



Cristiano Putzolu ^{(1,*), Fabio Negrino ^{(2), Julien Riel-Salvatore ⁽³⁾}}

Il rilievo del riparo Bombrini: tecniche di fotogrammetria SFM ed analisi di densità per la gestione 3D di un contesto di scavo*

⁽¹⁾ Dipartimento di Storia Culture Civiltà – Università di Bologna, Piazza S. Giovanni in Monte 2, 40124 Bologna; email: cristiano.putzolu@unibo.it

⁽²⁾ Dipartimento di Antichità, Filosofia, Storia – Università di Genova, Via Balbi 2, 16126 Genova; tel. +39 010-209-51431; email: fabio.negrino@unige.it

⁽³⁾ Département d'Anthropologie, Université de Montréal, CP 6128, Succ. Centre-Ville, H3C 3J7 Montréal, QC, Canada; email: julien.riel-salvatore@umontreal.ca

* Autore Corrispondente: Cristiano Putzolu, cristiano.putzolu@unibo.it

Parole chiave: Fotogrammetria SFM, GIS, Stima della Densità di Kernel, Musteriano, Protoaurignaziano

Keywords: SFM photogrammetry, GIS, Kernel Density Estimation, Mousterian, Proto- Aurignacian

ABSTRACT – THE TOPOGRAPHIC SURVEY AT RIPARO BOMBRINI: USING SFM PHOTOGRAMMETRY AND DENSITY ANALYSES TO MANAGE 3D DATA FROM THE EXCAVATION - This paper focuses on some spatial analyses performed on the dataset collected from the “Riparo Bombrini” in the Balzi Rossi archaeological area (Liguria, Italy). Documented during several campaigns using non-digital techniques, the excavation area has been surveyed in 2017 using a completely open source SFM photogrammetry operating chain (Python Photogrammetry Toolbox GUI for the point cloud computing and Meshlab for the mesh creation) and all the paper works relating to the positions of the findings has been digitized in a spreadsheet (LibreOffice Calc) and then imported into a GIS environment (QGIS). The positioning of all the findings in a GIS allowed us, for the first time since the beginning of the project, to start planning our post-excavation spatial analyses: the excavation area has been divided into a 10 cm squares grid and a presence/absence raster has been created (the cell value ranging from 0 to 18 findings). A second, and more appealing, approach tested has been the density analysis one: first a set of raster has been interpolated using the Nearest Neighbour algorithm for each archaeological horizon and then the KDE algorithm has been applied to the same dataset to create a second set of raster. The comparison between the two sets of raster clearly shows how the KDE algorithm (available both in ArcGIS and in QGIS) gives a more immediate visual perception of the different clusters of findings. Since the excavation is still on-going it is too early for any other analysis but the simple test of the methodology, but the ability shown to highlight any clustering of our findings is more than promising.

* Il presente lavoro è stato scritto da Cristiano Putzolu; Fabio Negrino e Julien Riel Salvatore sono presenti in quanto direttori del progetto di ricerca sul sito.

Il Riparo Bombrini (Ventimiglia, Imperia) si trova a poche centinaia di metri dal confine con la Francia, all'interno dell'area archeologica dei Balzi Rossi, e conserva una stratigrafia che documenta gli aspetti recenti e finali del Musteriano ligure e la successiva diffusione del Protoaurignaziano, qui indubitabilmente associato all'arrivo e all'affermazione dell'Uomo Anatomicamente Moderno grazie al ritrovamento di un incisivo deciduo da un livello datato a circa 40 ky cal BP (Benazzi *et alii* 2015; Holt *et alii* 2019). Scoperto negli anni '30 del secolo scorso è attualmente in corso di scavo da una missione congiunta delle Università di Genova e di Montreal con il supporto della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Imperia e Savona e della Direzione Regionale Musei della Liguria.

Con la campagna 2017 si è deciso di intraprendere un lavoro di digitalizzazione, sia sul piano dei dati pregressi sia su quello delle metodologie di rilievo, che è ancora in una fase di transizione ma del quale già si possono vedere le potenzialità informative. In precedenza la documentazione di scavo consisteva nella registrazione grafica ed alfanumerica dei reperti sulla scheda di quadrato. La conseguenza abbastanza naturale di un simile modo di raccogliere i dati è che è sempre mancata la possibilità di una visione d'insieme sia dal punto di vista sincronico che da quello diacronico.

Alla fine della campagna 2017 si è proceduto a un rilievo di dettaglio della porzione di scavo aperta con tecniche di fotogrammetria 3D e successiva elaborazione con soluzioni software open-source: Python Photogrammetry Toolbox GUI (d'ora in poi PPT GUI) per la creazione della nuvola di punti¹ (Moulon e Bezzi 2012) e Meshlab (Cignoni *et alii* 2008) per la creazione della mesh testurizzata e dell'ortofotopiano: da questo rilievo è stata ricavata un'immagine in scala e metrica-

mente corretta dell'area di scavo ed una nuvola di punti da cui è stato elaborato il DTM (fig. 1).

La fotogrammetria 3D *Structure From Motion* (d'ora in poi SFM) sta diventando ormai una valida risposta a basso costo alle ancora economicamente onerose scansioni laser. L'output digitale di entrambe le tecnologie di rilievo è una fitta nuvola di punti tridimensionali con informazioni di colore: mentre lo scanner laser acquisisce direttamente milioni di punti 3D, la fotogrammetria SFM ne ricava un numero simile attraverso il processamento di diverse decine (centinaia per contesti di grandi dimensioni) di foto con una buona percentuale di sovrapposizione le une con le altre. Un software di fotogrammetria SFM è l'equivalente digitale della capacità umana di percepire la tridimensionalità di una scena attraverso il movimento del punto di osservazione: i diversi momenti di osservazione sono costituiti dalla serie di foto. Il risultato del rilievo è una nuvola di punti tridimensionali che disegnano la scena rilevata: da questi si ottiene facilmente una superficie digitale (mesh) scalata e georeferenziata su cui può essere applicata una texturizzazione fotorealistica. A livello di accuratezza del rilievo diversi lavori hanno dimostrato che, almeno per la scala del rilievo archeologico, non ci sono grosse differenze tra i modelli ottenuti dalle due tecniche.

Dal momento che le foto possono essere acquisite con fotocamere non metriche e che software molto validi di elaborazione del rilievo sono open source e quindi completamente gratuiti, quest'ultima soluzione si configura come estremamente appetibile.

Dalla campagna 2018, per il posizionamento dei reperti è stata affiancata alle tradizionali tecniche di rilievo diretto anche una Stazione Totale con un immediato guadagno in termini di precisione ed accuratezza dal momento che in questo modo gli oggetti vengono immediatamente inseriti all'interno di una griglia di riferimento. Il vantaggio di avere con un rilievo tutto sommato piuttosto speditivo (l'area di scavo è attualmente meno di 20 mq) la possibilità di ricostruire la superficie rilevata in ambiente 3d con una risoluzione molto alta² ha suggerito di adottare dalla

¹ Poco dopo la stesura del presente lavoro, che risale al 2018, PPT GUI, che ormai da anni non veniva aggiornato dai suoi creatori, ha rivelato problemi di installazione con le schede grafiche di ultima generazione ed il suo utilizzo è stato pertanto abbandonato dallo scrivente. Visto che l'utilizzo di tale software costituiva una parte introduttiva al nucleo del presente lavoro (le analisi di densità) non si ritiene, in sede di ultima revisione, di stravolgere il presente contributo e ci si limita a segnalare che, se la fotogrammetria SFM è ancora largamente usata, PPT GUI non è più una delle soluzioni adottabili. Per un approfondimento bibliografico sull'impiego della fotogrammetria SFM in archeologia si veda Willis *et alii* 2016 e relativa bibliografia.

² Prove fatte confrontando la quota di elementi di una scena ricostruita con questa tecnica e quella effettivamente rilevata a stazione totale mostrano una discrepanza che di media non supera i 6 mm (Vicenzutto, Putzolu, Tasca 2018; 698)

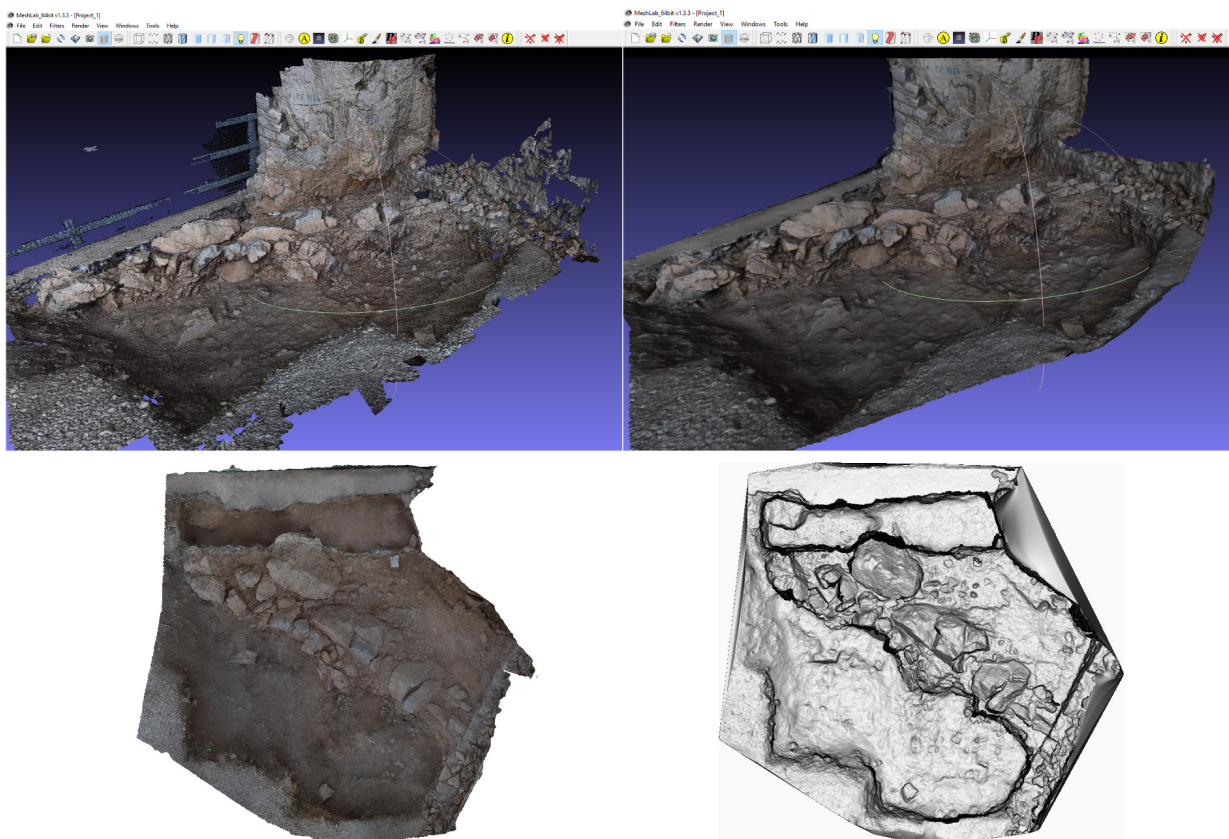


Fig. 1 – Il rilievo dell'area di scavo: nuvola di punti (in alto a sinistra); mesh texturizzata (in alto a destra); ortofotopiano (in basso a sinistra); DTM (in basso a destra).

The survey of the excavation area: point cloud (top left); textured mesh (top right); orthophoto (bottom left); DTM (bottom right).

campagna 2018 questa tecnica in maniera sistematica: all'inizio di ogni giornata è quindi stata rilevata l'intera area di scavo così da poter a posteriori ricostruire il progressivo avanzare dello scavo stratigrafico ed essere in grado di discrezionare a posteriori le aree occupate nei diversi livelli culturali.

Con la fine dello scavo del 2017 si è anche cominciata la trasformazione degli elenchi di reperti in punti vettoriali.

Lo scavo del Riparo procede per Livelli, ognuno dei quali suddiviso in più tagli: a seconda della posizione stratigrafica i più di 3000 reperti ad oggi schedati, suddivisi per macrocategorie (Litica, Fauna, Ossa umane, Ocra, Conchiglie, Carbone, Altro), vengono attribuiti ad un orizzonte culturale di riferimento.

I dati delle schede cartacee sono stati inseriti in un foglio di calcolo (LibreOffice Calc), grazie al quale di ogni quadrato si sono calcolate le coordinate assolute all'interno della griglia di scavo ed è stato quindi facile creare un tematismo puntuale in ambiente GIS (QGIS). Nella tabella degli

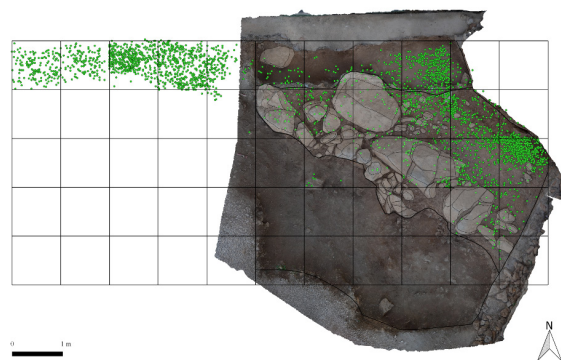


Fig. 2 – Distribuzione della totalità dei reperti.

Distribution of the totality of findings.

attributi, che accompagna ogni tematismo vettoriale di un GIS, di ogni reperto è registrata una serie di dati topografici (le coordinate x,y e z), stratigrafici (livello, taglio e orizzonte culturale) e qualitativi (dimensioni e macrocategoria). Solo in seguito alla vettorializzazione dei reperti si è potuto finalmente avere una visione complessiva della loro distribuzione (fig. 2).

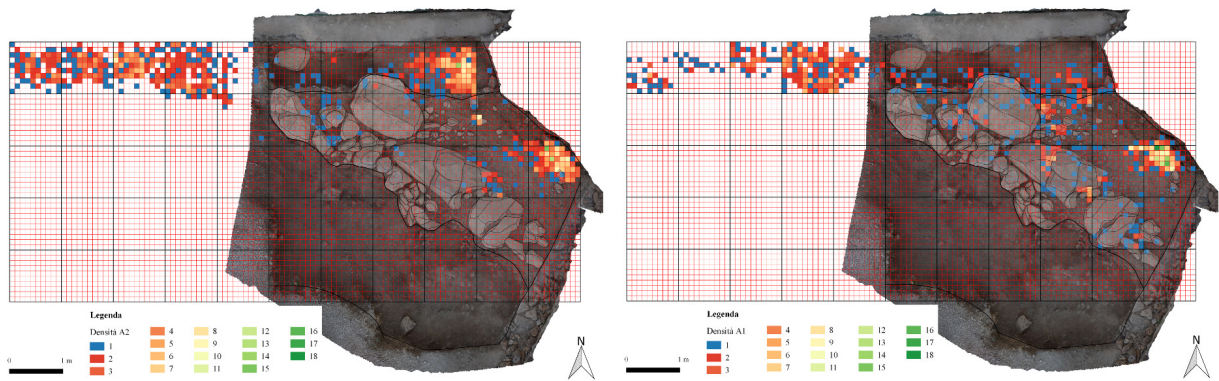


Fig. 3 – Raster non interpolato con risoluzione 10 cm che rappresenta la distribuzione di reperti (da 0 a n) per le Unità A2 (sinistra) e A1 (destra).

Non-interpolated raster at a resolution of 10 cm representing the distribution of findings (0 to n) for Units A2 (left) and A1 (right).

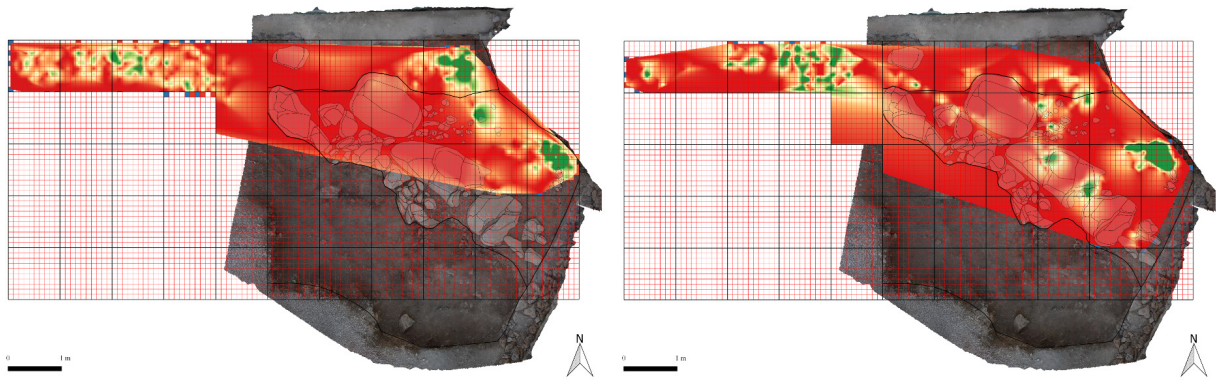


Fig. 4 – Raster interpolato con l'algoritmo del *Natural Neighbor* che rappresenta la distribuzione di reperti per le Unità A2 (sinistra) e A1 (destra).

Raster interpolated with the Natural Neighbor algorithm representing the distribution of findings for Units A2 (left) and A1 (right).

Sebbene allo stato attuale della ricerca non sia possibile scendere al dettaglio necessario per raffinate analisi distributive che ci possano svelare eventuali suddivisioni dello spazio interno dal punto di vista delle diverse attività che si dovettero praticare all'interno del riparo (per questo sarà infatti necessario definire con un dettaglio più analitico le diverse macrocategorie), la distribuzione dei reperti all'interno dell'area di scavo può diventare interessante se considerata alla luce della densità. Individuata l'unità di misura per l'analisi della densità in un quadrato di 10 cm è stata creata una griglia che, incrociata con il tema puntuale dei reperti ha acquisito un campo con il numero di quanti di essi ricadevano all'interno di ogni quadrato. Assegnando una scala cromatica ai

valori ottenuti (i quadrati più ricchi sono risultati contenere 18 reperti) si riescono ad evidenziare le aree a maggior concentrazione per ogni periodo (fig. 3).

Per meglio visualizzare le aree di maggiore densità si è successivamente provveduto a creare delle superfici raster con l'algoritmo del *Natural Neighbor* (uno di quelli maggiormente impiegati ad esempio nella creazione di modelli digitali di terreno): la scala cromatica applicata mostra le aree verdi dove maggiore è la densità e rosse dove questa tende a 0 (fig. 4).

Un interessante lavoro sulla densità dei reperti nel deposito di un sito in grotta, è stato pubblicato da Mondher M'hamdi e Gourguen Davtian per la Grotta di Lazaret in Francia (M'hamdi e Davtian

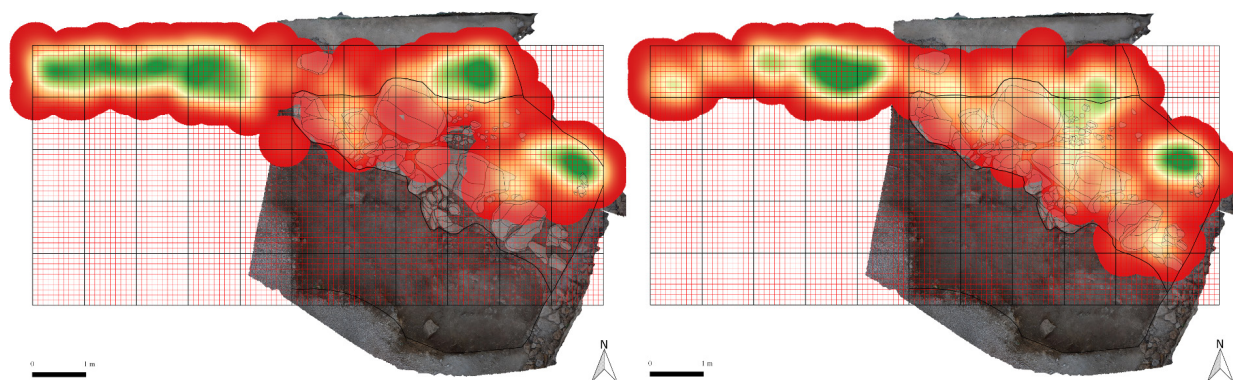


Fig. 5 - Raster interpolato con l'algoritmo della KDE che rappresenta la distribuzione di reperti per le Unità A2 (sinistra) e A1 (destra).

Raster interpolated with the KDE algorithm representing the distribution of findings for Units A2 (left) and A1 (right).

2011) dove due autori applicano un diverso metodo statistico: la Stima della Densità di Kernel (*Kernel Density Estimation*)³. Nella sua forma bivariata⁴ si tratta di un metodo non parametrico per stimare la densità di una variabile aleatoria (com'è appunto il valore di densità di ogni quadrato da 10 cm): esso considera non solo il valore assoluto della cella in esame, ma anche quelli delle celle entro un dato raggio (*bandwidth*) ed in questo modo crea dei piani continui dove maggiormente enfatizzate risultano le aree in cui sono presenti diverse celle a valori alti (fig. 5).

Sebbene la prima applicazione di questo metodo in archeologia si possa far risalire ai primi anni '90 del secolo scorso come metodo statistico applicato ad un gruppo di datazioni 14C (Aitchison-Ottaway-Al-Ruzaiza 1991), è con la metà dello stesso decennio che gli archeologi cominciano ad entrare in confidenza con questo metodo (Baxter e Beardah 1995; 1996; Beardah e Baxter 1996a-b; 1999; Baxter-Beardah-Wright 1997), aiutati in questo dal costante sviluppo del pacchetto statistico MATLAB (Gilat 2016) e dalla diffusione dei GIS.

Dal momento che lo spazio cartesiano è espresso da due variabili (x ed y) è intuitivo come

ci si sia ben presto accorti delle potenzialità della KDE nell'interpolazione di dati spaziali: nel capitolo dedicato ai metodi di interpolazione di superfici Wheatley e Gillings, pur riconoscendo al metodo la capacità di produrre immagini molto più regolari rispetto agli altri metodi statistici usati per lo stesso scopo, mettono in guardia sul fatto che «*Unless great care is taken, however, KDE – like simple density estimates – can be significantly affected by edge effects*» (Wheatley e Gillings 2002: 186-187).

Tenendo ben presente la prima legge della geografia di Waldo Tobler, che recita «*everything is related to everything else, but near things are more related than distant things*» (Tobler 1970: 236; corsivo dell'autore) nell'utilizzare la KDE nell'analisi di una distribuzione di punti nello spazio x, y si deve quindi prestare molta attenzione a cosa può considerarsi *vicino* e cosa può essere definito *lontano*: a seconda del raggio (*bandwidth*) prescelto per l'analisi i risultati possono essere visibilmente diversi, anche se come regola generale si può dire che raggi di dimensioni maggiori risultano in modellazioni maggiormente uniformi. Secondo Orton è proprio questo aspetto a costituire il limite di questo approccio statistico: «*However, the use of this technique seems to prejudice some of the questions about the nature of the spatial distribution being studied, as it contains a strong and arbitrary element of smoothing, which may not always be appropriate*» (Orton 2004: 302).

Nonostante la debolezza (comune del resto anche agli altri metodi di interpolazione spaziale) relativa all'*edge effect* la KDE è diventata negli ultimi

³ Per un approfondimento sui fondamenti matematici della Stima della Densità di Kernel (d'ora in poi KDE) si veda Baxter 2015: 29-37.

⁴ In estrema sintesi la KDE univariata è stata applicata in archeologia per le analisi che richiedono la produzione di istogrammi (Baxter e Cool 2016: 53-58); la bivariata soprattutto per analisi spaziali 2D (Baxter e Cool 2016: 59-63).

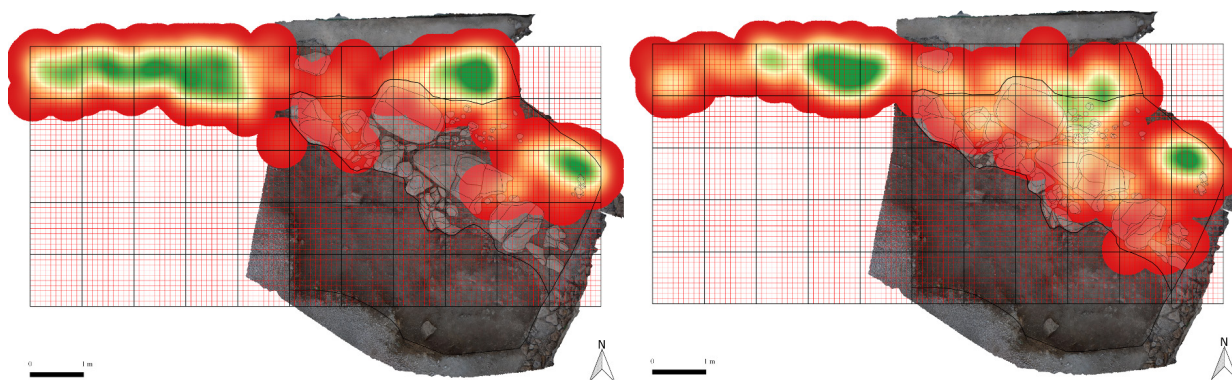


Fig. 6 – Confronto tra le KDE dei soli reperti litici per le Unità A2 (sinistra) e A1 (destra).
Comparison of KDEs of lithic finds only for Units A2 (left) and A1 (right).

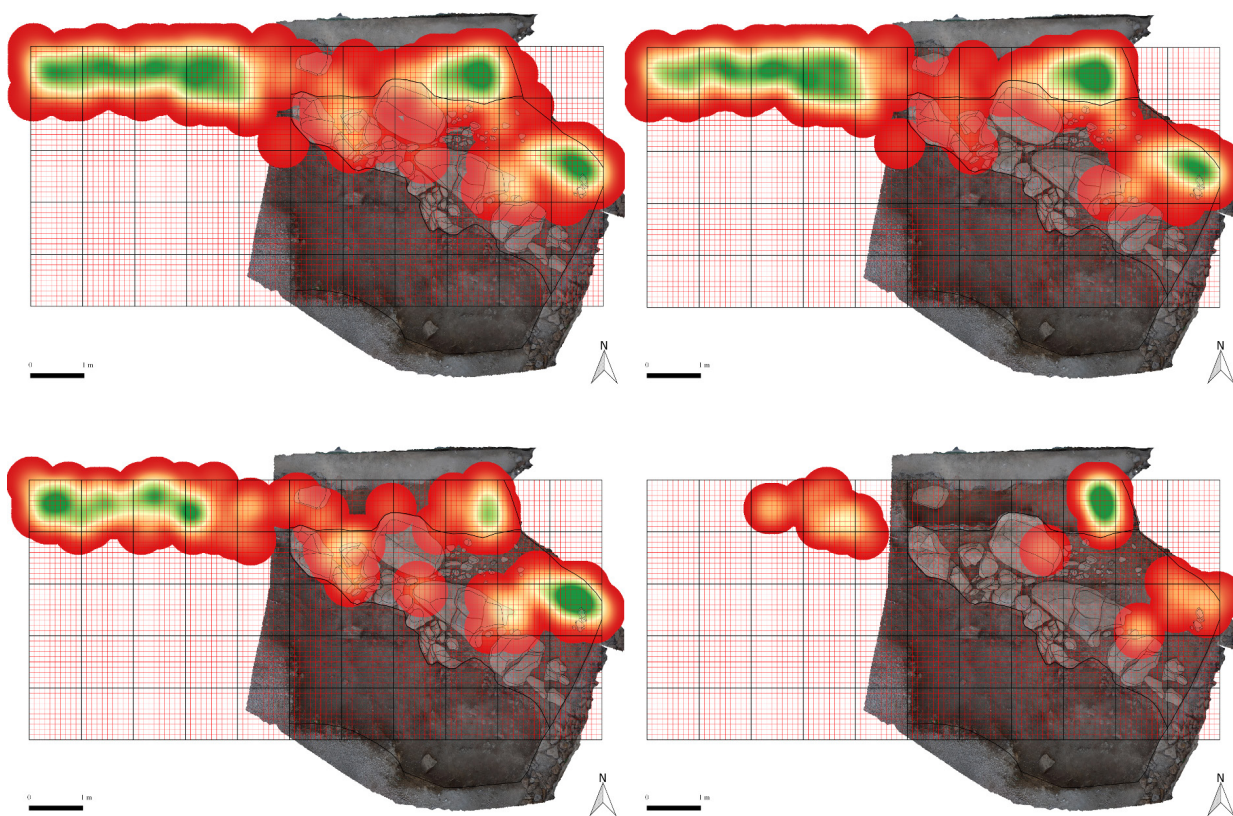


Fig. 7 - Confronto tra le KDE complessiva (in alto a sinistra), relativa alla litica (in alto a destra), relativa alla fauna (in basso a sinistra) e relativa alle conchiglie (in basso a destra) per la Unità A2.
Comparison of overall (top left), lithic-related (top right), fauna-related (bottom left) and shell-related (bottom right) KDEs for Unit A2.

anni una metodologia di analisi spaziale piuttosto diffusa negli studi a livello intrasito, soprattutto in scavi preistorici: tra i più recenti, oltre al già citato lavoro sul sito della Grotta di Lazaret, si possono ricordare il sito del tardo Paleolitico superiore di Verberie (Keeler 2007), quello del tardo Paleolitico

medio di Roc de Marsal (Aldeias *et alii* 2012), entrambi in Francia e quello Musteriano di Quneitra (Oron e Goren-Inbar 2014) sulle alture del Golan.

Il vantaggio che sembra immediatamente evidente sul metodo del *Natural Neighbor* è quello di presentare un'immagine dove sono di più im-

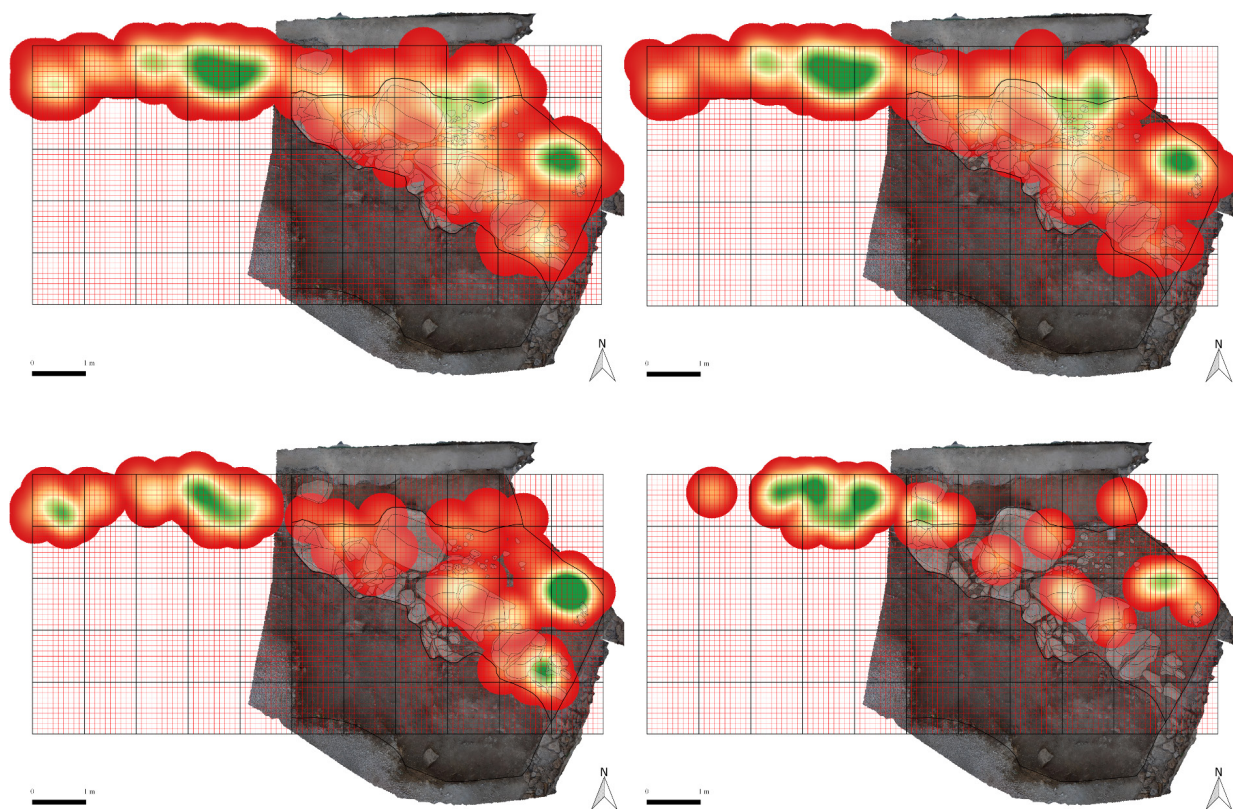


Fig. 8 - Confronto tra le KDE complessiva (in alto a sinistra), relativa alla litica (in alto a destra), relativa alla fauna (in basso a sinistra) e relativa alle conchiglie (in basso a destra) per la Unità A1.

Comparison of overall (top left), lithic-related (top right), fauna-related (bottom left) and shell-related (bottom right) KDEs for Unit A1.

mediata comprensione le aree a maggiore densità.

Un ulteriore vantaggio è dato dal fatto che ad oggi si può disporre di validi strumenti per calcolare la KDE sia a livello di software GIS (ArcGIS⁵ e QGIS⁶ per citare i due più utilizzati) che a livello di pacchetti statistici (MATLAB (Beardah e Baxter 1996b) e R (Baxter e Cool 2016)).

Arrivando finalmente a trattare del riparo Bombrini bisogna immediatamente precisare che, non trattandosi di dati relativi ad un contesto chiuso (lo scavo è tuttora in corso), quanto presentato

di seguito deve essere visto più come una presa di coscienza di una metodologia con la quale ci si propone di esplorare la distribuzione dei reperti in fase di post-scavo che come un reale tentativo di ottenere una lettura diacronica dell'utilizzo dello spazio nell'area indagata: se si aggiunge al fatto di lavorare su dati provvisori di uno scavo non concluso il fatto che lo scavo non procede per orizzonti culturali omogenei su ogni quadrato si può comprendere facilmente la prudenza di tale affermazione.

Individuato quindi il raggio di analisi in 50 cm si è proceduto all'elaborazione in serie di mappe di concentrazione (in letteratura si può trovare anche il termine mutuato dall'inglese *heat map*) relative ad ogni macroclasse di materiali suddivise per i diversi periodi.

Ciò che risulta immediatamente chiaro è che per classi dove la popolazione statistica è di pochi individui non sarà possibile ottenere dati significativi, viceversa le classi più ricche di reperti

⁵ Al momento di scrivere questo contributo in vendita nella versione 10.7, ArcGIS ha un apposito strumento, disponibile con la licenza Spatial Analyst, nella Density Toolset.

⁶ Al momento di scrivere questo contributo giunto alla sua versione 3.10, QGIS ha un apposito strumento chiamato Mappa di concentrazione. Da QGIS è possibile anche lanciare una funzione dedicata alla KDE da GRASS (v.kernel.rast) ed una (Kernel density estimation) da SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses).

hanno dato risultati tra loro diversificati, e quindi potenzialmente interessanti per un'analisi post-scavo, sia in un orizzonte diacronico sia in uno sincronico.

Su un piano diacronico risulta evidente ad esempio che ad una grande uniformità nella distribuzione lungo tutti i quadrati della Trincea A-E1 per la Unità A2, corrisponde in seguito una maggiore densità complessiva nella sola parte orientale indice forse di un'occupazione degli spazi più capillare nel momento più antico (v. supra, Fig. 5). Allo stesso modo si può notare nell'area di scavo attuale la presenza di due nuclei ad alta densità di reperti litici (verde intenso) in DD1 ed FF3 nella Unità A2 laddove nell'A1 se ne nota uno più marcato (FF3) ed uno meno espresso (DD1) (fig. 6).

All'interno del medesimo orizzonte cronologico è interessante notare come la KDE complessiva per la Unità A2 mostri tre zone distinte caratterizzate da una notevole densità di reperti (un grosso nucleo appena fuori l'area attualmente indagata, uno presso il limite orientale dello scavo ed un terzo tra la falesia ed i massi al centro) che trovano una stretta corrispondenza nelle KDE relative a litica e fauna ma non in quella relativa alle conchiglie: se le prime due presentano infatti gli stessi nuclei visibili nella KDE complessiva, la distribuzione delle conchiglie sembra evidenziare un solo cluster (fig. 7). Solo lo studio delle diverse specie rappresentate da fauna e conchiglie potrà spiegare se questo fatto può essere legato ad una diversa occupazione degli spazi ma va comunque segnalato il diverso comportamento di queste due classi di reperti (aree diversificate di trasformazione o consumo di cibo?).

Gli stessi cluster di reperti evidenziati per la Unità A2 compaiono anche per la Unità A1: qui però è la sola litica a ripetere la distribuzione complessiva con le KDE relative a conchiglie e faune che mostrano uguali picchi di materiali in due delle tre zone indicate e pochi (faune) o nulli (conchiglie) reperti per la terza (fig. 8). Fino a che la litica non sarà studiata in maniera analitica non è lecito spingersi oltre, ma è sicuramente suggestivo notare che delle tre aree ad alta densità di litica solo due trovano corrispondenza in aree a densità ugualmente alta di faune e conchiglie suggerendo in qualche modo la possibilità di una origine diversa tra queste due e la terza (trasformazione o consumo di cibo vs produzione di strumenti?).

Come accennato sopra queste osservazioni, in attesa dello studio sistematico dei reperti, non possono che rimanere a livello preliminare ma possono comunque essere di stimolo alla continuazione della ricerca.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AITCHISON T., OTTAWAY B., AL-RUZAIZA A.S. (1991) – Summarizing a group of 14C dates on the historical time scale: with a worked example from the Late Neolithic of Bavaria, *Antiquity*, Volume 65, Issue 246, March 1991: 108-116.
- ALDEIAS V., GOLDBERG P., SANDGATHE D., BERNA F., DIBBLE H.L., MCPHERRON S.P., TURQ A., REZEK Z. (2012) – Evidence for Neandertal use of fire at Roc de Marsal (France), *Journal of Archaeological Science*, 39: 2414–2423.
- BAXTER M.J. (2015) - *Exploratory Multivariate Analysis in Archaeology*, 2. ed con una nuova introduzione dell'A., New York: Percheron Press.
- BAXTER M.J., BEARDAH C.C. (1995) - Graphical presentation of results from principal components analysis, in HUGGETT J., RYAN N. eds. - *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1994*, BAR International Series 565, Oxford: Tempus Reparatum: 63–67.
- BAXTER M.J., BEARDAH C.C. (1996) - Beyond the histogram: improved approaches to simple data display in archaeology using kernel density estimates, *Archeologia e Calcolatori*, 7: 397–408.
- BAXTER M.J., BEARDAH C.C., WRIGHT R.V.S. (1997) - Some archaeological applications of kernel density estimates, *Journal of Archaeological Science*, 24: 347–354.
- BAXTER M.J., COOL H. (2016) – Basic Statistical Graphics for Archaeology with R: Life Beyond Excel, <http://www.barbicanra.co.uk/assets/basic-statistical-graphics.pdf> (consultato il 16/01/2020)
- BEARDAH C.C., BAXTER M.J. (1996A) - The archaeological use of kernel density estimates, *Internet Archaeology*, 1, https://intarch.ac.uk/journal/issue1/beardah_index.html (consultato il 16/01/2020)
- BEARDAH C.C., BAXTER M.J. (1996B) - MATLAB routines for kernel density estimation and the graphical presentation of archaeological data, *Analecta Praehistorica Leidensia*, 28: 179–184.
- BEARDAH C.C., BAXTER M.J. (1999) - Three-dimensional data display using kernel density estimates, in BARCELO J., BRIZ I., VILA A., eds. - *New Techniques for Old Times: CAA98*, Oxford: Archaeopress: 163-169.
- BENAZZI S., SLON V., TALAMO S., NEGRINO F., PERESANI M., BAILEY S.E., SAWYER S., PANETTA D., VICINO G., STARNINI E., MANNINO M.A., SALVADORI P.A., MEYER M., PÄÄBO S., HUBLIN, J.J. (2015) - The makers of the Protoaurignacian and implications for Neanderthal extinction, *Science*, 348: 793-796.
- CIGNONI P., CALLIERI M., CORSINI M., DELLEPIANE M., GANOVELLI F. (2008) - MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool, in SCARANO V., DE CHIARA R., ERRA U., eds. - Eurographics Italian Chapter Conference: 129-136

- GILAT A. (2016) - *MATLAB: An Introduction with Applications*, 6. ed, New York: Wiley.
- HOLT B., NEGRINO F., RIEL-SALVATORE J., VINCENZO F., ARELLANO A., AROBBA D., BOSCHIAN G., CHURCHILL S. E., CRISTIANI E., DI CANZIO E., VICINO G. (2019) - The Middle-Upper Paleolithic transition in Northwest Italy: new evidence from Riparo Bombrini (Balzi Rossi, Liguria, Italy), *Quaternary International*, 508: 142-152.
- KEELER D. (2007) - Intrasite spatial analysis of a Late Upper Paleolithic French site using geographic information systems, *Journal of World Anthropology, Occasional Papers*, 3.1: 1-40.
- M'HAMDI M., DAVTIAN G. (2011) - L'étude de la répartition spatiale des objets archéologiques. Étude de cas: la Grotte du Lazaret, *Géomatique Expert*, 82: 36-42.
- MOULON P., BEZZI A. (2012) - Python Photogrammetry Toolbox: A free solution for Three- Dimensional Documentation, in: CANTONE F. ed., ARCHEOFOSS. Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del VI Workshop (Napoli, 9-10 giugno 2011): 153-170.
- ORON M., GOREN-INBAR N. (2014) - Mousterian intra-site spatial patterning at Quneitra, Golan Heights, *Quaternary International*, 331: 186-202.
- ORTON C. (2004) - Point pattern analysis revisited, *Archeologia e Calcolatori*, 15: 299-315.
- TOBLER W. (1970) - A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, *Economic Geography*, Vol. 46, Supplement: Proceedings. International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods: 234-240.
- VICENZUTTO D., PUTZOLU C., TASCA G. (2018) - Tre dimensioni per un deposito archeologico: fotogrammetria 3D, potenzialità informative e fruizione. Il caso studio della Gradiscje di Codroipo, in BORGNA E., CASSOLA GUIDA P., CORAZZA S., eds. - *Preistoria e Protostoria del Caput Adriae*, Studi di Preistoria e Protostoria 5. Firenze: Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria: 697-702.
- WHEATLEY M., GILLINGS D. (2002) - *Spatial Technology and Archaeology. The archaeological applications of GIS*, London and New York: Taylor and Francis.
- WILLIS M.D., KOENIG C.W., BLACK S.L., CASTAÑEDA A.M. (2016) - Archeological 3D mapping: the structure from motion revolution, *Journal of Texas Archaeology and History*, 3: 1-36.