

LE OSSIDIANE DI PALMAROLA I MARKER DI PROVENIENZA

di A. Macchia, S. Plattner, A. Manda, L. Campanella, D. Ferro, M. Tiepolo, M. Ferretti, M. Malorgio, A. Zarattini

Le tracce di ossidiane e la caratterizzazione delle componenti chimiche presenti nei luoghi oggetto di indagini archeologiche, permettono l'individuazione delle antiche rotte commerciali. In Italia le aree individuate sono Monte Arci in Sardegna, Lipari e Pantelleria in Sicilia e Palmarola nel Lazio.

Le ricerche di provenienza delle ossidiane sono determinanti per lo sviluppo di indagini archeologiche, in quanto la discriminazione della loro provenienza permette di ricostruire non solo gli scambi commerciali tra popolazioni diverse e geograficamente lontane, ma anche di delineare i loro aspetti politici e sociali. Negli ultimi quarant'anni le ricerche hanno inquadrato diverse fonti italiane d'approvvigionamento di questo vetro vulcanico nel bacino del Mediterraneo: Monte Arci in Sardegna, l'isola di Lipari e Pantelleria in Sicilia e l'isola di Palmarola nel Lazio (Arias et al., 1984; Tykot, 1996, Francaviglia 1999, Bigazzi et al., 2005). Esse si differenziano per le caratteristiche chimico-fisiche. Le ossidiane di Monte Arci sono ricche di microliti e fenocristalli, di colore grigio e notevolmente lucide. Le ossidiane di Pantelleria contengono scarsi microliti; il loro colore è spesso grigio-verdastro, moderatamente lucido e trasparente. Diversamente le ossidiane di Lipari sono essenzialmente vetrose e di colore nero, molto lucido e spesso perlittiche, mentre di Palmarola si presentano vetrose, nere e semi-opache (Acquafredda et al., 1999). Diversi sono i metodi di analisi utilizzati sia singolarmente che in combinazione per la caratterizzazione delle ossidiane, come l'attivazione neutronica (NAA) e la spettrometria di massa con sorgente al plasma ad accoppiamento induttivo abbinata ad un microcampionatore in ablazione laser LA-ICP-MS e la microscopia elettronica a scansione con sistema di microanalisi SEM/EDS (Tykot 2002), in ragione di tre aspetti principali: capacità di discriminare i campioni e le loro relazioni, costo e distruttività dell'analisi.

Il presente lavoro rappresenta la prima fase di una ricerca più ampia, promossa dalla Soprintendenza Archeologica del Lazio, finalizzata alla ricostruzione delle aree di provenienza ed alla individuazione delle vie di circolazione delle ossidiane fra i punti di estrazione e gli insediamenti laziali durante il Neolitico. In particolare si è cercato di: 1) comprendere per quali reperti sia stata utilizzata ossidiana dall'isola pontina di Palmarola, che rappresenta una delle sorgenti più prossime al Lazio meridionale; 2) definire la capacità di discriminare i nostri campioni in base agli elementi macrocostituenti presenti rispetto agli elementi in traccia, marker efficienti per questo tipo di studi.

I dati riguardanti la composizione dei reperti sono stati ottenuti tramite i non distruttivi: XRF e SEM-EDS e un metodo micro-distruttivo: LA-ICP-MS.

MATERIALI E METODI

Da diversi siti archeologici, compresi tra la parte SE di Roma fino al confine con il territorio abruzzese, sono stati prelevati 86 reperti: nuclei e strumenti, di questi selezionati 34 al fine di determinare l'area geologica di provenienza mediante un approccio multi analitico. Oltre ai reperti, sono stati analizzati anche 4 campioni di ossidiana raccolti sull'isola di Palmarola (A, B, C, D). Per conoscere le proprietà chimiche delle differenti fonti geologiche sono stati considerati dati presenti in letteratura. In particolare per le analisi SEM/EDS è stato considerato il lavoro di Le Bourdonnec et al., 2010. I dati XRF sono stati messi a confronto con i dati di Francaviglia et al. (1984 e 1988) e con quelli di Oddone e

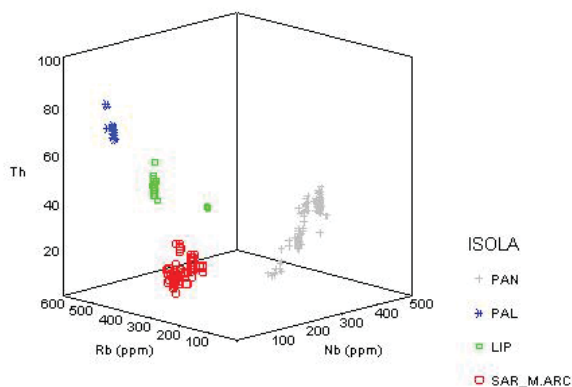


Figura 1 - Contenuti di Rb, Nb e Th, in ppm, di campioni geologici di ossidiana provenienti da diversi giacimenti di Pantelleria (PAN), Palmarola (PAL), Lipari (LIP) e Sardegna (SAR_M.ARC) in base ai dati di Francaviglia, (1999) e Oddone M., Bigazzi G. (2003).

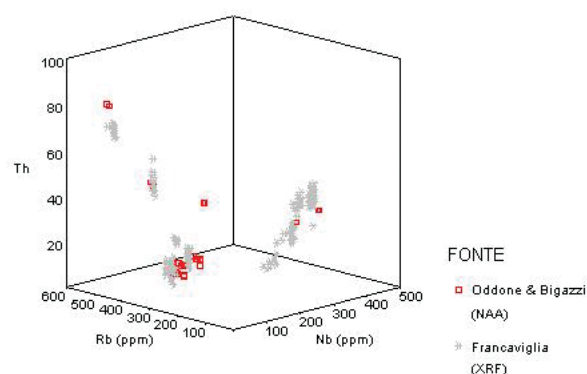


Figura 2 - Differenze riscontrabili fra i dati di Francaviglia, 1999 (punti grigi) e Oddone, Bigazzi, 2003 (punti rossi) per le cave di Pantelleria, Palmarola, Lipari e Sardegna.

Bigazzi (2003). I dati LA-ICP-MS sono stati confrontati con i dati ricavati dallo studio di Barca et al. (2007). E' sempre complesso comparare dati ottenuti da studi differenti poiché essi sono acquisiti con strumenti e metodi diversi. Per risolvere questo problema i differenti set di dati sono stati confrontati mediante l'analisi delle componenti principali (PCA). Solo nel caso della LA-ICP-MS tale confronto non è risultato necessario poiché lo strumento e la procedura utilizzati sono gli stessi dell'articolo di riferimento.

Le analisi SEM/EDS sono state svolte con lo strumento LEO-1450VP associato al software INCA300 per le analisi EDS. Su ogni campione sono state analizzate 4 aree differenti ed ogni valore ottenuto come media di 5 determinazioni di durata di 120 secondi (s). Il programma ZAF-4 permette di visualizzare i valori di composizione elementare ottenuti dai conteggi, direttamente in ossidi (tab.1) considerando l'opportuna stechiometria; operando una elaborazione "artificiale" necessaria per confrontare i dati con le informazioni presenti in letteratura.

La grande quantità di dati ottenuti è stata trattata mediante PCA (variabili: ossidi | osservazioni: differenti campioni). I dati sono stati analizzati e processati al fine di sostituire i record mancanti. Si è scelto di utilizzare le sole variabili: Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO e Fe_2O_3 , espresse in ossidi, non normalizzando nuovamente i dati. Il dataset, previa trattamento di scaling, è stato processato con diversi metodi per valutare le correlazioni tra i campioni. Il miglior risultato si è ottenuto mediante la correlazione di Pearson.

La fluorescenza a raggi X (Ferretti 2004), è stata eseguita con uno strumento portatile le cui condizioni lavorative del tubo a raggi X sono state 60kV e 1.6mA, ed avente un rivelatore a deriva di silicio (SDD). Su ciascun reperto sono state eseguite da 2 a 4 misure (tempo di misura: 120 s). I dati quantitativi sono stati ottenuti, previo taratura con un vetro di riferimento (BCR-126A), mediante il metodo dei parametri fondamentali. Gli elementi rivelati sono: Zr, Rb, Nb, Y, Sr, Zn, Ba, Th, Ce, La, Nd. Lo Zr presente nel collimatore del rivelatore impedisce una quantificazione accurata di questo elemento nei reperti, per questo non è stato tenuto conto nella successiva analisi multivariata. Il primo passo è stato quello di verificare la concordanza tra i dati della letteratura e la capacità di discriminare le diverse fonti.

La PCA ha evidenziato che gli elementi con maggior potere discriminante sono Rb, Nb e Th. Il confronto fra le figg.1 e 2 mostra che per quanto esistano scostamenti sistematici fra i dataset dei due articoli, le distanze fra i gruppi sono abbastanza elevate da rendere ugualmente identificabile la provenienza. Gli elementi Rb, Nb e Th, sono stati quindi utilizzati per identificare le relazioni tra i reperti incogniti. LA-ICP-MS, a differenza delle altre due tecniche, è minimamente distruttiva in ragione dell'ablazione laser e permette di ottenere analisi con alta precisione su elementi presenti in tracce (ppm). Il campionamento viene eseguito per ablazione laser direttamente sul reperto che viene inserito pressoché integro nella cella di ablazione, purché le sue dimensioni non superino quelle della cella (4.0 x 4.0 cm). Il fascio laser è stato utilizzato ad una lunghezza d'onda nell'UV (266 nm), ad un'elevata densità di energia (circa 12Jcm^{-2}) e con dimensioni di poche decine di micron, l'interazione con il campione solido provoca la sua parziale atomizzazione con la produzione di un particolato analizzabile dai comuni ICP-MS. La tecnica è caratterizzata da un'elevata accuratezza e riproducibilità, ma per l'analisi quantitativa necessita di uno standard esterno (vetri NIST610/612) e di conoscere a priori la composizione chimica dei costituenti maggiori del campione incognito. In questo lavoro è stato utilizzato il contenuto in SiO_2 ricavato dall'analisi SEM-EDS. Per ogni campione sono stati considerati 3 spot di misura.

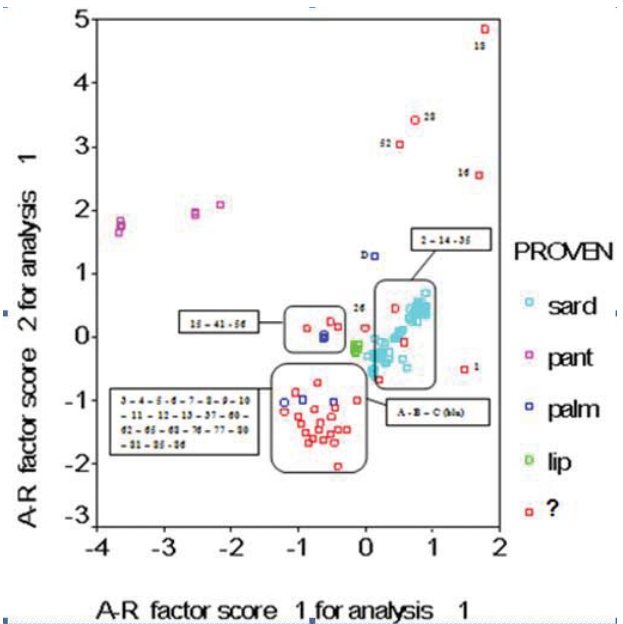


Figura 3 - Scores plot relativo ai reperti in cogniti ed ai dati derivanti dalla letteratura. In leggenda le diverse aree di provenienza: SARD=Sardegna, PANT=Pantelleria, PALM=Palmarola, LIP=Lipari, INC=campioni, provenienti dai siti archeologici laziali. Accanto ai reperti incogniti sono stati aggiunti i rispettivi numeri identificativi, in modo da comprendere meglio la loro affinità con dati ricavati dalla letteratura.

RISULTATI

Dalla PCA applicata ai dati SEM-EDS relativi ai reperti in studio ed ai dati provenienti dalla letteratura è stato ricavato il grafico degli scores (Fig. 3), che mette in evidenza una distinzione netta tra le varie aree sorgenti ed una separazione discreta di un numero elevato di reperti, attribuendone una diversa provenienza geografica.

In merito alle fonti di ossidiana, Pantelleria (viola) si discosta notevolmente rispetto alle altre sorgenti. I reperti caratterizzanti la Sardegna si raggruppano abbastanza uniformemente individuando una precisa zona del grafico, così come Lipari (verde). I reperti attribuiti a Palmarola (blu) si distribuiscono in due possibili aree, mentre il riferimento D si posiziona in un'area a se stante. Un'ulteriore analisi petrografica su tale campione ha dimostrato che non si trattava di un reperto di ossidiana. I tre reperti ricavati dallo studio francese sono molto concordi tra loro, ma si discostano da quelli di provenienza certa analizzati nel presente studio, ovvero i campioni A - B - C, creando così le due aree.

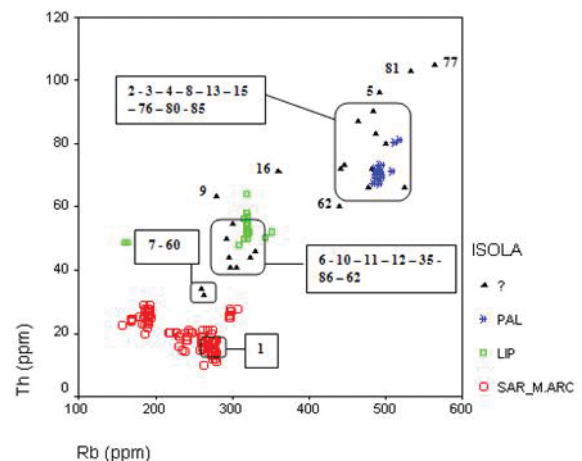


Figura 4 - Confronto dei contenuti (ppm) di Rubidio (Rb) e Torio (Th) di fonti geologiche di ossidiana riportati in letteratura (Francaviglia, 1999; Oddone M., Bigazzi G. 2003) con quelli dei reperti archeologici dei siti laziali; accanto ai reperti sono stati aggiunti i rispettivi numeri identificativi.

Il risultato potrebbe derivare dall'esistenza all'interno di Palmarola di due possibili cave di estrazione: Monte Tramontana e Punta Vardella Monte Guarniero.

Per verificare questo risultato è necessario avere campioni di provenienza certa di entrambe le cave.

Per quanto riguarda l'identificazione dei reperti provenienti dai siti laziali (rosso), molti di essi (reperti n° 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 37 - 60 - 62 - 65 - 68 - 76 - 77 - 80 - 81 - 85 - 86) si distribuiscono nell'area di Palmarola identificata dai reperti A - B - C di provenienza certa, mentre i campioni n° 15 - 41 - 56 si dispongono nell'area di Palmarola identificata tramite i dati della letteratura. Il campione n° 26 si posiziona tra Lipari e la Sardegna e quindi non è possibile attribuirne una provenienza certa; i campioni n° 2 - 14 - 35 si trovano all'interno del gruppo della Sardegna, infine ad alcuni reperti (n° 1 - 16 - 18 - 28 - 52) non è stato possibile assegnare una provenienza in quanto non rientrano in un'area discriminata dall'analisi. Pantelleria non sembra essere una possibile fonte geologica dei reperti.

Dalle analisi XRF sono stati ottenuti i grafici bivariati Rb-Th e Rb-Nb, mostrati in figg. 4 e 5, identificano diversi gruppi, sebbene formati da campioni leggermente dispersi. Tuttavia è stato possibile attribuire la quasi totalità dei campioni: si collocano chiaramente all'interno di specifiche aree e anche dove occupano una posizione marginale non possono che appartenere a quel gruppo. I campioni che presentano affinità con le ossidiane geologiche di Palmarola sono i numeri 2, 3, 4, 5, 8, 13, 15, 62, 76, 77, 80, 81 e 85; mentre le affini a Lipari sono: 6, 10, 11, 12, 14, 35 e 86; infine il campione n° 1 presenta affinità con le ossidiane provenienti dalla Sardegna. Risulta più incerta la classificazione dei campioni n° 7, 9, 16 e 60 essendo in posizioni intermedie fra due gruppi.

Dai dati LA-ICP-MS i reperti incogniti mostrano significative differenze nelle concentrazioni degli elementi costituenti, tra questi gli elementi maggiormente discriminanti sono risultati: Rb, Zr, Th, La, Li, Be e La. Nei grafici in figg. 6 e 7 si riportano i contenuti (in ppm) di Zr-La (Fig. 6) e Zr-Rb (Fig. 7) sia dei campioni geologici di provenienza nota che dei dati sperimentali ottenuti sui 34 reperti.

I grafici delle figg. 6 e 7 mostrano che solo due reperti appartengono alla Sardegna (n° 1 - 60). In fig. 6 i reperti con n° identificativo 5 - 41 - 52 - 56 - 80 - 81 - 85 si posizionano tra il raggruppamento di Lipari e quello di Palmarola. Il reale gruppo di appartenenza di questi ultimi reperti è definito sulla base della rappresentazione di Rubidio e Zirconio (Fig. 7),

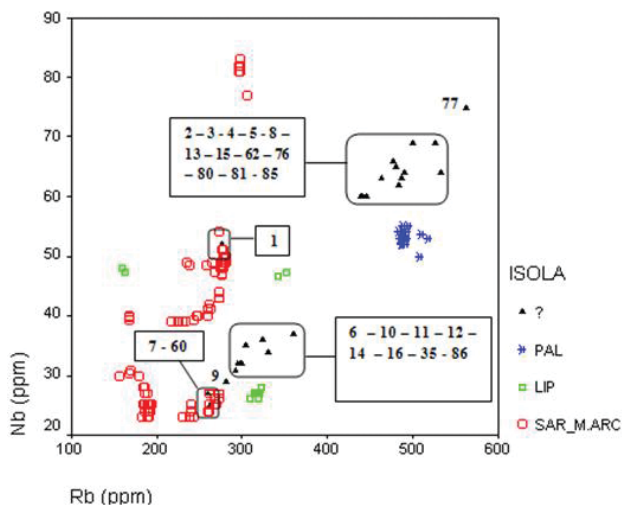


Figura 5 - Confronto dei contenuti (ppm) di Rubidio (Rb) e Nubidio (Nb) di fonti geologiche di ossidiana riportati in letteratura (Francaviglia, 1999; Oddone M., Bigazzi G. 2003) con quelli dei reperti archeologici dei siti laziali; accanto ai reperti sono stati aggiunti i rispettivi numeri identificativi.

trovandoli maggiormente affini all'isola di Palmarola. Appartenenti a quest'ultimo gruppo anche i reperti n° 3 - 4 - 8 - 9 - 13 - 15 - 18 - 62 - 68 - 76 - 77, mentre i campioni n° 6 - 7 - 10 - 11 - 12 - 14 - 16 - 26 - 28 - 35 - 37 - 65 - 86 risultano più affini all'isola di Lipari. Anche da quest'ultima analisi nessun reperto sembra provenire da Pantelleria.

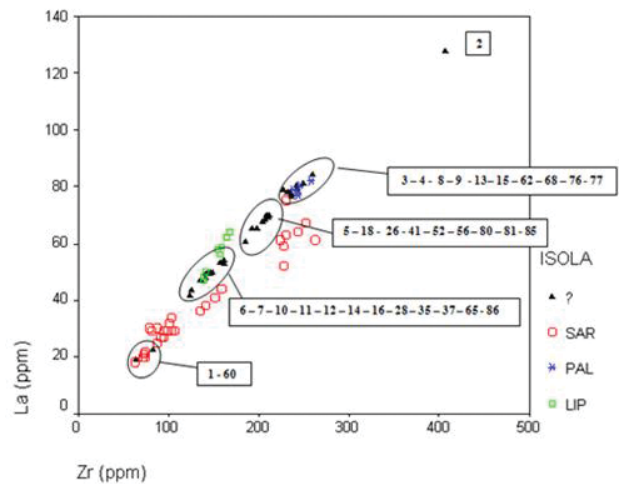


Figura 6 - Distribuzione dei campioni in base ai contenuti (ppm) di Lantanio (La) e Zirconio (Zr). In nero i reperti archeologici incogniti con accanto i numeri corrispondenti, colorati i dati relativi alle tre isole mediterranee italiane (Sardegna=SAR, Palmarola=PAL e Lipari=LIP) ricavati dalla letteratura.

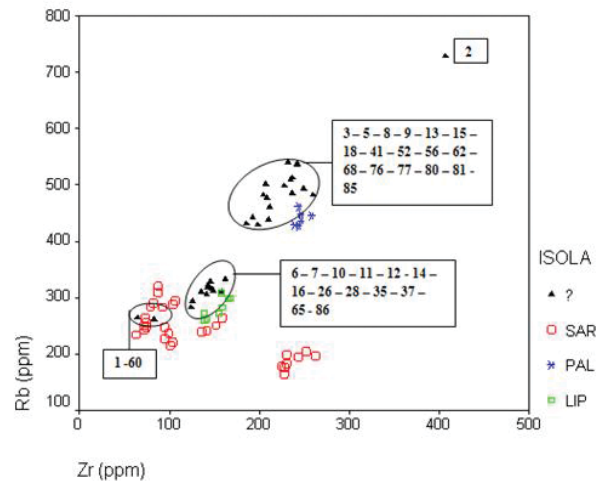


Figura 7 - Distribuzione dei campioni in base ai contenuti (ppm) di Rubidio (Rb) e Zirconio (Zr). In nero i reperti archeologici incogniti con accanto i numeri corrispondenti, colorati i dati relativi alle tre isole mediterranee italiane (Sardegna=SAR, Palmarola=PAL e Lipari=LIP) ricavati dalla letteratura.

CONCLUSIONI

L'identificazione delle sorgenti geologiche dei 34 reperti archeologici incogniti è stata realizzata mediante alcune banche dati presenti in letteratura ed alcuni campioni di ossidiana direttamente prelevati dall'isola di Palmarola (4 campioni). Sono state utilizzate tre tecniche analitiche (SEM-EDS, XRF, LA-ICP-MS) per studiare le affinità chimiche tra i reperti e le possibili sorgenti geologiche italiane di ossidiana: Palmarola, Sardegna, Lipari e Pantelleria. Il confronto tra i dati di letteratura e i dati sperimentali ottenuti sui reperti permette le seguenti attribuzioni (Tab.2).

Il rapporto tra la quantità misurata di alcuni elementi (Rb, Nb, Th) con XRF e LA-ICP-MS è molto vicino ad uno, a conferma che si ha un accordo soddisfacente tra le due tecniche attestando la maggiore efficacia di quest'ultime rispetto ad SEM-EDS per gli studi di approvvigionamento delle ossidiane. Considerando che il sistema migliore è l'analisi degli elementi in traccia ottenuta mediante LA-ICP-MS, la bontà di discriminare le ossidiane mediante gli elementi macroco-

stituenti tramite analisi SEM-EDS è circa il 29%. Tuttavia il contributo del SEM/EDS di fornire calibrazioni ad altri sistemi, la rende parte integrante dell'intera metodologia. In base alle affinità chimiche tra dati di letteratura e risultati sperimentali ottenuti possiamo affermare che tra le ossidiane studiate, 17 provengono da Palmarola, 12 da Lipari,

Camp.	Proven.	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
1	INC.	3.00	10.30	76.60	4.30	2.60	1.00
2	INC.	2.80	9.90	75.00	6.30	1.20	4.20
3	INC.	2.70	10.20	78.50	5.80	0.50	2.10
4	INC.	3.70	10.30	79.40	4.50	0.40	1.50
5	INC.	3.70	10.40	79.60	4.50	0.40	1.10
6	INC.	3.00	9.60	80.20	4.90	0.60	1.40
7	INC.	3.20	10.20	79.90	4.30	0.70	1.30
8	INC.	2.70	10.20	78.50	5.80	0.50	2.10
9	INC.	3.60	10.00	79.60	4.40	0.70	1.40
10	INC.	3.60	10.80	78.60	4.70	0.70	1.30
11	INC.	3.20	9.80	79.40	4.90	0.80	1.20
12	INC.	3.50	10.20	79.20	4.20	0.90	1.60
13	INC.	4.20	11.70	78.00	4.10	0.40	1.40
14	INC.	2.30	10.40	76.60	5.70	1.20	3.50
15	INC.	3.20	13.10	76.00	3.40	0.80	2.90
18	INC.	0.80	19.70	64.50	5.00	0.90	7.40
26	INC.	2.60	12.90	75.90	4.00	0.80	2.90
28	INC.	1.30	18.40	68.50	3.10	0.80	6.40
35	INC.	2.40	10.90	77.90	5.00	0.90	2.40
41	INC.	3.30	13.20	75.60	3.70	0.60	2.90
52	INC.	1.60	19.30	69.20	2.80	0.50	5.20
56	INC.	3.80	13.10	75.80	3.80	0.40	2.70
62	INC.	4.20	10.80	78.80	4.00	0.40	1.40
68	INC.	3.10	10.20	79.30	4.70	0.40	1.60
80	INC.	3.70	10.40	78.90	4.60	0.30	1.50
85	INC.	3.80	10.80	77.80	4.40	0.70	2.10
86	INC.	3.60	9.90	79.90	4.10	0.70	1.20
81	INC.	3.37	10.16	80.02	4.75	0.28	1.11
77	INC.	2.66	9.69	79.59	5.73	0.27	1.79
76	INC.	2.84	9.77	81.12	4.76	0.54	0.83
60	INC.	3.54	10.60	78.82	4.55	0.49	1.65
16	INC.	1.09	10.12	70.73	7.93	1.64	8.19
37	INC.	2.25	17.13	73.49	3.26	0.60	2.95
65	INC.	3.10	10.02	80.18	4.66	0.48	1.39

Tabella 1 - Dati SEM-EDS dei sei ossidi presenti in concentrazione maggiore nei campioni incogniti. I valori espressi in % in peso.

ABSTRACT

Obsidian from Palmarola: source markers - A chemical characterization of the main components and traces of obsidian allows identification of commercial routes in antiquity. Obsidian sources in Prehistoric Italy were mainly four: Monte Arci in Sardinia, the islands of Lipari and Pantelleria in Sicily and the island of Palmarola in Lazio. A survey methodology on samples of obsidian from several Neolithic sites in Lazio has been developed, comparing three different analytical techniques: SEM-EDS, XRF and LA-ICP-MS, in order to obtain a wider range of data to be compared with literature records and processed by Principal Component Analysis (PCA), to define relationships between samples and to assign each finding its origin.

PAROLE CHIAVE

Ossidiana, Lazio, SEM-EDS, XRF, LA-ICP-MS.

AUTORI

A. MACCHIA, A. MANDA,
ITALIAN ASSOCIATION OF CONSERVATION SCIENTISTS

S. PLATTNER, L. CAMPANELLA, D. FERRO
SAPIENZA, UNIVERSITÀ DI ROMA

M. TIEPOLO,
ISTITUTO DI GEOSCIENZE E GEORISORSE, CNR PAVIA

M. FERRETTI,
ISTITUTO DELLE TECNOLOGIE APPLICATE AI BENI CULTURALI, CNR ROMA

M. MALORGIO, A. ZARATTINI
SOPRINTENDENZA BENI ARCHEOLOGICI DEL LAZIO

ANDREA MACCHIA
ANDREAMACCHIA@UNIROMA1.IT

una dalla Sardegna, mentre si esclude completamente Pantelleria. Per cinque reperti (n° 2 - 7 - 37 - 60 e 65) non è stato possibile attribuire una precisa area geografica, questo dovuto o alla mancanza delle analisi XRF o alla differente attribuzione delle singole analisi e per questo è necessaria un ulteriore approfondimento analitico.

nome campione	EDS	EDXRF	LA-ICP-MS	nome campione	EDS	EDXRF	LA-ICP-MS
1	n.a.	SAR	SAR	26	n.a.	n.d.	LIP
2	SAR	PAL	n.a.	28	n.a.	n.d.	LIP
3	PAL	PAL	PAL	35	SAR	LIP	LIP
4	PAL	PAL	PAL	37	PAL	n.d.	LIP
5	PAL	PAL	PAL	41	PAL	n.d.	PAL
6	PAL	LIP	LIP	52	n.a.	n.d.	PAL
7	PAL	n.a.	LIP	56	PAL	n.d.	PAL
8	PAL	PAL	PAL	60	PAL	n.a.	SAR
9	PAL	n.a.	PAL	62	PAL	PAL	PAL
10	PAL	LIP	LIP	65	PAL	n.d.	LIP
11	PAL	LIP	LIP	68	PAL	n.d.	PAL
12	PAL	LIP	PAL	76	PAL	PAL	PAL
13	PAL	PAL	PAL	77	PAL	PAL	PAL
14	SAR	LIP	LIP	80	PAL	PAL	PAL
15	PAL	PAL	PAL	81	PAL	PAL	PAL
16	n.a.	n.a.	LIP	85	PAL	PAL	PAL
18	n.a.	n.d.	PAL	86	PAL	LIP	LIP

Tabella 2 - Attribuzione dei reperti alle diverse sorgenti geologiche mediterranee italiane in base alle tre tecniche utilizzate. SAR= Sardegna, PAL= Palmarola, LIP=Lipari, n.d. = non disponibile, n.a.= non attribuibile

BIBLIOGRAFIA

- Acquafredda P., Andriani T., Lorenzoni S., Zanettin E. (1999), *Chemical characterization of obsidians from different Mediterranean sources by non-destructive SEM-EDS analytical method*, Journal of Archaeological Science 26, 315-325.
- Acquafredda P. (2008), *Obsidian from Pulo di Molfetta (Bari, Southern Italy): provenance from Lipari and first recognition of a Neolithic sample from Monte Arci (Sardinia)*, Journal of Archaeological Science 35, 947-955.
- Arias, C., Bigazzi G., Bonadonna F.P., Cipolloni M., Hadler N.J.C., Lattes C.M.G., Radi G., (1984), *Fission track dating in Archaeology. A useful application*, in: Parrini, P.L. (Ed.), Scientific Methodologies Applied to Works of Arts, Montedison Progetto Cultura, Milano, pp. 151-159.
- Barca, D., de Francesco, A.M., Crisci, G.M. (2007) Application of laser ablation ICP-MS for characterization of obsidian fragments from peri-Tyrrhenian area. *Journal of Cultural Heritage* 8, 141-150.
- Bigazzi, G., Oddone, M., Radi, G. (2005) The Italian obsidian sources. *Archeometria Muhely 1*, 1-13.
- De Francesco A.M., Crisci G.M., Bocci M. (2008) Non-destructive analytical method using XRF for determination of provenance of archaeological obsidians from the Mediterranean Area: a comparison with traditional XRF methods, *Archeometry* 50, pp.337-350
- Ferretti, M. (2004) Fluorescence from the collimator in Si-PIN and Si-Drift detectors: problems and solutions for the XRF analysis of archaeological and historical materials. *Nuclear Instruments and Methods B*, Vol 226/3, 453-460.
- Francaviglia, V. (1984) Characterization of Mediterranean obsidian sources by classical petrochemical methods. *Preistoria Alpina* 20, 311-332.
- Francaviglia V. (1988) Ancient obsidian sources on Pantelleria (Italy). *Journal of Archaeological Science* 15, 109-122.
- Francaviglia V.M. (1999) The search for a reliable discrimination between Mediterranean obsidians, in Sogliani, F., Piccioli, C., Il vetro in Italia meridionale ed insulare, Atti del I. Convegno Multidisciplinare, Napoli, Marzo 5-7, 1998. De Frede Editore, pp.315-360.
- Le Bourdonnec et al. (2010) SEM-EDS characterization of western Mediterranean obsidians and the Neolithic site of A Fuata (Corsica). *Journal of Archaeological Science* 37, 92-106.
- Tykot, R.H. (1996) Obsidian procurement and distribution in the central and western Mediterranean. *Journal of Mediterranean Archaeology* 9, 39-82.
- Tykot, R.H. (1997) Characterization of the Monte-Arci (Sardinia) obsidian sources. *Journal of Archaeological Science* 24, 467-479.
- Tykot, R.H., (2002). Chemical fingerprinting and source tracing of obsidian: the Central Mediterranean trade in black gold. *Accounts of Chemical Research* 35, 618-627.
- Williams-Thorpe, O., (1995). Obsidian in the Mediterranean and Near East: a provenancing success story. *Archeometry* 37, 217-248.