



L'analisi funzionale di strumenti preistorici in pietra: evoluzione e progressi dal 1930 ad oggi

S. NUNZIANTE CESARO, C. LEMORINI, P. MASELLI, A. NUCARA

The functional analysis of lithic prehistoric artifacts: evolution and progresses from 1930 until today

Use-wear analysis was introduced in the '30 with the aim of interpreting the function of lithic tools and get more light on the life of prehistoric sites. At present, the use-wear research is more and more combined to experimental techniques trying to clarify key issues such: polish formation, quantification of use-wear and residues identification. A survey of these methods, limits and results is here reported.

I. Introduzione

Lo studio delle tracce d'uso è un metodo di analisi utilizzato dagli archeologi che permette di interpretare la funzione dei manufatti in pietra. Consiste nell'osservazione e determinazione di modificazioni della superficie litica causate dal contatto tra manufatto e materiale lavorato, modificazioni che forniscono importanti informazioni sulle attività effettuate nella preistorica e, di conseguenza, sull'organizzazione socio-economica delle comunità antiche.

I primi tentativi di collegare le alterazioni superficiali osservate su strumenti litici al materiale lavorato risalgono agli anni '30 ma l'esigenza di riprodurre manufatti archeologici nasce molto prima. Risalgono infatti al XIX secolo le prime riproduzioni di oggetti archeologici che non vengono studiati nel loro contesto storico ma piuttosto realizzati con finalità "antiquaria".

Nel 1860 Jacques Boucher de Crèvecœur de Perthes (1788–1868) riprodusse le "amigdale" rinvenute in siti paleolitici del bacino della Somme

(Parigi) [30] e Sir John Evans (1823–1908) realizzò manufatti litici utilizzando tecniche di scheggiatura di tipo tradizionale o etnografico [30].

Nel 1930, il chirurgo ed archeologo Eliot Cecil Curwen, confrontò le tracce osservate su utensili neolitici in selce di varie provenienze (Europa, Vicino Oriente e Nord America) con quelle prodotte durante attività di mietitura effettuate con falchetti sperimentali. Dal momento che le tracce d'uso sugli utensili archeologici apparivano molto più estese giunse alla conclusione, rivelatasi poi erronea, che i manufatti preistorici erano stati utilizzati per tagliare il legno [13].

La prima sistematizzazione dell'analisi microscopica a basso ingrandimento (100X) dei margini d'uso di strumenti archeologici e di opportuni utensili sperimentali in pietra si deve a Sergei Aristarkhovich Semenov (1898–1978), oggi universalmente considerato l'iniziatore del metodo. Il libro *Prehistoric Technology*, in cui raccoglieva il suo ventennale lavoro, fu pubblicato a Mosca nel 1957 e la sua successiva traduzione in inglese segnò l'introduzione dell'analisi delle tracce d'uso nel mondo occidentale [35]. A titolo esemplificativo in Fig. 1 è riportata la rappresentazione grafica di una lama in selce e la possibile ricostruzione di utilizzo di lame in pietra riportata da Semenov nel suo libro.

I seguaci della scuola di Semenov contribuirono ad estenderne l'opera mediante osservazioni microscopiche a basso ingrandimento che permettono di ipotizzare il meccanismo di sbrecciatura della pietra, collegandolo al materiale lavorato e alla cinetica di lavorazione e consentono, quindi, di classificare le sbrecciature presenti sui margini d'uso archeologici tenendo conto di tutti i fattori esaminati [9, 29, 22].

Una innovazione nell'analisi delle tracce d'uso fu apportata negli anni '80 dall'archeologo Laurence H. Keeley mediante le sue osservazioni microscopiche ad altro ingrandimento (200X–600X) [23]. In questo caso la traccia, chiamata micro-traccia, è evidenziata come una alterazione della superficie litica indotta dal materiale lavorato che ne varia la riflettività in modo specifico; la morfologia delle tracce varia in relazione alla cinetica dell'azione ma soprattutto varia in relazione al materiale lavorato. Le interpretazioni ottenute con quest'ultimo metodo sembravano rendere superfluo lo studio delle fratture d'uso, ovvero le macro-tracce. La controversia così generatasi tra le due scuole fu superata solo anni dopo in occasione di una conferenza sul tema tenutasi ad Uppsala nel febbraio del 1989. Negli atti del convegno, infatti, riassumendo i risultati della discussione, Deborah Olausson

confermò che la relazione tra le osservazioni microscopiche a basso ed alto ingrandimento erano complementari [31].

L'analisi funzionale delle tracce d'uso poneva una serie di problematiche, spesso interconnesse, ma per semplicità schematizzabili in:

- come quantificare le tracce d'uso
- meccanismo di formazione delle tracce
- esistenza di residui del materiale sul margine d'uso dello strumento in pietra

per rispondere alle quali è stato necessario introdurre il parallelo impiego di tecniche sperimentali spesso normalmente utilizzate in altri campi di ricerca.

2. Quantificazione delle tracce d'uso

Le descrizioni delle tracce studiate ad alto ingrandimento, ad esempio il loro grado di luminosità, comportano una soggettività che deve necessariamente essere superata introducendo criteri di quantificazione.

Seguendo un ordine cronologico, una delle prime tecniche sperimentali proposte per rendere oggettiva la descrizione di tracce d'uso fu l'interferometria, già ampiamente utilizzata nello studio di superfici di metalli per individuarne eventuali danni o difetti. Infatti, la foto delle interferenze ottenute giustapponendo un fascio di luce di riferimento ad un fascio riflesso dal campione in esame ne caratterizzano esaurientemente la superficie [15].

Si deve ad Akoshima sempre negli anni '80 il primo tentativo di applicare la profilometria allo studio delle tracce d'uso [1] con risultati non troppo soddisfacenti in quanto la precisione dello strumento da lui usato non permetteva di caratterizzare la topografia dello strumento litico in esame. Dati nettamente migliori furono però ottenuti utilizzando apparecchiature più sofisticate fino alla recente applicazione della profilometria laser UBM (Ulrich Breitmeier Messtechnik) che permette di investigare la micro topografia superficiale dell'oggetto in esame a varie profondità. Ulteriori informazioni si ottengono dal trattamento dei dati mediante geometria frattale [6, 38–40].

L'ipotesi che il materiale lavorato danneggi anche gli strati dell'utensile sotto la sua superficie spinse vari ricercatori a studiare strumenti litici sia archeologici sia sperimentali preventivamente trattati con coloranti fluorescenti per poi analizzarli mediante la Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM). I dati ottenuti hanno permesso di individuare le caratteristiche della sostanza lavorata in funzione della sua durezza [14, 16].

Per quanto riguarda la creazione di una universale scala di valutazione della luminosità delle tracce che si creano sul margine di lavoro di strumenti in pietra usati per la mietitura e quindi ripetutamente a contatto con steli di vegetali, molto recentemente Vardi e collaboratori hanno proposto una tecnica di indagine che si basa sull'elaborazione delle immagini ottenute facendo riflettere su molti punti della superficie un fascio di luce proveniente da un laser He-Ne. Le misure non prevedono trattamenti preliminari dell'utensile esaminato, sono molto veloci e consentono inoltre di ipotizzare il tempo di formazione della traccia e di conseguenza la durata di utilizzo dello strumento stesso [41].

Tutte le tecniche citate forniscono immagini che devono essere analizzate matematicamente. Di conseguenza, in parallelo ai differenti metodi di misura e spesso indipendentemente da essi, vari metodi di elaborazione sono stati proposti che includono il T-test, l'analisi discriminante lineare (LDA) e la già citata geometria frattale [7, 19, 24, 33].

3. Meccanismo di formazione delle tracce d'uso

La comprensione del meccanismo di formazione delle tracce d'uso visibili su strumenti in pietra e causate normalmente dal contatto più o meno prolungato con il materiale lavorato è cruciale per la comprensione delle proprietà distintive delle tracce stesse. La problematica sottolineata da Owen e Unrath alla conferenza di Tübingen del 1983 [32] spingeva Yamada ancora nel 1993 a scrivere "... molti ricercatori... studiano un settore che non comprendono completamente"[43].

Due teorie vennero formulate a partire dagli anni '80. La teoria cosiddetta del "gel di silice", proposta da Anderson-Gerfaud per spiegare la presenza di fitoliti su utensili in selce [3], secondo la quale la genesi della traccia è riconducibile ad una reazione chimica in quanto la

superficie dello strumento litico, generalmente silice microcristallina (selce) o amorfa (ossidiana), si copre di gel amorfo durante il lavoro o per la frizione con il materiale lavorato e la sua acidità o per la presenza di particelle abrasive.

Si contrapponeva a questa ipotesi la “teoria dell’abrasione” secondo la quale la traccia si forma in seguito ad un trasferimento di particelle di silice dall’utensile al materiale lavorato, normalmente meno duro, provocando una frizione fra l’utensile e il materiale stesso [17, 26, 28].

Per verificare la validità dell’una o dell’altra ipotesi vari gruppi di ricerca si impegnarono a studiare strumenti archeologici e sperimentali utilizzando la microscopia SEM (Scanning Electron Microscopy) [4, 5] e varie tecniche IBA (Ion Beam Analysis) quali PIXE (Proton Induced X-ray Emission) o RBS (Rutherford Back Scattering) [2, 11]. I dati ottenuti rivelarono nelle tracce d’uso la presenza di elementi quali silicio e/o calcio, fosforo. Questi ultimi due, se misurati quantitativamente per conoscerne la relativa abbondanza, permettevano anche di distinguere la presenza di residui di legno ($P/Ca \sim 0.8$) o di ossa ($P/Ca \sim 0.43$).

Si studiarono inoltre campioni sperimentali in selce preparati *ad hoc* in cui erano stati impiantati ioni di rame la cui persistenza fu verificata mediante misure PIXE dopo aver lavorato osso [12]. Questa evidenza sperimentale sembra eliminare la possibilità che lepisfere di quarzo vengano estratte dal campione in esame come previsto dalla teoria dell’abrasione. Anche la formazione del gel di silice non risulta supportato perché in questo caso si dovrebbe osservare una redistribuzione degli elementi preseti sulla superficie della selce. Analoghe conclusioni peraltro erano state formulate dal gruppo di Šmit che, sulla base di numerosi dati ottenuti mediante misure microPIXE, esclude che la formazione della traccia sia un processo puramente meccanico ma piuttosto il risultato di una interazione microscopica che può coinvolgere reazioni chimiche [36, 37].

4. Esistenza ed identificazione dei residui associati alle tracce d’uso

I dati raccolti per chiarire la genesi delle tracce d’uso su strumenti litici avevano, come risultato collaterale, accertato l’esistenza di ioni

estranei alla composizione chimica dello strumento suggerendo la presenza di residui del materiale lavorato anche se la possibilità di inquinamenti post deposizionali non poteva essere esclusa. Nella sua già citata indagine SEM su strumenti provenienti da siti preistorici francesi e danesi e dal confronto con opportune repliche, Patricia Anderson arrivava a concludere che la lavorazione di tessuti animali o vegetali umidi lasciano tracce molto più visibili degli stessi materiali secchi e che i residui in ambedue i casi sopravvivono a lavaggi in acqua e HCl [3].

I primi studi mirati esclusivamente alla identificazione di residui del materiale lavorato, della cui esistenza non dubitava, si devono a Briuer che trasferì dalla criminologia all'archeologia il "principio di scambio" secondo cui "ogni contatto lascia una traccia" introdotto da Edmond Locard (1877–1966) nel suo monumentale pioneristico trattato [27]. Briuer esaminò circa 2500 reperti litici provenienti da siti preistorici del Chevelon Canyon (Arizona nord orientale) e, dopo averli trattati con reagenti chimici, identificò i residui organici avvalendosi della collaborazione del criminologo John Cockerham di cui utilizzava il laboratorio [8].

Partendo dal presupposto che il materiale lavorato lascia, sia pur in quantità minima, residui nelle microcavità dello strumento con cui è avvenuto il ripetuto contatto, negli ultimi venti anni si è consolidata la prassi di ipotizzare la funzione dello strumento associando l'osservazione delle tracce a rivelazione e identificazione degli eventuali residui presenti. Sempre più frequente, quindi, la collaborazione tra archeologi e chimici, fisici o biologi allo scopo di definire con più approcci indipendenti la funzione di strumenti usati da popolazioni preistoriche.

La spettroscopia SEM-EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) è stata ad esempio utilizzata per definire le caratteristiche che permettono di distinguere residui di osso da residui di bambù su una serie di manufatti sperimentali in selce [21].

Molto spesso si usano però tecniche più invasive. Ad esempio, frammenti di acidi nucleici prelevati da strumenti litici provenienti dal livello olocenico dello scavo Rose Cottage (Sud Africa) sono stati analizzati da Williamson [42] utilizzando la Reazione a Catena della Polimerasi (PCR), tecnica propria della biologia molecolare. I dati sono promettenti ma lo stesso autore osserva che le condizioni del suolo possono influenzare la conservazione del materiale organico e

solo l'approfondimento degli studi potrà arrivare a definire la specie animale a cui appartengono i campioni residui.

Frequentemente viene anche impiegata la Gas Cromatografia abbinata alla spettrometria di massa (GC-MS) come tecnica unica o molto più spesso associata ad altre tecniche sperimentali.

Misure GC-MS, infatti, e successive misure spettroscopiche nell'infrarosso (FTIR) su micro campioni dispersi in KBr hanno permesso di individuare resti di grassi animali o vegetali, di corteccia di betulla e resine su una serie di manufatti litici e ceramici provenienti da diversi scavi di siti neolitici o dell'età del ferro in Francia [34].

Micro campioni di residui organici sottoposti a metilazione utilizzando la tecnica Fatty Acid Methyl Ester (FAME) sono stati analizzati, in quanto molto volatili, mediante GC-MS. Misurabili quantità di acido azelaico e oleico sono state accertate da Buonasera nei microresidui intrappolati sulle superfici di mortai, pestelli e macine, provenienti da scavi in California risalenti al 2500 B.P. [10].

Lo studio di residui proteici è stato affrontato associando alla analisi delle tracce d'uso la Crossover Immunoforesi (CIEF), molto usata in indagini forensi che si basa su una reazione antigene-anticorpo e permette di identificare un antigene incognito mediante reazione con un anticorpo noto (immunoglobulina). Lo studio è stato condotto su una trentina di manufatti neolitici provenienti dal Sud della Scandinavia [20]. I dati suggeriscono un utilizzo degli utensili per la macellazione del pesce e il dato appare particolarmente significativo considerando che le tracce d'uso possono interpretare il contatto con tessuti carnei ma non possono individuare il tipo di animale macellato [18].

Da qualche anno, inoltre, è in corso un'indagine sistematica, sponsorizzata dalla Wenner-Gren Foundation e che vede coinvolti gli autori, l'Università di Tel Aviv e l'Accademia delle Scienze di San Pietroburgo, basata sulla combinazione di analisi di tracce d'uso e di individuazione dei micro residui mediante micro spettroscopia infrarossa — tecnica veloce e non invasiva che non richiede trattamenti preliminari dei campioni — sia su residui di utensili preistorici di varia provenienza sia su repliche [25]. I dati raccolti su campioni che presentano alterazione da contatto con materiali di origine animale sono stati già sistematizzati in un database che a breve verrà implementato con dati relativi a strumenti usati per lavorare vegetali.

5. Conclusioni

La panoramica di tecniche che oggi affiancano l'analisi delle tracce d'uso mostra quanto sia progredita la multidisciplinarietà in un settore di studio specialistico per gli archeologi stessi. Tutte le competenze tradizionalmente scientifiche ne sono state coinvolte, persino le competenze della criminologia. Ogni tecnica ha la capacità di chiarire problemi connessi con la genesi delle tracce d'uso, con la loro quantificazione e con l'identificazione dei micro residui presenti. È peraltro vero che ogni tecnica ha dei limiti e finora non si è raggiunto un protocollo di lavoro univoco che stabilisca quali tecniche utilizzare e in quale sequenza (ad esempio, prima tecniche non distruttive e poi tecniche distruttive). Inoltre, le informazioni raccolte finora sono spesso poco conosciute perché confinate a pubblicazioni di nicchia.

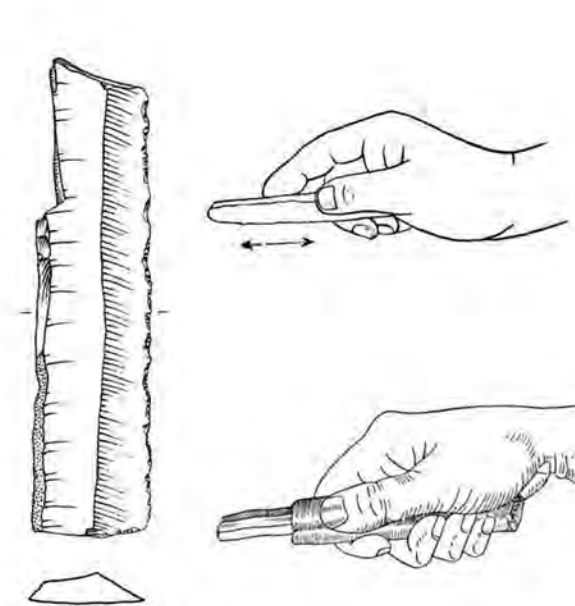


Fig. 1 Riproduzione grafica di una lama in selce proveniente dal sito di Masseria Candelaro (FG) e possibili ricostruzioni di utilizzo di lame in pietra (da Semenov, 1964)

6. Riferimenti bibliografici

1. AKOSHINMA K., 1981, *An experimental study of microflaking*, Report of Tohoku University microflaking research team, Kokogagu Zasshi, 66, 1–27.
2. ANDERSEN H.H., WITLOW H., 1983, *Wear traces and patination on Danish flint artifacts*. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 18, 468–474.
3. ANDERSON–GERFAUD P.C., 1980, *A testimony of prehistoric tasks: diagnostic residues on stone tools working edges*. *World Archaeology*, 12, 181–193.
4. ———, 1981, *Contribution méthodologique à l'analyse des microtraces d'utilisation sur les outils préhistoriques*, Thèse de troisième cycle n. 1607, Institute du Quaternaire, Université de Bordeaux.
5. ANDERSON–GERFAUD P.C., P. MELLARS, 1990, *The Emergence of Modern Humans*, Mellars P (ed.) (Edinburgh Univ. Press, Edinburgh).
6. BEYRIES S., 1988, *Industries litique: tracéologie et technologie*, British Archaeological Report B.A.R. International Series 411, Oxford.
7. BIETTI A., 1996, *Image processing in microwear studies on flint artefacts*. *Archeologia e Calcolatori*, VII, 387–396.
8. BRIUER F.L., 1976, *New clues for stone tools functions: plant and animal residues*, *American Antiquity*, 41, 478–484.
9. BROADBENT N., 1979, *Coastal settlement and settlement stability*, Borgtrans, Uppsala.
10. BUONASERA T., 2007, *Investigating the presence of ancient absorbed organic residues in groundstone using GC–MS and other analytical techniques: a residue study of several prehistoric milling tools from central California*, *Journal of Archaeological Science*, 34, 1379–1390.
11. CHRISTENSEN M., PH. WALTER, M. MENU, 1992, *Usewear characterization of prehistoric flint with IBA*. *Nuclear Instruments in Physics Research*, B64, 488–493.
12. M. CHRISTENSEN, T. CALLIGARO, S. CONSIGNY, J. C DRAN, J. SALOMON, PH. WALTER, 1998, *Insight into the usewear mechanism of archaeological flints by implantation of a marker ion and PIXE analysis of experimental tools*. *Nuclear Instruments in Physics Research*, B136, 869–874.
13. CURWEN E.C., 1930. *Prehistoric flint sickles*, *Antiquity* 4, 179–186.
14. DERNDARSKY M., G. OCKLIND, 2001, *Some Preliminary Observations on Subsurfaces damage on Experimental and Archaeological Quartz Tools using CLSM and Dye*. *Journal of Archaeological Science* 28, 1149–1158
15. DUMONT J., 1982, *The quantification of microwear traces: a new use for interferometry*, *World Archaeology*, 14, 206–217.
16. A.A. EVANS, R.E. DONAHUE, 2008. *Laser scanning confocal microscopy: a potential technique for the study of lithic microwear* in *Journal of Archaeological Science*, 37, 2223–2230.

17. FULLAGAR R.E.L., 1991, *The role of silica in polish formation*, in *Journal of Archaeological Science*, 18, 1–24.
18. VAN GIJN .A., 1986, *Fish polish, fact and fiction*, in Owen L.R., Ulrath (Eds.) *Technical Aspects of Microwear Studies on Stone Tools*, Part.I, pp. 13–27, *Early Man News 10/II*, Newsletter for Human Paleology. Tübingen 1986.
19. GRACE R., I.D.G. GRAHAM, M.H. NEWCOMER, 1985, *The quantification of microwear polishes*. *World Archaeology*, 17, 112–120.
20. HÖGBERG A., K. PUSEMAN, C. YOST, 2009, *Integration of use–wear with protein residues analysis. A study of tool use and function in the South Scandinavian Early Neolithic*, *Journal of Archaeological Science*, 36, 1725–1737.
21. A.H. JAHREN, N. TOTH, K. SCHICK, J.D. CLARK, R.G. AMUDSON, 1997, *Determining Stone Tool Use: Chemical and Morphological Analysis of Residues on Experimentally Manufactured Stone Tools*, *Journal of Archaeological Science*, 24, 245–250.
22. KAMMINGA J., 1982, *Over the edge: functional analysis of Australian stone tools. Occasional Paper in Sociology and Anthropology*, 12, University of Queensland, Brisbane.
23. KEELEY L.H., 1980, *Experimental determination of stone tool uses: a microwear analysis*, University of Chicago Press, Chicago.
24. KNUTSSON K., B. DAHLQUIST, H. KNUTSSON, 1998, *Patterns of tool use; the microwear analysis of the quartz and flint assemblage from the Bjursele site, Västerbotten, Northern Sweden*, *Industries lithiques: tracéologie et technologie*, B.A.R. International Series, 411, 253–294.
25. C. LEMORINI, S. NUNZIANTE CESARO, *The function of prehistoric lithic tools: a combined study of use–wear analysis and FTIR microspectroscopy Spectrochimica Acta* (submitted).
26. LEVI–SALA I., 1993, *Traces et fonction: les gestes retrouvés*. Ed. ERAULT 50\2.
27. LOCARD E., 1933. *Traité de Criminalistique*, Lyon, Desvigne.
28. MEEKS N. D., G. DE SLEVEKING, M.S. TITE, J. COOK, 1982, *Gloss and use–wear traces on flint sickles and similar phenomena*, *Journal of Archaeological Science*, 9, 317–340.
29. ODELL G.H., F. ODELL–VERECKEN, 1980, *Verifying the Reliability of Lithic Use–Wear Assessment by ‘Blind Tests’: the Low Power Approach*, *Journal of Field Archaeology*, 7, 87–120.
30. OLAUSSON D., 1980, *Starting from Scratch: The History of Edge–Wear Research from 1838 to 1978*, *Lithic Technology*, 9, 48–60.
31. —, 1989, *The interpretative possibilities of microwear studies in Proceedings: International Conference on lithic use–wear analysis*, Uppsala (Svezia) February 15–17, 1989.

32. OWEN L.R., G. UNRATH (eds.), *Technical Aspect of microwear studies on stone tools*. Tübingen, *Early Men News*, 9–11, 69–81.
33. REES D., G. G. WILKINSON, R. GRACE, C. R. ORTON 1991, *An investigation of the fractal properties of flint microwear images*, *Journal of Archaeological Science*, 16, 629–640.
34. REGERT M., N. GARNIER, O. DECAVALLAS, C. CREN–OLIVIER, C. ROLANDO, 2003, *Structural characterization of lipid constituents from natural substances preserved in archaeological environments*. *Measurements, Science and Technology*, 14, 1620–1630.
35. SEMENOV S.A., Adams and Dart (ed.), 1964, *Prehistoric technology*, London.
36. Z. SMIT, S. PETRU, G.W. GRIME, T. VIDMAR, M. BUDNAR, B. ZORKO, M. RAVNIKAR, 1998, *Usewear induced deposition on prehistoric flint tools*. *Nuclear Instruments in Physics Research*, B140, 209–216.
37. Z. SMIT, G.W. GRIME, S. PETRU, I. RAJTA, 1999, *Microdistribution and composition of usewear polish on prehistoric stone tools*. *Nuclear Instruments in Physics Research*, B64, 488–493.
38. W.J. STEMP, M. STEMP, 2001, *UBM Laser Profilometry and and Lithic Use–Wear Analysis: a Variable length Scale Investigation of Surface Topography*, in *Journal of Archaeological Science*, 28, 81–88.
39. ———, 2003, *Documenting Stages of Polish Development on Experimental Stone Tools: Surface Characterization by Fractal Geometry Using UBM Laser Profilometry* *Journal of Archaeological Science*, 30, 287–296.
40. W.J. STEMP, B.E. CHILDS, S. VIONNET, C.A. BROWN, 2009, *Quantification and Discrimination of Lithic Use–wear: Surface Profile Measurements and Length–scale Fractal Analysis*, *Archaeometry*, 51, 366–382.
41. J. VARDI, A. GOLAN, D. LEVI, I. GILEAD, 2010, *Tracking sickle blade levels of wear and discard patterns: a new sickle gloss quantification method*, in *Journal of Archaeological Science*, 37, 1716–1724.
42. WILLIAMSON B. S., 1997, *Down the Microscope and Beyond: Microscopy and Molecular Studies of Stone Tool Residues and Bone Samples from Rose Cottage Cave*, in *South African Journal of Science*, 93, 458–464.
43. YAMADA S., 1933. *The formation process of use–wear polishes*, in ERAUL, Vol. 2, 433–445.

S. Nunziante Cesaro, C. Lemorini, P. Maselli, A. Nucara
ISMN – CNR c/o Dip. Chimica, Dip. Scienze dell'Antichità, Dip. Fisica
"Sapienza" Università di Roma, Ple A. Moro 5 (00185) Roma
stella.nunziante@libero.it