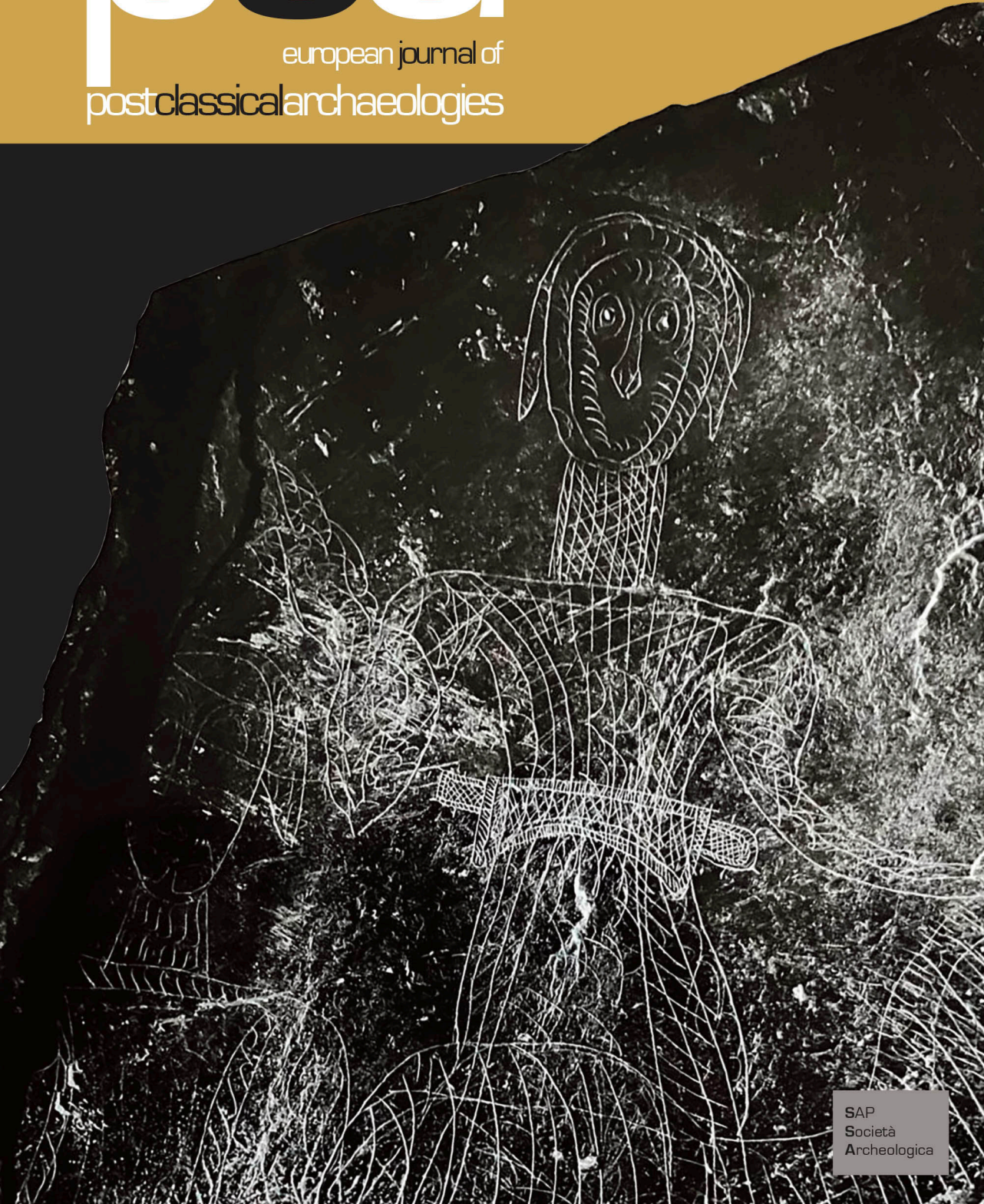


Volume 15
2025

pca

european journal of
postclassical archaeologies



SAP
Società
Archeologica

pca

european journal of
postclassicalarchaeologies

volume 15/2025

SAP Società Archeologica s.r.l.

Mantova 2025

EDITORS

Alexandra Chavarria (chief editor)

Gian Pietro Brogiolo (executive editor)

EDITORIAL BOARD

Paul Arthur (Università del Salento)

Alicia Castillo Mena (Universidad Complutense de Madrid)

Margarita Díaz-Andreu (ICREA - Universitat de Barcelona)

Enrico Cirelli (Alma Mater Studiorum - Università di Bologna)

José M. Martín Civantos (Universidad de Granada)

Caterina Giostra (Università Cattolica del Sacro Cuore, Milano)

Matthew H. Johnson (Northwestern University of Chicago)

Vasco La Salvia (Università degli Studi G. D'Annunzio di Chieti e Pescara)

Bastien Lefebvre (Université Toulouse - Jean Jaurès)

Alberto León (Universidad de Córdoba)

Tamara Lewit (University of Melbourne)

Yuri Marano (Università di Macerata)

Federico Marazzi (Università degli Studi Suor Orsola Benincasa di Napoli)

Maurizio Marinato (Università degli Studi di Padova)

Johannes Preiser-Kapeller (Österreichische Akademie der Wissenschaften)

Andrew Reynolds (University College London)

Mauro Rottoli (Laboratorio di archeobiologia dei Musei Civici di Como)

Colin Rynne (University College Cork)

Marco Valenti (Università degli Studi di Siena)

Giuliano Volpe (Università degli Studi di Foggia)

Post-Classical Archaeologies (PCA) is an independent, international, peer-reviewed journal devoted to the communication of post-classical research. PCA publishes a variety of manuscript types, including original research, discussions and review articles. Topics of interest include all subjects that relate to the science and practice of archaeology, particularly multidisciplinary research which use specialist methodologies, such as zooarchaeology, paleobotany, archaeometallurgy, archaeometry, spatial analysis, as well as other experimental methodologies applied to the archaeology of post-classical Europe.

Submission of a manuscript implies that the work has not been published before, that it is not under consideration for publication elsewhere and that it has been approved by all co-authors. Authors must clear reproduction rights for any photos or illustration, credited to a third party that they wish to use (including content found on the Internet). For more information about **ethics** (including plagiarism), copyright practices and guidelines please visit the website www.postclassical.it.

PCA is published once a year in May. Manuscripts should be submitted to **editor@postclassical.it** in accordance to the guidelines for contributors in the webpage <http://www.postclassical.it>.

Post-Classical Archaeologies' manuscript **review process** is rigorous and is intended to identify the strengths and weaknesses in each submitted manuscript, to determine which manuscripts are suitable for publication, and to work with the authors to improve their manuscript prior to publication.

This journal has the option to publish in **open access**. For more information on our open access policy please visit the website www.postclassical.it.

How to **quote**: please use "PCA" as abbreviation and "European Journal of Post-Classical Archaeologies" as full title.

Cover image: San Vicente del Río Almar (Alconaba, Salamanca), slate decorated with drawings (see p. 189).

"Post-Classical Archaeologies" is indexed in Scopus and classified as Q3 by the Scimago Journal Rank (2022). It was approved on 2015-05-13 according to ERIH PLUS criteria for inclusion and indexed in Carhus+2018. Classified A by ANVUR (Agenzia Nazionale di Valutazione del sistema Universitario e della Ricerca).

DESIGN:

Paolo Vedovetto

PUBLISHER:

SAP Società Archeologica s.r.l.

Strada Fienili 39/a, 46020 Quingentole, Mantua, Italy

www.saplibri.it

Authorised by Mantua court no. 4/2011 of April 8, 2011

For subscription and all other information visit the website www.postclassical.it.

Volume funded by the
University of Padova
Department of Cultural Heritage



CONTENTS PAGES

EDITORIAL

5

RESEARCH - ENVIRONMENT, HEALTH AND INEQUALITY: BIOARCHAEOLOGICAL APPROACHES

R. Nicoletti, E. Varotto, R. Frittitta, F.M. Galassi The servile body: funerary archaeology and social stratification in Roman Sicily. The Early Imperial necropolis at Cuticchi (Assoro, Enna)

7

I. Gentile, D. Neves, V. Cecconi, A. Giordano, E. Fiorin, E. Cristiani Diet and health in Roman and Late Antique Italy: integrating isotopic and dental calculus evidence

29

B. Casa, G. Riccomi, M. Marinato, A. Mazzucchi, F. Cantini, A. Chavarria Arnau, V. Giuffra Physiological stress, growth disruptions, and chronic respiratory disease during climatic downturn: The Late Antique Little Ice Age in Central and Northern Italy

55

C. Lécuyer Climate change and dietary adaptation in the pre-Hispanic population of Gran Canaria, Canary Islands (Spain)

85

K. Đukić, V. Mikasinovic Did females and children suffer more in 6th-century Europe? Bioarchaeological insights from the Čik necropolis (Northern Serbia)

107

R. Durand Between contrasts and analogies: defining social status based on archaeological and anthropological data within the Avaricum necropolises from the 3rd to the 5th century (Bourges, France)

125

B. Casa, I. Gentile, G. Riccomi, F. Cantini, E. Cristiani, V. Giuffra Dental calculus, extramasticatory tooth wear, and chronic maxillary sinusitis in individuals from San Genesio (6th-7th centuries CE), Tuscany, Italy

147

BEYOND THE THEME

- D. Urbina Martínez, R. Barroso Cabrera, J. Morín de Pablos** Forgotten horsemen of *Hispania*: Alan-Sarmatian legacies in the Late Roman West 179
- S. Zocco, A. Potenza** Malvindi (Mesagne, BR): un esempio di cambio di destinazione d'uso delle terme romane tra VI e VII secolo d.C. 205
- G.P. Brogiolo** Santa Maria in Stelle (Verona). Note stratigrafiche 225
- M. Moderato, D. Nincheri** *Network analysis*, fondamenti teorici e applicazioni pratiche: il caso dell'Archeologia Medievale 257
- R. D'Andrea, L. Gérardin-Macario, V. Labbas, M. Saulnier, N. Poirier** Roofing at the crossroads: timber procurement for historical roof construction at the confluence of two major waterways in Occitania (France) 277

PROJECT

- P. Gelabert, A. Chavarria Arnau** Social genomics and the roots of inequality in the Early Middle Ages: new perspectives from the GEMS project 309

REVIEWS

- Bartosz Kontny, *The Archaeology of War. Studies on Weapons of Barbarian Europe in the Roman and Migration Period* - by **M. Valenti** 321
- Martina Dalceggio, *Le sepolture femminili privilegiate nella penisola italiana tra il tardo VI e il VII secolo d.C.* - by **A. Chavarria Arnau**
- Piero Gilento (ed), *Building between Eastern and Western Mediterranean Lands. Construction Processes and Transmission of Knowledge from Late Antiquity to Early Islam* - by **A. Cagnana**
- Paolo de Vingo (ed), *Il riuso degli edifici termali tra tardoantico e medioevo. Nuove prospettive di analisi e di casi studio* - by **A. Chavarria Arnau**
- Aurora Cagnana, Maddalena Giordano, *Le torri di Genova. Un'indagine tra fonti scritte e archeologia* - by **A. Chavarria Arnau**
- Aurora Cagnana e Stefano Roascio (eds), *Luoghi di culto e popolamento in una valle alpina dal IV al XV secolo. Ricerche archeologiche a Illegio (UD) (2002-2012)* - by **A. Chavarria Arnau**
- Peter G. Gould, *Essential Economics for Heritage* - by **A. Chavarria Arnau**

Marco Moderato*, Dario Nincheri**

***Network analysis*, fondamenti teorici e applicazioni pratiche: il caso dell'Archeologia Medievale**

1. Introduzione

La *network analysis* (NA) è un approccio di ricerca che può essere applicato a diverse discipline, come la fisica, l'economia, la biologia, la *computer science*. Il termine NA è utilizzato per indicare qualsiasi studio che adotti esplicitamente una prospettiva relazionale, sviluppi aspetti del pensiero di rete o impieghi metodi formali di rete (Brughmans, Peeples 2023), mentre la locuzione *network science* definisce meglio lo studio dei dati di rete; nello specifico di questo articolo, quindi, preferiremo usare *network Analysis*. La sua applicazione più comune è la descrizione formale di una struttura attraverso l'uso di un vocabolario di rete e ruota intorno alla concettualizzazione di un sistema come un insieme di nodi (o vertici) e collegamenti (o *edges*), che formano un *network* strutturato. Nel contesto dell'archeologia, i nodi possono rappresentare una varietà di entità, come siti, manufatti o persone, mentre i collegamenti illustrano le relazioni tra queste entità, che possono essere la vicinanza spaziale, lo scambio di materiali, le connessioni sociali o altri modelli relazionali. La capacità della *network analysis* di mappare e analizzare in maniera formale e misurabile queste relazioni fornisce agli archeologi una struttura solida per esplorare modelli di interazione e connessione delle società del passato. A titolo di esempio, una rete di connessioni commerciali tra antiche comunità può rivelare non solo chi interagiva con chi, ma anche la centralità o l'influenza di alcuni nodi all'interno del *network*. Inoltre, esaminando come sono disposti questi nodi e collegamenti – se formano un *network* casuale, una rete *scale-free* o una rete ottimizzata – si possono dedurre signifi-

* Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain, marco.moderato@upf.edu.

** Escuela Doctoral EIDEMAR de la Universidad de Cádiz, Historia y Arqueología Marítimas, Spain, dario.nincheri@alum.uca.es.

cative dinamiche sociali, economiche e culturali del passato. La rappresentazione formale di queste interazioni consente l'uso di misure quantitative, che gli archeologi applicano sempre più spesso per esplorare la centralità dei siti chiave, il raggruppamento delle comunità o i percorsi più brevi della distribuzione delle risorse. La capacità di visualizzare e analizzare questi *network* aiuta a comprendere fenomeni come l'urbanesimo, la migrazione e la trasmissione culturale nel tempo. In sostanza, nodi e collegamenti forniscono una lente semplificata ma potente attraverso la quale è possibile studiare la complessa rete di interazioni antiche, consentendo analisi più complete del comportamento umano del passato.

Questo contributo, dunque, si prefigge due obiettivi. Il primo obiettivo è tentare di fornire un quadro, per quanto sintetico e parziale, delle applicazioni della NA in campo archeologico, utilizzando la bibliografia più recente e classificando metodi, strumenti e finalità. Il secondo obiettivo è quello di esaminare nel dettaglio alcuni esiti relativi a temi e contesti di archeologia postclassica.

2. Inquadramento

Negli ultimi dieci anni la *Network Analysis* si è affermata come strumento significativo tra gli strumenti di modellazione utilizzati dagli archeologi, portando allo sviluppo di un quadro teorico e formale chiaramente definito (Östbor, Gerding 2014; Brughmans, Peeples 2017, 2023; Donnellan 2020; Brughmans *et al.* 2024). Visualizzando e analizzando i dati relazionali, gli archeologi cercano di comprendere le connessioni e le interazioni tra aspetti economici, culturali o socio-politici del passato. Per comprendere dunque perché questo approccio abbia riscosso tanto interesse in vari campi di ricerca, bisogna guardare sia alla (relativa) semplicità che al suo potere esplicativo e predittivo. Al livello più elementare, infatti, i *network* sono caratterizzazioni formali di un insieme di entità e delle connessioni tra di esse. Le applicazioni nel campo dell'archeologia includono lo studio delle relazioni spaziali (Brughmans, Peeples 2020), la connettività marittima (Knappett *et al.* 2011), la cultura materiale (de Groot 2019) e, in generale, l'esplorazione delle idee di complessità (Amati *et al.* 2018; Romanowska 2024). Indipendentemente dai diversi temi di ricerca, il cuore della *network analysis* è l'indagine delle relazioni tra entità e dei modelli che emergono da esse (Brughmans 2013, p. 625). Secondo Collar *et al.* (2015, p. 6, corsivo dell'autore) la NA "...non si limita all'analisi dei network o allo studio delle reti sociali, né alla rappresentazione dei dati, né al fatto che offre ai ricercatori nuovi modi di formulare le domande di ricerca. Il potenziale centrale della network science per l'archeologia è che *pone le relazioni al centro delle nostre tecniche di analisi*".

3. Componenti metodologiche della *network Analysis*

La struttura fondamentale di un *network* consiste in un insieme di nodi e almeno una variabile strutturale, che viene rappresentata da un insieme di collegamenti tra coppie di nodi. Nella proposta di ricerca, la definizione dei nodi e dei collegamenti deve essere esplicitata come fase preliminare dell'analisi, così come le relazioni tra di essi; archeologicamente, vari aspetti della cultura materiale e della pratica della cultura materiale dedotta possono essere utilizzati per creare collegamenti fra i nodi, così come le relazioni spaziali o altri aspetti formali (Collar *et al.* 2015, p. 15; Brughmans, Peeples 2020, pp. 280-284).

Un grafo di rete così realizzato può essere definito nel suo insieme attraverso ordine, dimensione e grado di connettività. L'ordine di un grafo è il numero di vertici, mentre la sua dimensione corrisponde al numero di collegamenti o *link*. La connettività è espressa nella capacità della rete di riuscire a connettere i propri nodi al suo interno. Un *network* è considerato connesso se tutti i nodi sono connessi da un unico *path*, ovvero se non ci sono componenti isolate; la connettività è quindi esprimibile in uno spettro di valori che va dalle reti dense, in cui è presente quasi ogni possibile *link*, alle reti sparse, in cui sono presenti pochissimi tra i *link* possibili tra i vari nodi.

Le relazioni rappresentate da un grafo possono avere sia una direzione che un'intensità. In un grafo non diretto, le connessioni tra il nodo A e il nodo B sono considerate simmetriche: la direzione della relazione non ha importanza. In un grafo diretto, la direzione della relazione è importante e un collegamento da A a B non implica necessariamente un collegamento da B a A. Inoltre, questi collegamenti possono consistere in una relazione binaria (presenza o assenza di un collegamento). In tal caso, il grafo è detto non pesato. Quando il collegamento tra due nodi ha un valore di intensità (basato quindi su dati ordinali o continui), si parla di grafo pesato; ogni *link* in questo caso contiene questo valore che può esprimere una distanza (ad esempio nel caso di una rete viaria), un grado di similarità e così via. Un grafo è detto bipartito (o bimodale) quando i vertici sono suddivisi in due distinte categorie di entità (o modi), e i *link* collegano solo i vertici di categorie distinte. La maggior parte dei metodi formali di *network* (non tutti, ad esempio Moreno-Navarro 2024) condivide una visualizzazione comune che deriva dalla teoria dei grafi. Le entità della ricerca di base, i nodi, sono rappresentate graficamente da un insieme di punti collegati da linee, rappresentazione grafica dei legami relazionali tra le entità.

La scienza delle reti possiede inoltre una serie di misure esplorative che possono riguardare il *network* nel suo complesso, dei sottoinsiemi (come *cluster*, comunità e triadi), oppure singoli elementi come i nodi e i loro collegamenti. Per quanto riguarda i nodi, il grado (*degree*) di un nodo indica il suo numero di col-

legamenti. Nel caso di grafi diretti, si distingue tra *indegree* (numero di bordi incidenti in entrata) e *outdegree* (numero di bordi incidenti in uscita).

Le misure di centralità sono metodi matematici per classificare l'importanza di ciascun nodo in termini di posizione rispetto agli altri nodi; ogni misura si basa su diverse definizioni di "importanza". Le 4 misure (o metodi matematici) principali di centralità sono: la *degree centrality* (che riguarda il numero di connessioni di un singolo nodo), la *closeness centrality* (che valuta la vicinanza di un nodo rispetto a tutti i nodi della rete), la *betweenness centrality* (che misura la capacità di un nodo di connettere tutti gli altri nodi), infine ci sono misure che considerano l'importanza dei collegamenti di un singolo nodo; queste misure tengono conto della qualità dei collegamenti e si basano sulla premessa che l'importanza di un nodo è determinata dall'importanza dei suoi nodi vicini (funzionano così, per esempio, il *ranking* delle citazioni o il *ranking* di ordinamento delle pagine di Google). I principali indicatori di questo tipo di centralità sono: *Katz centrality*, *Bonachic centrality*, *eigenvector centrality*, *PageRank centrality*. In particolare, *closeness* e *betweenness centrality*, le più comunemente utilizzate, sono metodi basati sui percorsi: prendono in considerazione la posizione da cui il nodo può controllare il flusso del *network* a cui appartiene. La *closeness centrality* è intesa come la distanza media dei percorsi più brevi dal dato nodo a tutti gli altri nodi (Filet, Rossi 2024, p. 24); tramite questa misura si possono determinare quali nodi sono i più vicini in termini di rete a tutti gli altri nodi. La *betweenness centrality*, invece, misura la frequenza con cui un nodo è posto sul percorso più breve tra qualsiasi coppia di altri nodi. Viene determinata calcolando i percorsi più brevi da tutti i nodi a tutti i nodi, contando il numero di questi percorsi che passano attraverso ogni nodo e poi, per ogni nodo, dividendo questa somma per il numero totale di percorsi più brevi. I nodi con un'elevata centralità di intermediari sono quelli che vengono spesso attraversati dai percorsi attraverso la rete, mentre i nodi con un punteggio basso vengono attraversati raramente. Come detto, però, gli strumenti di misura non sono limitati all'analisi dei singoli elementi della rete. Le misure di modularità, per esempio, sono utilizzate per rilevare le comunità nella struttura della rete. Questi metodi di rilevamento non sono stati applicati spesso nella letteratura archeologica (Brughmans, Peeples 2023, p. 132) e si basano sull'idea che in una comunità la densità di connessione osservata dovrebbe essere molto più alta di quanto ci si aspetterebbe se la rete si fosse sviluppata in modo casuale. Uno degli algoritmi di rilevamento più comuni per le reti su larga scala è la modularità di Louvain (Blondel *et al.* 2008); in esso, la modularità rappresenta un valore scalare variabile tra -1 (non modulare), e 1 (raggruppamento completamente modulare). Tale valore misura la densità relativa dei collegamenti all'interno dei nodi delle comunità rispetto ai collegamenti esterni delle comunità stesse.

4. Revisione bibliografica

L'utilizzo della *network analysis* in archeologia è aumentato considerevolmente negli ultimi due decenni (Collar *et al.* 2015, fig. 1), producendo un *corpus* di studi diversificato per applicazione, tipologia strutturale delle reti e metodologia. La *network analysis* ha una natura interdisciplinare che richiede la conoscenza di un'ampia gamma di metodi e teorie, e il futuro delle applicazioni di rete in archeologia dipende sia dalla comprensione di ciò che viene fatto in altri campi, sia dalla creazione di nuove analisi, collaborazioni e approfondimenti adeguati alle questioni e ai dati archeologici (Mills 2017); questo ampio spettro di possibilità fa sì che all'interno del campo applicativo si riscontri un'estrema varietà di utilizzo e di impiego, sia della disciplina che degli strumenti a essa connessi. L'applicazione dell'analisi di rete a studi di tipo archeologico spazia, infatti, dallo studio di problematiche relative alla cultura materiale a *network* di movimento, di prossimità spaziale o di visibilità, comprendendo un ampio e vario spettro metodologico. Per questo articolo è stata visionata un'ampia raggiera di articoli inerenti all'utilizzo della *network analysis* in contesto archeologico, per analizzare le differenti problematiche a cui si è cercato di dare risposta, la metodologia usata, i tipi di *software* utilizzati e i risultati ottenuti. L'analisi di un buon numero di ricerche editate ha permesso di monitorare la tipologia di *network* utilizzati, così da poter verificare i nessi – se e quando ci sono – tra problematiche affrontate, tipologia di estrapolazione dei dati, metodologia scelta e tipologia strutturale delle reti create.

Si sono revisionate 100 voci bibliografiche editate in un periodo compreso tra il 2010 e il 2025, la maggior parte delle quali conteneva un'applicazione concreta di *network analysis* a un caso studio, mentre soltanto una piccola parte riguardava pubblicazioni di manualistica/teoria senza contributi applicativi (fig. 1).

Per quanto riguarda i campi di applicazione, lo studio della cultura materiale risulta prominente (fig. 2); la SNA basata sulla cultura materiale, negli articoli presi in esame, viene utilizzata per affrontare molteplici questioni archeologiche, tra cui l'appartenenza etnica (Cimadomo *et al.* 2020), l'esistenza di *network* di comunicazione (Classen 2008) o la diffusione/trasmmissione di innovazioni tecnologiche (Knappett 2011). Gli elementi di cultura materiale che vengono utilizzati per costruire reti comprendono manufatti, architetture e artefatti provenienti da una varietà di contesti, compresi gli assemblaggi mortuari (Duffy 2020). Le connessioni di rete costruite sui legami della cultura materiale analizzano i dati in funzione della provenienza comune di materie prime, della similitudine di stile tecnologico o di motivo decorativo, sulle forme degli oggetti o sugli usi simbolici desunti; spesso, la SNA applicata a diversi tipi di cultura materiale si basa su dati di presenza/assenza o sulla frequenza di un certo tipo di oggetto all'interno degli assemblaggi (Mills 2017).

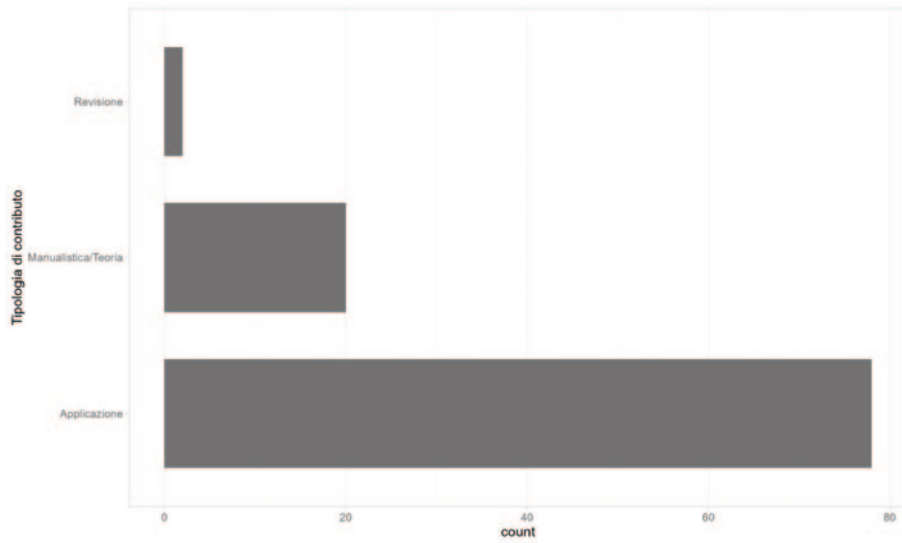


Fig. 1. Tipologie di contributo esaminate.

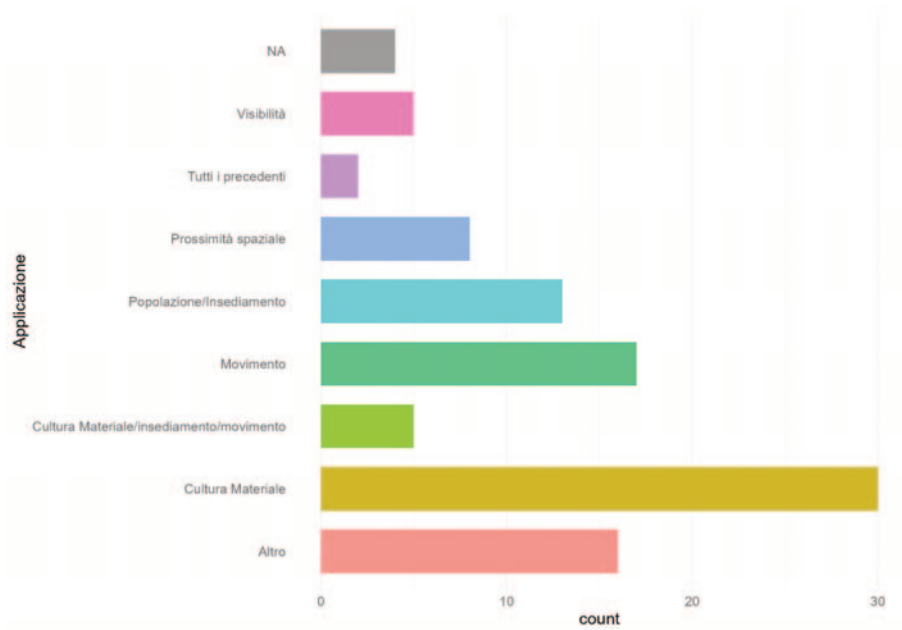


Fig. 2. Tipologie di applicazione della *Network Analysis*.

Movimento, prossimità spaziale, visibilità e distribuzione di Popolazione/ insediamento, costituiscono il secondo gruppo in presenza. Rientrando nella categoria dei *networks* spaziali fanno ampio ricorso all'uso di fiumi, strade o alla visibilità spaziale come elementi formali di costruzione dei *network* (Isaksen 2008; Fulminante 2012; Brughmans *et al.* 2016).

La tipologia di estrapolazione dei dati utili alla NA risulta variegata (fig. 3), anche se l'indagine bibliografica, assieme ai dati provenienti da *database* esistenti, è decisamente il metodo più utilizzato, confermando l'idea che la NA sia anche un ottimo strumento per rileggere con una nuova chiave di lettura dati editi in passato in contesti differenti.

A livello teorico, per la gestione dei dati e il loro utilizzo nella SNA si utilizzano *software* specializzati per l'analisi statistica di rete, combinati con dei *software* per la rappresentazione grafica delle reti (*network visualization*); all'atto pratico i programmi più utilizzati sono però *standalone programs*, cioè *software* completi che consentono di gestire efficacemente tutti gli aspetti della SNA.

Dalla revisione degli articoli risulta una tendenza alla non specificazione del tipo di *software* usato per la propria ricerca mentre, laddove esso si esplicita, Pajek, R e Ucinet risultano i programmi maggiormente usati (fig. 4); altresì gli applicativi di GIS (sia proprietari come ArcGIS sia *open source* come QGIS) trova-

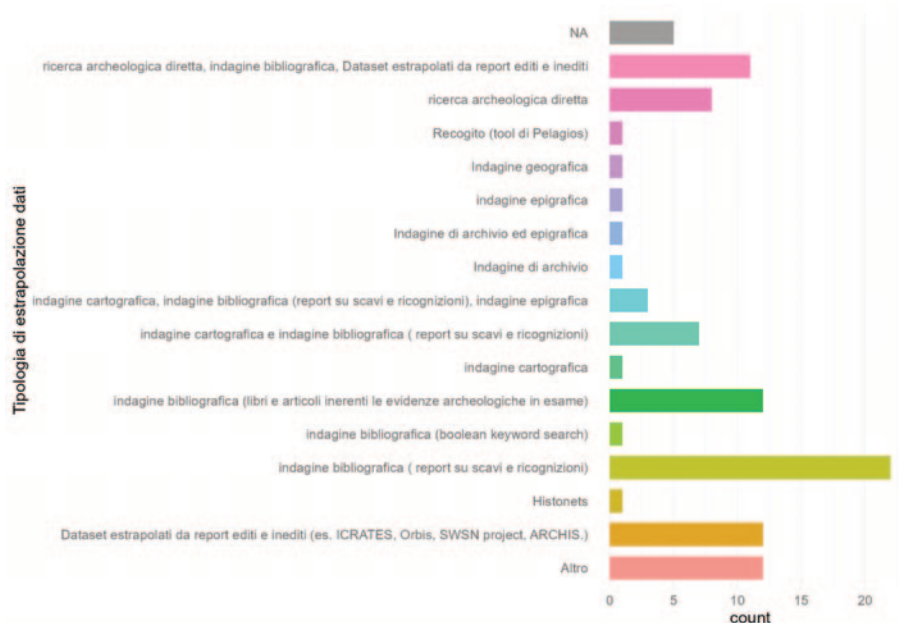


Fig. 3. Tipologie di fonte dei dati utilizzati per la *Network analysis*.

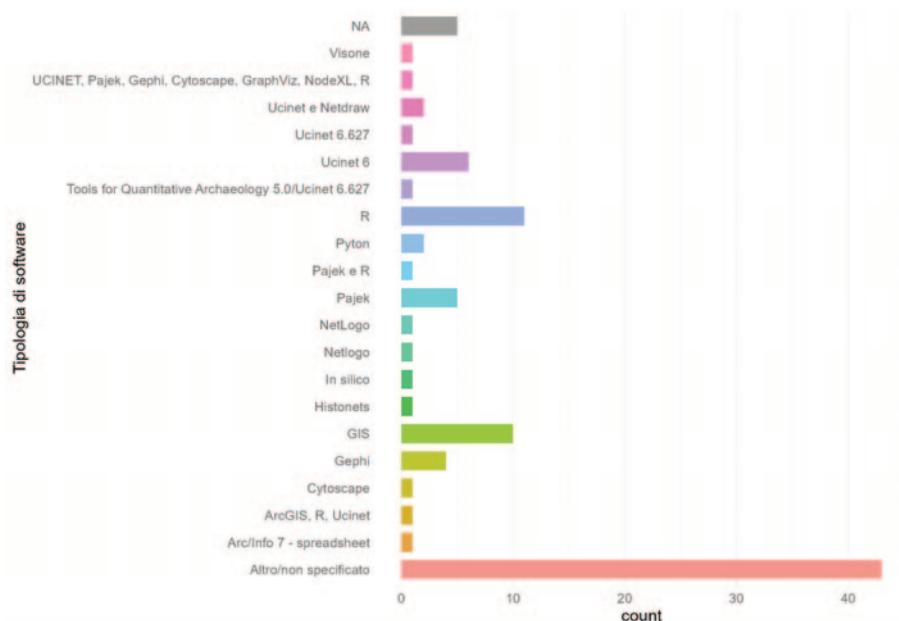


Fig. 4. Software impiegati per l'elaborazione del dato di rete.

no ampio utilizzo soprattutto in quei casi dove il dato di rete ha una forte componente spaziale, ad esempio nelle reti di visibilità.

Nella generalità, la maggior parte delle reti sono definite come *single-mode networks*, costituite cioè da un insieme di nodi della stessa tipologia. Tuttavia, non sono poche le reti che possono essere definite *two-mode networks* (note anche come reti di affiliazione o bipartite (Borgatti, Everett 1997; Latapy *et al.* 2008). Queste reti sono di tipo particolare, perché sono costituite da due diverse tipologie di insiemi di nodi ed i legami esistono soltanto tra nodi appartenenti a insiemi diversi. Spesso si fa una distinzione tra i due insiemi di nodi in base a quale insieme è considerato più responsabile della creazione di legami (insieme primario o *top node*) rispetto all'altro (insieme secondario o *bottom node*).

L'analisi dei dati risultanti dalla ricerca conferma questa tendenza generale, evidenziando la preponderanza dei *single-mode networks* nel panorama delle reti analizzate (fig. 5). L'utilizzo di reti complesse si evince in una buona percentuale di *two-mode networks* (Orengo, Livarda 2016; Mills 2017), che sono la seconda categoria in presenza, e in un minor numero di *multiplex networks* (de Soto 2019; Crabtree *et al.* 2021).

Finora abbiamo descritto le reti nel loro complesso, distinguendole per tipologia di rete utilizzata per la ricerca, ma le reti vengono distinte anche in funzione a misurazioni che avvengono a livello dei singoli nodi. In particolare, il grado di

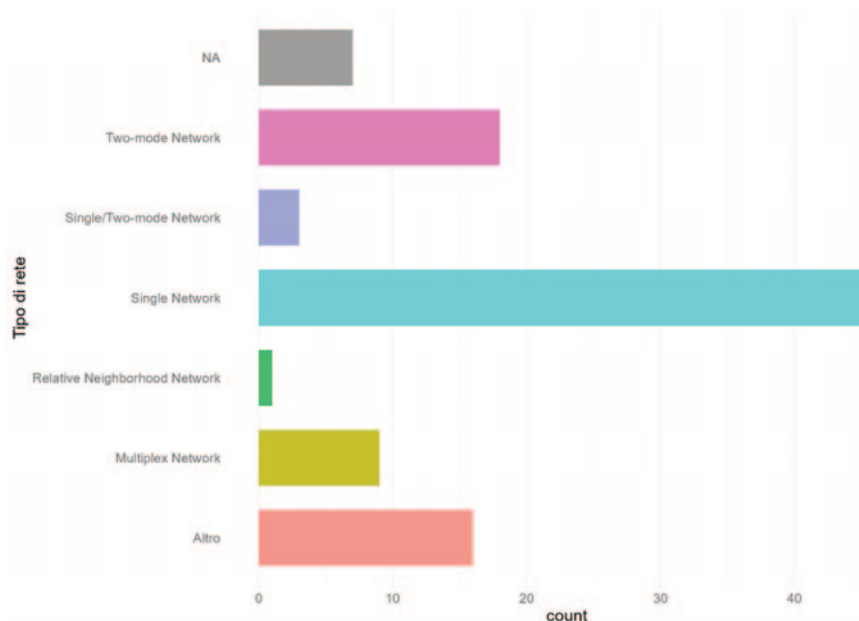


Fig. 5. Modalità di *network* presenti nel campione.

connessione, *degree*, di un nodo i è pari al numero degli archi di i . Una delle caratteristiche fondamentali di un *network* è la distribuzione del *degree*. La distribuzione del *degree* di un *network* è la descrizione della frequenza relativa dei nodi che hanno differenti *degree*. A seconda della distribuzione del *degree* distinguiamo tra *regular network*, reti in cui ciascun nodo ha lo stesso *degree*, *random network*, in cui la distribuzione segue una legge esponenziale e *scale-free network*, reti caratterizzate da distribuzioni che seguono una legge di potenza. Analizzando le reti presenti nelle pubblicazioni prese in esame si può giungere alla conclusione che la maggior parte di esse rappresentano *random networks*, mentre soltanto una piccola parte di queste sono *regular* o *scale-free network* (fig. 6). In alcuni casi gli archi delle relazioni sono orientati e vengono rappresentati da frecce (pensiamo ad esempio ad una connessione di scambio tra un centro produttore di ceramica e un centro importatore di quella stessa ceramica). Un "arco orientato" è dunque un arco caratterizzato da una direzione. In particolare, è composto da una "testa" (rappresentata solitamente dalla punta di una freccia), che si dice raggiunge un vertice in entrata, e una "coda", che lo lascia in uscita. I *networks* possono essere anche pesati, in questo caso i legami sono differenziati in base alla loro forza o capacità. Nell'analisi delle reti presenti negli articoli analizzati è presente una percentuale anche di questi ultimi due tipi di *network* (fig. 6).

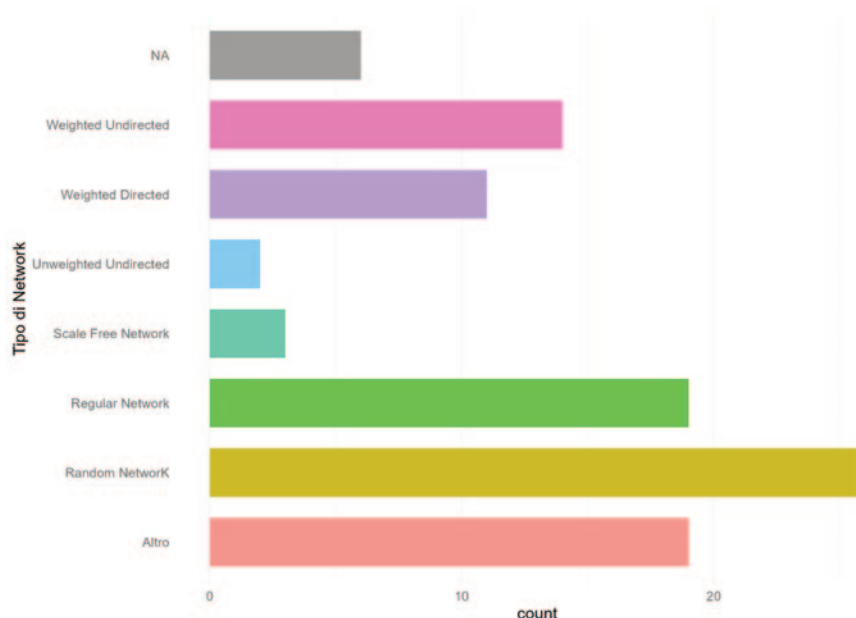


Fig. 6. Tipologie di *network* presenti nel campione.

Le reti si distinguono inoltre per la particolare combinazione di certe loro caratteristiche (*degree*, *clustering*, *average path length*) e, in teoria, si è soliti considerare che i cosiddetti *small-world network* modellino una buona parte delle reti sociali ed economiche (Watts 1999). Uno *small-world network* è una rete in cui la maggior parte dei nodi non sono vicini l'uno dell'altro (distribuzione dei *degree* asimmetrica), ma i vicini di un dato nodo sono probabilmente vicini l'uno all'altro (elevato coefficiente di *clustering*) e la maggior parte dei nodi può essere raggiunta da ogni altro nodo da un piccolo numero di passi (basso *average path length*). Il concetto di mondo piccolo descrive il fatto che la maggior parte dei *network* reali, nonostante siano di grandi dimensioni, presentano *short path-lengths*, ovvero esiste un percorso relativamente breve che congiunge due nodi qualsiasi della rete.

L'analisi della tipologia strutturale della totalità delle reti analizzate segue questo assunto generale, la maggior parte di esse, infatti, rientra nella categoria degli *small-world networks* (fig. 7).

La maggior parte delle misure prese in esame finora descrivono caratteristiche generali della struttura dei *networks*. Esistono, tuttavia, anche misure che permettono di leggere e valutare i singoli nodi che compongono la rete. Tra queste, rivestono una notevole importanza le misure di centralità che riguardano, in generale, l'importanza di un nodo all'interno della rete.

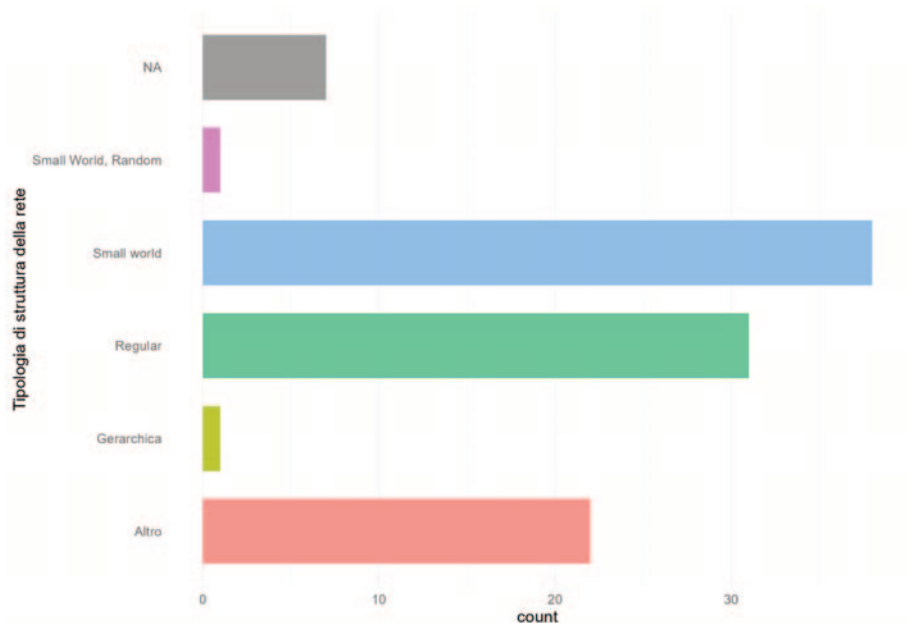


Fig. 7. Tipologia di struttura della rete.

Dalla nostra analisi risulta che, ove specificato, le misure di centralità maggiormente usate sono le quattro principali: *degree*, *closeness* e *betweenness centrality* (fig. 8). La prospettiva "sitocentrica" di molti studi trova infatti nelle misure di centralità uno strumento utile per valutare l'importanza dei siti all'interno delle reti di riferimento, siano esse insediative, commerciali, visive.

Per quanto riguarda l'aspetto prettamente archeologico della revisione, e cioè che tipo di problematica è maggiormente analizzata utilizzando la *network analysis*, risulta che gli ambiti applicativi sono piuttosto vari, con una preponderanza di utilizzo in ambito dello studio della cultura materiale, dello studio delle dinamiche insediative e di popolamento e della costruzione di reti relazionali e di prossimità spaziale (fig. 9).

5. Network Analysis e archeologia medievale

Nonostante la grande varietà di esiti e applicazioni, l'utilizzo della *network analysis* negli ambiti di archeologia medievale rimane piuttosto limitato, specie se paragonato per esempio ai risultati in campo preistorico o di archeologia romana. Eppure, il rapporto fra medioevo e NA è di lunga durata, come dimostra il pionieristico lavoro di Pitts (Pitts 1978). In esso, le rotte commerciali della Rus-

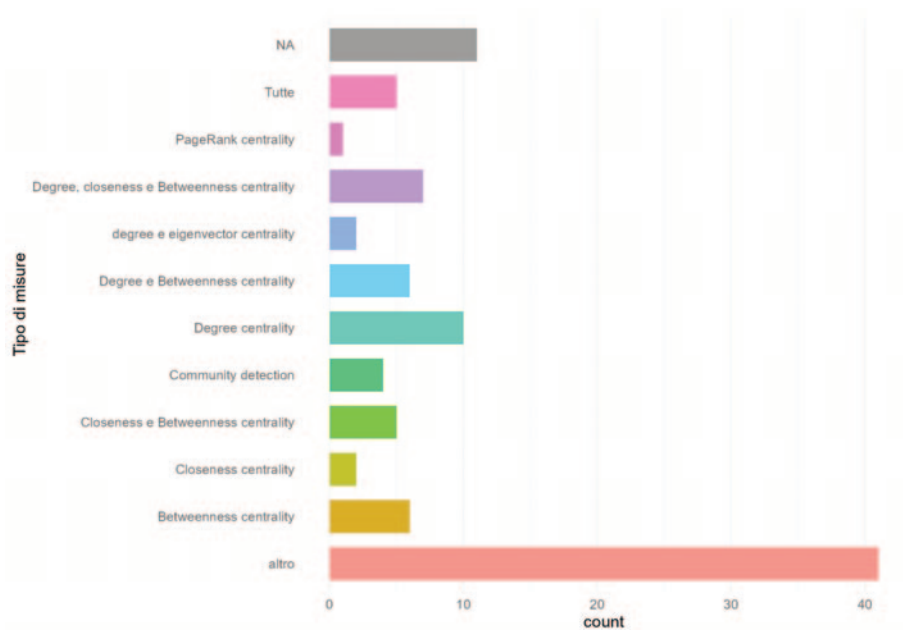


Fig. 8. Misure di centralità impiegate.

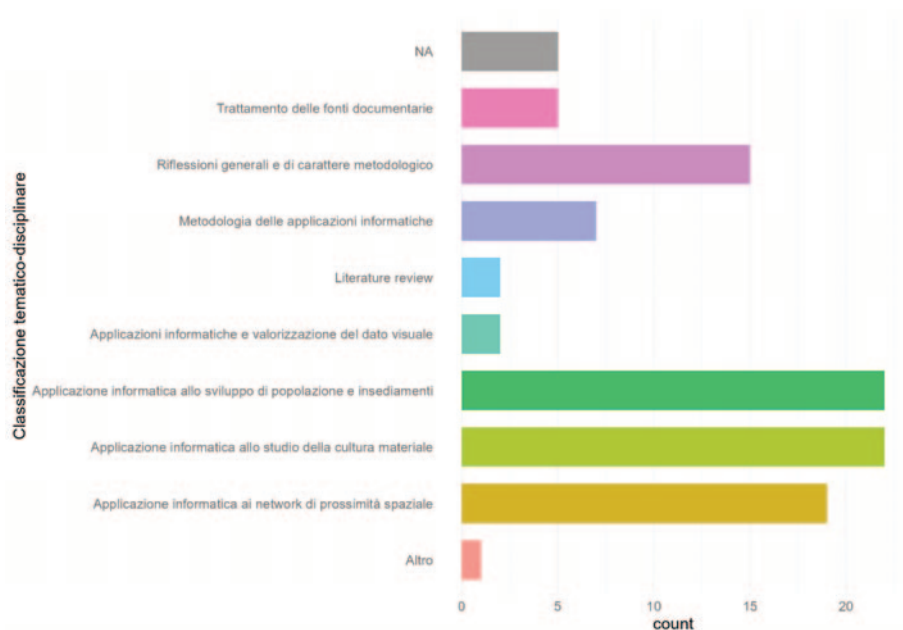


Fig. 9. Classificazione tematico disciplinare delle applicazioni di NA prese in esame.

sia medievale vengono modellate in un grafo, con i nodi che rappresentano le città e gli *edges* percorsi fluviali. Il processamento delle misure di centralità (*betweenness*), porta Pitts a concludere che lo sviluppo di Mosca come centro urbano è collegato alla sua posizione strategica all'incrocio di alcuni assi fluviali che le conferiva importanti vantaggi economici. Passano poi una ventina d'anni prima di arrivare agli studi di sintassi spaziale applicata al castello di Bolton (Fairclough 1992). È in particolare nell'Europa centro-settentrionale che si concentra questo approccio formale. Sindbaek (Sindbaek 2007) esplora il ruolo delle reti sociali ed economiche nei collegamenti tra le comunità vichinghe durante l'alto medioevo, tramite il concetto di *small-world network*. Nel contributo viene evidenziato come i nodi principali delle reti (come centri commerciali e *hub* politici) abbiano facilitato scambi di beni, informazioni e culture su lunghe distanze, ma anche come essi mancassero di una caratteristica tipica delle reti mature e robuste: le connessioni raramente superavano i diversi livelli gerarchici. Questa struttura rendeva il sistema vulnerabile al collasso sistemico. Tale differenza evidenzia un contrasto significativo tra le comunicazioni a lunga distanza dell'alto medioevo e la globalizzazione moderna, dove le reti sono generalmente più interconnesse e resilienti.

Più di recente Toby Martin (Martin 2020) ha provato ad esplorare, tramite l'analisi delle reti, la distribuzione delle fibule di V e VI secolo nell'Europa centrale, con l'obiettivo di fornire un approccio metodologico differente rispetto al tradizionale studio tipologico. Lo studio utilizza le fibule come esempio per dimostrare che gli stili e la diffusione degli artefatti non possono essere visti come rappresentazioni immutabili di un'identità culturale. Piuttosto, essi emergono da reti dinamiche influenzate da scambi e pratiche comuni a livello regionale. Questo approccio si collega a teorie recenti che mettono in luce il ruolo reciproco tra persone e oggetti nella costruzione delle realtà sociali e materiali, rivedendo le tradizionali classificazioni rigide legate alla cultura e alla produzione.

Al di fuori del contesto europeo mediterraneo lo studio dei *networks* per le cronologie medievali è invece ampiamente diffuso. Si ricordano di seguito, a titolo esemplificativo, due lavori recenti, il primo sulla cultura materiale e il secondo sui *networks* di visibilità.

Il lavoro di Nikolas Gestrich e Juan-Marco Puerta Schardt (Gestrich, Puerta Schardt 2024) indaga le tecniche decorative della ceramica archeologica del Medio Niger, proponendo di interpretarle come espressioni di reti di scambio di conoscenze. Analizzando e confrontando le reti del IX e del XII secolo d.C., emerge come il sapere relativo alle decorazioni si sia propagato attraverso strutture diverse. Le analisi preliminari della rete evidenziano che la ceramica della regione del Medio Niger rappresenta sistemi di scambio attivi su due scale: quella locale, più densa e attiva, e quella regionale. Questo approccio permette di comprendere meglio il Medio Niger come un contesto culturale unificato, caratterizzato da rilevanti diversità interne.

Il contributo a cura di Nagendra Singh Rawat, Tom Brughmans, Vinod Nautiyal e Devi Dutt Chauniyal (Rawat *et al.* 2021) esamina la distribuzione e la connettività delle fortificazioni medievali nella regione di Garhwal, nell'Himalaya, risalenti all'XI secolo d.C. Utilizzando analisi spaziali e computazionali, lo studio analizza il ruolo di 193 fortificazioni come parte di una rete coerente di segnalazione visiva, essenziale per la comunicazione e la difesa dell'area. La costruzione della rete qui è basata sulla posizione dei siti (come nodi) e il loro collegamento tramite *line-of-sight*; le ipotesi di partenza erano 1) che reti locali di segnalazione visiva riflettono strutture territoriali tra VIII e XII secolo d.C. o domini indipendenti tra l'XI e il XV secolo, con i "forti principali" come punti focali e 2) che una rete integrata di segnalazione visiva sia stata realizzata solo dopo che tutti i principali centri di potere furono unificati sotto un unico dominio intorno al XV secolo d.C. I risultati suggeriscono la presenza di una rete di segnalazione visiva ripartita in piccoli *cluster* locali nel primo medioevo, con una portata fino a 15 km, e di una rete integrata del XV secolo, con una portata fino a 25 km, che combinava connessioni locali con strategie regionali.

6. Network di similarità e archeologia medievale. Il caso studio della ceramica andalusa sulle coste italiane

Il caso studio qui presentato riguarda l'analisi di un *network* di similarità tra contesti ceramici di origine andalusa rinvenuti lungo le coste mediterranee italiane. L'obiettivo è quello di identificare le relazioni e le dinamiche di distribuzione di questi materiali, evidenziando eventuali *pattern* di circolazione e interazione tra i diversi siti. Per misurare il grado di somiglianza tra i contesti, è stato impiegato il coefficiente di Brainerd-Robinson, un metodo quantitativo che permette di confrontare le composizioni percentuali dei reperti ceramici, fornendo una base oggettiva per l'interpretazione delle connessioni tra i contesti analizzati.

Il coefficiente di Brainerd-Robinson (BR) (Mills *et al.* 2013; Peeples 2018) è una misura di similarità sviluppata specificamente per l'analisi dei contesti archeologici, con particolare applicazione nello studio delle produzioni materiali. Si tratta di un indice che quantifica il grado di somiglianza tra due insiemi di dati, tipicamente corrispondenti a contesti stratigrafici, siti archeologici o assemblaggi ceramici, basandosi sulle proporzioni relative delle categorie presenti. Il valore del coefficiente BR si ottiene sommando le differenze percentuali assolute tra le categorie corrispondenti di due campioni, sottraendo tale somma da 200 e dividendo il risultato per 2. Questo processo genera un valore compreso tra 0 e 100, dove 100 indica una somiglianza perfetta tra i due campioni, mentre 0 indica una completa dissimilarità.

Nel presente caso studio, il coefficiente di Brainerd-Robinson è stato applicato a una selezione preliminare di dati estratti da un *dataset* in fase di costru-



Fig. 10. Clustering dei contesti ceramici tramite coefficiente di Brainerd-Robinson.

zione riguardante la distribuzione della ceramica andalusa lungo le coste italiane. L'applicazione di questa misura ha consentito la costruzione di una rete di connessioni non solo tra i siti di produzione e quelli di ritrovamento, ma anche tra siti che presentano assemblaggi ceramici con caratteristiche simili. Ciò ha permesso di identificare eventuali *cluster* di distribuzione, ossia gruppi di siti in cui determinate tipologie ceramiche risultano maggiormente concentrate. L'analisi di questi *pattern* distributivi è di particolare rilevanza per comprendere le dinamiche commerciali e i circuiti di diffusione delle produzioni ceramiche andaluse nel contesto mediterraneo. Questo studio rappresenta un esempio metodologico preliminare, utile per testare l'applicabilità del coefficiente di Brainerd-Robinson a questo tipo di analisi archeologica. In futuro, il metodo verrà esteso all'intero *dataset* al fine di ottenere un quadro più completo delle connessioni tra i siti e delle possibili dinamiche di distribuzione delle ceramiche andaluse in Italia.

I dati relativi ai contesti ceramici sono stati riversati in R sotto forma di *data frame*; ad ogni riga (contesto) del *data frame* corrispondevano diverse colonne relative alla quantità di una data classe di materiale. Si è proceduto quindi a convertire il data frame in una rete di basata su matrice di similarità, usando i pacchetti di R “igraph” e “vegan” (R Core Team 2024; Csárdi *et al.* 2025; Oksanen *et al.* 2025) e la procedura descritta da Peeples (Peeples 2011; Brughmans, Peeples 2023). Una volta creata la rete di similarità sono state calcolate le varie misure di centralità, in modo da poter leggere il *network* e interpretare il peso dei vari nodi e le comunità individuate. Dallo studio di questa rete, è risultato che i nodi con un grado elevato, come *Pisa_S.Andrea Forisportam* (grado = 24), pre-

sentano un numero significativo di connessioni dirette, indicando una posizione centrale nella rete, mentre nodi con un grado più basso, come *Sardara_Castello di Monreale* (grado = 2), risultano più isolati e con un minor numero di collegamenti. Il grado ponderato, che riflette la forza delle connessioni, evidenzia nodi come *Pisa_S.Michele degli Scalzi* (grado ponderato = 2994.087481), i quali non solo sono ampiamente connessi, ma mostrano anche relazioni più intense, a differenza di nodi come *Pisa_S.Zeno* (grado ponderato = 545.240642), caratterizzati da legami più deboli. L'eccentricità, che misura la massima distanza di un nodo dagli altri, colloca *Pisa_S.Andrea Forisportam* (eccentricità = 2) in una posizione relativamente centrale, mentre *Sardara_Castello di Monreale* (eccentricità = 0) appare come il nodo più periferico. La centralità di vicinanza, che valuta la prossimità di un nodo agli altri, è particolarmente elevata per *Pisa_S.Michele degli Scalzi* (0.727273), suggerendo una rapida accessibilità a gran parte della rete, a differenza di nodi come *Pisa_S.Zeno* (0.45283), che risultano più distanti. La centralità di vicinanza armonica, che attribuisce maggiore peso ai nodi vicini, conferma l'importanza di *Pisa_S.Michele degli Scalzi* (0.826389) come nodo centrale, mentre i valori più bassi indicano una posizione più marginale. La centralità di intermediazione, che misura il ruolo di un nodo come ponte tra altri, è particolarmente rilevante per *Pisa_S.Michele degli Scalzi* (9.398016), che svolge un ruolo cruciale nel flusso di informazioni, a differenza di nodi come *Roma_Santa Maria Maggiore* (centralità di intermediazione = 0), che hanno un'influenza limitata. Infine, la classe di modularità identifica comunità di nodi strettamente interconnessi: la maggior parte dei nodi di Pisa appartiene alla classe 1, mentre *Pisa_S.Zeno* e *Parlascio_SS:Quirico e Giulietta* appartengono rispettivamente alle classi 2 e 3, indicando una possibile appartenenza a comunità distinte. In sintesi, nodi come *Pisa_S.Andrea Forisportam* e *Pisa_S.Michele degli Scalzi* emergono come centrali e altamente connessi, mentre nodi come *Sardara_Castello di Monreale* rappresentano elementi periferici con un'influenza limitata sulla rete.

Nonostante, come detto, i risultati presentati siano preliminari, l'approccio metodologico adottato si dimostra solido e promettente, offrendo una visione dettagliata della struttura e delle dinamiche della rete. Le misure di centralità e le metriche di comunità utilizzate hanno permesso di identificare chiaramente nodi chiave, relazioni forti e gruppi coesi, evidenziando il potenziale di questo *framework* analitico.

7. Conclusioni

La *network analysis* (NA) si è rivelata uno strumento metodologico di grande valore per l'archeologia, offrendo nuove prospettive nell'interpretazione dei dati complessi e nella comprensione delle dinamiche sociali, economiche e culturali

delle società antiche. Uno dei principali punti di forza della NA è la capacità di visualizzare e analizzare le reti attraverso misure quantitative, tra cui le misure di centralità (*degree*, *closeness*, *betweenness*) e di modularità. Queste metriche permettono di individuare i nodi centrali e le strutture di comunità, contribuendo a una lettura più sofisticata delle connessioni tra siti e artefatti. La revisione bibliografica ha mostrato come le applicazioni della NA siano cresciute significativamente negli ultimi vent'anni, con un'ampia diversificazione di metodi e strumenti. Tra i software più utilizzati figurano Pajek, R e Ucinet, mentre le tipologie di reti più comuni sono le *single-mode networks* e le *two-mode networks*.

Nel campo dell'archeologia medievale, tuttavia, l'applicazione della NA è risultata ancora limitata rispetto ad altri periodi storici. Nonostante il lavoro pionieristico di Pitts sulle reti commerciali della Russia medievale e gli studi successivi di Sindbaek sulle reti sociali vichinghe, la NA nel contesto medievale è stata impiegata in maniera disomogenea. Gli studi recenti sulla ceramica del Medio Niger e sulle reti di segnalazione visiva nell'Himalaya dimostrano, però, come la NA possa fornire interpretazioni innovative anche in ambito medievale, evidenziando connessioni su scala locale e regionale.

La nostra applicazione sulla ceramica andalusa in Italia ha ulteriormente mostrato il potenziale della NA per identificare *pattern* di distribuzione e connessioni tra siti. L'uso del coefficiente di Brainerd-Robinson ha permesso di creare reti di similarità, mettendo in luce l'importanza di nodi chiave e dinamiche di scambio. L'applicazione di misure di centralità e modularità ha rivelato la presenza di cluster ben definiti e di nodi strategici nella rete di distribuzione.

La *network analysis*, da approccio inizialmente giovane e di nicchia, è maturata negli ultimi due decenni, diventando uno strumento metodologico consolidato e ampiamente applicato nell'archeologia per l'interpretazione di dati complessi e dinamiche sociali. L'integrazione di approcci computazionali e l'adozione di modelli multilivello potranno ampliare ulteriormente le potenzialità della NA in archeologia medievale e in altri contesti storici.

Acknowledgments

Sebbene il contributo sia il risultato di un lavoro congiunto tra i due autori, Marco Moderato ha scritto i paragrafi 1, 2, 5, e 7 mentre Dario Nincheri ha scritto i paragrafi 4 e 6. Il paragrafo 5 è stato scritto congiuntamente.

Abstract

This paper examines the theoretical foundations and practical applications of Network Analysis (NA) in archaeology, with a specific focus on medieval archaeology. After outlining the methodological and conceptual background of NA, a systematic review of literature (up to 2025) highlights the diversity of approaches, software tools, and network types. While NA has been extensively applied in prehistoric and Roman contexts, its use in medieval archaeology remains limited. Nevertheless, recent research on visibility networks and ceramic distribution demonstrates the potential of NA for medieval studies. A case study is presented on similarity networks between Andalusian ceramic contexts along the Italian coast, employing the Brainerd-Robinson coefficient, showcasing the analytical power of NA to reconstruct patterns of distribution and interaction.

Keywords: network analysis, medieval archaeology, material culture, centrality, spatial network.

Questo articolo esplora i fondamenti teorici e le applicazioni pratiche della Network Analysis (NA) in archeologia, con particolare attenzione all'archeologia medievale. Dopo una panoramica metodologica e concettuale della NA, viene presentata una revisione sistematica della letteratura (fino al 2025) che evidenzia l'eterogeneità degli approcci, dei software impiegati e dei tipi di reti utilizzate. Sebbene la NA sia stata ampiamente applicata in ambiti preistorici e romani, il suo impiego in archeologia medievale risulta ancora sporadico. Tuttavia, alcuni recenti studi dimostrano le potenzialità dell'approccio anche per il Medioevo; in particolare, viene presentato un caso studio sull'analisi delle similarità tra contesti ceramici andalusi lungo le coste italiane, mostrando l'utilità della NA per ricostruire reti di distribuzione e interazione.

Parole chiave: network analysis, archeologia medievale, cultura materiale, centralità, reti spaziali.

Bibliografia

- V. AMATI, T. SHAFIE, U. BRANDES 2018, *Reconstructing Archaeological Networks with Structural Holes*, "Journal of Archaeological Method and Theory", 25(1), pp. 226–253. DOI: 10.1007/s10816-017-9335-1.
- S.P. BORGATTI, M.G. EVERETT 1997, *Network analysis of 2-mode data*, "Social Networks", 19(3), pp. 243-269. DOI: 10.1016/S0378-8733(96)00301-2.
- T. BRUGHMANS, A. COLLAR, F. COWARD (eds) 2016, *The Connected Past: Challenges to Network Studies in Archaeology and History*, Oxford.
- T. BRUGHMANS, B.J. MILLS, J. MUNSON, M.A. PEEPLES (eds) 2024, *The Oxford Handbook of Archaeological Network Research*, Oxford.
- T. BRUGHMANS, M. PEEPLES 2017, *Trends in Archaeological Network Research: A Bibliometric Analysis*, "Journal of Historical Network Research", 1, pp. 1-24. DOI: 10.25517/jhnr.v1i1.10.
- T. BRUGHMANS, M.A. PEEPLES 2020, *Spatial networks*, in M. GILLINGS, P. HACIGÜZELLER, G.R. LOCK (eds), *Archaeological Spatial Analysis: A Methodological Guide*, London, pp. 273-295.
- T. BRUGHMANS, M.A. PEEPLES 2023, *Network Science in Archaeology*, Cambridge.
- P. CIMADOMO, C. GALLUCCIO, G. RAGOZINI 2020, *Analisi delle reti e archeologia: il caso studio della Galilea*, "Archeologia e Calcolatori", 31(1), pp. 77-96. DOI: 10.19282/ac.31.1.2020.04.
- E. CLASSEN 2008, *Early Neolithic Social Networks in Western Germany*, in *Layers of Perception, Layers of Perception*, Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) (Berlin, April 2-6, 2007), Berlin, p. 372.
- A. COLLAR, F. COWARD, T. BRUGHMANS, B.J. MILLS 2015, *Networks in Archaeology: Phenomena, Abstraction, Representation*, "Journal of Archaeological Method and Theory", 22(1), pp. 1-32. DOI: 10.1007/s10816-014-9235-6.
- S.A. CRABTREE, J.A. DUNNE, S.A. WOOD 2021, *Ecological networks and archaeology*, "Antiquity", 95(381), pp. 812-825. DOI: 10.15184/aqy.2021.38.
- G. CSÁRDI, T. NEPUSZ, K. MÜLLER, S. HORVÁT, V. TRAAG, F. ZANINI, D. NOOM 2025, *igraph for R: R interface of the igraph library for graph theory and network analysis*, DOI: 10.5281/ZENODO.7682609.
- L. DONNELLAN (ed) 2020, *Archaeological Networks and Social Interaction*, London. DOI: 10.4324/9781351003063.
- P.R. DUFFY 2020, *River networks and funerary metal in the Bronze Age of the Carpathian Basin*, "PLoS ONE", 15(9), 120. DOI: 10.1371/journal.pone.0238526
- G. FAIRCLOUGH 1992, *Meaningful constructions – spatial and functional analysis of medieval buildings*, "Antiquity", 66(251), pp. 348-366. DOI: 10.1017/S0003598X00081461.
- C. FILET, F. ROSSI 2024, *Network Methods and Properties in BRUGHMANS et al. 2024*, pp. 15-33.
- F. FULMINANTE 2012, *Social Network Analysis e società complesse emergenti: un caso di studio sul Latium Vetus*, in N. CATACCHIO NEGRONI (ed), *Preistoria e Protostoria in Etruria*, Milano, pp. 653-670.
- N. GESTRICH, J.-M. PUERTA SCHARDT 2024, *Pottery décor as networks on the Middle Niger, Mali*, "Azania: Archaeological Research in Africa", 59(3), pp. 396-432. DOI: 10.1080/0067270X.2024.2380219.
- B.G. DE GROOT 2019, *A Diachronic Study of Networks of Ceramic Assemblage Similarity in Neolithic Western Anatolia, the Aegean and the Balkans (c.6600–5500 BC)*, "Archaeometry", 61-2, pp. 600-613. DOI: 10.1111/arcm.12450.
- L. ISAKSEN 2008, *The application of network analysis to ancient transport geography: A case study of Roman Baetica*, "Digital Medievalist", 4(0). DOI: 10.16995/dm.20.

- C. KNAPPETT 2011, *An Archaeology of Interaction: Network Perspectives on Material Culture and Society*, Oxford. DOI: 10.1093/acprof:osobl/9780199215454.001.0001.
- C. KNAPPETT, R. RIVERS, T. EVANS 2011, *The Theran eruption and Minoan palatial collapse: new interpretations gained from modelling the maritime network*, "Antiquity", 85(329), pp. 1008-1023. DOI: 10.1017/S0003598X00068459.
- M. LATAPY, C. MAGNIEN, N. DEL VECCHIO 2008, *Basic notions for the analysis of large two-mode networks*, "Social Networks", 30(1), pp. 31-48. DOI: 10.1016/j.socnet.2007.04.006.
- T.F. MARTIN 2020, *Casting the Net Wider: Network Approaches to Artefact Variation*, "Journal of Archaeological Method and Theory", 27, pp. 861-886. DOI: 10.1007/s10816-019-09441-x.
- B.J. MILLS, J.J. CLARK, M.A. PEEPLES, W.R. HAAS JR., J.M. ROBERTS JR., J.B. HILL, D.L. HUNTLEY, L. BORCK, R.L. BREIGER, A. CLAUSET, M.S. SHACKLEY 2013, *Transformation of social networks in the late pre-Hispanic US Southwest*, "Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America", 110(15), pp. 5785-5790. DOI: 10.1073/pnas.1219966110.
- B.J. MILLS 2017, *Social network analysis in archaeology*, "Annual Review of Anthropology", 46, pp. 379-397. DOI: 10.1146/ANNUREV-ANTHRO-102116-041423.
- F. MORENO-NAVARRO 2024, *Similarity in Consumption Patterns among Peasant Communities in Roman Central Hispania through Network Science*, "Journal of Computer Applications in Archaeology", 7(1), pp. 19-35. DOI: 10.5334/jcaa.120.
- J. OKSANEN *et al.* 2025, *vegan: Community Ecology Package*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- H.A. ORENGO, A. LIVARDA 2016, *The seeds of commerce: A network analysis-based approach to the Romano-British transport system*, "Journal of Archaeological Science", 66, pp. 21-35. DOI: 10.1016/j.jas.2015.12.003.
- P. ÖSTBORN, H. GERDING 2014, *Network analysis of archaeological data: a systematic approach*, "Journal of Archaeological Science", 46, pp. 75-88. DOI: 10.1016/j.jas.2014.03.015.
- M. PEEPLES 2011, *R Script for Calculating the Brainerd–Robinson Coefficient of Similarity and Assessing Sampling Error*. <https://www.mattpeeples.net/BR.html>
- M.A. PEEPLES 2018, *Connected Communities: Networks, Identity, and Social Change in the Ancient Cibola World*, Tucson.
- F.R. PITTS 1978, *The medieval river trade network of Russia revisited*, "Social Networks", 1(3), pp. 285-292. DOI: 10.1016/0378-8733(78)90025-4.
- R CORE TEAM 2024, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna.
- N.S. RAWAT *et alii* 2021, *Networked medieval strongholds in Garhwal Himalaya, India*, "Antiquity", 95(381), pp. 753-772. DOI: 10.15184/aaq.2021.4.
- I. ROMANOWSKA 2024, *Complexity Science and Networks in Archaeology*, in BRUGHMANS *et al.* 2024, pp. 265-279.
- P. DE SOTO 2019, *Network Analysis to Model and Analyse Roman Transport and Mobility*, in P. VERHAGEN, J. JOYCE, M.R. GROENHUIJZEN (eds), *Finding the Limits of the Limes*, Cham, pp. 271-289. DOI: 10.1007/978-3-030-04576-0_13.
- S.M. SINDBÆK 2007, *Networks and nodal points: the emergence of towns in early Viking Age Scandinavia*, "Antiquity", 81(311), pp. 119-132. DOI: 10.1017/S0003598X00094886.
- D.J. WATTS 1999, *Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomness*, Princeton.