

L'ENTROPIA DELL'ARCHEOLOGIA COMPUTAZIONALE OVVERO DALL'ORDINE AL DISORDINE

1. PREMESSA

Gli storici delle scienze insegnano che ogni svolta nella cultura è il frutto concomitante di condizioni sociali favorevoli e proposte di innovazione convincenti (CINI 1994). La scienza può allora essere sottoposta ad una analisi storica orientata a consentire, a quanti fanno ricerca, la comprensione di quei meccanismi sociali che influenzano la loro pratica (BOURDIEU 2003). I cambiamenti non avvengono quindi semplicemente in virtù del progresso tecnologico cumulativo e delle nuove frontiere raggiunte dalla conoscenza. Se ciò fosse vero avremmo un modello di scienza totalmente ingabbiato in una prospettiva “filosofica”: quella cioè di fornire risposte adeguate e sufficienti, valide in ogni tempo ed in grado di presentare soluzioni soddisfacenti ed illimitate. L'emergere di un nuovo pensiero scientifico non ha origine dal semplice progresso della conoscenza che consente di spiegare in forma razionale e più convincente qualsiasi fenomeno, processo o evento naturale. Affinché affiori un nuovo paradigma scientifico occorrono nuove domande e nuove risposte che diano alternative valide a quel diverso modo di leggere i nessi nella realtà naturale che – secondo KUHN (1969) – nasce «principalmente nell'evoluzione dell'organizzazione sociale». Sembra dunque che scienza e società si influenzino, muovendosi in modo parallelo e reciproco, nelle pratiche, nei comportamenti e nelle credenze.

Partendo dal presupposto che progresso scientifico e clima culturale procedono in forma dialettica, il presente contributo si propone di indagare il rapporto che esiste tra pensiero scientifico, archeologia ed informatica. Altrove l'incontro tra questi mondi apparentemente così diversi è stato definito «acritico, di tipo ingenuo e tecnologicamente positivista» (D'ANDREA, NICCOLUCCI 2001, 199). La presenza di una visione ancora razionalizzante dell'informatizzazione spinge gli archeologici verso percorsi per così dire *technology-driven* o *application-oriented* rispetto ai quali è dominante la quantità delle informazioni da manipolare e gestire. L'attenzione agli aspetti quantitativi – paradossalmente giudicata in termini di produttività ed efficienza – non è bilanciata da una adeguata riflessione sul nesso esistente tra teoria archeologica, informatica e formalismo matematico. E domina in campo archeologico, come in altri settori di ricerca, un atteggiamento in cui l'aspettativa generale di fiducia nella tecnologia appare di tipo deterministico; in questa prospettiva la tecnologia è considerata neutrale ed indipendente rispetto ai rivolgimenti della società (HUGGET 2000).

Questa attitudine, in cui possiamo riconoscere elementi spesso quasi messianici (nell'attesa dell'avvento della prossima *release*), finisce con il rimuove-

re ogni forma di discussione e di approfondimento sulla natura del dato archeologico. Eppure si tratta di un argomento dal cui esito dipende qualsiasi analisi. L'opposizione teoria-pratica alimenta dunque il convincimento di un computer adoperato come strumento per fini di conservatorismo. Ma come nasce l'oggetto archeologico all'interno del processo interpretativo? Attraverso quale linguaggio (naturale, formale) lo descriviamo? Come l'oggetto (allo stato "naturale"), attraverso un processo di normalizzazione/strutturazione, diviene informazione?

Intorno al problema della strutturazione e dell'analisi dei dati è sorto negli ultimi anni un ampio dibattito. I. HODDER (1999, 16) ha sostenuto che «...whether an object in the ground has any chance of becoming an "archaeological object" depends on the perspectives and methods of the recovery process». Si può aggiungere che oltre ai metodi ed alle prospettive un aspetto, non marginale, da tenere in grande considerazione è come il dato "riscoperto" viene formalizzato nel processo di ricerca. Risulta quindi evidente che non può esistere alcuna normalizzazione digitale che abbia nella presunta neutralità il suo elemento di forza se tra le tecniche di indagine, che Hodder ricorda nel procedimento di scoperta, inseriamo anche quelle più genericamente riconducibili all'informatica.

La discussione sulla normalizzazione dei dati si è di recente allargata fino a comprendere nuove forme di codifica dei dati: l'approccio fuzzy ed il metodo bayesiano. La logica fuzzy, come il modello bayesiano, sembra rappresentare una innovativa forma di rappresentazione dei dati che meglio si adatta alla realtà del ragionamento archeologico; contrapponendosi ad un uso "razionalizzante" della statistica finalizzata, nella logica processualista, ad espellere la soggettività, nella descrizione dell'oggetto viene incorporata l'esperienza umana.

Prima di esaminare questi formalismi ripresi dalla matematica, dobbiamo sottolineare che l'assenza (troppo frequente) di una attitudine critica al lavoro che si realizza, cui si aggiunge un insufficiente confronto metodologico, conduce ad un preoccupante stallo nella nostra disciplina. Per descrivere questa anomalia, che produce un pericoloso stato di equilibrio, ho scelto il termine di entropia dell'archeologia computazionale. L'espressione richiama volutamente un insieme di teorie (fisiche, statistiche ed informatiche) che spiegano come in modo naturale e spontaneo uno stato ordinato e non caotico giunga verso stati con maggiore entropia e quindi di maggiore caos e disordine. Questo sembra essere oggi il quadro dominante della nostra disciplina di frequente chiusa tra autarchia, autoreferenzialità e mito della produttività.

Come dimostra la legge dell'entropia, per invertire la tendenza al caos occorre acquisire nuova energia dall'esterno. Ciò significa che il confronto deve allargarsi ad altri saperi, senza però determinare nuove dipendenze e subalternità. È necessario cioè ridiscutere in modo nuovo un rapporto tra archeologia, scienza e società, abbandonando l'impostazione che aveva caratterizzato l'archeologia a partire dal neo-positivismo della New Archaeology. Solo una rilettura delle innovazioni introdotte in campo scientifico nel secolo

scorso, soprattutto nel settore della epistemologia, consentirà di superare ogni assoggettamento a visioni scientifiche oramai superate. In questo senso comprendere la legge dell'entropia come funzione per ridurre la naturale inclinazione al disordine, al caos, potrà aiutare a capire quali passi intraprendere e soprattutto quale atteggiamento mentale assumere per imprimere un radicale cambiamento di rotta nella nostra disciplina.

La questione che tenteremo di affrontare nel presente contributo riguarda quindi la possibilità di definire differenti modalità di rappresentazione formale e quindi di analisi di un oggetto. Queste soluzioni, attinte da altri campi del sapere, non dipendono solo dal modello – teorico ed astratto – che abbiamo scelto per la riproduzione digitale della realtà. Esse costituiscono un atteggiamento riflessivo ed una pratica di ricerca che consentono di articolare in modo flessibile la formalizzazione e la strutturazione delle informazioni senza cadere nel tranello dell'opposizione vero/falso e della presunta neutralità dei metodi informatici in archeologia. Il tema, a ben vedere, non appare circoscrivibile al solo ambito della nostra disciplina, ma si estende fino a comprendere problematiche che risultano determinanti per la ricerca archeologica nel suo complesso.

2. LA MISURA DELL'ENTROPIA

Dare una definizione unica e sintetica di entropia non è possibile, perché l'entropia può essere presentata sotto vari aspetti e si può giungere ad una sua descrizione con approcci diversi. Essendo un concetto scientifico, introdotto da Rudolph Clausius nel 1865, la sua definizione dipende dallo stato della teoria all'interno della quale viene utilizzato (termodinamico, statistico-probabilistico, informatico ecc.). In ogni caso l'entropia è la tendenza di un sistema ad andare "spontaneamente" verso stati di disordine (più probabili).

Considerando che l'evoluzione di un sistema avviene generalmente verso eventi più probabili, la crescita dell'entropia in relazione alla conoscenza di un determinato sistema può essere interpretata come mancata conoscenza, ovvero disordine. Allora l'informazione è più significativa quanto più improbabile; analogamente il messaggio più probabile è privo di significato perché massimo di entropia. In questo senso l'entropia è adoperata per descrivere la misura del disordine di un sistema che, dallo stato di ordine con bassa entropia e buona conoscenza, passa ad uno stato complesso e disordinato con più informazione e maggiore entropia; le informazioni lasciate a sé stesse si disperdono se non sono strutturate, organizzate e gestite utilmente. In un sistema chiuso l'aumento dell'entropia è dunque inevitabile e l'evoluzione verso stati più probabili e caotici è irrisolvibile. Per ristabilire l'equilibrio e l'ordine è necessaria entropia "negativa"; ma essa giunge soltanto dall'esterno nei sistemi aperti.

Tre sono gli aspetti che caratterizzano quindi l'entropia: l'irreversibilità dei processi naturali, la degradazione dell'energia, l'evoluzione spontanea

dei sistemi dall'ordine al disordine. In questa prospettiva sono interessanti i risvolti con le teorie statistiche e con le teorie dell'informazione che, in particolare, possono essere trattati con lo stesso formalismo matematico.

Accanto all'espansione tecnologica dell'era informatica, il XX secolo ha visto anche un'estensione per quanto riguarda la comprensione che abbiamo della natura dell'informazione. Si è cominciato a comprendere la relazione fondamentale che sembra esistere tra linguaggio, informazione, energia ed entropia. Ha iniziato a svilupparsi una fisica dell'informazione che suggerisce che le relazioni informative sono importanti quanto quelle materiali e quelle causali. L'informatica segna dunque un cambiamento nella nostra visione del mondo così come della tecnologia determinando la fine della prospettiva meccanicista (galileiana e newtoniana) dell'era industriale.

Rinunciando alla fede nella scienza positivista, ancora presente in larghi settori della comunità scientifica archeologica (in particolare italiana), è possibile abbandonare ogni forma di determinismo tipico dell'approccio processualista e volgere lo sguardo verso nuovi formalismi. Se la realtà esiste soltanto perché è dimostrabile sperimentalmente la sua esistenza, il ragionamento archeologico viene piegato ad una rigidità formale che non corrisponde alla natura del processo interpretativo archeologico. Non dobbiamo adattare le descrizioni a questa modalità di normalizzazione, ma al contrario dobbiamo indagare quali formalismi consentano una maggiore flessibilità all'obiettivo del nostro lavoro di codifica dell'oggetto.

Il sistema – talvolta chiuso – dell'archeologia computazionale deve quindi confrontarsi con nuovi apporti interdisciplinari; le informazioni prodotte non devono limitarsi in modo quantitativo ad aggiungersi le une alle altre, ma devono descrivere compiutamente il sistema. Più informazioni – intese quantitativamente – corrispondono a maggiore disordine; maggiore descrizione comporta invece il ristabilimento di un ordine e di uno stato di equilibrio del sistema.

L'analogia con la funzione dell'entropia sul piano della fisica dell'informazione dovrà spingere, a mio giudizio, i ricercatori a riflettere sulla necessità di un maggiore approfondimento teorico e metodologico ben oltre la lettura attenta dei manuali del software. Ma per non essere subalterni e dipendenti da un nuovo modello, la riflessione dovrà essere estesa ad indagare quale sia oggi il rapporto tra società, scienza ed archeologia focalizzando in particolare il ruolo che le tecnologie assumono nel panorama dei saperi scientifici. Se è vero, come sostiene G. LOCK (2003), che tra visioni estreme come quelle processuali e post-processuali, la maggior parte degli archeologi fa riferimento a pratiche e metodi tradizionali sperimentati da lungo tempo (ed il computer oramai fa parte degli strumenti di base dell'archeologo), dobbiamo respingere qualsiasi sorta di assuefazione ad una presunta neutralità delle tecniche informatiche in archeologia.

3. ARCHEOLOGIA TRA SCIENZA E SOCIETÀ

Il tema archeologia, società e scienza è divenuto centrale nel dibattito teorico degli ultimi anni soprattutto nell'ambito della cosiddetta Post-Processual Archaeology. In opposizione alla impostazione della Processual Archaeology, interessata a trasformare l'archeologia in scienza con una particolare enfasi sulla oggettività, la Post-Processual Archaeology ha evidenziato il ruolo dell'archeologia come pratica sociale in cui la ricostruzione dell'antico esiste solo in relazione dialettica con il presente (HODDER 1991).

L'affermazione sembra riflettere una sorta di "dipendenza" del pensiero archeologico dal più vasto *corpus* di conoscenze e teorie generali. TRIGGER (1981) ha sostenuto che i cambiamenti nel pensiero archeologico sono influenzati dai rivolgimenti sociali e da quelle attitudini e prospettive su cui gli archeologi non hanno un controllo diretto. I cambiamenti della teoria e della pratica archeologica sarebbero quindi soltanto lo specchio passivo del più ampio contesto sociale. Secondo SHANKS e TILLEY (1987) la subalternità evidenziata da Trigger dimostrerebbe paradossalmente che gli archeologi non hanno una intelligenza attiva, ma sono soltanto in grado di riflettere le condizioni sociali della loro esistenza piuttosto che tentare di mutarle. Tuttavia, poiché non esiste una concezione della società che genera un consenso normativo in ciascun individuo, essi sembrano respingere l'ipotesi di Trigger.

Quanto gli archeologi siano dipendenti dal pensiero e dalle teorie che si diffondono nella società resta senza dubbio una questione aperta. Certamente una influenza tecnologica è presente nella pratica e nella metodologia archeologica. Dobbiamo allora domandarci se tale influenza sia solo di tipo "funzionale", cioè un cambiamento che non genera alcuna modificazione nei comportamenti e nelle attitudini degli archeologi o se, al contrario, proprio l'acquisizione di nuovi strumenti non determini anche un cambiamento nella teoria e nella impostazione della ricerca.

Una stretta correlazione tra scienza e archeologia è emersa per la prima volta in modo prepotente con la comparsa della New Archaeology e con l'affermazione del metodo scientifico hempeliano contrapposto ad una visione tradizionale empirica e soggettiva della percezione: l'apporto del positivismo ha determinato l'emergere di una sorta di oggettività intesa come misurazione e registrazione quantitativa dei fenomeni archeologici. In seguito tale approccio è stato fortemente criticato dalle differenti correnti di pensiero raggruppate nella Post-Processual Archaeology: anche questi indirizzi, sebbene orientati da diversi atteggiamenti e presupposti, sono stati fortemente influenzati dal post-modernismo e dalle visioni e teorie che si erano affermate nella comunità scientifica, ed in modo particolare nel campo dei fisici, anni addietro.

Nel campo della conoscenza scientifica oramai è acquisito che il dato è parte di un linguaggio descrittivo che, sebbene pretenda di essere "oggettivo"

e “neutrale”, finisce per essere tutto all'interno di un mondo già noto; non esiste un linguaggio naturale che sia in grado di spiegare un oggetto senza sovrapporre alla descrizione stessa dell'oggetto una teoria. I dati assumono quindi un valore soltanto all'interno di un modello o cornice di riferimento: non è sufficiente l'osservazione sistematica, la misurazione e la registrazione in senso quantitativo di un oggetto per avere l'oggettività del dato; KUHN (1969) ha sottolineato che ad un insieme di dati è sempre possibile sovrapporre più di una costruzione teorica. Allora il dato – e di conseguenza il processo di conoscenza – nasce all'interno di un linguaggio che tenta di spiegare (e modellizzare) una realtà complessa senza descriverla e rappresentarla in modo compiuto, ma solo in forma approssimativa.

Quanto fosse lontano già agli inizi del secolo scorso l'approccio scientifico rispetto al positivismo newtoniano è contenuto in una celebre frase di Einstein il quale, a proposito del formalismo come entità descrittiva oggettiva, sottolinea che «Nella misura in cui le leggi della matematica si riferiscono alla realtà non sono certe. E nella misura in cui sono certe, non si riferiscono alla realtà» (EINSTEIN 1921, 123-124). L'abbandono di un modello di scienza capace di spiegare in termini matematici tradizionali (la statistica classica) il mondo fisico viene sancito, almeno dagli anni '20, con il celebre principio di indeterminazione di Heisenberg e con il riconoscimento da parte di Bohr della impossibilità di separare in modo univoco l'oggetto osservato e lo strumento di misura (su questi temi, CINI 1994, 71-72). La conclusione a cui i fisici giungono nella prima metà del secolo scorso è la fine del paradiso della scienza galileiana e newtoniana indirizzata a conoscere in modo formale e razionale il mondo attraverso leggi. Il passaggio epocale è rappresentato dalla impossibilità di attribuire un significato alla realtà fisica indipendentemente dai mezzi di osservazione. Sembra quindi paradossale che nel momento in cui l'archeologia tenta di diventare scienza con l'avvento della New Archaeology, i riferimenti assunti a modello sono oramai vecchi arnesi della fisica.

4. IL DATO NELLA RICERCA ARCHEOLOGICA

Se, come è stato dimostrato, esiste nel campo delle cosiddette scienze esatte uno stretto rapporto tra oggetto e soggetto, diviene centrale nel processo conoscitivo comprendere come si giunge alla “creazione” del dato, sapendo che la semplice esperienza sensibile non è neutra e che le teorie stesse non sono semplicemente interpretazioni di dati inequivocabili. KUHN (1969) ricorda che le operazioni e le misurazioni eseguite in laboratorio non sono il “dato” dell'esperimento, ma piuttosto «ciò che viene rilevato con difficoltà» e se il linguaggio che adoperiamo si limita a descrivere un mondo completamente conosciuto in anticipo, non può riferire il “dato” in maniera totalmente neutrale ed obiettiva. Secondo Kuhn la ricerca filosofica non ha finora

fornito neppure un vago accenno su come dovrebbe essere fatto un linguaggio capace di fornire una descrizione oggettiva e neutrale di ciò che registra.

I. HODDER (1999, 36) ha affermato che «...you cannot see “what is there” until you know how to look for it». Occorre allora concentrarsi:

- sulla definizione chiara dei presupposti di partenza;
- sulle finalità di ricerca;
- su un processo di codifica che sia in grado di descrivere dati “altamente scientifici”, accurati e precisi;
- su come giungiamo a costruire, rappresentare e comunicare il dato.

Il dato nella visione tradizionale dall'archeologia pre-60 aveva origine in forma soggettiva; poi successivamente, in modo quantitativo (nominale e metrico) nell'approccio della Archeologia Processuale ed infine in forma contestuale, complessa e riflessiva nell'impostazione dell'Archeologia Post-Processuale. A ben vedere i punti di partenza sono profondamente differenti e non c'è bisogno di ricorrere ad alcuna teoria sistemica per dimostrare che i punti di arrivo diventano molto distanti tra loro. Gli archeologi (come i fisici) usano un formalismo matematico per trasformare la materialità degli oggetti in elementi di un discorso. Questo processo è fortemente arbitrario e finisce con il rappresentare spesso una forzatura della realtà fisica (il riduzionismo dell'Archeologia Processuale). Ma se il linguaggio matematico della scienza crea demarcazioni artificiali in bianco e nero, la ragione o il buon senso invece li sfumano (KOSKO 1995).

Nella ricerca di una verità oggettiva che muova da dati inoppugnabili e riconosciuti da tutti allo stesso modo e con lo stesso significato, gli archeologi sembrano cadere nel tranello di “forzare” le leggi della matematica (pensiamo ad esempio alla costruzione di liste di presenza/assenza di oggetti, alla creazione di elenchi di distribuzione ed alla costruzione di generalizzazioni di tipo *cross-cultural*) e di vedere il mondo con occhi sbagliati.

Coloro i quali sono maggiormente impegnati ad indagare le connessioni tra il dato archeologico e la sua manipolazione computazionale sembrano rincorrere il codice, il software, le applicazioni più spettacolari senza offrire alcun risultato scientifico realmente significativo ed innovativo. In questo quadro *technologically-oriented* l'aspetto meno indagato è, banalmente, il dato stesso e la sua creazione. Se è vero che la tecnologia informatica crea anche in campo archeologico una nuova visione dei dati, come il microscopio ha consentito il raggiungimento di importanti risultati in numerosi campi scientifici (GIDLOW 2000), è altrettanto vero che non viene adeguatamente esaminata la relazione tra dati e la loro adattabilità per analisi informatiche (LOCK 2003). Si pensa che il passaggio sia automatico e generato dal buon senso o dalla intuizione soggettiva dell'archeologo; addirittura si ritiene che il dato stesso sia utile solo in funzione delle analisi informatiche e non nell'ambito delle ricerche condotte dagli archeologi con mentalità e pratiche tradizionali.

Nonostante l'archeologia computazionale abbia senza dubbio saputo avvantaggiarsi di quella rivoluzione informatica che ha investito negli anni '80 l'intera umanità, non è oggi ancora possibile parlare di approdi teorici e metodologici verso i quali possano convergere gli studiosi. La proposta contenuta nel presente contributo va nella direzione di aprire il dibattito a modelli e modalità di rappresentazione non-neutrali, ma flessibili. Il punto di partenza risiede nella convinzione che esiste un rapporto metodologico stretto tra dati e procedure di analisi e sintesi e che tale relazione ha origine nella descrizione/strutturazione delle informazioni come stadio preliminare delle indagini. La rappresentazione dei dati avviene dunque in modo formale mediante modelli astratti di tipo soggettivo che discretizzano la realtà (ORLANDI 1996). Il livello concettuale prescelto deve essere comunicato affinché i risultati conseguiti possano avere un valore sul processo di conoscenza. In tale prospettiva la nostra cognizione circa il funzionamento e la teoria stessa dell'informatica non possono assumere un ruolo secondario o subalterno rispetto alla metodologia archeologica. Ed è proprio secondo questa impostazione che le applicazioni informatiche ed i metodi computazionali in archeologia assumono la dignità di disciplina autonoma.

5. IL FORMALISMO FUZZY

L'idea del formalismo matematico fuzzy, introdotto come teoria degli insiemi da L. Zadeh nel 1965, è l'assenza o la libertà dai modelli (KOSKO 1995). Sostiene Ebrahim Mandani (citato in KOSKO 1995, 199), il primo a ideare un sistema fuzzy, che: «L'idea fondamentale che c'è dietro questo approccio è quella di incorporare l'«esperienza» di un operatore umano nel progetto del dispositivo... I vantaggi principali di questo approccio sembrano essere la possibilità di rendere realmente attuabili la conoscenza basata su pure regole empiriche, l'intuizione, l'euristica e il fatto che esso non richiede un modello del processo».

Il fuzzy set costituisce un approccio matematico che incorpora nella descrizione dell'informazione l'incertezza. Non si tratta di una diversa teoria della probabilità, ma della definizione di un grado di appartenenza ad un insieme basato su regole empiriche determinate dall'osservatore. Una breve storia delle applicazioni fuzzy in campo archeologico è stata già delineata alcuni anni fa (CRESCIOLI, D'ANDREA, NICCOLUCCI 2000). A questo contributo e ad una più recente sintesi sull'argomento (NICCOLUCCI, HERMON 2003) si rimanda per una discussione più ampia delle tematiche qui trattate; in questa sede si fornirà un *excursus* dei settori nei quali la logica fuzzy è stata finora adoperata con risultati significativi.

L'introduzione dell'approccio fuzzy in archeologia risale alla fine degli anni '80 nel settore delle ricerche quantitative. Una delle prime sperimentazioni è stata realizzata, tra la fine degli anni '80 ed i primi anni del '90, nel campo

della statistica multivariata da parte di un gruppo di ricerca rumeno (DUMITRESCU, LAZAROVIC, POP 1989; DUMITRESCU, POP 1992). In Italia, dopo il contributo nel 1989 di due studiosi italiani interessati allo studio del carattere vago della datazione di opere d'arte dell'antichità e del Medioevo (SIGNORE, BARTOLI 1989), il primo intervento viene pubblicato nel 1990 e ha per oggetto alcuni antichi insediamenti lagunari databili genericamente tra il 1000 ed il 1400 d.C. (CANAL, CAVAZZONI 1990). La ricerca combina una classificazione di tipo K-mean con la logica fuzzy al fine di classificare i siti secondo un grado di appartenenza all'insieme individuato dall'analisi statistica e non in modo rigido come generalmente accade con le tecniche di classificazione multivariata. All'ambito funerario rinvia un contributo del 1995 relativo ad un campione composto da 23 necropoli dell'Asia Sarmata databili tra l'età del Bronzo ed il primo periodo Sauromata; il lavoro si basa sulla definizione di un indice di appartenenza o peso per ogni singolo sepolcreto rispetto al centro del raggruppamento definito dalla cluster analysis (BORODKIN, GARSKOVA 1995).

Se in un primo tempo la logica fuzzy viene adoperata in combinazione con le metodiche classiche di classificazione automatica, successivamente l'indeterminatezza si mantiene nella strutturazione dei dati. È il caso questo di un contributo che tenta sperimentalmente di determinare la cronologia degli insediamenti della Toscana centro-meridionale tra l'XI ed il XIV sec. d.C. partendo dalle date incerte o generiche riportate dalle fonti storiche; a tal riguardo è risultato determinante recuperare, all'interno della struttura dei dati, l'indeterminatezza delle date sotto forma di valori ottenuti con un processo detto di "fuzzificazione" (NICCOLUCCI, PARDI, ZOPPI 1996). La tematica ritorna in un contributo di J. BAGG e N. RYAN (1997), indirizzato a risolvere i problemi derivanti dai tipi di intervalli di tempo nei database relazionali.

Alla metà degli anni '90 la logica fuzzy viene estesa ad altri campi applicativi e non più soltanto alle analisi quantitative (PUYOL-GRUART 1999). In particolare l'approccio fuzzy viene introdotto nei sistemi esperti allo scopo di consentire la ricostruzione della attribuzione di un frammento ad un tipo ceramico noto determinando il grado di appartenenza delle singole variabili che compongono l'oggetto-tipo (BARCELÓ 1996). Le variabili selezionate per ciascun frammento descrivono una rete di nodi la cui relazione espressa nell'intervallo -1 e +1 consente di collegare gli attributi secondo un indice di probabilità di appartenenza del frammento al vaso.

Negli stessi anni, accanto allo sviluppo crescente dei GIS, si afferma una nuova direttrice di evoluzione che integra nel modello-dati geografico la teoria fuzzy finalizzata alla costruzione di una architettura utile per la gestione sia della localizzazione generica dei siti archeologici con confini spaziali non sempre ben definiti, che della cronologia imprecisa (BURROUGH, FRANK 1996; RYAN 1996). Un primo approccio è stato proposto nel 1995 all'interno dell'analisi delle mappe di visibilità cumulativa in rapporto alla incertezza nel modo di

costruzione del DEM (interpolazione, precisione delle quote ecc.) e nella ubicazione indeterminata dei siti (WHEATLEY 1995). I nuovi principi del *fuzzy viewshed* saranno ripresi nel 1997 in due ricerche condotte da un gruppo belga sull'applicazione dell'algoritmo di Monte-Carlo per la stima di visibilità e sulla ricostruzione del sistema difensivo della città ellenistica di Sagalassos (LOOTS, NACKAERTS, WAELKENS 1999; NACKAERTS, GOVERS, LOOTS 1999). Ancora all'ambito territoriale, ma alla sfera dei modelli predittivi, rinvia una più recente ricerca condotta sull'ipotesi di localizzazione dei siti preistorici dell'isola di Melo in Grecia (HATZINIKOLAOU *et al.* 2003). Il lavoro propone l'impiego della logica fuzzy per la descrizione delle variabili ambientali estratte dal GIS e la "fuzzificazione" di quindici regole esperte del tipo "if...then" che riflettono sia le esperienze archeologiche che la conoscenza delle caratteristiche dell'isola.

Fuzzy ed intelligenza artificiale ritornano nel 1997 in una indagine, che interessa le fortificazioni costruite dai Maori in Nuova Zelanda nel tardo 1700, e finalizzata alla realizzazione di un programma, il fuzzyCOPE, da inserire come elemento addizionale nelle procedure di analisi spaziale dei GIS (REELER 1997). In questa ricerca la logica fuzzy costituisce un elemento di correzione dei dati dopo l'elaborazione di una classificazione gerarchica multivariata; le variabili fuzzy consentono di determinare un bilanciamento dei gruppi rappresentati dalla cluster analysis, nonché una maggiore precisione delle regole estratte per la definizione dei raggruppamenti stessi.

Le ricerche, qui brevemente richiamate, offrono un panorama dei possibili campi di applicazione della logica fuzzy. Impiegata dapprima sul versante dell'analisi della struttura dei database e la conseguente inclusione di variabili fuzzy al loro interno, successivamente l'obiettivo degli studiosi sembra essersi orientato verso l'integrazione dei principi del fuzzy nelle procedure di analisi poli-dimensionali e poi nel settore dell'intelligenza artificiale, dei sistemi esperti e delle reti neurali. Più ristretto è il quadro delle applicazioni all'interno delle tecnologie di analisi spaziale, ad eccezione del settore degli studi di intervisibilità, nel quale il ricorso alla logica fuzzy sembra connesso principalmente con la necessità di trattare dati geografici e storici inadeguati e spesso imprecisi in un panorama tutto proiettato alla ricostruzione della percezione e visibilità del territorio.

Senza entrare nella discussione dei risultati scientifici conseguiti, va comunque sottolineato che l'approccio fuzzy ha il vantaggio di una dichiarazione distinta e soggettiva della descrizione dei dati adoperati nelle analisi. La ricerca condotta su un campione della necropoli di Pontecagnano (NICCOLUCCI, D'ANDREA, CRESCIOLI 2001) ha dimostrato che la diversa oscillazione nella attribuzione dei coefficienti del genere e nel riconoscimento del sesso dei defunti modifica profondamente i risultati finali del lavoro. Lo stesso approccio è stato seguito nella classificazione tipologica di manufatti litici (NICCOLUCCI, HERMON 2003): il confronto tra i valori percentuali della distri-

buzione dei tipi ottenuti ricorrendo alla logica fuzzy e quelli ricavati con approcci di tipo tradizionale documenta una diversa classificazione e quindi una profonda differenza nelle conclusioni e nell'interpretazione dei dati.

La logica fuzzy ci ricorda in sostanza che nel nostro processo di interpretazione storica dei fatti archeologici, compiamo costantemente e continuamente delle scelte, ma di queste decisioni e valutazioni non rimane spesso alcuna traccia nei procedimenti tradizionali di indagine. E con il tempo si perdono la memoria e i segni della proiezione delle nostre ipotesi sui dati.

6. IL FORMALISMO BAYESIANO

Il problema dell'esperienza e della conoscenza *a priori* ritorna nell'approccio bayesiano che in campo archeologico sembra avere avuto fino ad oggi migliore fortuna rispetto al metodo fuzzy almeno nel campo delle analisi archeometriche (BAXTER, BUCK 2000; BUCK 2001; COWGILL 2002).

Il teorema di Bayes (1763) permette di combinare dati registrati e/o misurati di un campione con la nostra conoscenza *a priori* di quel campione. Il metodo si basa sul principio, valido anche per l'archeologia, che spesso i dati a prima vista sono poveri di contenuto informativo, ma nello stesso tempo ricchi di informazioni *a priori*. In una analisi statistica sia i dati campionati che la conoscenza devono essere formulati in termini matematici come probabilità di distribuzione. Poiché allora non tutte le variabili di un campione sono equiprobabili deve essere costruita una nuova matrice di distribuzione in grado di incorporare, *a posteriori*, conoscenza, dati e risultati sperimentali acquisiti nel corso delle analisi; considerato che la stima delle probabilità è soggettiva e risulta in funzione della nostra conoscenza, è determinante formalizzare questo "sapere" per giungere ad una distribuzione statisticamente significativa basata su probabilità sperimentalmente note.

Il modello bayesiano nasce dall'assunto che la maggior parte delle condizioni iniziali sono non uniformi e che, quindi, l'induzione statistica può basarsi su osservazioni sperimentali basate su ipotesi alternative. Secondo COWGILL (2001) la maggior parte degli archeologi, che seguono la logica classica dell'inferenza, tendono ad essere nei fatti "folk bayesian" quando introducono elementi di peso nelle variabili trattate secondo classificazioni statistiche tradizionali. Nonostante questa attitudine, esiste una forte resistenza verso l'uso più ampio dell'approccio bayesiano poiché esso richiede un formalismo più rigoroso ed una esplicitazione chiara delle conoscenze e delle "credenze" circa il campione da esaminare (COWGILL 2002).

La matematica bayesiana è quindi uno strumento potente che fornisce la possibilità di integrare, in modo rigoroso e formale, probabilità di distribuzione da fonti differenti con aggregazioni bene definite. Sul piano concettuale risulta più utile di quanto lo sia su quello applicativo, fornendo una corni-

ce ideale per la soluzione inferenziale di molti problemi archeologici (BUCK, CAVANAGH, LITTON 1996; MOSCATI 1997; DELICADO 1999; ORTON 2000).

Come è stato sottolineato, spesso il processo di interpretazione muove dal rinvenimento di dati limitati e poveri di informazioni, tuttavia in un tessuto ampio di conoscenza. Gestire in termini matematici questa conoscenza non è semplice sul piano euristico. I metodi bayesiani offrono un insieme di strumenti formali che combinano nella interpretazione l'aspetto, per così dire, base dei dati e tutto quel mondo di sapere che noi proiettiamo sui dati stessi. L'osservazione di un fenomeno ne modifica le ipotesi iniziali rendendo non tutte le probabilità di distribuzione equivalenti. La conoscenza *a priori* si trasforma quindi in sapere *a posteriori* e nella valutazione sperimentale di un evento, sulla base di nuove conoscenze, possono essere confrontate ipotesi alternative: la statistica bayesiana ha il compito di ordinare in modo formale e matematico le opinioni influenti. Poiché le nostre conoscenze non costituiscono un assunto "neutrale" il metodo bayesiano può essere impiegato soltanto in stretta relazione tra statistici ed archeologi; questi ultimi sono in grado di analizzare l'esperienza, valutare il procedimento inferenziale matematico adoperato e definire quali informazioni e conoscenze *a priori* e *a posteriori* abbiano una diretta conseguenza sull'analisi ed interpretazione dei dati.

L'approccio bayesiano è risultato finora particolarmente utile in differenti campi: nella survey per l'individuazione delle tracce di fosfati nel suolo (BUCK, CAVANAGH, LITTON 1988); nell'analisi multivariata (ROBERTSON 1999); nell'esame strutturale delle architetture preistoriche (LAXTON *et al.* 1994; FAN, BROOKS 2000); nello studio della composizione chimica delle argille per la comprensione della produzione e provenienza della ceramica (BUCK 1993); nella determinazione dell'età dei defunti (AYKROYD *et al.* 1999; MILLARD, GOWLAND 2002) e soprattutto nel campo della cronologia relativa (BUCK, SAHU 2000) e assoluta. In questo ultimo settore sono stati raggiunti importanti risultati sia per quanto riguarda la cronologia derivata dallo studio dei cerchi di crescita degli alberi adoperati nella costruzione di edifici storici (LITTON, ZAINODIN 1991) sia per quella desunta dal processo di decadimento del radio-carbonio (RAMSEY 1995) che per quella basata sulla termoluminescenza (ZINK 2002). Si tratta di un'area, di grande interesse per l'archeometria, che basa le proprie ricerche sull'osservazione che il processo di decadimento del radio-carbonio è influenzato dal sole e da altri eventi atmosferici e pertanto la curva per la calibrazione delle datazioni deve essere corretta grazie alla conoscenza di età note (GOMEZ PORTUGAL AGUILAR *et al.* 2002). Con il metodo bayesiano è stato possibile implementare una seriazione cronologica, anche del tipo improprio, per l'ordinamento delle matrici (HALEKOH, VACH 1999).

Di grande interesse è un articolo di ORTON (2000) dedicato all'uso dell'approccio bayesiano nella valutazione dell'impatto archeologico in area urbana. Lo studioso inglese attribuisce un valore numerico sia al concetto di

significatività archeologica che alla nozione di area sterile allo scopo di definire le probabilità in cui da una indagine preventiva realizzata a campione possano essere recuperate informazioni estensibili, ad un dato livello di confidenza, alle aree non indagate. Orton evidenzia come incorporando le conoscenze *a priori* possa essere ridotta in modo consistente (e con risparmi di costi) l'area da esplorare senza pregiudicare lo scopo ed il risultato finale dell'indagine a campione. Uno dei vantaggi di un tale approccio è l'esigenza di definire *a priori* una dichiarazione delle probabilità che includono un insieme di fattori che interagiscono fortemente tra di loro: tipo ed estensione dei resti attesi, definizione di significatività archeologica, dimensione, forme e metodi di intervento archeologico, probabilità di riconoscere diversi tipi di oggetti archeologici in differenti tipi di indagine. Il formalismo bayesiano si propone quindi come un metodo statistico efficace ed in grado di "gestire" in modo flessibile la probabilità, ma nello stesso tempo conferisce al procedimento matematico una "soggettività" che risulta decisiva nel processo di analisi logica del pensiero archeologico.

Oltre 50 sono i testi pubblicati in un settore ancora troppo chiuso all'ambito statistico e poco familiare per gli archeologici, nonostante i numerosi volumi anche introduttivi che sull'argomento sono stati scritti (BUCK, CAVANAGH, LITTON 1996). Da alcuni anni sono disponibili sulla rete software che consentono on-line la costruzione o la verifica di modelli statistici bayesiani (WinBUGS: www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs/winbugs/contents.shtml), mentre specifici programmi, già implementati (BCal: bcal.shef.ac.uk, BUCK, CHRISTEN 1999; e OXCal: www.rlaha.ox.ac.uk/orau/06_ind.htm, RAMSEY 1995), possono essere adoperati per la valutazione delle calibrazioni delle datazioni al radiocarbonio alla luce del range di informazioni archeologiche.

La distribuzione on-line di software liberamente disponibile risulterà di straordinario impatto considerato che, nonostante la crescente proliferazione di ricerche, ancora pochi archeologi utilizzano tali metodologie dal grande potenziale di indagine, ma dalla complessa comprensione in termini matematici e statistici.

7. SPERIMENTAZIONE DELL'APPROCCIO FUZZY E DEL FORMALISMO BAYESIANO

Possiamo formulare in termini matematici e sperimentali assunti anche complessi come quello ad esempio della presenza di ideologie conflittuali in uno stesso contesto ricorrendo all'approccio fuzzy o al teorema di Bayes?

Per M. CUOZZO (2000, 328) «la compresenza di differenti ideologie problematizza l'evidenza archeologica e comporta la possibilità della coesistenza di modi di rappresentazione conflittuali nella cultura materiale...». Uno stesso oggetto/rituale/comportamento non assume lo stesso significato simbolico nello stesso contesto; esso è l'espressione, ambigua e polivalente,

di significati completamente differenti connessi a specifiche condizioni (sociali, rituali e politiche) anche di tipo individuale. È evidente la difficoltà di stabilire *a priori* una condizione esclusiva (matematica) per ciascun oggetto.

Nel tentativo di descrivere con un'equazione il principio delineato si potrà evidenziare il rapporto strettissimo tra evidenza archeologica, dati e teoria sottolineando la soggettività estrema di qualsiasi approccio computazionale.

La formula proposta è la seguente:

$$X_{i,t} = X_{i,t} \cdot W_{i,t}$$

Per un oggetto X in un dato tempo t esistono differenti ideologie i . Il significato dell'oggetto sarà quindi funzione non solo del tempo (epoche e/o fasi diverse), ma anche delle ideologie compresenti (articolazione orizzontale e verticale) nel contesto. Il punto è come sciogliamo W che rappresenta il peso assegnato alla variabile X . In una logica fuzzy W sarà funzione del grado di appartenenza di un oggetto alle differenti ideologie o ai diversi rituali e potrà variare anche secondo regole esperte del tipo "if...then". Non è necessario assegnare un unico peso. Analogamente possiamo impiegare il peso W in termini bayesiani. In entrambi i casi l'esperienza *a priori*, soggettiva o determinata da una prima osservazione sperimentale dei dati, segnala i valori da attribuire alle variabili esaminate. Tuttavia in un contesto fortemente ideologico come quello funerario, X assume un suo significato specifico in funzione degli altri oggetti che compongono il set del corredo che designa lo *status* sociale dell'individuo. Considerando allora una tradizionale analisi sociale multivariata (cfr. ad esempio BERNABEI, BONDIOLI, GUIDI 1995, 164; MCHUGH 1999, 62-84) modificata secondo l'approccio fuzzy o bayesiano, la formula iniziale può essere riscritta in tal modo:

$$C_{(i,t)} = \sum_n^{(n)} X_{i,t} \cdot \sum_{i,t}^{(n)} (X_{i,t} \cdot W_{i,t})$$

in cui il coefficiente di *status* $C_{i,t}$ in un dato tempo t e in funzione di una specifica ideologia i è espresso dalla somma degli n oggetti $X_{(i,t)}$ pesati mediante gli indici e/o gradi di appartenenza diversamente determinati nel tempo e dal loro significato.

L'esempio, brevemente esposto, mostra la profonda differenza tra un approccio classificatorio tradizionale (Cluster Analysis, Analisi Componenti Principali ecc.) ed una modalità più "sfumata" e flessibile caratterizzata da una serie di scelte nel peso da attribuire alle diverse variabili. Si tratta, è bene sottolinearlo, soltanto di una ipotesi di lavoro in un segmento, quello dell'ideologia funeraria, da sempre caratterizzato dall'impiego di metodi quantitativi. L'esempio qui proposto, e non ancora implementato, vuole rappresentare un timido tentativo di indicare nuove strade e percorsi sperimentando nuovi algoritmi in grado di utilizzare approcci formali diversi.

8. CONCLUSIONI

Il quadro delineato in questo contributo vuole rappresentare un primo passo nell'approfondimento e nella riflessione teorica degli scenari sorti di recente nell'archeologia computazionale. Il riferimento alla entropia ed alle leggi fisiche dell'informazione costituisce un incentivo a guardarsi intorno e a non rimanere confinati nelle prospettive meramente quantitative della disciplina. Se il computer sia più processuale o post-processuale è un interrogativo reale, ma profondamente errato. Non si tratta di considerare il computer riduzionista, ma come noi lo adoperiamo, in quale cornice cioè realizziamo le nostre ricerche, con quali finalità e partendo da quale processo di codifica e strutturazione delle informazioni. Aprendo le nostre metodologie ad altri campi del sapere, l'energia che può giungere dall'esterno servirà a rinnovare un dibattito troppo, francamente, minimalista.

Qualcuno potrà, non senza ragioni, immaginare una sorta di dipendenza dell'archeologia computazionale dai contributi delle scienze esatte. Non è questo il cammino da intraprendere. Non è sufficiente premettere ai nostri interventi citazioni di pensatori moderni per offrire un reale percorso innovativo. Al contrario vanno correttamente esplicitate le metodologie, i dati, i modelli, i modelli-dati, le impostazioni teoriche e quanto serve a fare di ciascuna esperienza non un caso isolato, ma un tentativo che con i procedimenti normali della verifica scientifica possa essere analizzato e compreso al di là del riferimento specifico che esso rappresenta. Troppo spesso articoli, pur interessanti, sembrano reinventare la ruota e non porsi in un contesto critico di confronto. Non deve preoccupare la soggettività dell'approccio scelto e se la strutturazione delle informazioni è *theory-laden*; l'importante è che di tale scelta non-neutrale resti traccia nei discorsi. Ecco perché approccio fuzzy e metodo bayesiano possono aiutare a rendere manifesti tali percorsi, perché chiariscono che le conoscenze acquisite influenzano i risultati finali.

Se i Post-processualisti hanno manifestato un rifiuto complessivo nei confronti dell'IT, va detto che nessun tentativo di riconsiderazione del computer è sorto nell'ambito delle differenti critiche all'impostazione processualista: non è il computer ad essere riduzionista, ma il nostro approccio (GIDLOW 2000). HODDER (1999), in una riscrittura completa dei metodi dell'archeologia, sostiene che le tecnologie rappresentano non una soluzione, ma una opportunità in un contesto caratterizzato dalla riflessività, dalla contestualità e dalle diverse narrative. La sua attenzione principale è basata su quelle tecnologie e metodologie in grado di preservare per il futuro gli archivi rendendoli accessibili. Da qui ha origine il ruolo assegnato alla multimedialità che, rifuggendo da schemi rigorosi di codifica e presunta oggettività, costituisce quella soluzione prospettata a livello metodologico. Ma, a ben vedere, anche Hodder

cade nel tranello di attribuire all'informatica un ruolo marginale, sussidiario direi, finalizzato a ricostruire *a posteriori* l'esperimento distruttivo rappresentato dallo scavo archeologico. Le tecnologie computazionali sono derubricate a livello di più moderni tool per il disegno, il rilievo, la fotografia, la ricostruzione virtuale e nient'altro.

Il profondo legame tra strumenti informatici e impostazione teorica è invece ben evidenziato da M. LLOBERA (1996) il quale ha sostenuto, a proposito delle tecnologie spaziali, che: «This question depends upon whether GIS is considered a ready-made set of tools delivered to archaeologists, or as a (more dynamic) way of representing, storing and handling spatial information. If the latter view is adopted, GIS becomes subservient to any theoretical approaches we might choose to employ».

L'uso del computer non genera dati *theory-laden*; esso può fornirci informazioni di alto livello, cioè accurate e straordinariamente precise, la cui interpretazione nasce nella mente del suo osservatore e quindi nel processo di codifica, come l'esempio accennato vuole dimostrare. Il computer costituisce non solo uno strumento di lavoro, ma anche un elemento decisivo per un salto di qualità nella affidabilità dei dati e nella validità dei risultati scientifici acquisiti.

Per determinare un significativo cambiamento di rotta nell'uso del computer è necessario che le nuove generazioni di archeologi maturino un diverso atteggiamento nei confronti degli strumenti informatici ed una più profonda esperienza che non deve limitarsi alla conoscenza del software, ma deve estendersi alle problematiche della produzione e strutturazione delle informazioni. Per giungere ad un tale necessario traguardo è necessario un mutamento significativo nei processi di formazione dei giovani archeologi a partire dagli insegnamenti di base universitari e specialistici. Il segnale più evidente che la strada da fare in questa direzione è ancora lunga ed in salita è rappresentato dalla poca attenzione che tali problematiche ricevono nel mondo accademico italiano: nel migliore dei casi si affida nei corsi di laurea in beni archeologici l'insegnamento dell'informatica applicata ad informatici consulenti esterni oppure a colleghi di altri corsi di laurea (informatica, ingegneria). I titolari degli insegnamenti, spesso privi di un adeguato contesto scientifico di riferimento di studi in campo archeologico, basano i loro corsi sul codice e sul formalismo matematico classico. Pochi sono invece i casi in cui sono direttamente gli archeologi (soprattutto a contratto e ripartiti tra insegnamenti che rientrano nell'informatica come INF/01 o nelle metodologie archeologiche come L-ANT/10) ad organizzare direttamente la didattica ed a basare i corsi sull'insegnamento dei metodi informatici in archeologia.

La difficoltà che l'archeologia computazionale trova ancora oggi ad emergere in ambito accademico deriva probabilmente da una resistenza a

riconoscere come disciplina autonoma le sperimentazioni, le riflessioni teoriche e gli spunti metodologici che gli archeologi producono ricorrendo all'uso di strumenti informatici. Forse l'opposizione si estende alla matematica ed ai metodi quantitativi che restano pratiche oscure ed incomprensibili per la maggior parte degli archeologi.

Per ridurre la diffidenza che riceve in particolare la matematica ancora oggi in ambito archeologico vorrei concludere ricordando quanto ha scritto oltre dieci anni fa C. ORTON (1992, 139): «La matematica non è magia nera per pochi eletti. Essa è parte del patrimonio di conoscenze di ognuno di noi e rappresenta una attitudine di base per la vita ed il lavoro».

ANDREA D'ANDREA

CISA

Università di Napoli – L'Orientale

BIBLIOGRAFIA

- AYKROYD R.G., LUCY D., POLLARD A.M., ROBERTS C.A. 1999, *Nasty, brutish, but not necessarily short: a reconsideration of the statistical methods used to calculate age at death from adult human skeletal and dental age indicators*, «American Antiquity», 64, 55-70.
- BAGG J., RYAN N. 1997, *Modeling historical changes in Southern Corsica*, in Z. KEMP (ed.), *Innovations in GIS*, London, Taylor & Francis, 42-55.
- BARCELÓ J.A. 1996, *Heuristic classification and fuzzy sets. New tools for archaeological typologies*, in H. KAMERMANS, K. FENNEMA (eds.), *Intefacing the Past*, CAA95, *Analecta Praehistorica Leidensia*, 28, Leiden, University of Leiden, 155-164.
- BAXTER M.J., BUCK C.E. 2000, *Data handling and statistical analysis*, in E. CILIBERTO, G. SPOTO (eds.), *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, New York, Wiley, 681-746.
- BERNABEI M., BONDIOLI L., GUIDI A. 1995, *Social order of Sauromatian nomads*, in B. GENITO, M.G. MOSKOVA (eds.), *Statistical Analyses of Burial Customs of the Sauromatian Period in Asian Sarmata (6th-4th Centuries B.C.)*, Napoli, Istituto Universitario Orientale, 161-195.
- BORODKIN L.I., GARSKOVA I.M. 1995, *Analytical procedure for multidimensional hierarchical data*, in B. GENITO, M.G. MOSKOVA (eds.), *Statistical Analyses of Burial Customs of the Sauromatian Period in Asian Sarmata (6th-4th Centuries B.C.)*, Napoli, Istituto Universitario Orientale, 63-114.
- BOURDIEU P. 2003, *Il mestiere di scienziato*, Milano, Feltrinelli.
- BUCK C.E. 1993, *The provenancing of archaeological ceramics: a Bayesian approach*, in J. ANDRESEN, T. MADSEN, I. SCOLLAR (eds.), *Computing the Past: CAA92*, Aarhus, Aarhus University Press, 193-301.
- BUCK C.E. 2001, *Applications of the Bayesian paradigm*, in D.R. BROTHWELL, A.M. POLLARD (eds.), *Handbook of Archaeological Sciences*, New York, Wiley, 695-702.
- BUCK C.E., CAVANAGH W.G., LITTON C.D. 1988, *Tools for the interpretation of soil phosphate data from archaeological field surveys*, in P. SPOERRY (ed.), *Geoprospection in the Archaeological Landscape*, Oxford, Oxbow Books, 75-87.
- BUCK C.E., CAVANAGH W.G., LITTON C.D. 1996, *Bayesian Approach to Interpreting Archaeological Data*, Chichester, John Wiley & Sons.
- BUCK C.E., CHRISTEN J.A. 1999, *Making complex radiocarbon calibration. Software more accessible: a new approach?*, in DINGWALL *et al.* 1999, 103-105.

- BUCK C.E., SAHU S.K. 2000, *Bayesian models for relative archaeological chronology building*, «Applied Statistics», 49, 423-440.
- BURROUGH P.A., FRANK A.U. 1996, *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, London, Taylor & Francis, 1996.
- CANAL E., CAVAZZONI S. 1990, *Antichi insediamenti antropici nella laguna di Venezia: analisi multivariata di tipo "Fuzzy C-Means Clustering"*, «Archeologia e Calcolatori», 1, 165-177.
- CINI M. 1994, *Un paradiso perduto*, Milano, Feltrinelli.
- COWGILL G.L. 2001, *Past, present and future of quantitative methods in United States archaeology*, in Z. STANČIĆ, T. VELJANOVSKI (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. CAA 2000. Proceedings of the 28th Conference (Ljubljana 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, Archaeopress, 35-40.
- COWGILL G.L. 2002, *Getting Bayesian ideas across to a wide audience*, in F. DJINDJIAN, P. MOSCATI (eds.), *XIV Congress of the UISPP, Commission IV Data Management and Mathematical Methods in Archaeology (Liège 2001)*, «Archeologia e Calcolatori», 13, 191-196.
- CRESCIOLI M., D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. 2000, *A GIS-based analysis of the Etruscan cemetery of Pontecagnano using fuzzy logic*, in G. LOCK (ed.), *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, NATO Science Series 321, Amsterdam, IOS Press, 157-179.
- CUOZZO M. 2000, *Orizzonti teorici ed interpretativi, tra percorsi di matrice francese, archeologia post-processuale e tendenze italiane: considerazioni e indirizzi di ricerca per lo studio delle necropoli*, in N. TERRENATO (ed.), *Archeologia teorica*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 323-360.
- D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. 2001, *L'informatica dell'archeologo: istruzioni per l'uso*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 199-220.
- DELICADO P. 1999, *Statistics in archaeology: new directions*, in J.A. BARCELÓ, I. BRIZ, A. VILA (eds.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1998*, BAR International Series 757, Oxford, 29-37.
- DINGWALL L., EXON S., GAFFNEY V., LAFLIN S., VAN LEUSEN M. (eds.) 1999, *Archaeology in the Age of the Internet. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1997*, BAR International Series 750, Oxford, Archaeopress.
- DUMITRESCU D., LAZAROVIC GH., POP H.F. 1989, *Fuzzy clustering in archaeology (Romanian)*, in *Symposium of Computer Science Applied in Socio-Human Sciences*, Cluj-Napoca.
- DUMITRESCU D., POP H.F. 1992, *Qualitative fuzzy clustering in archaeology (Romanian)*, in *Fifth National Symposium of Archaeometry*, Cluj-Napoca.
- EINSTEIN A. 1921, *Geometrie und Erfahrung*, Berlin, Julius Springer.
- FAN Y., BROOKS S.P. 2000, *Bayesian modelling of prehistoric corbelled domes*, «The Statistician», 49, 339-354.
- GIDLOW J. 2000, *Archaeological computing and disciplinary theory*, in G. LOCK, K. BROWN (eds.), *On the Theory and Practice of Archaeological Computing*, Oxford, Oxford University Committee for Archaeology Monograph, 51, 23-30.
- GOMEZ PORTUGAL AGUILAR D., LITTON C.D., O'HAGAN A. 2002, *Novel statistical model for a piece-wise linear radiocarbon calibration curve*, «Radiocarbon», 44 (1), 195-212.
- HALEKOH U., VACH W. 1999, *Bayesian seriation as a tool in archaeology*, in DINGWALL et al. 1999, 107.
- HATZINKOLAOU E., HATZICHRISTOS T., SIOLAS A., MANTZOURANI E. 2003, *Predicting archaeological site location using a GIS and fuzzy logic*, in M. DOERR, A. SARRIS, *The Digital Heritage of Archaeology. Proceedings of the 30th CAA Conference (Heraklion 2002)*, Archive of Monuments and Publications, Hellenic Ministry of Culture, 169-177.

- HODDER J. 1991, *Post-Processual archaeology and current debate*, in R.W. PREUCHEL (ed.), *Processual and Post-Processual Archaeologies. Multiple Ways of Knowing the Past*, Southern Illinois University at Carbondale, 32-42.
- HODDER J. 1999, *The Archaeological Process*, Oxford, Blackwell.
- HUGGET J. 2000, *Computers and archaeological culture change*, in G. LOCK, K. BROWN (eds.), *On the Theory and Practice of Archaeological Computing*, Oxford, Oxford University Committee for Archaeology Monograph, 51, 5-22.
- KOSKO B. 1995, *Il fuzzy-pensiero. Teoria ed applicazioni della logica fuzzy*, Milano, Baldini & Castoldi.
- KUHN T.S. 1969, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, Einaudi.
- LAXTON R.R., CAVANAGH W.G., LITTON C.D., BUCK C.E., BLAIR R. 1994, *The Bayesian approach to archaeological data analysis: an application of change-point analysis to prehistoric domes*, in P. MOSCATI (ed.), *Choice, Representation and Structuring of Archaeological Information*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 53-68.
- LITTON C.D., ZAINODIN H.J. 1991, *Statistical models of dendrochronology*, «Journal of Archaeological Sciences», 18, 429-440.
- LLOBERA M. 1996, *Living and dying on a grid cell: a discussion on the theoretical basis for the humanistic approach to archaeological GIS* (paper presented at Theoretical Archaeological Group, Session "Spatial Technologies and Archaeological Reasoning").
- LOCK G. 2003, *Using Computers in Archaeology*, London and New York, Taylor & Francis.
- LOOTS L., NACKAERTS K., WAELKENS M. 1999, *Fuzzy viewshed analysis of the hellenistic city. Defence system at Sagalassos*, in DINGWALL et al. 1999, 63-65.
- McHUGH F. 1999, *Theoretical and Quantitative Approaches to the Study of Mortuary Practice*, BAR International Series 785, Oxford, Archaeopress.
- MILLARD A.R., GOWLAND R.L. 2002, *A Bayesian approach to the estimation of the age of humans from tooth development and wear*, in F. DJINDJIAN, P. MOSCATI (eds.), *XIV Congress of the UISPP, Commission IV Data Management and Mathematical Methods in Archaeology (Liège 2001)*, «Archeologia e Calcolatori», 13, 197-210.
- MOSCATI P. 1997, Recensione a: BUCK C.E., CAVANAGH W.G., LITTON C.D. 1996, «Archeologia e Calcolatori», 8, 187-190.
- NACKAERTS K., GOVERS G., LOOTS L. 1999, *The use of Monte Carlo techniques for the estimation of visibility*, in DINGWALL et al. 1999, 63-65.
- NICCOLUCCI F., HERMON S. 2003, *La logica fuzzy e le sue applicazioni alla ricerca archeologica*, «Archeologia e Calcolatori», 14, 97-110.
- NICCOLUCCI F., D'ANDREA A., CRESCIOLI M. 2001, *Archaeological applications of Fuzzy databases*, in Z. STANČIĆ, T. VELJANOVSKI (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. CAA 2000. Proceedings of the 28th Conference (Ljubljana 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, Archaeopress, 107-115.
- NICCOLUCCI F., PARDI G., ZOPPI T. 1996, *Un archivio georeferenziato di insediamenti archeologici*, in P. MOSCATI (ed.), *III International Symposium on Computing and Archaeology (Roma1995)*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 161-177.
- ORLANDI T. 1996, *Formalizzazione dei dati, semiotica e comunicazione*, in P. MOSCATI (ed.), *III International Symposium on Computing and Archaeology (Roma1995)*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 1247-1258.
- ORTON C. 1992, *Quantitative methods in the 1990s*, in G. LOCK, J. MOFFETT (eds.), *Proceedings of the 19th CAA Conference (Oxford 1991)*, BAR International Series 577, Oxford, Archaeopress, 137-140.
- ORTON C. 2000, *A Bayesian approach to a problem of archaeological site evaluation*, in K. LOCKYEAR, T.J.T. SLY, V. MIHILESCU-BÎRLIBA (eds.), *Proceedings of CAA96 Conference*, BAR International Series 845, Oxford, 1-7.

- PUYOL-GRUART J. 1999, *Computer science, artificial intelligence and archaeology*, in J.A. BARCELÓ, I. BRIZ, A. VILA (eds.), *New Techniques for Old Time. Proceedings of the CAA98 Conference*, BAR International Series 757, Oxford, Archaeopress, 19-27.
- RAMSEY C.B. 1995, *Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal program*, «Radiocarbon», 37, 425-430.
- RYAN N. 1996, *Managing Complexity: Archaeological Information Systems Past, Present and Future*, Paper presented at the British Association Annual Festival of Science, University of Birmingham.
- REELER C. 1997, *Fuzzy logic, neural networks and the analysis of pa sites*, in M. NORTH, I. JOHNSON (eds.), *Archaeological Applications of GIS. Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress (Forlì, Italy, 1996)*, Sydney University Archaeological Methods Series, n. 5 (CD-ROM).
- ROBERTSON I.G. 1999, *Spatial and multivariate analysis, random sampling error, and analytical noise: empirical Bayesian methods at Teotihuacan, Mexico*, «American Antiquity», 64, 137-152.
- SHANKS M., TILLEY C. 1987, *Re-constructing Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- SIGNORE O., BARTOLI R. 1989, *Managing art history fuzzy dates; an application in historical-geographical authority*, «Historical Social Research», 14, 3.
- TRIGGER B. 1981, *Anglo-American archaeology*, «World Archaeology», 13, 138-155.
- WHEATLEY D.W. 1995, *Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application*, in G. LOCK, Z. STANČIČ (eds.), *Archaeological and Geographical Information Systems: a European Perspective*, London, Taylor & Francis, 171-186.
- ZINK A.J.C. 2002, *Bayesian approach applied to authenticity testing by luminescence*, in F. DJINDJIAN, P. MOSCATI (eds.), *XIV Congress of the UISPP, Commission IV Data Management and Mathematical Methods in Archaeology (Liège 2001)*, «Archeologia e Calcolatori», 13, 211-216.

ABSTRACT

Starting from the remark that scientific progress and cultural background proceed in a dialectical way, this paper seeks to deepen the relationship between scientific thought, archaeology and information technology. The still rationalist approach of information technology presses archaeologists toward applications where the quantity of data to manage and manipulate is dominant.

The importance of quantitative methods is not balanced by an adequate reflection about the connection between archaeological theory, information technology and mathematical formalism. In archaeological field rules, as in other scientific areas, an attitude within the common expectation of confidence towards information technology seems deterministic; in this view technology is neutral and independent in comparison to the changes of the society. This is the dominant framework of archaeological computing closed within autarchy, self-reference and productive myth.

The paper examines the possibility to define a different way of formal description and then analysis of archaeological objects. These different approaches, borrowed from other disciplines, are not dependent only from the theoretical model that the archaeologist selects for the digital reproduction of reality. They are a reflexive attitude and research experience which enables archaeologists to articulate in a flexible way data description and formalization without falling into the trap of the true/false opposition and the presumed neutrality of quantitative methods in archaeology.