

Intelligenza artificiale: sviluppo metodologico e applicativo nell'archeologia del territorio.

Luca Deravignone

Presentazione del progetto

La struttura geografica della maglia insediativa continua a rimanere uno dei temi più cari all'archeologia medievale. Questo perché la comprensione delle problematiche relative allo stanziamento umano porta con sé implicazioni di più ampio spazio in grado di aiutarci a meglio comprendere la struttura della società stessa.

Oggi, grazie ai numerosi studi effettuati negli ultimi anni, è possibile avere un quadro molto più esaustivo su tale tema; ciò nonostante continuano ad esistere alcune lacune che finiscono per essere argomento di numerosi dibattiti.

Alcune, in particolare, riguardano la struttura, i rapporti, le continuità e le discontinuità che caratterizzano le varie forme di insediamento per tutto il periodo che va dal tardoantico fino al basso medioevo. In particolare il tema del villaggio fortificato presenta tutt'oggi punti oscuri per quanto riguarda non tanto l'organizzazione della maglia castrense, quanto le cause che determinarono dapprima la nascita e successivamente la grande fortuna dei castelli, finendo per sfociare nel fenomeno dell'incastellamento.

Analisi quantitative che potremmo definire "tradizionali", grazie alle tipologie di dati a nostra disposizione, possono aiutarci a comprendere l'assetto della maglia insediativa in un determinato periodo; purtroppo poco ci possono dire sulle cause che finirono per determinare le alternative di localizzazione. L'utilizzo del calcolatore, inoltre, presenta limiti concettuali fino a poco tempo fa ritenuti insormontabili, in primis l'incapacità di andare oltre i concetti di vero/falso, uguale/diverso.

Tuttavia nell'ultimo decennio, superate finalmente le necessarie fasi di sperimentazione iniziale, l'uso dell'intelligenza artificiale è andato finalmente ad affiancare le metodologie di ricerca più avanzate. In particolare le reti neurali artificiali, che stanno mostrando sempre più successi in ogni campo di applicazione, presentano caratteristiche che sembrano adattarsi perfettamente alle applicazioni in campo archeologico. Esse, infatti, permettono di utilizzare anche dati parziali, incompleti o confusi al fine di individuare le complesse relazioni che intercorrono fra variabili iniziali e risultato finale di un determinato processo.

Applicando tale metodo in senso spaziale, è quindi possibile individuare gli apparentemente invisibili rapporti esistenti fra territorio ed insediamento e fra le diverse realtà insediative in modo sincronico. Inoltre, osservando e confrontando diacronicamente i risultati, è possibile visualizzare l'evoluzione dei sistemi di stanziamento evidenziando le continuità, le discontinuità e le eventuali interruzioni che li caratterizzano nel corso del medioevo. Le possibilità offerte da questa metodologia permettono inoltre di rappresentare visivamente concetti relativamente astratti che potremmo riassumere nel concetto della cosiddetta geografia del potere.

Le possibilità offerte dalle reti neurali artificiali potrebbero in tal modo affiancare la ricerca archeologica apportando nuovi dati in grado non solo di mettere in risalto le

complessità che caratterizzano questo campo di indagine, ma anche di offrire nuovi spunti di approfondimento e di interpretazione. La loro applicazione in archeologia rappresenta ad oggi un territorio quasi inesplorato sebbene allo stato attuale lasci intravedere forti potenzialità. A tal proposito basti citare le esperienze di Ducke, Zubrow e Reeler. Date le caratteristiche proprie delle reti neurali, la loro applicabilità si allarga a qualsiasi problematica di ordine archeologico e geografico. In particolar modo si prestano ad essere usate nel campo dell'archeometria, della classificazione automatica, ad esempio di forme ceramiche, e delle analisi quantitative in generale.

Problematica e temi della ricerca

I mutamenti che caratterizzano la maglia insediativa durante tutto il periodo che parte dalla tardoantichità ed arriva fino al basso medioevo presentano ancora molti punti di incerta interpretazione. Uno dei problemi principali, a questo punto della ricerca, sembra essere non solo la carenza di “modelli” insediativi, ma soprattutto la scarsa comprensione delle cause stesse che determinarono tali cambiamenti, spesso radicali, nell’organizzazione dello spazio medievale. In questo quadro risultano di centrale interesse il tema dei villaggi fortificati e soprattutto il fenomeno dell’incastellamento che denota, fin dalla sua nascita, caratteristiche tali da sconvolgere in modo radicale l’organizzazione economico-sociale preesistente.

Il passaggio dalla realtà del tardoantico, nella quale pare ormai che i castelli fossero solo centri militari controllati da un potere centrale di matrice statale, a quella bassomedievale, in cui sotto i signori locali essi diventarono veri e propri luoghi del potere, presenta ancora molte lacune.

A questo si aggiunge la problematica dell’utilizzo dei siti d’altura e della continuità o discontinuità d’uso che precede la formazione dei castelli medievali. In tal senso, grazie ai rinvenimenti archeologici riguardanti villaggi di capanne antecedenti la fondazione dei castelli, necessita una ulteriore revisione e quantificazione del modello toubertiano che, in questo modo, si è dimostrato non essere applicabile a gran parte dei siti esaminati in Toscana.

La nascita dei castelli si lega inoltre alla questione di come i “potenti” arrivarono a legittimare il loro potere fino a far divenire le proprie fortezze centri nevralgici dell’autorità, dislocati su quel territorio che esse stesse contribuirono a modellare. Si tenga in considerazione il fatto che anche questo modello non risulta universalmente applicabile e non sono rari i casi in cui i castelli sembrano ricoprire un ruolo marginale, senza riuscire veramente ad imporsi sulle realtà locali.

Complesso è il rapporto stesso con la popolazione e su come e quanto i castelli furono in grado di attirarla o, al contrario, di darle l’impulso per la creazione di nuovi insediamenti al fine di sottrarsi alla loro influenza o di imitarne addirittura lo schema.

Se è vero che l’insediamento umano viene influenzato da fattori di carattere geomorfologico e di sfruttamento delle risorse, è anche vero che esistono legami non “materiali” che, spesso più degli altri, determinano in modo sostanziale le forme del popolamento. La localizzazione e lo studio dei cosiddetti “luoghi del potere”, per quanto importante, certamente non esaurisce i quesiti storiografici in quanto le strutture sociali presentano sempre molteplici e complessi livelli gerarchici, il più basso dei quali aiuta comunque a comprendere il sistema generale. In tal senso una delle più grandi mancanze è la penuria di dati riguardanti le realtà insediative minori, quali gli edifici isolati ed i piccoli villaggi.

Un discorso a parte può essere fatto sui rapporti che intercorrono fra medioevo ed età moderna. Numerosi infatti sono i dati a disposizione sull’insediamento nei secoli XVIII e XIX, in particolare grazie ai recenti studi sul Catasto Lorenese e sul *Dizionario Geografico Fisico Storico della Toscana* di Emanuele Repetti. Partendo da questi ed analizzando in modo retroattivo i cambiamenti delle reti di stanziamento è possibile

mettere in risalto i mutamenti avvenuti nell'arco di 3-4 secoli al fine di ipotizzare le modalità di tale evoluzione.

La creazione di modelli e la ricostruzione dei processi di stanziamento sono, nel caso dell'archeologia, praticamente sempre vincolate dalla frammentarietà e dalla disomogeneità dei dati disponibili. L'integrazione dei dati di scavo, che soprattutto per quanto riguarda il riconoscimento di strutture o frequentazioni non documentate risulterebbe di importanza fondamentale, è purtroppo applicabile solo ad una minima percentuale dei siti conosciuti.

In casi come questo, in cui il quadro generale presenta un altissimo grado di incertezza e complessità, risulta inoltre praticamente impossibile prendere in considerazione la totalità dei dati disponibili. Tuttavia, grazie a metodi di tipo quantitativo, in questo caso applicabili a livello spaziale, è possibile incrociare più fattori al fine di produrre modelli che, grazie ad una procedura di progressivo miglioramento, si possano avvicinare sempre di più alla realtà insediativa medievale. Le metodologie statistiche "tradizionali", opportunamente affiancate da altre metodiche di indagine e con ampia disponibilità di dati, sono perciò in grado di sintetizzare in modo significativo e con un alto grado di oggettività, le tendenze che caratterizzano un determinato sistema.

Analisi di questo tipo, tuttavia, possono offrire solamente un modesto contributo per quanto riguarda le cause dei processi di trasformazione che, nel corso dei secoli, caratterizzano l'insediamento, in questo caso quello medievale. Grazie alle reti neurali artificiali il ricercatore ha a disposizione uno strumento che combini l'oggettività statistica tipica del calcolatore alla versatilità che distingue il cervello umano. Esse rendono possibile la costruzione di modelli probabilistici che ricreino o simulino situazioni reali sfruttando pochi ma significativi dati. In tal senso la composizione e l'assetto gerarchico dell'insediamento medievale possono essere analizzati confrontando le diverse strutture di stanziamento, evitando al tempo stesso di perdere le caratteristiche di complessità che le caratterizzano.

Il confronto dei risultati, esaminati sia in maniera sincronica che diacronica, permette così di evidenziare i legami, altrimenti invisibili, che si celano anche fra le singole strutture presenti nello spazio medievale. I cambiamenti, le continuità, le discontinuità e le eventuali interruzioni vengono così messe in luce, diventando visibili e permettendo, in tal modo, la definizione di modelli che ci aiutino a comprendere le strutture insediative che caratterizzano e formano il paesaggio medievale.

Obiettivi della ricerca

Obiettivi generali

1 - Costruzione di un modello spaziale di tipo numerico per la sintesi della maglia insediativa medievale del territorio toscano. In tale senso verrà dato ampio risalto al tema del villaggio fortificato e al suo ruolo come indicatore e guida dei processi insediativi e di popolamento delle aree rurali. La realizzazione di un modello di sintesi così ampio e complesso si basa sulla contingenza di due presupposti essenziali. Da una parte la possibilità di disporre di un ampio e rigoroso quadro di riferimento sulle caratteristiche dell'incastellamento di prima e seconda fase, grazie al lavoro analitico condotto all'interno del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti di Siena. Dall'altra parte contribuisce a rendere possibile l'obiettivo qui discusso il notevole sviluppo tecnologico delle scienze di computo meccanico che hanno reso possibile negli ultimi anni la diffusione della *fuzzy logic* e di altre forme di intelligenza artificiale.

2 - Formulazione di un paradigma esplicativo dei processi di formazione e strutturazione gerarchica dell'insediamento medievale. Approfittando delle potenzialità delle ANN (acronimo di Artificial Neural Networks) si cercherà di dare risposta a problematiche insolubili perfino con approcci quantitativi tradizionali. Sempre nell'ambito del l'incastellamento, ad esempio, giungere a elementi robusti per la definizione e soluzione del problema delle *origini dell'insediamento medievale*. A questo proposito il modello discusso nel primo obiettivo generale dovrà essere perciò esteso e coprire un arco di tempo più ampio. Sarà dunque necessario partire dalla tarda antichità per arrivare fino al basso medioevo, mirando ad elaborare gli eventuali legami esistenti fra le varie realtà insediative durante le fasi evolutive dei sistemi di stanziamento.

3 - Applicare ed esplorare l'applicabilità delle metodologie e tecniche tipiche della logica *fuzzy* ad altri settori della disciplina archeologica. Questo obiettivo generale, che può essere considerato esclusivamente di tipo metodologico, verrà condotto parallelamente alle attività relative ai due obiettivi esposti precedentemente. La necessità di definire anche questo tra gli obiettivi generali deriva dal fatto che le prospettive di applicabilità delle ANN non riguardano solo la storia dell'insediamento ma anche altri settori della ricerca archeologica. In questo senso si può essere certi che le ANN forniranno un grande contributo, come già hanno dimostrato in molti campi della ricerca, a settori quale l'archeometria in generale, lo studio e consultazione delle banche dati e altri settori direttamente correlati all'applicazione dei sistemi GIS.

Obiettivi specifici

Punto 1

- Acquisizione e uniformazione di un ampio numero di dati relativi alla maglia insediativa medievale tramite l'utilizzo delle fonti disponibili, sia di natura documentaria che archeologica.

- Utilizzo dei risultati quantitativi già prodotti durante i progetti di analisi quantitativa relativi alla rete dei castelli medievali in Toscana.
- Integrazione delle banche dati relative agli insediamenti fortificati medievali. Esame e quantificazione anche di quei siti fortificati che, sebbene ancora non figurino nei documenti come castelli, possano comunque essere considerati antesignani dei castelli.
- Definizione di schemi simbolici che rendano possibile il trattamento dei dati storico-archeologici sotto forma numerica.
- Creazione delle reti neurali e sperimentazione dei vari metodi di allenamento delle stesse. Individuazione delle metodologie di analisi di tipo *fuzzy* che meglio si adattino al trattamento dei dati spaziali riguardanti l'insediamento umano, nello specifico quello medievale.
- Interpretazione dei dati, tramite l'utilizzo delle metodologie precedentemente individuate, e confronto dei risultati ottenuti tramite le diverse metodiche precedentemente esplicitate.
- Creazione di griglie spaziali relative ai territori indagati e confronto dei modelli generati. Individuazione delle strutture, delle analogie e delle differenze che caratterizzano gli insediamenti medievali e identificazione delle possibili relazioni esistenti fra gli stessi.

Punto 2

- Studio delle caratteristiche pertinenti alle aree di dominio relative ad alcuni singoli detentori, al fine di comprendere eventuali "vocazioni" caratteristiche e di ricostruire in tal modo una geografia del potere.
- Confronto, in modo sincronico e diacronico, fra le diverse forme di insediamento e definizione di unità di paesaggio tramite l'individuazione di differenze e similitudini all'interno del territorio indagato.
- Identificazione e valutazione delle possibili continuità, discontinuità ed eventuali interruzioni che interessano le varie forme del popolamento a partire dalla tarda antichità fino al basso medioevo.
- Identificazione e valutazione delle possibili continuità e discontinuità che caratterizzano il passaggio dal bassomedioevo all'età moderna.
- Indagine sui rapporti che intercorrono fra maglia castrense e altre realtà insediative nel corso del medioevo. Analisi delle relazioni spaziali, e dei relativi cambiamenti delle stesse, che i siti fortificati ebbero in particolar modo nei confronti delle città e dei siti ecclesiastici.
- Individuazione, grazie a metodologie *fuzzy* ed alla elaborazione incrociata dei risultati precedenti, delle possibili cause che determinarono le metodiche di

stanziamento medievali, includendo in queste anche il fenomeno dell'incastellamento.

Punto 3

- Creazione di applicazioni che diano la possibilità all'utente di sistemi GIS, ed in particolare all'archeologo, di creare e processare griglie spaziali tramite l'utilizzo di reti neurali artificiali. Contestualmente si cercherà di definire una sorta di linguaggio comune in grado di agevolare, nel prossimo futuro, l'integrazione dell'intelligenza artificiale con i metodi e le problematiche proprie dell'archeologia.
- Progettazione di estensioni o *plug-in* che consentano di integrare software GIS e simulatori di reti neurali. In primo luogo è previsto l'ampliamento di ArcANN, estensione di ArcGIS che permette l'integrazione di questo software con l'ambiente SNNS, Stuttgart Neural Network Simulator.
- Sviluppo di strumenti che permettano l'automazione di processi riguardanti l'analisi di dati archeometrici tramite l'utilizzo di reti neurali artificiali. In particolare verranno sviluppate tecniche che facilitino l'interpretazione dei risultati delle analisi delle ceramiche effettuate con gas cromatografia/spettrometria di massa (GC-MS) al fine di interpretarne la funzione.
- Individuazione di metodologie *fuzzy* in grado di affiancare l'archeologo nel processo di datazione tramite reperti ceramici. Si prevede a tal fine la realizzazione di un *database web-oriented* che permetta l'analisi di contesti stratigrafici tramite l'immissione dei dati riguardanti i rinvenimenti ceramici dei singoli strati.
- Creazione di procedure che rendano possibile la classificazione automatica, grazie alle ANN, dei dati di tipo archeologico. Il settore di applicabilità che in questa fase si ipotizza essere uno dei più interessanti, e quindi il primo ad essere sperimentato, potrebbe essere quello della ceramica medievale.

Lo studio storico della maglia insediativa

Numerosi sono gli studi sull'insediamento medievale il quale, forse più di molti altri, presenta ancor oggi un grado di complessità tale da limitare la costruzione di modelli interpretativi di sintesi sufficientemente solidi. A partire dalla tarda antichità, infatti, inizia un processo che presenta da subito una serie di complessi aspetti che abbracciano le tematiche dello sviluppo economico e dei rapporti fra le diverse entità che caratterizzano lo spazio medievale, la formazione del villaggio medievale, l'utilizzo dei siti d'altura, e l'incastellamento.

La funzione e la struttura dei castelli risultano essere fortemente legate al territorio circostante, collegandosi strettamente al fattore economico, che costituisce di per sé una delle principali componenti del potere. Basti pensare ad esempio a quella serie di castelli, come Rocchette Pannocchieschi o Cugnano, definiti minerari proprio perché in gran parte basavano la propria organizzazione sullo sfruttamento delle vicine miniere di rame. In particolare il problema della territorialità, che Riccardo Francovich ha affrontato proponendo l'indagine del rapporto tra risorse naturali e maglia insediativa, sembra essere perciò una delle questioni centrali del fenomeno castrense.

Altri interrogativi riguardano il rapporto fra potere pubblico e privato, come ad esempio scaturisce dall'osservazione della grande espansione dei poteri signorili locali che si ebbe fra il X ed il XII secolo. Su questo punto sembra essere ormai chiaro che diverse furono le motivazioni che spinsero i nuovi poteri locali verso la costruzione di strutture fortificate in pietra. I mandatori dell'incastellamento costituiscono un gruppo eterogeneo formato da piccole comunità, singoli detentori, sia aristocratici che ecclesiastici o alti funzionari pubblici. Al tempo stesso anche gli scopi furono molteplici: rivalità fra poteri locali, dimostrazione di forza, prestigio, sfruttamento di risorse, ad esempio quelle minerarie, utilizzo di nuovi terreni, ristrutturazione di grandi proprietà, difesa contro minacce esterne.

L'incastellamento, come evidenziato da Chris Wickham, può essere così inteso come metro di misura delle differenze che esistono tra le diverse realtà presenti nel medioevo, ed è in grado perciò di fungere come spia dei cambiamenti sociali. Quello che bisogna tenere presente è in che misura il processo di incastellamento sia stato più o meno traumatico nelle varie zone, dove e quanto il castello fu solo un consolidamento dell'assetto esistente, o al contrario un elemento nuovo e quindi di rottura e cambiamento.

Per quanto riguarda quella che potremmo definire "l'eredità" del medioevo, i recenti studi sul catasto Lorenese e sul *Dizionario Geografico, Fisico e Storico della Toscana* di Emanuele Repetti si rivelano indubbiamente nuovi e validi strumenti di confronto. Grazie ad essi, ad esempio, è possibile vedere da subito come molti castelli si siano trasformati in ville; tuttavia, analizzando approfonditamente la struttura della maglia insediativa ottocentesca rispetto a quella bassomedievale, anche in modo retroattivo, è possibile mettere in luce l'intero aspetto che riguarda le possibili continuità fra le due situazioni.

Intelligenza artificiale e *fuzzy logic*

Esistono differenti versioni sul concetto stesso di intelligenza artificiale, ma in linea di massima possiamo usare il termine AI per definire un processo capace di generare in modo autonomo soluzioni a problemi complessi, di solito risolvibili esclusivamente grazie al ragionamento umano.

Il vantaggio di queste procedure è la possibilità di processare quantità enormi di dati che, se esaminati dall'uomo, richiederebbero l'impegno di un elevato numero di persone e tempi estremamente lunghi. Di qui la forte relazione che unisce indissolubilmente l'intelligenza artificiale all'utilizzo dei calcolatori elettronici, macchine che oggi possono venir programmate per eseguire praticamente qualsiasi istruzione.

Nel campo della computazione automatica si lega all'AI, sebbene in modo non diretto, la teoria della logica *fuzzy* o del ragionamento sfumato, ipotizzata da Lotfi A. Zadeh, dell'Università di Berkley, intorno alla metà degli anni '60. Fuzzy in inglese significa letteralmente "confuso" e verrebbe subito da chiedersi come può questo termine accostarsi al concetto di "logica", in quanto essi esprimono significati praticamente opposti. Il principio fondamentale è che i computer, in quanto macchine, non sono in grado di risolvere problemi come invece possono fare, grazie all'esercizio mentale, gli esseri umani. Questo limite potrebbe essere in parte superato se fossimo in grado di progettare calcolatori in grado di "pensare" in modo simile a quello del nostro cervello.

Una caratteristica del modo di pensare umano, e che certamente contribuisce alla sua complessità, è quella di utilizzare correntemente concetti non ben definiti come "quasi", "solitamente" o "lontano". Anche questo parrebbe un controsenso, in quanto termini come questi vengono utilizzati anche per esprimere concetti che richiedono una certa precisione. Al contrario un computer non riesce né a comprendere né ad esprimere significati simili, in quanto esso "ragiona" esclusivamente su una logica di tipo *booleano*. Essa infatti comprende solo due stati: 1 e 0, vero o falso.

La teoria della logica *fuzzy*, enfatizzando questa differenza, sostiene che l'uomo, per sua natura, è portato a pensare, al fine di essere più preciso, in modo più simile a quello delle macchine, tralasciando o tendendo ad eliminare tutto ciò che è impreciso o vago ma che, come abbiamo già detto, costituisce gran parte del pensiero umano così come della realtà che ci circonda.

Per fare un esempio pratico si potrebbe suddividere un gruppo di persone secondo vari criteri; certamente sarebbe facile dividere tutte quelle che si chiamano X da quelle che si chiamano Y in quanto non esistono stati intermedi. Al contrario sarebbe alquanto difficoltoso fare una distinzione fra persone ricche o povere, oppure fra intelligenti e non; addirittura risulterebbe arbitrario isolare categorie abbastanza predefinite come persone "belle" e "brutte" o alte e basse. Molte di queste caratteristiche, inoltre, dipendono dall'ambiente stesso in cui operiamo, dal luogo, dal contesto sociale, culturale ecc.

L'obiettivo finale risulta così essere quello di portare il computer a dare tipi di output che non siano esclusivamente "vero o falso", ma che possano essere "abbastanza vero" o "parzialmente falso" e così via.

In definitiva la *fuzzy logic* può essere intesa come una metodologia di controllo di sistemi per risolvere problematiche complesse sfruttando anche dati imprecisi, vaghi o addirittura mancanti. In pratica essa adotta una metodologia simile a quella usata dalla mente umana che però, grazie alla potenza di calcolo derivata dal software e

dall'hardware utilizzato, risulta essere molto più veloce ed, in un certo senso, più obbiettiva. Anche la logica *fuzzy* ha infatti le proprie regole, insite nella tipologia stessa del "sistema" analizzato.

Basti pensare ai vantaggi che una scienza come l'archeologia può trarre da questo tipo di analisi: per loro natura, infatti, i dati archeologici lasciano sempre un certo margine di dubbio e, praticamente nella totalità dei casi, tali dati rappresentano solo una piccola parte di tutto ciò che, nel corso dei secoli, ha costituito la realtà in cui l'uomo ha vissuto e che ha contribuito a creare.

Per fare un esempio di ciò che può essere fatto tramite una analisi di tipo *fuzzy*, che sfrutta i principi propri del cervello umano, possiamo riassumere le principali caratteristiche che la distinguono dalla logica *booleana*, utilizzata dai computer, secondo il seguente schema.

LOGICA BOOLEANA	FUZZY LOGIC
logica basata esclusivamente su 0 e 1, vero o falso	pensieri formati da set di informazioni confuse
un elemento fa o non fa parte di una certa categoria	un elemento può far parte di una categoria, ma al tempo stesso venirne parzialmente escluso
non riesce a riprodurre molto bene i processi mentali umani	riesce a riprodurre i processi mentali umani di base

E' facile osservare subito come la maggior parte delle affermazioni contenute nella parte destra della tabella precedente si presti perfettamente alle esigenze di un archeologo; un grande vantaggio è inoltre quello di poter utilizzare tale logica su qualsiasi tipo di osservazione o analisi.

Le possibilità offerte dalla teoria del ragionamento sfumato possono essere infatti applicate ad un numero di campi praticamente illimitato: dall'analisi di insediamenti particolarmente confusi o complessi, sia a livello territoriale che di scavo o ricognizione di superficie, alla simulazione e predizione degli stessi, dalla possibilità di classificazione sia di siti che di manufatti tramite "riconoscimento" e conseguente inserimento in *database*, alla creazione di sistemi in grado di affiancare l'archeologo nei criteri di datazione, e più in generale in qualsiasi processo di tipo quantitativo.

Le metodologie che utilizzano sistemi logici non "tradizionali", ed in particolare la logica di tipo *fuzzy*, sono molte, ma senza dubbio la più usata è quella delle cosiddette "reti neurali artificiali" conosciute anche come ANN. Ad esse si affiancano gli "algoritmi genetici" che si rifanno alle teorie di sviluppo degli esseri viventi, i "sistemi autopoietici" (auto-organizzanti) e più in generale i cosiddetti "sistemi esperti", cioè in grado di risolvere problemi complessi.

Possono essere citate alcune metodologie di indagine che si prestano particolarmente ai fini archeologici come il vasto campo del "data mining" cioè l'individuazione di associazioni, "patterns", ossia sequenze ripetute, regolarità, nascoste nei dati (utili per esempio anche nella classificazione di manufatti, ed in primis di quelli ceramici) oppure le "Self-Organizing Map" (SOM) o reti di Kohonen che rientrano in una particolare

tipologia delle reti neurali definite appunto auto-organizzanti, utilizzabili soprattutto nella classificazione automatica di dati o in analisi di tipo spaziale.

Tutto questo, che rientra a pieno titolo nel grande campo dell'intelligenza artificiale o "A.I.", ha così permesso di aprire nuove ed interessanti possibilità in tutti i campi della ricerca, grazie all'utilizzo ed all'ottimizzazione dei cosiddetti "sistemi intelligenti".

La metodologia

Fra tutte le tecniche di intelligenza artificiale, nel corso di questa ricerca si è scelto di utilizzare quella delle reti neurali artificiali (ANN). La scelta si è basata su fattori di versatilità ed affidabilità propri di questa metodologia che, specialmente negli ultimi anni, ha permesso il superamento di alcune frontiere tipiche della computazione automatica.

In particolare le reti neurali artificiali possono essere utilizzate per risolvere problemi complessi, sia di ordine deterministico che stocastico. Esse prendono il loro nome dal fatto di riprodurre lo schema funzionale caratteristico del cervello umano. Il loro funzionamento si basa infatti sul concetto di apprendimento, effettuato tramite una procedura di “allenamento” durante la quale vengono immessi dati significativi alla comprensione del problema studiato. Successivamente è possibile introdurre nella rete nuovi dati, il cui output sia sconosciuto, in modo da ottenere soluzioni basate sul sapere precedentemente appreso. Tutto ciò è reso possibile grazie alla costruzione di modelli che simulino le celle neuronali umane e le sinapsi che le collegano, permettendo in tal modo al sistema di acquisire nuova conoscenza e lasciarla in memoria.

Grazie alla logica *fuzzy*, e alla sua implementazione tramite le ANN, è stato possibile superare il più grande limite dei calcolatori moderni cioè il fatto di poter “capire” solamente i concetti di vero/falso, uguale/diverso, senza soluzioni intermedie. Il linguaggio umano, al contrario, fa largo utilizzo di termini come “quasi”, “molto” e di concetti non nettamente definiti come “lontano”, “simile” o “alto”. La *fuzzy logic*, o teoria del ragionamento sfumato, si basa proprio su questo, permettendo così la generazione di output in grado di cogliere quelle “sfumature” che caratterizzano il ragionamento umano, evitando cesure nette che risulterebbero poco significative e difficilmente interpretabili.

I vantaggi offerti dalle reti neurali artificiali sono numerosi e possono essere riassunti dai concetti di controllo e versatilità. L’utente infatti ricopre il ruolo principale durante tutto il processo di apprendimento. Una correttezza di dati in fase di allenamento produrrà successivamente un output significativo. La caratteristica che più si presta alle applicazioni in campo archeologico è comunque la possibilità di utilizzare dati frammentari, confusi o alterati, sempre che l’allenamento sia stato effettuato in modo corretto.

Rientrando nel campo della logica *fuzzy*, le ANN presentano però problematiche che derivano dalla mancanza di criteri prefissati e stabili per l’utilizzo di questa metodologia. In ogni caso sarà invece l’esperienza dell’utente a determinare la validità dei risultati o meno. Questo vale in special modo per quanto riguarda la scelta della metodologia di apprendimento, del numero di “neuroni” da utilizzare o della velocità e durata dell’apprendimento.

Allo stato attuale di questa ricerca è stata studiata ed applicata una procedura che potesse aggiungere alle ANN il concetto di spazialità. La possibilità di utilizzare questo metodo per analisi di tipo spaziale è stata raggiunta tramite l’integrazione con software GIS, in particolare con il pacchetto ArcGIS Desktop della ESRI.

Il primo passo è stato quello di concepire un modello schematico in grado di riprodurre gli input e gli output necessari all'integrazione con le reti neurali artificiali. Questo è stato possibile grazie all'utilizzo di dati vettoriali di tipo puntuale in entrata, che potessero essere utilizzati nel processo di allenamento, e di tipo GRID in uscita.

Ciascun punto, che nello specifico faceva parte del tematismo dei castelli, è stato messo in relazione con varie griglie contenenti informazioni sulla morfologia del territorio, sulla distanza dalle risorse naturali e da altre tipologie di insediamento. L'incrocio degli attributi propri di ciascun castello è così stato utilizzato come "training set", cioè come dato di allenamento. Reimmettendo nel sistema le griglie relative a interi territori si è potuto passare alla produzione di nuovi GRID che contenessero i risultati, nello specifico la possibilità di incastellamento relativa al territorio occupato da ogni singola cella.

I risultati sono indubbiamente stati oltre le aspettative considerata anche la scarsità e la natura dei dati di allenamento. Infatti i primi esperimenti sono stati effettuati utilizzando solamente i fattori pendenza, distanza dai corsi d'acqua, dalle ville ottocentesche e dalle pievi.

Di centrale importanza è l'applicazione delle reti allenate su un territorio ad altri in modo da confrontare ed evidenziare differenze, similarità ed anomalie delle griglie risultanti. In tal modo possono essere messi a confronto i metodi di insediamento delle varie zone ed i rapporti fra le diverse forme del popolamento. Confrontando i dati in modo diacronico, sarà invece possibile individuare i processi e le possibili cause dei cambiamenti che hanno caratterizzato l'assetto territoriale nel corso del tempo.

Sono stati creati software appositi per automatizzare la procedura di estrazione dei dati, sia di allenamento che da processare, rispettivamente di tipo vettoriale e GRID.

Sebbene inizialmente il sistema fosse stato progettato esclusivamente per lavorare con ArcGIS, la scelta dei formati dei file è stata effettuata con criteri che rendessero possibile l'utilizzo di tali software su piattaforme diverse. Per quanto riguarda i dati GRID, è stato quindi scelto il formato Ascii Grid che è compatibile con la maggior parte dei software GIS attualmente in circolazione.

Al tempo stesso, in un primo tempo, si è fatto ricorso al linguaggio di programmazione Visual Basic che, grazie alla sua facilità d'uso, ha permesso di individuare le procedure da seguire. Tuttavia la lentezza di questo linguaggio di programmazione non permette di processare grandi quantità di dati in tempi ragionevoli. È stato quindi scelto di utilizzare il linguaggio C che ha permesso di diminuire i tempi di processamento in modo drastico, passando dall'ordine di alcune ore a pochi minuti. Inoltre, mentre VB è un linguaggio proprietario, questa scelta permette anche di utilizzare software open-source e soprattutto rende le applicazioni disponibili su diversi sistemi operativi. In particolare si è scelto di compilare tali utility per piattaforme Windows e Linux, o comunque Unix based.

In particolare è stato portato avanti il progetto "ArcANN", estensione di ArcGIS in grado di interagire con il simulatore di reti neurali SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator). Si tratta attualmente di una *dll* scritta in linguaggio Visual Basic in grado di creare in modo totalmente automatico dei *pattern* di allenamento compatibili con SNNS. Tuttavia, come detto in precedenza, anche questa utility potrebbe essere realizzata in linguaggio C a causa delle grandi quantità di dati che devono essere processati.

Data la mancanza di software che possano servire nel corso di questa ricerca, si prevede in generale un continuo sviluppo e miglioramento di applicazioni che possano consentire l'acquisizione ed il trattamento dei dati spaziali tramite le reti neurali artificiali.

Riguardo ad altri campi di applicazione delle ANN in archeologia, alcuni esperimenti sono stati fatti nel campo dell'archeometria, in particolare sull'interpretazione dei risultati delle analisi delle ceramiche effettuate con gas cromatografia/spettrometria di massa (GC-MS) al fine di interpretarne la funzione. Essendo un materiale poroso, infatti, la ceramica è in grado di assorbire le sostanze liquide e semiliquide con le quali entra a contatto. Dato che queste subiscono un degrado che dipende dal passare del tempo e da fattori postdeposizionali, per capire il tipo di sostanze che originariamente erano contenute nelle ceramiche è necessario identificare dei marker, ovvero degli indicatori tipici di ogni sostanza. Il riconoscimento dei marker permette a sua volta di capire il contenuto e/o la presenza di un rivestimento organico delle ceramiche e quindi di interpretarne la funzione.

Al fine di applicare la metodologia delle ANN a questo aspetto dell'archeometria, è stato creato un prototipo di rete neurale artificiale che presentasse in entrata i composti chimici risultanti dai cromatogrammi e che fornisse in uscita la probabilità che tale recipiente potesse essere servito per contenere o cuocere determinati alimenti, o che in origine presentasse un qualche rivestimento.

La fase di allenamento si è basata sulle conoscenze acquisite finora in questo campo dalla letteratura, dalla sperimentazione e dall'analisi di ceramiche archeologiche che consentono di individuare, sfruttando la presenza/assenza o le proporzioni di determinati composti il possibile contatto del recipiente con determinati alimenti o sostanze che potessero servire da rivestimento.

Le analisi, sebbene a livello ancora sperimentale, hanno offerto da subito ottimi risultati che, oltre a suggerire il proseguimento di questo tipo di indagini, fanno in generale sperare di poter allargare l'applicazione della ANN anche ad altri campi dell'archeometria.

L'analisi tramite ANN verrà impiegata inoltre nello studio della classificazione della ceramica, mettendo in primo piano la sua utilità come strumento datante. Le possibilità derivanti da questa sperimentazione riguarderanno in futuro progetti a larga scala quali la realizzazione di un *database web-oriented* che permetta l'analisi di contesti stratigrafici tramite l'immissione dei dati ceramici rinvenuti sullo scavo. Una sperimentazione analoga verrà fatta sul piano della classificazione automatica delle forme ceramiche, prospettando in tal modo nuovi paradigmi di schedatura in grado di affiancare quelli attualmente impiegati.

Gli strumenti utilizzati

Gli strumenti utilizzati si possono fondamentalmente dividere in tre categorie: i software GIS, i simulatori di reti neurali, ed i programmi che, oltre a quelli già realizzati, dovranno essere sviluppati nel corso della ricerca. Non esistono infatti, allo stato attuale, strumenti che rendano possibile l'integrazione dell'intelligenza artificiale a dati di tipo spaziale.

Per quanto riguarda la piattaforma GIS, essa verrà sviluppata utilizzando il pacchetto ArcGIS Desktop sviluppato dalla ESRI. La scelta è stata orientata in base alle caratteristiche di elasticità e potenza che caratterizzano questo software. Oltre a ciò offre un ambiente di sviluppo integrato, compatibile con i linguaggi Visual Basic e Visual C++, che rende l'utente in grado di sviluppare estensioni o *plug-in* per trattare i dati cartografici, sia vettoriali che *raster*, direttamente all'interno del programma. Questo si rivela assai utile in un progetto come questo, che necessita la creazione di strumenti personalizzati, specifici per la trattazione dei problemi archeologico-geografici.

Fra i simulatori di reti neurali, dopo aver vagliato le numerose possibilità, è stato scelto di utilizzare SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator), sviluppato presso l'Università di Stoccarda. Questo ambiente di analisi, già utilizzato da Duce per applicazioni archeologiche, si distingue in particolare per la sua enorme flessibilità e la relativa facilità di utilizzo. Oltre a ciò il programma è utilizzabile in modo totalmente gratuito essendo sviluppato secondo la filosofia dell'open source. Offre il supporto per la maggior parte delle tipologie di reti neurali oggi conosciute e dei relativi metodi di allenamento. È inoltre in grado di generare codice C per implementare le proprie reti su altri territori grazie a programmi *stand-alone* facilmente ridistribuibili via web.

La sezione degli strumenti sviluppati e da sviluppare comprende innanzitutto ArcANN, una estensione di ArcGIS che allo stato attuale è in grado di creare, tramite una procedura guidata, *pattern* di allenamento per SNNS direttamente all'interno del programma. Sebbene l'integrazione con ArcGIS rimanga il principale approccio, si è preferito puntare anche sul versante della compatibilità con altri software GIS. Si è scelto perciò di utilizzare file comuni quali gli Ascii Grid e file in formato testo/tabulatore che sono trattabili con la maggior parte dei programmi in circolazione. Oltre a ciò, compilando le applicazioni in linguaggio C, si è potuto rendere tali utility compatibili anche su sistemi non Windows, intendendo piattaforme Unix-based, ed in particolare Linux.

La scelta degli strumenti di sviluppo è stata effettuata privilegiando il software gratuito ed *open source*. Dove possibile saranno quindi impiegati editor e compilatori distribuiti sotto licenza *freeware* o *shareware*. In armonia con questa scelta, nella progettazione di eventuali database, si prevede fin da subito l'utilizzo del binomio Php/PostgreSQL su server Apache, in modo da consentire fin da subito un accesso globale al sistema, e assicurando la stabilità garantita da un sistema operativo Linux.

Stato attuale di avanzamento

- Individuazione delle procedure di base per il processamento di dati spaziali tramite reti neurali artificiali.
- Creazione di applicazioni in grado di integrare l'uso delle ANN in ambiente GIS.
- Processamento tramite ANN di dati spaziali relativi all'incastellamento fra il XII ed il XIII secolo nel territorio delle attuali Province di Grosseto, Siena e Arezzo.
- Individuazione delle procedure di base per l'utilizzo delle ANN nell'analisi di cromatogrammi al fine di individuare le probabili destinazioni d'uso dei recipienti.

1° anno

- Acquisizione dei dati relativi all'insediamento alto e basso medievale.
- Integrazione dei dati territoriali.
- Creazione della piattaforma GIS.
- Sviluppo degli strumenti necessari al processamento dei dati spaziali.
- Sviluppo degli strumenti necessari al processamento di dati archeometrici per analisi GC-SM.
- Definizione di procedure per l'applicazione delle reti neurali allo studio della ceramica.
- Sviluppo degli strumenti necessari all'analisi delle ceramiche.

2° anno

- Processamento dei dati spaziali.
- Processamento dei dati archeometrici.
- Processamento dei dati ceramici.
- Analisi dei risultati spaziali.
- Sperimentazione dell'utilizzo delle ANN in altri campi di applicazione archeologica.

3° anno

- Interpretazione dei risultati in modo sincronico.
- Interpretazione dei risultati in modo diacronico.
- Interpretazione dei risultati di indagini mirate.
- Stesura della tesi.

Bibliografia

Insediamiento medievale e incastellamento

Andrews D. - *Castelli e incastellamento nell'Italia centrale, la problematica archeologica* (in Castelli, 1984, pp. 123-136.)

Augenti A., Cortese M.E., Farinelli R., Firmati M., Gottarelli A. - "*L'atlante informatizzato dei siti fortificati d'altura della Toscana: un progetto in corso di svolgimento*" (in Sistemi informativi e reti geografiche in archeologia: GIS-Internet., a cura di Antonio Gottarelli, Firenze, 1997)

Barker G. - *L'archeologia del paesaggio italiano: nuovi orientamenti e recenti esperienze* (in "A.M." XIII, 1986, pp. 7-31.)

Boldrini E., Francovich R. (a cura di) - *Acculturazioni e mutamenti. Prospettive nell'archeologia medievale del Mediterraneo* (VI Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in Archeologia, Firenze, 1995.)

Brogiolo G.P. (a cura di) - *Città, castelli, campagne nei territori di frontiera* (Atti del 5° seminario di Monte Barro, Monte Barro, 1994)

Brogiolo G.P., Gelichi S. - *Nuove ricerche sui castelli altomedievali in Italia settentrionale* (Firenze, 1996)

Brogiolo G.P., Gelichi S. - *La città nell'alto medioevo italiano. Archeologia e storia* (Roma-Bari, 1998)

Cambi F., Citter C., Guideri S., Valenti M. - *Etruria, Tuscia, Toscana: la formazione dei paesaggi altomedievali* (in Francovich - Noyé, pp. 183-215, 1994)

Cammarosano P. - *Le campagne senesi dalla fine del secolo XII agli inizi del Trecento: dinamica interna e forme del dominio cittadino* (in Contadini e proprietari nella Toscana moderna. Atti del Convegno di Studi in onore di Giorgio Giorgetti, I: Dal Medioevo all'età moderna], pp. 153-222, 1979a)

Cammarosano P., Passeri V. - *Città borghi e castelli dell'area senese-grossetana* (Siena, 1984)

Cherubini G., Francovich R. - *Forme e vicende degli insediamenti nella campagna toscana dei secoli XIII-XV* ("Quaderni Storici" 24, pp. 877-905, 1973)

Cherubini G. - *Le campagne italiane dall'XI al XV secolo* (in Storia d'Italia IV, 1981, pp. 265-448, 1981b)

Ciampoltrini G. - *Ville, pievi, castelli: due schede archeologiche per l'organizzazione del territorio nella Toscana nord-occidentale tra tarda antichità e altomedioevo* (in A.M. XXII, 1995, pp.557-568.)

- Comba R., Settia A. (a cura di) - *Castelli storia e archeologia* (Torino 1984)
- Duby G - *Guerriers et paysans. VII-XIIe siècle. Premier essor de l'économie esuroéenne.* (Paris, 1973)
- Francovich R. - *I castelli del contado fiorentino nei secoli XII e XIII* (Firenze, 1976a)
- Francovich R. - *L'area toscana, in Storia d'Italia, VI* (Torino, pp. 582-592, 1976b)
- Francovich R., Cucini C., Parenti R. - *Dalla villa al castello: dinamiche insediative e tecniche costruttive in Toscana fra tardoantico e bassomedioevo* (in Francovich R., Mialnese M. (a cura di), Firenze 1990, pp. 47-79)
- Francovich R., Mialnese M. (a cura di) - *Lo scavo archeologico di Montarrenti e i problemi dell'incastellamento medievale, esperienze a confronto* (Atti del Convegno (Siena 1988), Firenze, 1990)
- Francovich R., Noyé G., (a cura di) - *La storia dell'Alto Medioevo italiano alla luce dell'archeologia* (Atti del convegno internazionale tenutosi a Siena 2-6 dicembre 1992, Ecole Française de Rome - Università degli Studi di Siena, Firenze, 1994)
- Francovich R.; Wickham Ch. - *Uno scavo archeologico ed il problema dello sviluppo della signoria territoriale: Rocca San Silvestro e i rapporti di produzione minerari* (in "Archeologia Medievale", XXI, pp.7-30, 1994)
- Francovich R; Valenti M. - *La nascita dei castelli nell'Italia Medievale. Il caso di Poggibonsi e le altre esperienze dell'Italia centrosettentrionale, Relazioni preliminari* (Convegno Poggibonsi, 12-13 settembre 1997, Poggibonsi.)
- Francovich R.; Ginatempo M. - *Castelli* (Firenze, 2000)
- Francovich R., Hodges R. - *Villa to Village. The transformation of the Roman Countryside in Italy, c.400-1000* (Duckworth London, 2003)
- Fumagalli V. - *Uomini e paesaggi medievali* (Bologna, 1989)
- Gambi L. - *I valori storici dei quadri ambientali* (in Storia d'Italia 1, 1972, pp. 5-69.)
- Gelichi S. - *Premessa ad una carta archeologica medievale del territorio di Piombino* ("Rassegna di Archeologia", 4, 1984, pp. 341-358.)
- Gelichi S. - *Populonia in età tardo-antica e nell'alto Medioevo: note archeologiche* (1996)
- Gelichi S. - *Introduzione all'archeologia medievale. Storia e ricerca in Italia* (Roma, 1997)
- Ginatempo M., Giorgi A. - *Le fonti documentarie per la storia degli insediamenti medievali in Toscana* ("A. M.", XXIII, 1996, pp. 7-52.)

- Ginatempo M., Sandri L. - *L'Italia delle città. Il popolamento urbano tra Medioevo e Rinascimento (secoli XIII-XVI)* (Firenze, 1990)
- Giusti M. (a cura di) - *Rationes Decimarum Italiae. Tuscia, II, Le decime degli anni 1295-1304* (Città del Vaticano, 1942)
- Guidi P.,(a cura di) - *Rationes Decimarum Italiae. Tuscia, I, Le decime degli anni 1274-1280* (Città del Vaticano, 1932)
- Hessen Von O. - *I ritrovamenti longobardi nella Tuscia* (in Atti del V congresso internazionale di studi sull'altomedioevo (Lucca, 1971), Spoleto, 1973, pp. 555-567.)
- Kurze W. - *Nobiltà toscana e nobiltà aretina* (in I ceti dirigenti nella Toscana nell'età precomunale, Atti del Convegno di Studi - Firenze 2 dicembre 1978, Pisa, 1981, pp. 257-265.)
- Pasquali G., Cortonesi A, Piccinni G. - *Uomini e campagne nell'Italia medievale* (Bari, 2002)
- Piccinni G., Francovich R. - *Aspetti del popolamento e del paesaggio nelle campagne senesi bassomedievali* (in Cammarosano P., PASSERI V. ,(a cura di), 1976, pp. 263-269.)
- Potter T.W. - *Recenti ricerche in Etruria meridionale: problemi della transizione dal tardoantico all'altomedioevo* ("A.M." II, 1975, pp. 215-236.)
- Settia A.A. - *Pievi e cappelle nella dinamica del popolamento rurale* (in Cristianizzazione ed organizzazione ecclesiastica nelle campagne dell'Alto Medioevo: espansione e resistenze, XXVIII Settimana di studio del Centro italiano di studi sull'Alto Medioevo, Spoleto 1980, Spoleto, 1982, pp.445-493.)
- Stoddart, S. K. F. - *Per una storia archeologica del Casentino* ("A. M.", VIII, 1981, pp.503-526)
- Toubert P. - *Les structures du Latium médiéval* (Le Latium méridional et la Sabine du IXesiècle à la fin du XIIe siècle, 2 voll., Roma, 1973)
- Toubert, P. - *Il sistema curtense: la produzione e lo scambio interno in Italia nei secoli VIII, IX e X.* (in "Storia d'Italia. Annali 6. Economia naturale, economia monetaria", a cura di Romano R. – Tucci U., Torino 1983, pp. 5-66.)
- Toubert P. - *Dalla terra ai castelli: paesaggio, agricoltura e poteri nell'Italia medievale.* (Torino, 1995),
- Valenti M. - *Poggio Imperiale a Poggibonsi: dal villaggio di capanne al castello di pietra, I, Diagnostica archeologica e campagne di scavo 1991-1994* (Firenze, 1996)

Valenti M. - *La Toscana tra VI-IX secolo. Città e campagna tra fine dell'età tardoantica ed altomedioevo* (in Brogiolo G.P., Gelichi S. (a cura di), *La fine delle ville romane: trasformazioni nelle campagne tra tarda antichità e altomedioevo nel territorio gardesano*, 1° convegno archeologico del Garda - Gardone Riviera (Brescia) 14 ottobre 1995, "Documenti di Archeologia", 11, Mantova, 1996, pp. 81-106.)

Valenti M. - *Carta Archeologica della Provincia di Siena, vol.III, La Valdelsa* (Comuni di Colle Val d'Elsa e Poggibonsi) (Siena, 1996.)

Valenti M. - *L'insediamento altomedievale nelle campagne toscane. Paesaggi, popolamento e villaggi tra VI e X secolo* (Biblioteca del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti – Sezione Archeologica Università di Siena, 10, Firenze, 2004)

Violante C. - *Pievi e parrocchie nell'Italia centro-settentrionale durante i secoli XI-XII* (in *Le istituzioni ecclesiastiche della Societas Christiana dei secoli XI-XII. Diocesi, pievi, parrocchie*, "Atti della VI settimana internazionale di studio, Milano 1974, Milano, 1977, pp.643-799)

Wickham Ch. - *L'incastellamento e i suoi destini, undici anni dopo il Latium di P. Toubert* (in Noyé G. (a cura di), 1988, pp. 411-420.)

Wickham Ch. - *Documenti scritti e archeologia per una storia dell'incastellamento: l'esempio della Toscana* (in Francovich R., Mialnese M. (a cura di), 1990, pp. 79-102.)

Wickham Ch. - *L'Italia e l'alto Medioevo* (in A.M. XV, 1988, pp. 105-124.)

Wickham Ch. - *Economia altomedievale* (in AA.VV. *Storia Medievale, Manuali Donzelli*, Roma, 1998, pp.203-226.)

Reti Neurali Artificiali

Anderson D., McNeill G. - *Artificial Neural Networks Technology* (1992, http://www.dacs.dtic.mil/techs/neural/neural_ToC.html)

Botta M.- *Introduzione alle Reti Neurali* (Torino, 2002 PDF www.bioinformatica.unito.it/complex_systems/botta-RetiNeuraliXDMDay.pdf)

Cammarata S. – *Reti neurali. Dal Perceptron alle reti caotiche e neuro-fuzzy* – Seconda edizione (Etas Libri, 1997)

Freeman J.A., Skapura D.M. - *Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Techniques* (PDF, <http://www.ru.lv/~peter/ebooks.html>)

Grippo L., Sciandrone M. - *Metodi di ottimizzazione per le reti neurali* (<http://ftp.dis.uniroma1.it/PUB/OR/palagi/didattica/neurali.ps>)

Jain Anil K., Jianchang M., Mohiudding K.M. – *Artificial Neural Networks: a tutorial* (1996)

Jordan M.I., Bishop C.M. - *Neural Networks* (CRC Press, 1996, PDF)

Marchese L. - *Reti neurali su personal computer + Fuzzy Logic* (PDF <http://www.steo.it/ici>)

Neelakanta P. S., DeGross D. - *Neural Network Modeling: Statistical Mechanics and Cybernetic Perspectives* (CRC Press, 1994, PDF <http://www.ru.lv/~peter/ebooks.html>)

Van der Smagt P., Krose B. - *An introduction to Neural Networks. Eighth edition* (November 1996, PDF, www.avaya.com/files/articles/mnintro/mn_intro.pdf)

Intelligenza Artificiale in generale

Russell S., Norvig P. - *Artificial Intelligence - A Modern Approach* (Prentice Hall, 1995)

E. Rich, K. Knight - *Intelligenza Artificiale, II edizione* (McGraw Hill, 1993, PDF <http://www.ru.lv/~peter/ebooks.html>)

E. Charniak, D. McDermott - *Introduzione alla Intelligenza Artificiale* (Masson - Addison Wesley, 1988)

Applicazioni fuzzy in Archeologia e Geografia

Antinucci F., Cecconi F., Natale F., Parisi D. - *Simulating the indo-european expansion through a cellular automaton* (2002 DOC, <http://gral.ip.rm.cnr.it/dparisi/domenico/articoli/pi2002.zip>)

Barcelo J.A. - *Automatic Problem Solving in Archaeology* (Archeologia e Calcolatori 4: 61-80, 1993)

Barcelo J.A. - *Oltre le Classificazione: l'apprendimento automatico negli studi archeologici e culturali* (Intelligenza Artificiale. Rivista dell'associazione italiana per l'Intelligenza Artificiale. Vol. 1, pp. 29-33., 2004)

Barcelo J.A. - *Back-propagation algorithms to compute similarity relationships among archaeological artifacts* (In Computer Applications in Archaeology. Edited By r J. Wilcock y K. Lockyear. Oxford: British Archaeological Reports, 1995)

Barcelo J.A. - *Beyond Clasification: Automatic Learning in Archaeology and Cultural Studies* (In Artificial Intelligence for the Cultural Heritage Edited by L. Bordoni and F. Poggi. Servizio Editoriale Universitario di Pisa, pp. 1-6., 2003)

Brown Dwight A., Chang K. C. - *Artificial Neural Networks, Paradigms, and western Wheatgrass Geography* (PDF, http://cla.umn.edu/grasslands/ww_ann1.PDF)

Corne S.A., Carver S.J., Kunin W.E., Lennon J.J., van Hees W.W.S. - *Using artificial neural network methods to predict forest characteristics in southeast Alaska* (4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling Problems, Prospects and Research, 2000, PDF, [http://wwwtest.fs.fed.us/pnw/fia/local-resources/pdf/fia_scientist_publications/vanhees/forsci%2050\(2\)259-276.pdf](http://wwwtest.fs.fed.us/pnw/fia/local-resources/pdf/fia_scientist_publications/vanhees/forsci%2050(2)259-276.pdf))

Davino C., Di Martino R., Mola F., Vistocco D. - *Riconoscimento automatico di forme in archeologia: il caso della necropoli di Sala Consilina* (PDF, <http://studi131.casaccia.enea.it/enea/apps/aiaa/consili.pdf>)

Delicado P. - *Statistics in Archaeology: New directions* (1998, PDF <http://ideas.repec.org/p/upf/upfgen/310.html>)

Demyanov V., Kanevsky M., Chernov S., Savelieva E., Timonin V. - *Neural Network Residual Kriging Application for Climatic Data* (Journal of Geographic Information and Decision Analysis vol. 2, 1998, PDF, <http://cost719.met.no/papers/silva.pdf>)

Drumm D., Purvis M., Zhou Q. - *Spatial ecology and artificial neural networks* (The 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, Dunedin, New Zealand, 1999, PDF)

Ducke B., Munch U. - *Predictive Modelling and the Archaeological Heritage of Brandenburg/Germany* (http://www.archeologie.leidenuniv.nl/content_docs/research/ducke_muench.pdf)

Filippi J.B. - *An hybrid method, combining neural networks, object oriented modeling and GIS for the modeling and simulation of natural complex systems* (PDF, <http://spe.univ-corse.fr/filippiweb/publis/docs/gisig-oxford.pdf>)

Griguolo S. - *Classificatori statistici e reti neurali nella segmentazione del territorio su immagini satellitari* (XXI conferenza italiana di scienze regionali, PDF, <http://cidoc.iuav.it/~silvio/papers/aisre2000.pdf>)

Griguolo S., Mazzanti M. - *Simulazione mediante una rete neurale dei valori mancanti nelle immagini spot4-vegetation* (PDF, <http://cidoc.iuav.it/~silvio/papers/Input2003.pdf>)

Krivoruchko K. - *Using linear and non-linear kriging interpolators to produce probability maps* (Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, 2001, PDF, http://campus.esri.com/campus/library/ConfProc/GeostatisticsTeam/Krivoruchko_2001_UsingLinear.pdf)

Laffan S.W. - *Visualising Neural Network Training in Geographic Space* (http://divcom.otago.ac.nz/SIRC/GeoComp/GeoComp98/48/gc_48.htm)

Linderman M., Liu J., Qi J., An L., Ouyang Z., Yang J., Tan Y. - *Using artificial neural networks to map the spatial distribution of understorey bamboo from remote sensing*

data (Int. J. Remote Sensing, vol. 25, n. 9, 2004, PDF, http://www.globalchange.msu.edu/publications/pdfs_ps/CGCEO%2095.pdf)

Liou Y., Tzeng Y., Chen K.S. - *The Use of Neural Networks in Radiometric Studies of Land Surface Parameters* (Proc. Natl. Sci. Council. ROC(A)Vol. 23, No. 4, 1999, PDF, <http://nr.stic.gov.tw/ejournal/ProceedingA/v23n4/511-517.pdf>)

Liu S., Reiners W.A., Gerow K., Schimel D.S., Kelle M. - *Development of Stochastic Modeling Systems Using Deterministic Models and GIS* (4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling, 2000)

Margarido Brondino N.C., Rodrigues da Silva A.N. - *Combining artificial neural networks and GIS for land valuation purposes* (PDF, http://business.unisa.edu.au/prres/Proceedings/Proceedings2005/Sarip_Integrating_Artificial_Neural_Networks_And.pdf)

Muttiah R., Srinivasan R., Engel B. - *Development and Application of Neural Network Interface for GRASS GIS* (http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/muttiah_ranjan/muttiah.html)

Parisi D. - *Artificial Life and the simulation of culture* (<http://www.neuroingegneria.com/art/Artificial%20Life%20and%20the%20simulation%20of%20culture/18.php>)

Pijanowski B. C. et al. - *Using Neural Nets and GIS to Forecast Land Use Changes* (Environment and Urban Systems 26.6, 2002)

Reeler C. - *Beyond GIS: Artificial Intelligence in Archaeology* (in Archaeological Applications of GIS: Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress, Forli, Italy, September 1996, New Zealand, 1996)

Reeler C. - *Fuzzy Logic, Neural Networks and the Analysis of pa Sites* (in Archaeological Applications of GIS: Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress, Forli, Italy, September 1996, New Zealand, 1996)

Singer Donald A. - *Abstracts for the Symposium on the Application of Neural Networks to the Earth Sciences* (PDF, <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of02-315/of02-315.pdf>)

Weir-Smith G., Schwabe C.A. - *Spatial interpolation vs neural network propagation as a method of extrapolating from field surveys* (PDF, <http://www.hsrb.ac.za/gis/papers/spatialInterpolation/spatialInterpolation.pdf>)

Wong K.W., Gedeon T.D., Fung C.C., Wong P.M. - *Spatial Interpolation Using Neural Fuzzy Technique* (PDF)

Zubrow E. - *The Archaeologist, the Neural Network, and the Random Pattern: Problems in Spatial and Cultural Cognition of Landscapes* (Archaeopress, 2003 PDF)

Analisi Spaziale

Bivand R. - *Implementing spatial data analysis software tools in R* (Bergen, Norway, 2002 PDF)

Clarke D. - *Spatial archaeology* (London 1976)

J. Ebert - *Distributional archaeology* (Salt Lake City, 1992)

Hodder I., C. Orton - *Spatial analysis in archaeology* (Cambridge 1976)

Macchi G. - *Il problema della Misurazione delle distanze nella ricerca archeologia* (in A.M., XVII, All'insegna del Giglio, Firenze, 2000)

Macchi G. - *Modelli matematici per la ricostruzione del paesaggio medievale* (in Archeologia e Calcolatori, vol XII, 2001)

Morehart M., Murtagh F., Starck J. - *Multiresolution spatial analysis* (1999, Geocomputation.org)

O'Sullivan D., Unwin D. J. - *Geographic Information Analysis* (Hoboken 2003)

Ono H. - *Development of Integrated Spatial Analysis System Using Open Sources* (PDF)

Wheatley D., Gillings M. - *Spatial technology and archaeology: The archaeological applications of GIS* (New York, 2002)

Intelligenza Artificiale e Analisi Spaziale

Awad M.M., Khawlie M. - *Spatial analysis optimisation using genetic algorithm* (Geographical Review 81(3) PDF)

Câmara G., Vieira Monteiro A.M. - *Geocomputation techniques for spatial analysis: are they relevant to health data?* (Rio de Janeiro, 2002 PDF)

Carlson E. - *Kohonen Map, GIS and the Analysis of Real Estate Sales* (PDF)

Fischer M.M. - *GIS and Spatial Analysis: Towards a New Generation of Spatial Data Analysis Models* (PDF)

Fischer M.M. - *Principles of Neural Spatial Interaction Modelling* (2003 PDF)

Fischer M.M., Reismann M. - *A Methodology for Neural Spatial Interaction Modeling* (Geographical Analysis 34(3), 2002)

- Fischer M.M., Reisman M. - *Parameter estimation in neural spatial interaction modelling by a derivative free global optimization method* (Geocomputation.org, 1999)
- Gilardi N., Bengio S. - *Local Machine Learning Models for Spatial Data Analysis* (Journal of Geographic Information and Decision Analysis vol. 4, 2000)
- Giordano F. - *Un criterio di inizializzazione per reti neurali nell'analisi del trend* (Quaderni di Statistica Vol. 3, 2001 PDF)
- Goovaerts P. - *Prediction and stochastic modelling of facies types using classification algorithms and simulated annealing* (PDF)
- Huang Y., Wong P., Gedeon T. - *Spatial Interpolation Using Fuzzy Reasoning and Genetic Algorithms* (Journal of Geographic Information and Decision Analysis vol. 2, 1998)
- Kasabov N.K. - *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering* (MIT Press, 1996)
- Kasabov N.K., Purvis M.K., Zhang F., Benwell G.L. - *Neuro-Fuzzy Engineering for Spatial Information Processing* (1996, PDF)
- Michie D., Spiegelhalter D.J., Taylor C.C. - *Machine Learning, Neural and Statistical Classification* (1994, PDF)
- Miller H.J. - *Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation* (Geographical Analysis n. 30, PDF)
- Myers D.E., De Iaco S., Posa D. - *Space-Time Modeling and the Linear Coregionalization Model* (PDF)
- Paulson J. - *Spatial Predictive Modeling: a Neural Network Approach* (PDF)
- Pebesma E.J. - *Spatial Analysis and GIS 2* (2003, PDF)
- Samanta B., Bandopadhyay, S., Ganguli, R. - *Data Segmentation and Genetic Algorithms for Sparse Data Division in Nome Placer Gold Grade Estimation Using Neural Network and Geostatistics* (2004, DOC)
- Sucharita Gopal - *Artificial Neural Networks for Spatial Data Analysis* (NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science. URL: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u188/u188.html>)
- Thurston J. - *GIS & Artificial Neural Networks: Does Your GIS Think?* (January 2002, GIS Cafe.com)
- Wilson C. - *GIS Modelling Techniques Using Neural Networks: a Geological Application* (1997)

Archeometria

Biers W.R, Mcgovern P.E. (a cura di) - *Organic contents of ancient vessels: material analysis and archaeological investigation* (MASCA, 7, Philadelphia, 1990.)

Bonaduce I., Colombini M.P. - *Characterisation of beeswax in works of art by gas chromatography-mass spectrometry and pyrolysis- gas chromatography-mass spectrometry procedures* (in Journal of Chromatography A, 1028, 2004, pp. 297-306.)

Charters, S. Evershed R. P. - *Evidence for the mixing of fats and waxes in archaeological ceramics* (in Archaeometry, 37, 1, 1995, pp. 113-127.)

Colombini M. P., Giachi G., Modugno F., Pallecchi P., Ribechini E. - *The characterization of paints and waterproofing materials from the shipwrecks found at the archaeological site of the etruscan and roman harbour of Pisa (Italy)* (in Archaeometry, 45, 4, pp. 659-674, 2004)

Condamin J., Formenti F., Metais M.O., Michel M., Bond P. - *The application of Gas Chromatography to the tracing of oil in ancient amphorae* (in Archaeometry, 18, 2, 195-201, 1976)

Dudd S., Regert M., Evershed R. - *Assessing microbial lipid contributions during laboratory degradations of fats and oils pure triacylglycerols absorbed in ceramic potsherds* (in Organical Geochemistry, 29, 5-7, 1998, pp. 1345-1354.)

Evershed R. - *Biomolecular archaeology and lipids* (in World Archaeology, 25, 1, pp. 74-93, 1993)

Evershed R. P., Heron C., Goad L.J. - *Analysis of Organic Residues of Archaeological Origin by High-temperature Gas Chromatography and Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (in Analyst, 115:1339-1342, 1990)

Evershed R., Dudd S., Copely M., Berstan R., Scott A., Mottram H., Bulley S., Crossman Z. - *Chemistry of Archaeological Animal Fats* (in Accounts of Chemical Research, 35, 8, pp. 660-668, 2002)

Giorgi G., Salvini L., Pecci A., Grassi F. - *The meals in a building yard during the Middle Age. A mass spectrometry study of Organic residues in ceramic potsherds recovered from the Carmine Convent in Siena* (International Symposium on Mass Spectrometry 2002, Cetraro, Cosenza, 2002.)

Guash-Jané M. R., Ibero Gómez M., Andrés-Lacueva C., Jàuregui O., Lamuela-Raventós R.M. - *Liquid chromatography with mass spectrometry in Tandem mode applied for the identification of wine markers in residues from ancient Egyptian vessels* (in Analytical Chemistry, 76, 6, pp. 1672-1677, 2004.)

Heron C., Evershed R. - *The analysis of organic residues and the study of pottery use* (in Shiffer M. B. (a cura di) Archaeological Method and Theory 5. University of Arizona Press Tucson, pp. 247-284, 1993)

Kimpe K., Drybooms C., Schrevens E., Jacobs P.A., Degeest R., Waelkens M. - *Assessing the relationship between form and use of different kinds of pottery from the archaeological site of Sagalassos (southwest Turkey) with lipid analysis* (in Journal of Archaeological Science, c.s., 2004)

Leute U. - *Archeometria. Un'introduzione ai metodi fisici in archeologia e in storia dell'arte* (La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1987)

Mannoni T., Molinari A. - *Scienze in archeologia, II Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia* (Certosa di Pontignano, Siena, 7-19 novembre 1988, All'Insegna del Giglio, Firenze, 1990)

Pecci A. - *Per una definizione funzionale degli spazi e delle ceramiche all'interno degli insediamenti in corso di scavo: un progetto archeometrico*. (Tesi di dottorato in Archeologia medievale, 2005.)

Regert M., Bland H., Dudd S., Van Bergen P., Evershed R. - *Free and bound fatty acid oxidation products in archaeological ceramic vessels* in Proceedings The Royal Society of London B, 265, pp. 2027-2032.

Rice P.M. - *Pottery Analysis. A Sourcebook* (The University of Chicago Press, Chicago, 1987)

Salvini L., Valdambrini C., Pecci A., Citter C., Giorgi G. - *Medieval vessels from Grosseto and Castel di Pietra: organic residues and functions* (poster al International Symposium on Mass Spectrometry 2004, Bari.)

Indice

Presentazione del progetto	1
Problematica e temi della ricerca.....	3
Obiettivi della ricerca	5
Obiettivi generali.....	5
Obiettivi specifici.....	5
Quadro conoscitivo	8
Lo studio storico della maglia insediativa	8
Intelligenza artificiale e <i>fuzzy logic</i>	9
La metodologia	12
Gli strumenti utilizzati	14
Tempi della ricerca	16
Bibliografia	17
Insediamento medievale e incastellamento.....	17
Reti Neurali Artificiali	20
Intelligenza Artificiale in generale.....	21
Applicazioni fuzzy in Archeologia e Geografia	21
Analisi Spaziale	24
Intelligenza Artificiale e Analisi Spaziale	24
Archeometria.....	26