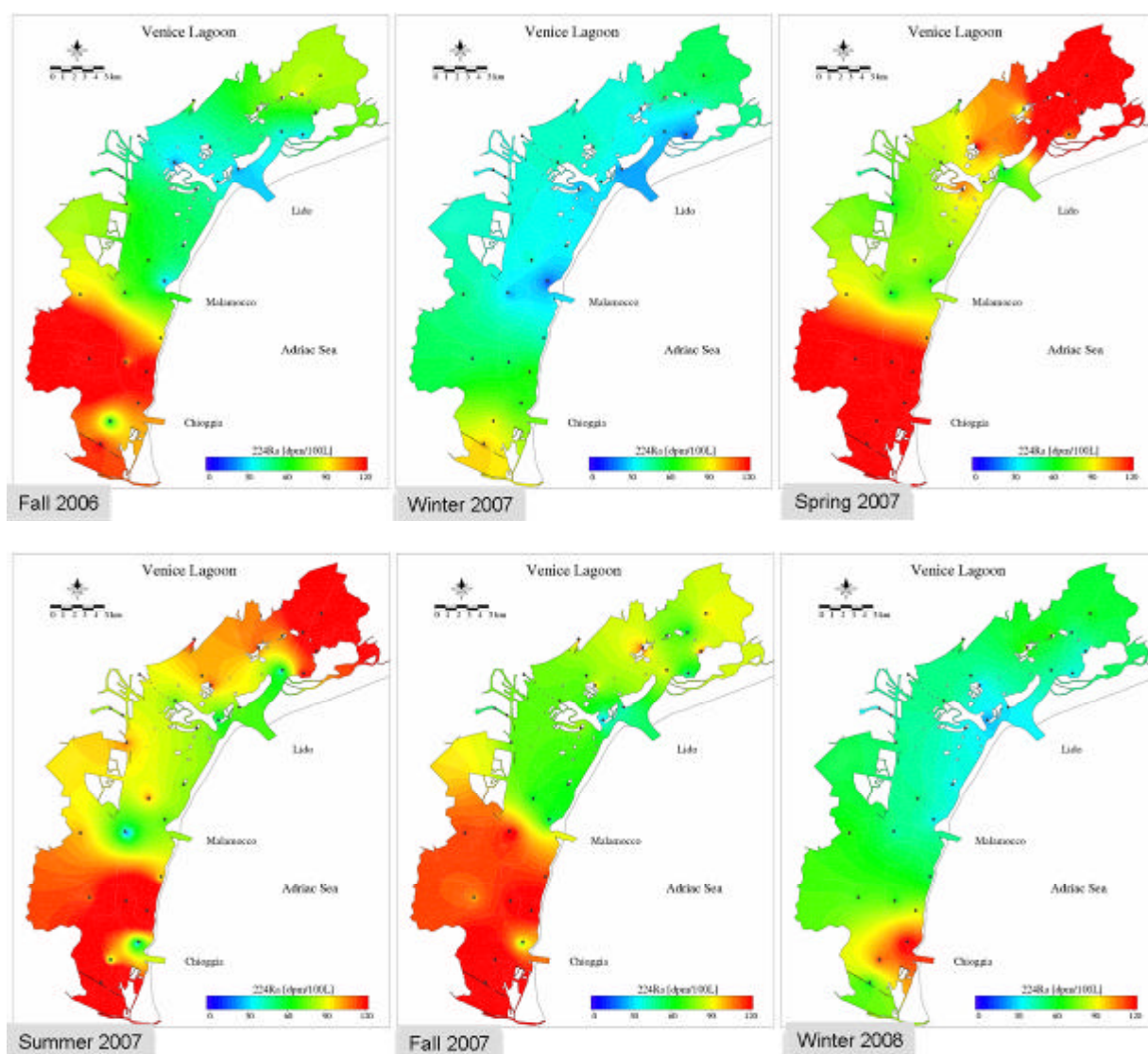


Figura 10: distribuzione stagionale del ^{224}Ra nella laguna di Venezia (fonte: APAT report)

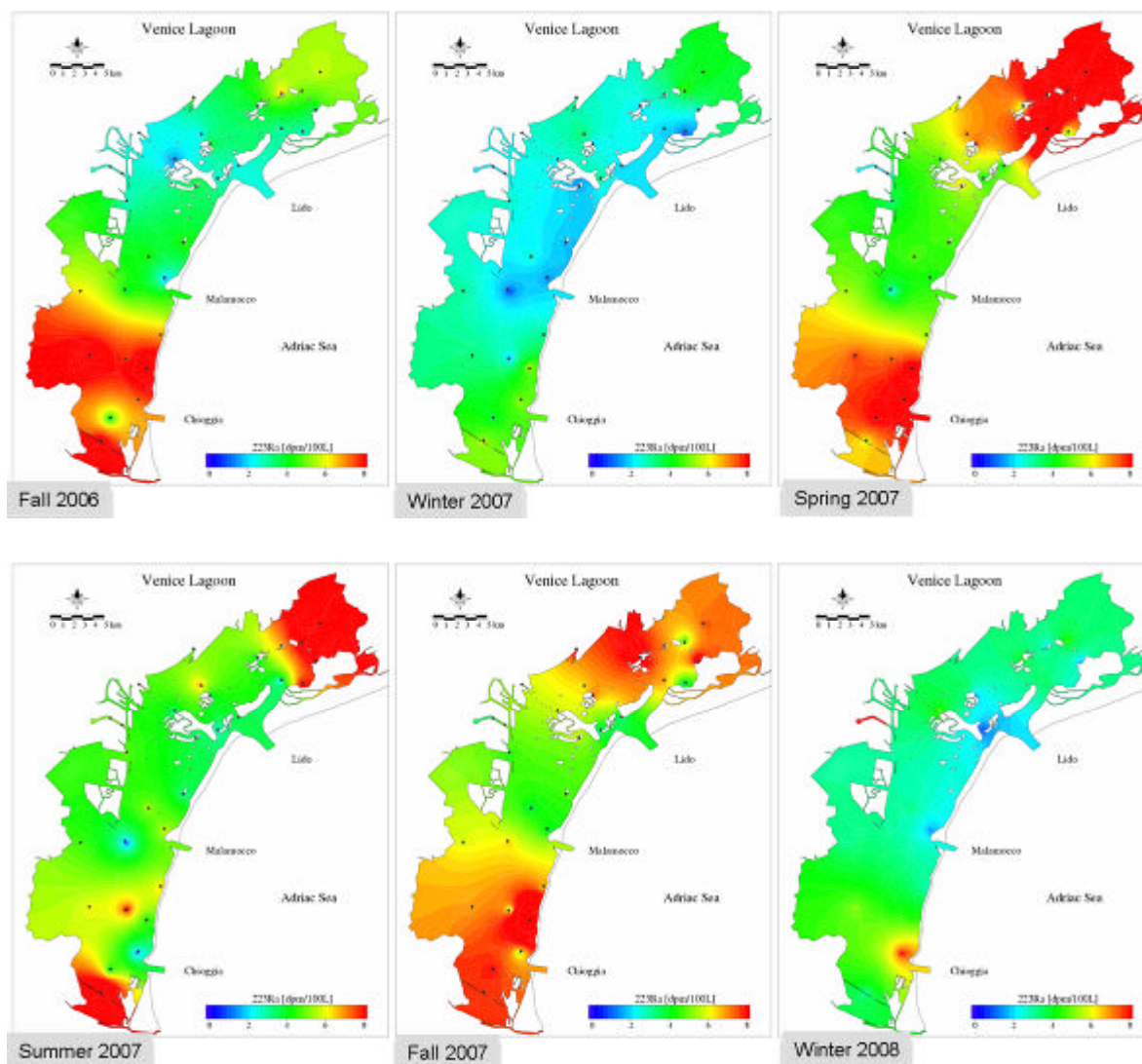


Figura 11: distribuzione stagionale del ^{223}Ra nella laguna di Venezia (fonte : APAT report)

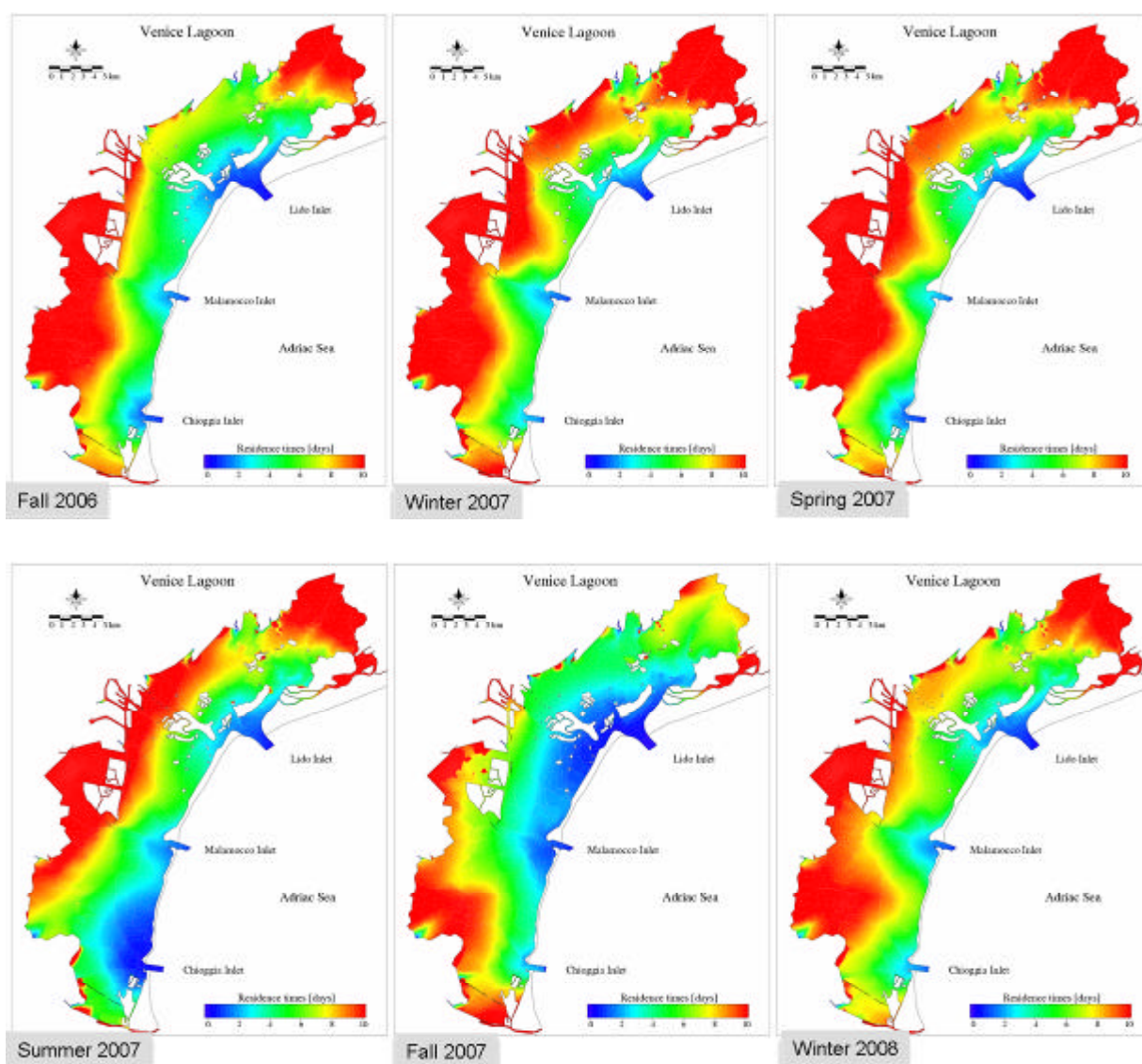


Figura 12: tempi di residenza delle acque all'interno del bacino (fonte : APAT report)

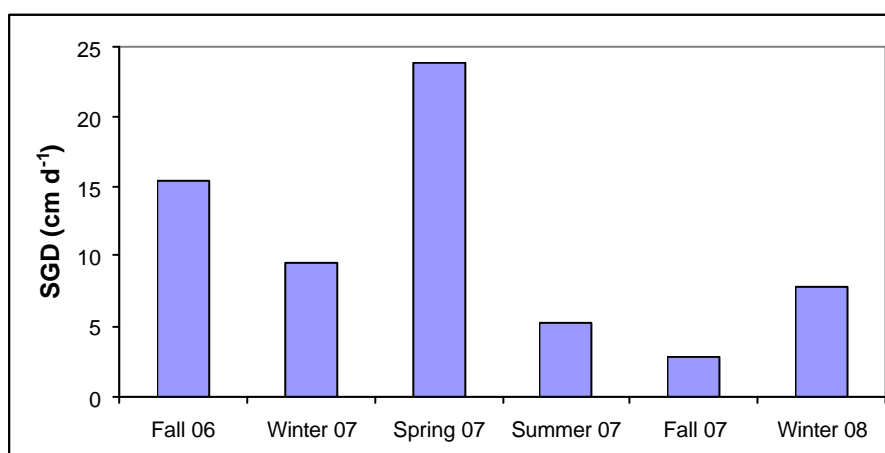


Figura 13: media misurata tramite camere bentiche del flusso delle acque sotterranee nelle diverse stagioni (fonte: APAT report)

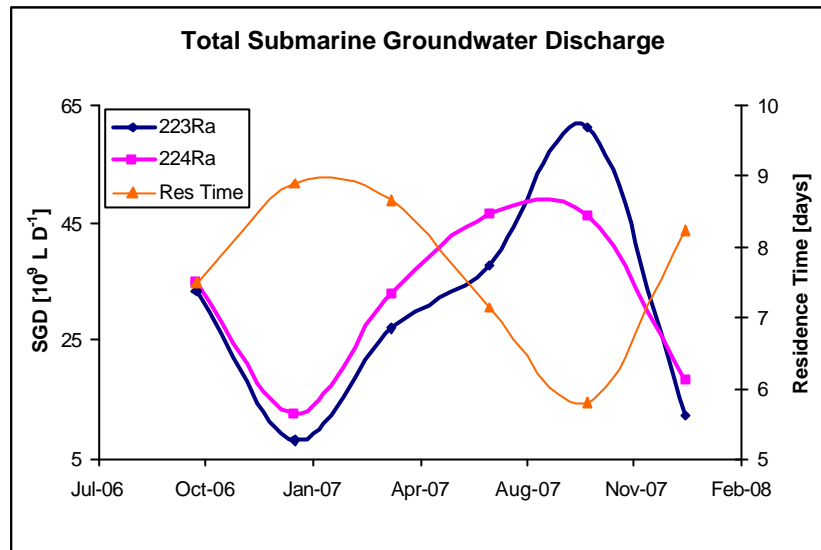


Figura 14: distribuzione stagionale degli isotopi a vita breve calcolati con il bilancio di massa per ^{223}Ra e ^{224}Ra , confrontato con il tempo di residenza derivato dal modello idrodinamico (fonte : APAT report)

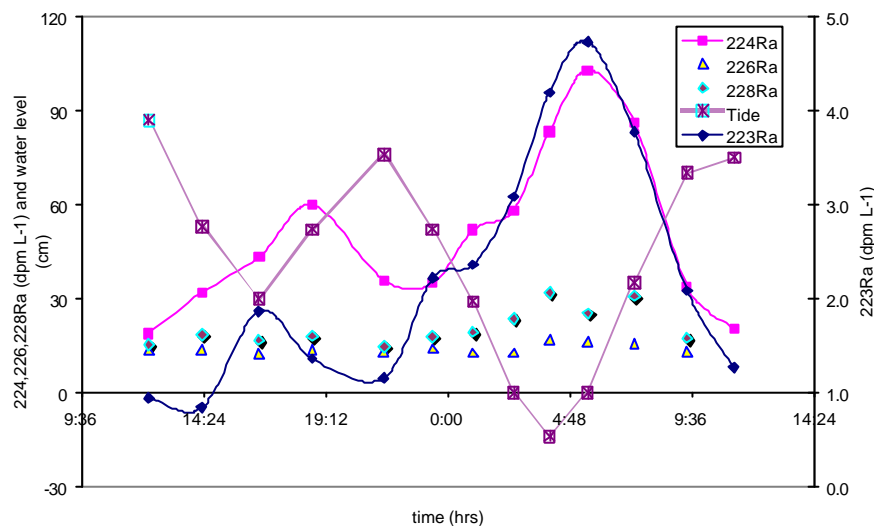


Figura 15: Attività di $^{223,224,226,228}\text{Ra}$ in un canale di barena durante l'intera fase mareale (fonte: APAT report)

4 Conclusioni

L'indagine compiuta su tutta la laguna ha mostrato come ci siano varie sorgenti di radio e come sia necessario individuare l'esatto contributo di queste all'interno del bilancio totale. Difatti ogni volta che si è scoperta una nuova sorgente, si è anche osservato come non bastasse ancora a spiegare del tutto il quantitativo totale e quindi si ipotizzasse come quantità rimanente quella dovuta all'apporto delle acque sotterranee SGD.

Non avendo io personalmente partecipato a nessuna analisi dei dati ma avendo visionato la bibliografia prodotta sin ora, posso solo commentare le scoperte compiute sino a questo

momento. Ulteriori ragionamenti saranno compiuti una volta che i risultati dell'analisi degli isotopi a vita lunga saranno disponibili in aggiunta a quelli dei nutrienti.

Per ora si può affermare che una buona parte della quantità di radio che entra nella laguna presenta una stagionalità e non può essere spiegato dai flussi esaminati fin ora e quindi può ragionevolmente essere attribuito ad input dati da flussi di acque sottomarine. Si è scoperto anche che gli scambi tra mare e laguna alimentati dalle maree e la diffusione di acque interstiziale sono i contributi più rilevanti nel bilancio di massa degli isotopi del radio ed, a questi, si aggiungono in misura minore i flussi dalle zone di barena, mentre si è dedotto che hanno veramente poca influenza i flussi provenienti dai fiumi dell'entroterra ed il desassorbimento del radio dalla particelle sospese.

La stima del flusso totale di SGD si aggira attorno a $3 \cdot 10^{10}$ e $6 \cdot 10^{10}$ L*giorno⁻¹ quando invece l'input di acqua dolce dai fiumi in laguna è pari circa a $3 \cdot 10^9$; si nota pertanto quanto importante sia stimarne le provenienze ed il quantitativo in quanto questa enorme massa di acqua trasporta con sé anche nutrienti e minerali disciolti che possono modificare la produttività e l'ecosistema lagunare.

Bibliografia

Beck, A.J., Bokuniewicz, H.B., Cochran, J.K., Ferrarin, C., Garcia Orellana, J., Garcia Solsona, E., Masqué, P., Rapaglia, J.P., Umgiesser, G., Zaggia, L. e Zuppi, G. 2007. *Afflusso di Acque Sotterranee nella Laguna di Venezia. Rapporto sul secondo semestre di attività (10 novembre 2006-10 maggio 2007)*, CNR ISMAR.

Beck, A.J., Rapaglia, J.P., Cochran, J.K., and Bokuniewicz, H.B. 2007. *Radium mass-balance in Jamaica Bay, NY: Evidence for a substantial flux of submarine groundwater*. Marine Chemistry. In Press.

Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., 1977 *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal*. International Association of Hydrological Sciences-Association Internationales des Sciences Hydrologiques 121:65–81.

Claude C., Biella., *Programma di ricerca 2004-5006 flussi di acque sotterranee nel sistema lagunare veneziano*, CORILA.

Ferrarin C., Rapaglia J., Umgiesser G., Zaggia L., 2008, *Estimate submarine groundwater discharge in the Venice Lagoon Italy*, Elsevier Science, February.

Ferrarin C., Manfè G., Rapaglia J., Umgiesser G., Zaggia L., Zuppi G.M., *CNR report to APAT on submarine groundwater discharge: stage 3 of project*.

Moore, W.S., 1999. *The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water*. Marine Chemistry 65(1–2), 111–125, Elsevier Science.

Moore W.S. 1996 *Large groundwater inputs to coastal waters revealed by radium-226 enrichments*. Nature 380:612–614.

Rapaglia, J., 2005. *Submarine groundwater discharge into the Venice Lagoon, Italy*. Estuaries 28 (5), 705–713.

Zonta R., 2001, Venice Lagoon and drainage basin, p. 26–30. In *Determinazione degli Apporti Inquinanti dal Bacino Scolante alla Laguna di Venezia*, Arsenale di Venezia: 14–15 June, Volume 1, Magistrato alle Acque di Venezia e Consorzio Venezia Nuova, Venezia, Italy.

http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Acqua/Risorse_idriche/Acque_dolci/Acque_sotterranee/
(Nov 2008)

<http://coastal.er.usgs.gov/sgd/> (Nov 2008)

<http://www.istitutoveneto.it/veneziamilva/> (Nov 2008)

<http://www.salve.it/it/default.htm> (Nov 2008)

<http://soundwaves.usgs.gov/2004/06/research4.html> (Nov 2008)

Indice delle figure

<i>Figura 1: i flussi di acque sotterranee (fonte: internet)</i>	6
<i>Figura 2: camera bentica (fonte: foto Claudio Cabianca)</i>	8
<i>Figura 3: piezometro a punta retrattile (fonte: foto Claudio Cabianca)</i>	8
<i>Figura 4: punti di campionamento e suddivisione in sottobacini. Si nota anche la struttura agli elementi finiti del modello idrodinamico (fonte: Ferrarin et al 2008)</i>	12
<i>Figura 5: passaggio dell'acqua prelevata attraverso le fibre di MnO₂ (fonte: foto Claudio Cabianca)</i>	13
<i>Figura 6: RaDecc (fonte: internet)</i>	14
<i>Figura 7: i campioni di fibra immersi nella miscela e posti su piastra per lo schiarimento (fonte: foto Claudio Cabianca)</i>	15
<i>Figura 8: la filtrazione della miscela (fonte: foto Claudio Cabianca)</i>	15
<i>Figura 9 : distribuzione stagionale della salinità nella laguna di Venezia (fonte: APAT report)</i>	17
<i>Figura 10: distribuzione stagionale del ²²⁴Ra nella laguna di Venezia (fonte: APAT report)</i>	18
<i>Figura 11: distribuzione stagionale del ²²³Ra nella laguna di Venezia (fonte : APAT report)</i>	19
<i>Figura 12: tempi di residenza delle acque all'interno del bacino (fonte : APAT report)</i>	20
<i>Figura 13: media misurata tramite camere bentiche del flusso delle acque sotterranee nelle diverse stagioni (fonte: APAT report)</i>	20
<i>Figura 14: distribuzione stagionale degli isotopi a vita breve calcolati con il bilancio di massa per ²²³Ra e ²²⁴Ra. confrontato con il tempo di residenza derivato dal modello idrodinamico (fonte : APAT report)</i>	21
<i>Figura 15: Attività di ^{233,224,226,228}Ra in un canale di barena durante l'intera fase mareale (fonte: APAT report)</i>	21