

Biographical notes

Mohammad C. Amiri is associate Prof. in the Department of Chemical Engineering, Isfahan University of Technology (B.Sc. in Chemical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, 1978; M.Sc. in Chemical Engineering, UMIST, Manchester, UK, 1986; PhD in Chemical Engineering, UMIST, Manchester, UK, 1989). His research area covers separation processes, aphyron separation, transport phenomena, surface phenomena, and waste handling. His professional interest and consulting is in the optimization of water treatment processes.

Somayeh Noghani is a PhD student at the faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Iran (B.A. in conservation and restoration of cultural and historical objects, 2008; and M.A. in conservation and restoration of cultural and historical objects, 2011, faculty of Conservation and Restoration, Art University of Isfahan, Iran). Her main research interests are the archaeometrical investigation of ancient potteries and treatment of salt damage in the field of ceramics.

Mohammad Amin Emami is a mineralogist and archaeometallurgist (B.Sc. in Mineralogy, Johannes Gutenberg University of Mainz, 1999; M.Sc. in Mineralogy, Johannes Gutenberg University of Mainz, Germany, 2002; PhD in Mineralogy & Archaeometallurgy, University Siegen, faculty of Building Material Chemistry, Siegen, Germany, 2008). He is Assistant Prof. at the Art University of Isfahan, faculty of Conservation. His expertise is mainly related to Crystallographical and phase characterization through the Rietveld Refining Method, Characterization of ancient ceramic structures and procedures, mineralogical chemical investigation of ore, slag and building materials, Surface Modification Technology, and Archaeometallurgy & Archaeometry.

Ricerca sul ruolo dell'agitazione nel processo di desalinizzazione della ceramica

Mohammad C. Amiri

Department of Chemical Engineering,
Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Somayeh Noghani

Faculty of conservation, Art University of Isfahan, Iran

Mohammad Amin Emami

Faculty of Chemistry,
Department of Building Material Chemistry,
University Siegen, Germany

Parole chiave: ceramica, desalinizzazione, restauro.

1. Introduzione

Molti dei reperti rinvenuti nei siti archeologici sono materiali ceramici. Le ceramiche antiche hanno un ruolo importante nella comprensione del passato da diversi punti di vista, per la storia della tecnologia, l'etnografia e l'interculturalità, l'ambiente, e altro [1]. Pertanto, un'attenta conservazione e il restauro di questi oggetti storici dovrebbero essere apprezzati. Il deterioramento dei materiali porosi antichi mediante la cristallizzazione di sali solubili in acqua è un fenomeno ben noto. La cristallizzazione del sale è approssimativamente il fattore più importante di deterioramento delle antiche ceramiche [2]. Quasi sempre essa può causare diversi danni che vanno dall'essfoliazione dello smalto sino alla completa disintegrazione del corpo [3]. Le tre componenti essenziali in questo scenario sono l'acqua, il sale e un materiale erodibile. Fattori importanti sono l'umidità relativa, la temperatura dell'ambiente circostante e la porosità e permeabilità del materiale ospite. Nella subflorescenza, la crescita di cristalli all'interno dei pori causa alla ceramica screpolatura e scheggiatura. L'efflorescenza si accumula sulla superficie ceramica. Non è così dannosa quanto la subflorescenza [4]. Due meccanismi di deterioramento da sali sono stati riconosciuti. Il primo si basa sul presupposto che l'espansione e la contrazione, durante i processi di idratazione e disidratazione, siano responsabili del danno. La seconda si basa su un modello in cui la pressione di cristallizzazione provoca danni [5]. Pertanto, la dissalazione è uno dei trattamenti più importanti nel restauro di ceramiche antiche. La desalinizzazione è il processo di rimozione di sali solubili da un materiale. Uno dei trattamenti standard consiste nell'immergere la ceramica in un bagno di acqua statica per un periodo di tempo tale per cui i sali solubili vanno in soluzione [6].

Alcuni aspetti negativi della desalinizzazione per immersione sono riconducibili alla possibilità di ammorbidimento della superficie ceramica a bassa cottura, alla variazione della sua riflettanza, alla possibilità di disgregazione e separazione dei componenti originali di ceramica a metà o a fine processo di desalinizzazione, alla possibilità di biodeterioramento [6, 7] e alla reidratazione dei minerali argillosi e successivi danni come la realizzazione di microcricche o incrinature di espansione [2,8]. Questi svantaggi, che riguardano la dissalazione per immersione, aumentano con l'aumentare del periodo di contatto. Pertanto, un metodo di desalinizzazione alternativo dovrebbe essere studiato per ridurre al minimo questo potenziale danno alle ceramiche [7]. Jang e colleghi hanno suggerito l'innalzamento della temperatura dell'acqua per un processo di dissalazione alternativa, al fine di evitare il potenziale danno ai cocci. Anche se questo è il metodo di dissalazione più efficiente e in grado di ridurre il periodo di contatto, sembra che l'acqua calda non sia abbastanza sicura. La struttura degli oggetti antichi può danneggiarsi con l'acqua a 50°C, come evidenziato, a causa della sua maggiore e più aggressiva solubilità. Inoltre, l'utilizzo di questo metodo nei siti archeologici non è sempre facile. Un altro metodo proposto per la dissalazione di materiali porosi utilizza il tensioattivo in acqua [9, 10]. I tensioattivi possono migliorare il processo di desalinizzazione diminuendo la tensione superficiale dell'acqua. Tuttavia, sembra che siano necessarie più ricerche per valutare i potenziali effetti dei tensioattivi o di miscele di essi sul processo di dissalazione [9].

Un altro metodo suggerito in questo campo è l'agitazione. Non vi è alcuno studio sistematico dettagliato sul ruolo dell'agitazione nel processo di desalinizzazione nella letteratura scientifica [3, 7]. In questo lavoro, l'importanza dell'agitazione in un processo di dissalazione è stata formulata teoricamente e validata da risultati sperimentali.

2. Teoria

La desalinizzazione delle ceramiche antiche, rinvenute in scavi archeologici, è un'operazione di trasferimento di massa. L'acqua, come solvente, dopo essere entrata in contatto con sali intrappolati nei pori dell'oggetto antico li dissolve come ioni.

Un trasporto di massa avrà luogo in una miscela fluida di due o più specie quando vi è un gradiente spaziale (concentrazione, pressione o campo elettrico) nelle proporzioni della miscela. In un sistema idrodinamico c'è anche un contributo alle specie di flusso per convezione. Per una soluzione diluita, i contributi del flusso di diffusione, l'elettromigrazione e la convezione possono essere linearmente sovrapposti come pure il corrispondente trasferimento di flusso di massa della specie *i*-esima:

$$(EQUAZIONE) (1) \\ j_i = -v_i z_i F \rho_i \nabla \phi - D_i \nabla \rho_i + \rho_i u \quad (1)$$

v_i è la mobilità delle specie *i*

z_i è il numero di carica della specie *i*

F è la costante di Faraday pari alla carica di 1 mole di molecole ionizzata

ρ_i è la densità delle specie *i*

$\nabla \phi$, $\nabla \rho_i$ sono rispettivamente la potenzialità elettrostatica e il gradiente di densità

D_i è la diffusività della specie *i*

u è la velocità media del liquido

L'equazione (1) è detta equazione di Nernst-Planck.

L'equazione di Nernst-Planck può essere utilizzata sia per descrivere il flusso di dissalazione sia per il monitoraggio della dissalazione con il misuratore di conducibilità elettrica.

Flusso di dissalazione

Nel normale processo di desalinizzazione, il campo elettrico è assente; pertanto, il corrispondente flusso di trasferimento di massa della specie *i*-esimo può essere calcolato dall'equazione Nernst-Planck che modifica l'equazione (2) ignorando il contributo del gradiente di campo elettrico nell'equazione (1).

$$(EQUAZIONE) (2) \\ j_i = -D_i \nabla \rho_i + \rho_i u \quad (2)$$

L'equazione (2) è detta prima legge di Fick della diffusione e mostra il trasporto di massa a causa del gradiente di concentrazione.

Il primo termine sul lato destro dell'equazione (2) mostra la diffusione molecolare, ma il secondo termine indica il trasferimento di massa (advectional). *D_i* è la diffusività della specie *i*. *D_i* è il coefficiente di diffusione molecolare in un liquido stazionario ma in uno agitato esso si modifica in *D_e*, coefficiente di diffusione indotta. *D_e* può essere alto come in ordine di grandezza di *D_i* in un liquido ben agitato.

Il trasferimento di massa (advectional) può essere migliorato inducendo la convezione. La convezione di flusso può essere prodotta sia dal gradiente di pressione sia dal gradiente di tensione superficiale. Il flusso induce un trasferimento di massa a causa del gradiente di tensione superficiale che è chiamato effetto Marangoni. I sali minerali aumentano la tensione superficiale dell'acqua; pertanto, la tensione superficiale dell'acqua nei pori è superiore alla massa d'acqua e questo gradiente di tensione superficiale leviga la progressione dell'acqua all'interno dei pori. Dunque, tale effetto Marangoni migliora la desalinizzazione.

Il flusso di convezione può anche essere migliorato riducendo la tensione superficiale dell'acqua di lavaggio. Questo è possibile aumentando la temperatura [7] e/o utilizzando agenti tensioattivi [9, 10].

3. Metodo sperimentale

Sono stati scelti tre campioni di mattoni industriali quasi simili in peso e volume (Tabella 1). La temperatura di cottura dei campioni è di circa 950- 1000°C. La presenza di ematite nella matrice dei campioni è stata rilevata dal Pol. Microscopio (Pol. Microscopio, PM-240 SA Iran). Questo risultato indica che l'atmosfera del forno era in stato di ossidazione. La porosità dei campioni è stata calcolata con la designazione dell'ASTM C20 e anche con il porosimetro ad elio (Porosimetro ad elio, POROPERM, diametro del nucleo: 1 "e 1.5", lunghezza dei fili: 0,75 "a 3", pressione massima: 10000 psi).

Tabella 1 – Caratterizzazione degli esemplari

Numero campione	Forma	Peso (g)	Peso dopo assorbimento sale (g)	Volume (g/ml)	Porosità (%)	Assorbimento d'acqua (%)
1	Conica	115.295	116.0	61.969	52.31	28.11
2	Piramidale	108.602	109.14	58.37	51.29	27.57
3	Cilindrica	171.87	172.95	92.38	48.67	26.16

Per le indagini sulla matrice dei campioni, la sezione sottile petrografica è stato eseguita usando la microscopia polarizzata. È noto che la matrice dei campioni è calcareo-argillo-ferrosa (Figura 1). I temperanti sono quarzo e frammenti di pietre granitiche con diverse dimensioni e forme (per lo più sub-angolare) e in alcuni casi è stato rilevato grog. Pirosseni (augite e diopside), miche (muscovite e biotite) e plagioclasti sono altri minerali osservati in queste matrici.

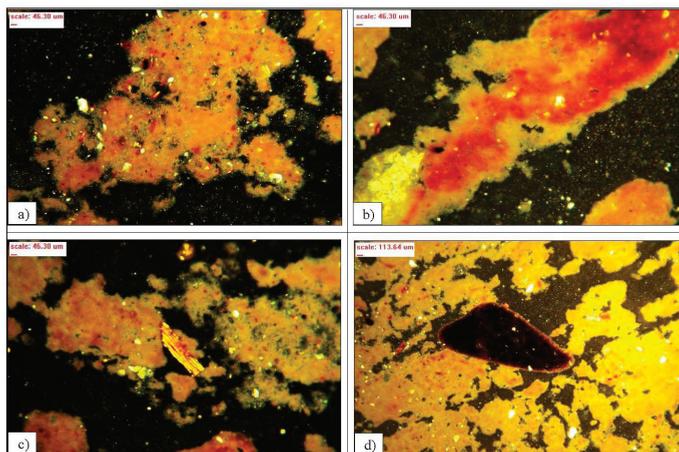


Figura 1. Sezione sottile petrografica dei campioni; a) generica matrice calcareo-argillo-ferrosa di campioni con quarzo, miche, ecc (campione n. 1); b) condizioni di ossidazione evidente dalla formazione di ematite nell'argilla; c) muscovite nel tessuto dei campioni; d) grog nella trama dei campioni (campione n. 3).

Tutti i campioni sono stati inizialmente immersi in acqua distillata prima della fase di saturazione per rimuovere i sali solubili già presenti nella struttura degli esemplari. Il tempo di ammollo necessario in questa fase è risultato di circa 72 ore.

Quindi, i campioni sono stati essiccati in un forno ad una temperatura di (105 ± 5) °C fino al raggiungimento della massa costante (circa 10 ore). Essi sono stati quindi lasciati raffreddare a temperatura ambiente e la ponderazione a $\pm 0,001$ g.

Il processo di saturazione ha comportato l'uso di una soluzione di cloruro di sodio al 3,5%. Per la saturazione, i campioni sono stati completamente immersi e

coperti con la soluzione NaCl ad una profondità di 30 mm sopra la parte superiore dei provini per 96 ore a (20 ± 1) °C. C'erano 30 mm tra campioni e almeno 30 mm tra i campioni stessi e i lati del contenitore. Per ridurre il tasso di evaporazione, il bagno d'immersione è stato sempre coperto. Dopo la fase di immersione, i campioni sono stati rimossi dalla soluzione ed essiccati a temperatura ambiente per 24 ore e poi sono stati lasciati in forno a 50 °C per 8 ore.

L'andamento del processo di desalinizzazione è stato monitorato attraverso la misura della conducibilità elettrica dell'acqua di lavaggio nei determinati momenti. Nel sistema internazionale di unità (SI) la conducibilità elettrica è espressa in Siemens per centimetro (Siemens, che è l'inverso della resistenza in ohm).

Il test di dissalazione è stato eseguito a tre stadi. In ciascuna fase, i campioni essiccati sono stati collocati in un contenitore separato da 1000 ml in presenza di 800 ml di acqua distillata di $6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ EC (metri EC, inoLab 740, WTW, Germany). Tutti i contenitori sono stati coperti per ridurre il tasso di evaporazione. Le acque di lavaggio sono state cambiate dopo 72 ore (al primo stadio), e dopo una settimana (168 h, nella seconda fase) per ogni campione. La conducibilità di ciascun campione, nelle prime 72 ore, è stata esaminata in 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 24, 48 e 72 ore. Nella seconda settimana la conducibilità dei campioni è stata registrata a 24, 48, 72 e 168 ore. Nella fase finale EC è stata misurata dopo 24 e 48 ore.

Per differenziare l'effetto di corrente di diffusione sul trasferimento di massa, le misure comunitarie sono state effettuate senza alcuna miscelazione di campioni di acqua di lavaggio, tranne per il campione n.1 all'ora settima e per il campione n. 2 all'ora ottava. Il campione n. 3 (esempio) senza alcuna miscelazione è stato utilizzato come bianco.

Nella prima serie di test, i campioni sono stati agitati prima di leggere l'EC (ad eccezione

dell'esempio n. 3, campione di bianco). Ma nella seconda serie di prove, dopo una settimana, l'EC di ogni campione è stata misurata prima e anche dopo l'agitazione dell'acqua di lavaggio.

Il tasso di agitazione era di 50 RPM (velocità al minuto) per 100 secondi. Le EC sono state effettuate dopo un minuto di sosta dall'agitazione per avere una lettura stabile.

4. Risultati e discussione

La figura 2 mostra l'EC accuminata di due campioni in funzione del tempo nel primo giorno. Peso e volume dei campioni sono approssimativamente gli stessi.

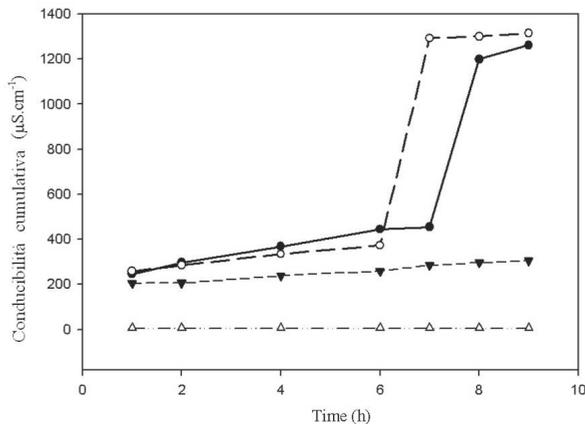


Figura 2 – Risultato della misurazione EC del campione n.1 (●), il campione n.2 (○), il campione n.3 (▼) e acqua distillata (Δ) nel primo giorno.

Vi è una tendenza progressiva nella EC in funzione del tempo, ma con un brusco cambiamento a 7 ore per il campione n.1 e ad 8 ore per il campione n.2 in cui, prima di ogni misurazione EC, l'acqua di lavaggio è stata agitata. L'agitazione provoca diffusione parassita.

L'effetto della corrente di diffusione sull'aumento di conducibilità dell'acqua è stato discusso nella sezione 2, teoria. Come si è detto, l'alta EC indica bene l'alto tasso di estrazione del sale.

La figura 3 mostra l'EC accomunata degli stessi campioni in funzione del tempo nelle prime 72 ore. Come si può vedere l'andamento progressivo dell'EC continua dopo il primo giorno.

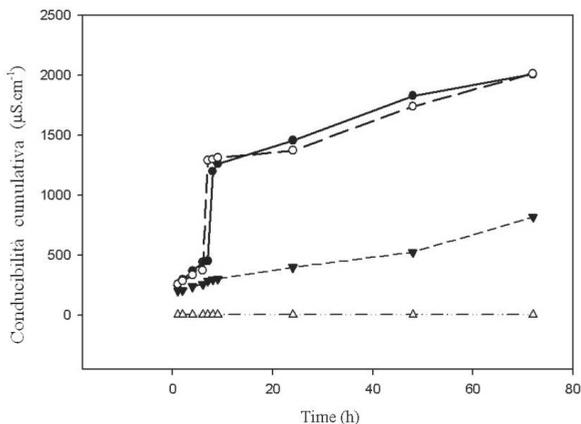


Figure 3. Risultato della misurazione EC per il campione n.1 (●), il campione n.2 (○), il campione n.3 (▼) e l'acqua distillata (Δ) nelle prime 72 ore.

L'acqua di lavaggio è stata cambiata dopo le prime 72 ore e poi i tre campioni sono stati immersi in acqua fresca distillata. Ma nella seconda settimana, ogni misurazione EC è stata letta prima e dopo l'agitazione dell'acqua di lavaggio (Figura 4). Si può osservare che l'agitazione ha un profondo effetto sul tasso di estrazione del sale, che si è manifestata nell'EC. Il salto di valore EC a causa di agitazione può essere spiegato come segue:

Nel metodo di dissalazione nel bagno (immersione), la diffusione è il principale meccanismo di trasferimento di massa [11]. Tuttavia, la diffusione è essenzialmente un processo lento che dipende dal gradiente di concentrazione degli ioni di sale nei pori e nelle acque di lavaggio.

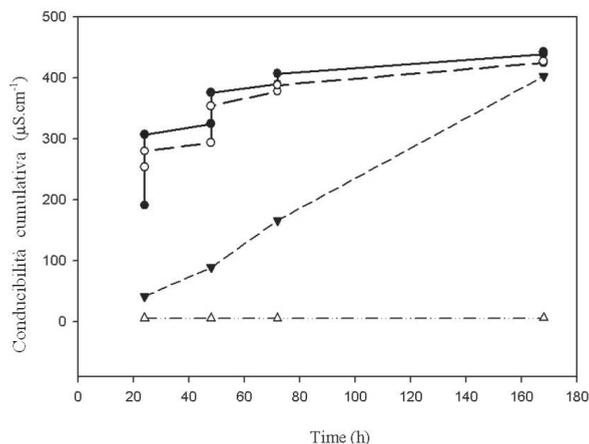


Figura 4. Risultato della misurazione EC per il campione n.1 (●), il campione n.2 (○), il campione n.3 (▼) e l'acqua distillata (Δ) nella seconda settimana.

Come conseguenza della dissoluzione dei sali intrappolati nei pori, la concentrazione dei soluti nell'interfaccia solida e liquida tende ad essere superiore alla massa del liquido. Questo gradiente di concentrazione genera un flusso di trasferimento di massa dall'interfaccia nella massa del liquido.

Poiché si tratta di una diffusione molecolare pura e molto lenta, c'è un accumulo di sali nell'acqua immediatamente circostante l'oggetto. Gli ioni estratti si concentrano solo in uno strato molto sottile di liquido vicino all'interfaccia, definito strato limite di concentrazione (CBL). Questo fenomeno è chiamato polarizzazione di concentrazione. L'effetto più deleterio di polarizzazione di concentrazione è l'aumento locale della pressione osmotica a causa della maggiore concentrazione di soluto nel CBL. Il risultato è che il tasso di solubilità dei sali in acqua di lavaggio viene gradualmente diminuita a causa della diminuzione della forza motrice effettiva. Questa diminuzione nel tasso di dissalazione può essere vista in Figura 5.

La figura 5 mostra la conducibilità differenziale in funzione del tempo di un esperimento di dissalazione a due stadi del campione. Il campione è stato inizialmente immerso in acqua fresca e dopo 72 ore l'acqua di lavaggio è stata cambiata. La conducibilità differenziale, ovvero il tasso di desalinizzazione, dalla curva mostra tendenze analoghe in entrambi gli stadi: il tasso di desalinizzazione è inizialmente elevato e diminuisce con il tempo a causa della concentrazione di polarizzazione. Il tasso di dissalazione iniziale nella seconda fase è superiore rispetto al termine della prima fase, perché l'acqua rinfrescante rimuove il CBL ed elimina la polarizzazione di concentrazione. Tuttavia, il tasso iniziale del secondo stadio è inferiore al tasso iniziale del primo stadio a causa dell'esaurimento parziale del sale nella struttura porosa del campione.

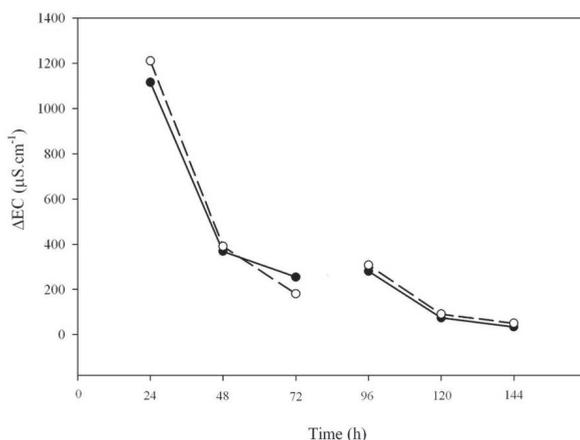


Figura 5. Differenza di EC (ΔEC) in funzione del tempo per il campione n.1 (●) e del campione n.2 (○) nel corso di due fasi di dissalazione.

Il grado di polarizzazione di concentrazione dipende dall'idrodinamica e dalla geometria del sistema [12, 13]. L'agitazione riduce la concentrazione di polarizzazione aumentando il flusso attorno all'oggetto e aumentando il trasferimento di massa convettivo. Questo elevato aumento della velocità di trasferimento di massa si è manifestato nella lettura del salto dell'EC.

Il forte aumento della lettura della conducibilità dopo ogni agitazione convalida l'efficacia potenziale di questo metodo per accelerare il processo di dissalazione senza la necessità di utilizzare metodi dannosi come il lavaggio con acqua calda.

La Figura 6 mostra i dati di conducibilità di tutte le fasi. Si tratta di una buona indicazione del completamento dei processi di desalinizzazione della ceramica in immersione acquosa mentre la salinità dell'acqua di lavaggio è tra 75 a 100 $\mu S.cm^{-1}$ come riportato da Koob e Ng [14]. Tuttavia, la conducibilità in questo lavoro è stata sempre inferiore a 100 $\mu S.cm^{-1}$ nella fase finale.

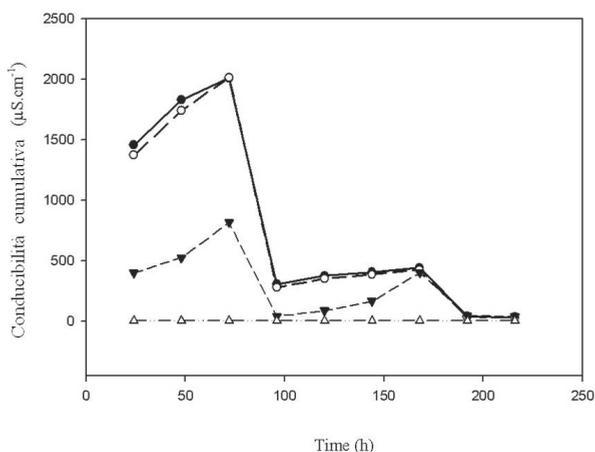


Figura 6. Risultato della misurazione di EC per il campione n.1 (●), il campione n.2 (○), il campione n.3 (▼) e l'acqua distillata (Δ) in tutti gli stadi da 24 ore nella prima settimana.

5. Conclusioni

Uno dei principali svantaggi della dissalazione per immersione è il tempo di contatto tra l'acqua di lavaggio e le ceramiche antiche. In questo studio, l'influenza della concentrazione di polarizzazione sulla riduzione degli ioni di estrazione attraverso l'utilizzo del metodo dell'agitazione è stato evidenziato. I risultati degli esperimenti hanno indicato che l'agitazione ha un elevato potenziale nell'evitare lunghi tempi di contatto minimizzando la polarizzazione di concentrazione.

Questo miglioramento si ottiene riducendo la concentrazione di ioni nel CBL: conseguentemente il gradiente di concentrazione e il tasso di rimozione del sale risultano altamente aumentati. Quindi l'agitazione è un metodo molto più sicuro, senza effetti collaterali nocivi in confronto ad altri metodi, per migliorare l'efficienza del processo di dissalazione come aumentare la temperatura dell'acqua di lavaggio o utilizzare tensioattivi.

Note biografiche

Mohammad C. Amiri è Professore associato presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Isfahan University of Technology (Laurea in Ingegneria Chimica, Sharif University of Technology, Teheran, Iran, 1978; Laurea in Ingegneria Chimica, UMIST, Manchester, Regno Unito, 1986; dottorato di Ricerca in Ingegneria Chimica, UMIST, Manchester, Regno Unito, 1989). La sua area di ricerca riguarda i processi di separazione, la separazione a membrana, i fenomeni di trasporto, i fenomeni di superficie e la gestione dei rifiuti. Svolge attività di consulenza per l'ottimizzazione dei processi di trattamento delle acque.

Somayeh Noghani svolge il Dottorato di Ricerca presso la facoltà di Conservazione e Restauro, Art University di Isfahan, Iran (Laurea in conservazione e restauro dei beni culturali e storici, 2008; e Master in conservazione e restauro dei beni culturali e storici, 2011, presso la Facoltà di Conservazione e Restauro, Art University di Isfahan, Iran). I suoi principali interessi di ricerca sono l'archeometria su ceramiche e il trattamento del degrado salino nella ceramica antica.

Mohammad Amin Emami è mineralogista e archeometallurgista (Laurea in Mineralogia, Università Johannes Gutenberg di Magonza, 1999; Laurea in Mineralogia, Università Johannes Gutenberg di Mainz, Germania, 2002; Dottorato di Ricerca in Mineralogia e Archeometallurgia, Università Siegen, facoltà di materiale da costruzione Chimica, Siegen, Germania, 2008). È Assistente presso Art University di Isfahan, Facoltà di Conservazione. La sua esperienza è legata principalmente alla cristallografia e alla caratterizzazione della struttura della ceramica antica.

Summary

The porous structure of excavated ancient potteries (especially potteries with a firing temperature below 1000°C) are in general saturated with salts. Desalination is therefore one of the primary steps in the conservation and restoration process of historical porous materials. Since salinity can cause significant damage to ceramic artifacts, they must be subjected to a careful process of desalination. As water-sensitive clay-based ceramics may deteriorate or collapse during long periods of contact with water, alternative desalination methods should be identified to minimize potential damage to the pottery material. New methods such as raising the temperature of the washing water and/or using surfactants have also been suggested as alternative techniques in the desalination process to avoid long periods of contact time. In this study, acceleration of the desalination process based on a unified theoretical formulation is discussed and the role of agitation to enhance the rate of desalination is demonstrated. It was found that the main cause of deficiency in current desalination processes is due to a stagnant liquid layer near the interface of the ancient object and the water, known as concentration polarization. Agitation enhances the efficiency of desalination by minimizing the thickness of the concentration polarization layer.

Riassunto

Ceramiche da scavo e ceramiche antiche di solito sono sature di sali all'interno della loro struttura porosa. La desalinizzazione è una delle fasi principali per il restauro di materiali porosi storici. Poiché la salinità può causare danni significativi ai manufatti in ceramica, questi devono essere esposti ad un attento processo di desalinizzazione. Siccome le ceramiche sono sensibili all'acqua e potrebbero deteriorarsi o crollare durante di lungo periodo di contatto con essa, un metodo di desalinizzazione alternativa dovrebbe essere identificato per ridurre al minimo il danno potenziale alle ceramiche. Nuovi metodi come l'aumento della temperatura dell'acqua di lavaggio e / o l'impiego di tensioattivi sono stati suggeriti come tecniche alternative per il processo di dissalazione per evitare il lungo periodo di tempo del contatto. In questa attività, l'accelerazione del processo di dissalazione, basato su una formulazione teorica unificata, è stata discussa ed è stato dimostrato il ruolo dell'agitazione per migliorare il tasso di desalinizzazione. Si è constatato infatti che la principale causa della carenza del processo di dissalazione attuale è dovuto ad uno strato di liquido stagnante vicino all'interfaccia dell'oggetto antico e dell'acqua, così chiamato polarizzazione di concentrazione. L'agitazione migliora l'efficienza della desalinizzazione minimizzando lo spessore dello strato di polarizzazione di concentrazione.

Résumé

Les céramiques des fouilles et les céramiques anciennes sont normalement saturées de sels dans leur structure poreuse. Dès lors, la désalinisation est l'une des phases principales pour la restauration des matériaux historiques poreux. Puisque la salinité peut provoquer des dommages significatifs aux pièces en céramiques, celles-ci doivent être soumises à un processus de désalinisation attentif. Or, les céramiques sont sensibles à l'eau, et pourraient se détériorer ou s'effriter en cas de contact prolongé avec celle-ci ; par conséquent, il faudrait identifier une méthode de désalinisation alternative, pour minimiser les retombées préjudiciables potentielles sur les céramiques. Des techniques alternatives ont été proposées pour éviter un temps de contact prolongé, par exemple l'augmentation de la température de l'eau de lavage et/ou l'utilisation de tensioactifs. L'article traite de l'accélération du processus de dessa-

lement, qui est fondé sur une formulation théorique unifiée. Le rôle de l'agitation a été démontré pour améliorer le taux de désalinisation. Il a été constaté, en effet, que la cause principale de l'inadéquation du processus de dessalement tel qu'il est pratiqué aujourd'hui est liée à une couche de liquide qui stagne à proximité de l'interface entre l'objet ancien et l'eau (« polarisation de concentration »). L'agitation améliore l'efficacité de la désalinisation et à la fois minimise l'épaisseur de la couche de polarisation de concentration.

Zusammenfassung

Die poröse Struktur von Keramiken aus Ausgrabungen und antiken Keramiken ist normalerweise mit Salzen gesättigt. Das Entsalzen ist daher eine der wichtigsten Phasen bei der Restaurierung historischer, poröser Materialien. Da das Salz Keramikgegenständen ernsthafte Schäden zufügen kann, müssen diese einem sorgfältigen Entsalzungsprozess unterzogen werden. Da Keramik wasserempfindlich ist und bei längerem Kontakt mit Wasser Schaden nehmen oder brechen könnte, sollte eine alternative Entsalzungsmethode bestimmt werden, um die potentielle Beschädigung der Keramiken auf ein Minimum zu reduzieren. Neue Methoden, wie beispielsweise die Erhöhung der Temperatur des Spülwassers und/oder die Verwendung von Tensiden, wurden als alternative Entsalzungstechniken vorgeschlagen, um den langen Kontakt mit dem Wasser zu vermeiden. Der Artikel handelt von der Beschleunigung des Entsalzungsprozesses aufgrund einer vereinheitlichten theoretischen Formulierung und es wurde die Bedeutung der Bewegung des Wassers zur Verbesserung der Entsalzungsrate nachgewiesen. Es wurde nämlich festgestellt, dass die wichtigste Ursache der mangelnden Wirksamkeit des derzeitigen Entsalzungsprozesses in einer stagnierenden Flüssigkeitsschicht im Bereich der Kontaktfläche zwischen dem antiken Gegenstand und dem Wasser zu sehen ist, die als Konzentrationspolarisation bezeichnet wird. Durch Bewegen des Wassers wird die Entsalzung wirksamer, da die durch die Konzentrationspolarisation entstehende Schicht dabei minimiert wird.

Resúmen

Las cerámicas de excavaciones y las cerámicas antiguas están generalmente saturadas de sales dentro de su estructura porosa. La desalación es una de las fases principales en la restauración de materiales porosos históricos. La salinidad puede provocar daños significativos a los productos cerámicos manufacturados, por lo que es necesario someterlos a un cuidadoso proceso de desalación. Como las cerámicas son sensibles al agua y podrían deteriorarse o colapsar durante un prolongado período de contacto con dicho elemento, habría que hallar un método de desalación alternativo para reducir al mínimo el daño potencial que podrían sufrir las cerámicas. Se sugirieron nuevos métodos, tales como el incremento de la temperatura del agua de lavado y/o el uso de tensoactivos, o técnicas alternativas al proceso de desalación para evitar un tiempo de contacto prolongado. En el artículo se examina la aceleración del proceso de desalación, basado en una formulación teórica unificada, y se demuestra el papel que desempeña la agitación a la hora de mejorar la tasa de desalación. De hecho, se constató que la causa principal de las carencias del actual proceso de desalación se debe a una capa de líquido estancado cercana a la interfaz del objeto antiguo y del agua, llamada polarización de la concentración. La agitación mejora la eficacia de la desalación y reduce al mínimo el grosor de la capa de polarización de la concentración.

概述

文物出土陶瓷和古董陶瓷通常在其多孔的结构中饱含盐类。脱盐是多孔古代材料修复工作当中主要的任务。盐类会给陶瓷文物带来较大的损坏，因此文物需经过仔细脱盐操作。陶瓷对水非常敏感，而长时间暴露于水中可能会对其造成损坏或者使其破裂，所以需找到另一种代替脱盐法，尽最大可能减少对陶瓷造成的损坏。推荐的代替法有，例如提高水洗温度和/或使用表面活性剂，可以避免陶瓷长期接触水。本文介绍了一种陶瓷加速脱盐技术，这项技术基于统一的理论基础，展示了搅动在脱盐过程中的角色作用。事实上，经证实，现阶段造成脱盐率低的原因在于液体与文物的接触面状态过于静止，这种现象成为浓度集中化。搅动通过减小浓度集中层，加强了脱盐的效率。

Резюме

Керамические изделия из раскопок и старинная керамика, как правило, насыщены солью, содержащейся в порах материала. Обессоливание – это один из основных этапов реставрации древних пористых материалов. Поскольку соль может нанести серьезный ущерб керамическим изделиям, они должны проходить тщательный процесс обессоливания. Так как керамика является чувствительной к воде и может повредиться или даже разрушиться при продолжительном контакте с ней, необходимо найти альтернативный метод обессоливания для снижения до минимума потенциального вреда керамике. Такие новые методы, как повышение температуры промывочной воды и/или использование поверхностно-активных веществ были рекомендованы в качестве альтернативных методов процесса обессоливания, чтобы избежать длительного периода времени контакта. В статье рассматривается ускорение процесса обессоливания, основанного на унифицированной теоретической формуле, и была доказана роль перемешивания для улучшения коэффициента обессоливания. Было установлено, что основной причиной неэффективности существующего процесса обессоливания является неподвижный слой жидкости рядом с поверхностью старинного артефакта, контактирующий с водой, называемый концентрационной поляризацией. Смешивание улучшает эффективность обессоливания, сводя до минимума толщину слоя концентрационной поляризации.