

## TOPOLOGIA: IDENTIFICAZIONE, SIGNIFICATO E VALENZA NELLA RICERCA ARCHEOLOGICA

### 1. INTRODUZIONE

La topologia è la scienza che si occupa delle proprietà qualitative delle figure geometriche, in altre parole si interessa delle *proprietà di relazione spaziale* trascurando la quantificazione di distanza e misure<sup>1</sup>. In archeologia, fino ad oggi, si sono indagate in maniera approfondita solo alcune relazioni spaziali<sup>2</sup>, ma attraverso il recupero della topologia si possono derivare altre definizioni qualitative dello spazio (relazioni di intorno, di prossimità, di continuità, di connessione, di separazione, di chiusura, di successione) che suggeriscono un filtro analitico più efficiente basato sulla *conoscenza intuitiva dello spazio* che è propria dell'esperienza sensibile dell'uomo (Figg. 1-2).

L'ipotesi da cui è partita la ricerca è che esista uno stretto rapporto tra archeologia e topologia e che sia necessario sottolinearne le ricadute sul piano concettuale e sul piano operativo nella disciplina archeologica.

A creare le condizioni per questa nuova direzione hanno avuto un'importanza determinante l'evoluzione delle tecnologie e la considerazione della tridimensionalità dello spazio. Entrambe permettono di anticipare la fase di interpretazione delle "forme" archeologiche, suggerendo di descrivere i significati dello spazio fin dalla fase di schedatura degli elementi. Questi elementi possono essere considerati una parte di un contesto più ampio, un sottoinsieme, o un insieme indipendente (Fig. 3). Una "forma" archeologica è pertanto un insieme di sottoinsiemi relazionati, e in quanto tale definisce uno spazio topologico, in cui il contenuto formale viene a corrispondere con il valore spaziale.

### 2. LA RAPPRESENTAZIONE DELLE RELAZIONI SPAZIALI

Le relazioni spaziali sono studiate in molte aree scientifiche (la Scienza Cognitiva, la Psicologica, l'Intelligenza Artificiale, l'Informatica e la Geogra-

<sup>1</sup> Il termine "topologia" fu usato per la prima volta nel 1847 da J.B. Listing nel suo libro *Vorstudien zur Topologie* (Studi introduttivi alla topologia). Ma la nascita ufficiale di quel ramo della matematica, che oggi si chiama topologia, si deve a Jules-Henri Poincaré (1854-1912) con il volume intitolato *Analysis Situs* (letteralmente Analisi della posizione) pubblicato nel 1895. Cfr. DI CRISTINA 2001, 7-13.

<sup>2</sup> I rapporti fisici formalizzati nella scheda US dell'ICCD che descrivono un contatto (copre/coperto da, si appoggia/gli si appoggia, taglia/è tagliato, riempie/è riempito) e quelli che descrivono un'uguaglianza (uguale a, si lega a).

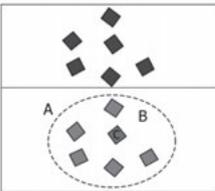
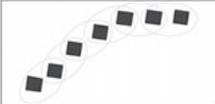
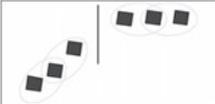
Grafica	Relazione topologica	Descrizione
	Prossimità - Vicinanza	<p>Condizione spaziale esistente fra oggetti separati e l'uno vicino agli altri.</p> <p>L'insieme A comprende C e l'intorno B di C (punti B-vicini a C).</p>
	Successione	Condizione spaziale esistente fra oggetti separati e disposti in modo da formare una fila.
	Continuità	Condizione spaziale esistente fra oggetti appartenenti ai reciproci intorni ("intorni intrecciati") e pertanto in sicura continuità.
	Discontinuità	Condizione spaziale di interruzione tra due continuità.
	Interno - Esterno	Condizione spaziale esistente fra oggetti posti in una delle due regioni del piano, quella esterna o interna, divise da una linea chiusa che ne definisce il confine o frontiera.

Fig. 1 – Relazioni topologiche: grafica, definizione e descrizione, parte 1.

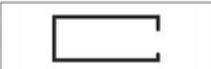
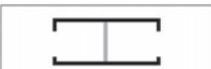
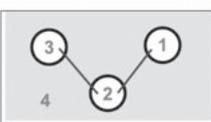
Grafica	Relazione topologica	Descrizione
	Condivisione - Adiacenza	Condizione spaziale esistente fra due regioni di spazio adiacenti che condividono un elemento.
	Chiusura	Una regione chiusa è una regione comprendente anche i suoi punti di frontiera, ovvero il suo contorno (linea nel caso di una regione bidimensionale, superficie nel caso di una regione tridimensionale).
	Apertura	Una regione si dice aperta quando il suo contorno è aperto operando su di esso un varco.
	Separazione	Una regione spaziale si dice separata quando viene divisa in due o più parti.
	Connessione	Due o più regioni spaziali si dicono connesse quando hanno punti interni collegati da una linea.
	Bucato	Una regione si dice bucata quando ha subito un taglio che crea uno spazio vuoto.

Fig. 2 – Relazioni topologiche: grafica, definizione e descrizione, parte 2.

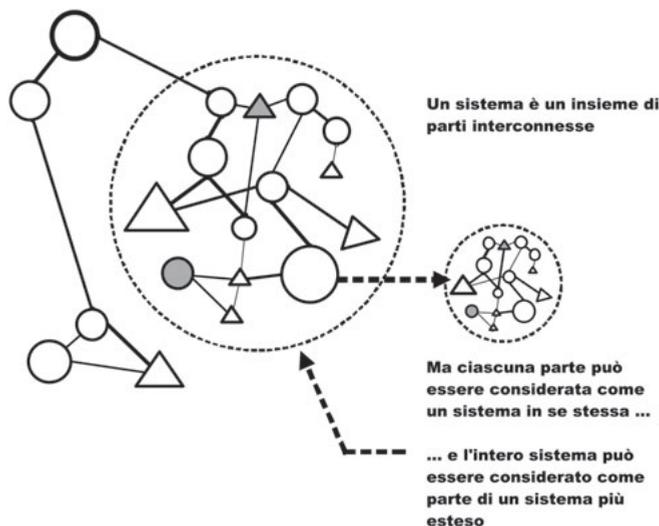


Fig. 3 – Insiemi di parti interconnesse (elaborato da SCHIAVONI, IOANNILLI 2002-2003).

fia) attraverso l'impiego di software sviluppati secondo i più diffusi schemi grafico-deduttivi di natura topologica (*spatial logics, graph representations, 2D strings, symbolic arrays e semantic networks*) (PAPADIAS, KAVOURAS 1994, 3-4, dell'estratto). Questi dispositivi analitici sono utilizzati per formalizzare le relazioni esistenti tra gli oggetti, per individuare quelli che soddisfano certe condizioni spaziali e fornire spunti per la formulazione di ipotesi sul significato dei rapporti individuati.

Basate sulla teoria dei grafi sono ad esempio le “reti di costrizione spaziale” (*spatial constraint networks*), uno schema grafico capace di mostrare la struttura essenziale di un insieme di relazioni rappresentando come nodi gli oggetti della scena e come archi le relazioni spaziali più significative (Fig. 4). Lo stesso modo di descrivere gli oggetti è oggi adottato dai software GIS che permettono di strutturare i dati geometrici secondo i modelli topologici più diffusi (MOGOROVICH 2001, 9).

Interessanti analogie con il metodo di suddivisione dello spazio *voxel* si riscontrano nel sistema di codifica degli oggetti chiamato *2D-G string*, una sequenza di codici generata attraverso una “funzione di taglio” che registra l'ordine degli oggetti lungo gli assi cartesiani (Fig. 5). In questo caso le relazioni topologiche non sono esplicitate ma possono essere estratte attraverso il trattamento informatico della sequenza bidimensionale dei codici.

Un metodo per rappresentare le relazioni topologiche consiste nella redazione di una struttura di matrici simboliche (*symbolic arrays*) che rappresentano gli oggetti a vari livelli di astrazione (Fig. 6). Aumentando il

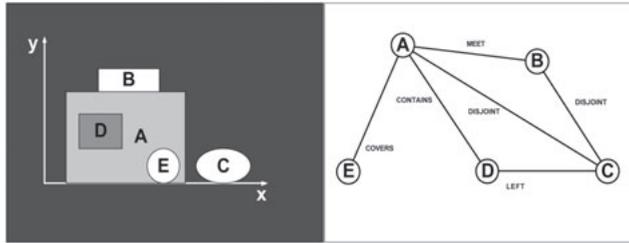


Fig. 4 – Rappresentazione schematica di un gruppo di oggetti bidimensionali nello spazio bidimensionale con la relativa “rete di costrizione spaziale” (elaborato da PAPADIAS, KAVOURAS 1994, 3, fig. 3).

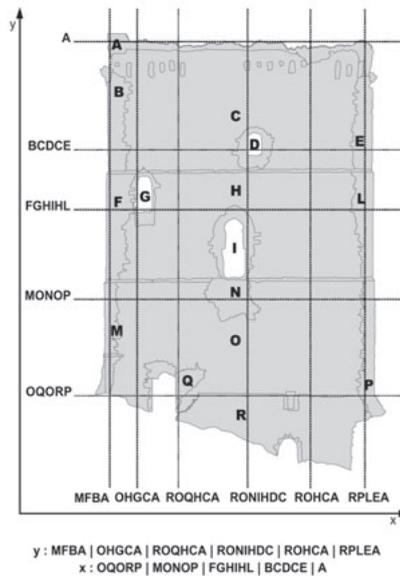


Fig. 5 – La costruzione del 2D-G string sull’eidotipo stratigrafico del prospetto ovest della torre medievale di Roccella, Palermo (elaborato da FIORINI 2001-2002).

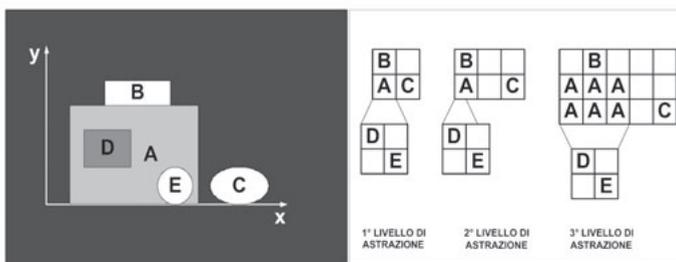
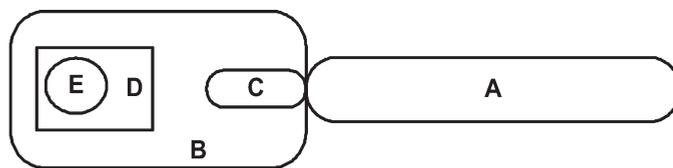


Fig. 6 – Rappresentazione schematica di un gruppo di oggetti bidimensionali nello spazio bidimensionale con la relativa “matrice di simboli” a diversi livelli di astrazione (elaborato da PAPADIAS, KAVOURAS 1994, 4, fig. 5).



SR	A	B	C	D	E
A	equals	touch	touch	disjoint	disjoint
B	touch	equals	cover	contain	contain
C	touch	covered	equals	disjoint	disjoint
D	disjoint	in	disjoint	equals	contain
E	disjoint	in	disjoint	in	equals

Fig. 7 – Rappresentazione schematica di un gruppo di oggetti bidimensionali nello spazio bidimensionale con la relativa tabella delle relazioni spaziali (elaborato da CLARAMUNT, JIANG 2000, 7, fig. 2 e tavola 4).

numero delle celle è possibile definire con maggiore cura le caratteristiche formali degli oggetti e rappresentare un maggior numero di relazioni topologiche.

Questa breve rassegna sugli schemi grafico-deduttivi di natura topologica si conclude con la proposta metodologica di identificazione di tutte le possibili relazioni spaziali fra due oggetti bidimensionali nello spazio bidimensionale e relativa esplicitazione in forma testuale dei rapporti individuati (Fig. 7). Questa soluzione raggiunge il livello massimo di astrazione ma allo stesso tempo fornisce la base per l'implementazione di interessanti schemi di lavoro mirati alla ricerca di relazioni significative fra rapporti spaziali e temporali (CLARAMUNT, JIANG 2000, 2001).

### 3. LA TOPOLOGIA APPLICATA ALL'ARCHITETTURA

Oltre all'intuizione, l'architetto ha sempre seguito criteri e regole per costruire edifici. L'ipotesi è che la costruzione di un edificio avvenga, in via più o meno consapevole, anche attraverso concetti di natura topologica (DI CRISTINA 2001, 17-18).

Oggi l'architetto è in grado di sperimentare nuove forme progettuali basate su meccanismi di natura topologica grazie all'avvento delle nuove tecnologie ed in particolare ai software per la modellazione solida. La modellazione topologica di edifici, attuata ad esempio dagli architetti-artisti appartenenti alla corrente "neo-organica", prevede la modifica di primitive solide tramite operazioni di unione, intersezione e sottrazione corrispondenti alle nozioni insiemistiche di combinazione topologica. Unitamente alle operazioni di combinazione elementare, gli architetti-artisti applicano nel processo formale dell'edificio operazioni di trasforma-

zione topologica quali: torsione, piegatura e stiramento. L'impiego di queste tecniche di modellazione è fondamentalmente motivato dalla necessità di costruire edifici-opere in grado di trasmettere al fruitore un messaggio emozionale.

Come dimostrato da un recente esperimento di osservazione comportamentale, i concetti topologici “vicinanza a”, “contatto con”, “allineamento a”, “inclusione in”, “prossimità da”, “in successione”, suggeriti per descrivere le relazioni spaziali fra gli oggetti, possono essere applicati nel processo di “ammassamento” delle forme architettoniche (CLARAMUNT, JIANG 2000; CLARAMUNT, JIANG 2001). La traduzione informatica del progetto architettonico è solitamente eseguita tramite software in grado di garantire l'esistenza di determinate condizioni topologiche fra oggetti tridimensionali nello spazio tridimensionale. La formulazione di costrizioni geometriche come strumento di supporto nell'assemblaggio di elementi geometrici verifica, in altre parole, che il criterio di natura topologica utilizzato per ideare la composizione sia rispettato anche nella versione digitale del progetto architettonico. Allo stesso tempo, attraverso i vincoli pre-configurati è possibile evitare situazioni architettoniche che non garantiscano le condizioni di stabilità, resistenza ai carichi e indeformabilità strutturale<sup>3</sup>.

La modellazione “assistita” da vincoli topologici trova interessanti applicazioni anche nella modellazione dei monumenti antichi. Le ricerche condotte da alcuni studiosi mostrano come sia possibile rappresentare edifici attraverso una “modellazione per primitive architettoniche”, in altre parole, una ricostruzione virtuale tramite librerie di forme precostituite e assemblate secondo i tipi architettonici universalmente accettati<sup>4</sup>.

A livello strutturale il capitello di una colonna di ordine corinzio è un unico solido, ma si descrive con quattro termini architettonici principali (Tav. IV, b). Ogni termine può essere formalizzato attraverso un percorso predefinito di operazioni di modellazione compiuto su primitive tridimensionali afferenti a quella determinata forma teorica. In questo caso, le costrizioni geometriche impediscono l'uso di primitive o di opzioni di modellazione non

<sup>3</sup> Si possono scegliere molti tipi di costrizioni spaziali da imporre agli elementi geometrici del modellatore. I vincoli imposti possono prevedere ad esempio che fra l'oggetto “pavimento” (un poligono con determinate caratteristiche geometriche) e l'oggetto “muro” possa esistere solo la relazione topologica di *contatto* in uno specifico punto ed escludere tutte le altre. Cfr. DE VRIES, JESSURUN, KELLENS 2000, 1-8 dell'estratto.

<sup>4</sup> Una libreria di primitive architettoniche, definite nelle parti e nelle relazioni compositive secondo le conoscenze dedotte dai trattati di architettura dell'epoca romana, è presentata in DUDEK, DRAP, BLAISE 1999; FLORENZANO, BLAISE 2000; DE LUCA 2001-2002; DEKEYSER, GASPARD, FLORENZANO, DE LUCA, CHEN-LERAY 2003. Lo stesso approccio analitico, ma applicato al restauro conservativo di edifici antichi, è proposto in forma teorica in CONFORTO 1988, 1-4 dell'estratto.

previste per quella forma architettonica e impongono i corretti rapporti spaziali tra le parti del modello. Il momento della ricostruzione virtuale “assistita” diventa quindi una vera e propria produzione di informazioni giacché suggerisce all’operatore una identificazione precisa degli elementi che costituiscono l’edificio mettendone in risalto le relazioni gerarchiche. Inoltre molto spesso il processo di modellazione, formalizzato da un grafo che si compone in tempo reale accanto alla scena tridimensionale, combacia con il processo costruttivo reale (Tav. V).

In genere la fase del disegno di progetto, che parte dallo schizzo e si conclude con il modello digitale, è anticipata dalla redazione di schemi grafico-concettuali finalizzati allo studio della posizione e delle relazioni gerarchiche tra gli ambienti. Già da molti anni si ribadiscono i vantaggi e gli aspetti funzionali e produttivi nell’uso di schemi connettivi nella progettazione architettonica e di schemi grafici di natura topologica come strumento di analisi finalizzato all’ottimizzazione dello spazio abitativo (DI CRISTINA 2001, 39-45). Questi dispositivi analitici assumono che il costruito possa essere letto in termini di *confini* (i perimetri strutturali di un edificio), *regioni* (lo spazio abitativo) e *connessioni* (gli elementi che permettono di varcare i confini e di passare da uno spazio ad un altro). Questi tre elementi fondamentali sono formalizzati come nodi e archi orientati di un grafo arricchito da abbondanti annotazioni testuali (AKIN, MOUSTAPHA 2003, 11). Il contenuto informativo dello schema grafico elaborato riguarda principalmente le relazioni topologiche di adiacenza ed accessibilità tra gli ambienti raggruppati per zone funzionali.

Nell’analisi del manufatto architettonico antico i dispositivi topologici fin qui descritti possono essere utilizzati in quanto è proprio attraverso la valutazione delle relazioni di connessione fra gli ambienti che si compie lo studio della distribuzione gerarchica degli spazi e dei percorsi, uno studio finalizzato al confronto della configurazione osservata con quella di altri edifici o con modelli teorici di riferimento (edificio di tipo rituale, simbolico o culturale) (BROGIOLO 1997, 182). Inoltre nel caso di edifici ridotti in condizione di rudere, attraverso la valutazione delle relazioni di connessione degli elementi murari e degli spazi abitativi, si compie il processo di ricostruzione dei passaggi originari che consente, in particolare, di individuare eventuali anomalie di percorso, come uno o più ambienti non raggiungibili, da riferirsi a fasi costruttive successive (MEDRI 2003, 93-94).

Schemi grafici di natura topologica sono dunque impiegati per formalizzare queste configurazioni spaziali osservate. Pierre GROS (2001, 435, fig. 439) riporta, ad esempio, nel suo libro sull’architettura romana un grafo per la «classificazione schematica delle terme in relazione al tipo di pianta e al tipo di percorso che i frequentatori dovevano seguire» (Fig. 8). RAGIA e LEOPOLD

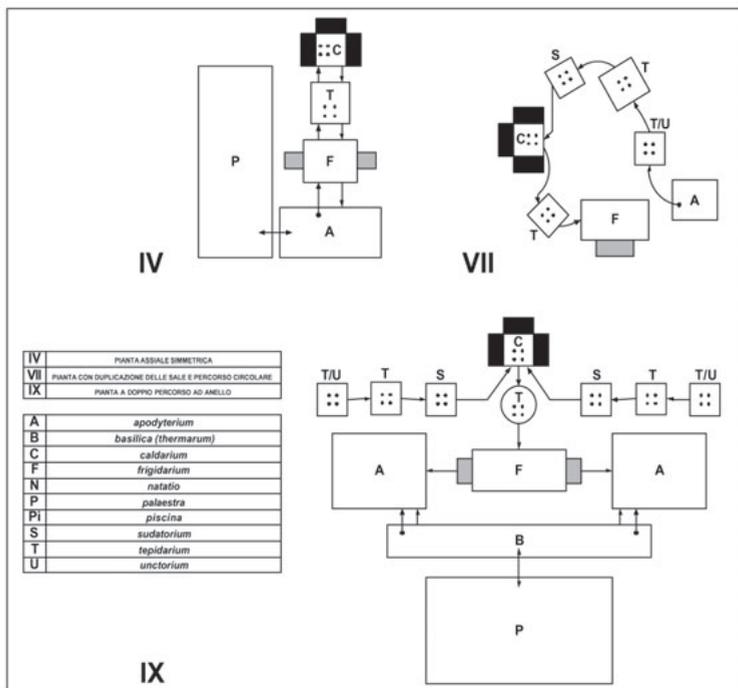


Fig. 8 – Classificazione schematica delle terme in relazione al tipo di pianta e al tipo di percorso che i frequentatori dovevano seguire (ridisegnato da GROS 2001, 435, fig. 439 particolare).

(2003) sfruttano le definizioni topologiche e l'applicazione dei grafi per integrare le fonti classiche all'uso delle immagini.

#### 4. LA TOPOLOGIA APPLICATA ALLA RICERCA ARCHEOLOGICA

Si è già affermato che la topologia è una disciplina che permette di codificare ed analizzare le relazioni spaziali tra oggetti o insiemi di oggetti. Applicata all'archeologia rappresenta pertanto un metodo innovativo di analisi avanzata che può costituire, insieme con altre applicazioni, un approfondimento nella ricerca ed in particolare nella comprensione ed interpretazione sia dei depositi stratigrafici, sia delle strutture in elevato.

La funzione delle relazioni fisiche tra le unità stratigrafiche ha assunto un ruolo fondamentale nella attribuzione delle fasi cronologiche attraverso la costruzione del diagramma stratigrafico di HARRIS (1983), ma non soddisfa la necessità di comprendere la dinamicità e la complessità dei contesti archeologici (GUIDI 1994, 46). A quasi trenta anni di distanza dalle prime applicazioni si intuisce che lo studio delle relazioni spaziali potrebbe essere potenziato con nuove

definizioni. Con lo strumento informatico e con il controllo sempre più sofisticato del dato tridimensionale, l'analisi delle relazioni topologiche può rappresentare un meccanismo di selezione, controllo e navigazione nello scavo archeologico o nell'analisi tecnica di un monumento antico. L'analisi dei significati, insiti nelle relazioni tra oggetti, deve essere pertanto arricchita dall'estensione topologica, intesa come strumento di raggruppamento (o di rete neurale) controllato e convalidato dai singoli elementi. Attraverso gli aspetti della topologia logica o geometrica si possono far interagire in modo più dinamico i contenuti informativi qualitativi, tipologici e quantitativi di ogni dato spaziale.

Il contesto archeologico è infatti costituito da una massa di informazioni connesse da reti di complesse relazioni spaziali e semantiche, che solo con una ricerca appropriata possono essere individuate, descritte, codificate ed utilizzate nella fase di interpretazione. L'attenzione verso il controllo delle relazioni topologiche viene ad aggiungersi ad una documentazione sempre più sofisticata del contesto archeologico, che ha trasformato i metodi e le tecniche di indagine e ha individuato nell'utilizzo dello strumento informatico e nell'applicazione del GIS la risoluzione delle difficoltà nel controllo di questa enorme quantità di dati (GOTTARELLI 1995; CANDELATO *et al.* 2002; CATTANI 2003).

Nell'indagine archeologica si fa spesso uso di dispositivi grafici topologici per rappresentare in forma schematica, grafico-deduttiva (diagrammi, grafi, mappe mentali e concettuali) le conoscenze acquisite su un determinato contesto. Costruire "mappe concettuali" non è inteso come una mera semplificazione della complessità di condizioni che compongono un sistema di relazioni tra gli elementi, ma piuttosto un modo per rendere esplicito e conscio ciò che è spesso implicito, obbligando a fissare i concetti e ad amplificare ulteriormente le potenzialità cognitive di chi crea o consulta la mappa. È necessario estendere le attuali forme di codifica topologica utilizzate nella documentazione archeologica e rappresentare in modo più dinamico le relazioni spaziali esistenti.

Il diagramma stratigrafico di Harris è sicuramente il dispositivo grafico topologico più utilizzato in archeologia. Il matrix è di fatto lo strumento che può gestire le connessioni temporali tra le informazioni raccolte nello scavo ed indirizzarne la prosecuzione se elaborato contestualmente. Le applicazioni informatiche permettono di costruire il matrix in tempi rapidissimi (contemporaneamente alla fase di scavo) e quindi di considerarlo, unitamente al GIS, come lo strumento di controllo e di individuazione delle fasi archeologiche. Seguire l'evoluzione del diagramma stratigrafico dalla sua adozione fino ad oggi può risultare utile per identificare le nuove direzioni di sviluppo<sup>5</sup>, tenendo presente che l'evoluzione dell'informatica ha sempre risolto i pro-

<sup>5</sup> Nonostante sia stato applicato nello scavo stratigrafico, non dobbiamo escludere un suo utilizzo nell'identificazione delle fasi archeologiche del paesaggio o in altri specifici contesti di dettaglio. Un esempio costruttivo è quello proposto, unitamente a diagrammi di flusso nell'analisi delle sepolture ad incinerazione (LEONARDI 1992a, 1992b; VANZETTI 1992).

blemi di una iniziale sperimentazione realizzata con tecnologie in continuo aggiornamento. Basato sul riconoscimento delle unità stratigrafiche, il diagramma Harris prevede di descrivere le relazioni fisiche di contatto che permettono di stabilire un collegamento reciproco e di costruire una sequenza cronologica. Altro presupposto del diagramma è la necessità di una semplificazione delle relazioni ridondanti quando queste sono superflue a definire la successione temporale.

Dalla presentazione del metodo ad oggi, il diagramma stratigrafico è stato sviluppato secondo diverse direzioni che comprendono la critica o l'integrazione del modello originale e la digitalizzazione dei rapporti spaziali con appositi programmi che restituiscono un formato grafico. Va segnalato inoltre un ritorno ad una descrizione testuale o, in anni recenti, multimediale dei dati di scavo (HODDER 2002). La contestualizzazione logica delle unità riconosciute nello scavo prevede una serie di relazioni che definiscono la anteriorità (copre, si appoggia a, riempie, taglia), la posteriorità (è coperto, gli si appoggia, è riempito, è tagliato) o la contemporaneità, compresa l'uguaglianza (si lega a, uguale a). Non va dimenticato che nella prima versione di schede US importate dagli archeologi inglesi erano presenti anche alcune relazioni gerarchiche (fa parte di, consiste di) (scheda elaborata da H. Blake in HUDSON 1979), in seguito eliminate nella redazione della scheda proposta dall'ICCD<sup>6</sup>, divenuta lo standard per le Soprintendenze Archeologiche (PARISE BADONI, RUGGERI GIOVE 1984). Una critica al diagramma di Harris prende in esame la durata temporale delle unità, con una coesistenza differenziata che spesso va oltre il momento della loro realizzazione e/o formazione. Carver ha proposto l'elaborazione di un diagramma stratigrafico più complesso, sottolineando gli elementi (soprattutto strutturali) che durano nel tempo e proponendo uno schema grafico diverso da quello di Harris (CARVER 1983, 1990 con successiva risposta di HARRIS 1991).

La formalizzazione della scheda US e l'evoluzione tecnologica hanno permesso di gestire il diagramma stratigrafico all'interno dei programmi informatici con la creazione di grafici automatici (raramente collegabili però con la gestione delle schede US nel database).

Un discreto avanzamento nella gestione è stato proposto da N. Ryan tra il 1988 e il 2001 con "gnet", un modello di scavo stratigrafico basato su un sistema interattivo di database e dati grafici e alfanumerici e con il successore "jnet", pensato e improntato a sviluppare sempre più dinamicamente l'interazione del sistema (RYAN 2001). Gnet, oltre a presentare una risoluzione della necessità di creare layout automatici e di poterli stampare, affronta-

<sup>6</sup> È probabile che abbia influito in questa eliminazione la scelta della semplificazione concettuale, in un momento non ancora maturo per prendere in considerazione le relazioni spaziali e ancora privo o fortemente limitato delle applicazioni informatiche.

va l'esigenza di interagire con il diagramma e cercare di comprendere la struttura del sito, contemporaneamente alla prosecuzione dello scavo. Alla base di questa e di altre applicazioni è sempre un grafo gerarchico ad albero, che nonostante alcuni tentativi di estensione dei rapporti, esprime sempre la relazione temporale e non completamente quella spaziale.

Parallelamente alla proposta di Ryan, la comparsa dei pacchetti statistici per l'archeologia ha preso in esame la stessa capacità di costruire graficamente il diagramma stratigrafico (modulo Harris per DOS nel *BASP*<sup>7</sup>), ampliata ed adattata ai sistemi operativi più aggiornati con la creazione dei programmi *Arched* (HERZOG, SCOLLAR 1991) e *Stratify* per Windows (HERZOG 2004), attualmente quelli più funzionali e disponibili gratuitamente. Non sono mancate diverse altre applicazioni, sia come prodotti sperimentali frutto dell'interfaccia tra il mondo informatico e quello archeologico (tra cui *Stratigraph*), sia come software commerciali di gestione integrata del sistema gerarchico dello scavo (*Proleg*). Infine si deve notare come sia ancora molto attivo ed efficace il dibattito sul matrix, con numerose discussioni nei convegni dedicati alle applicazioni informatiche in archeologia (BARCELÓ 2003). In nessuno di questi contributi si menziona però il rapporto con l'analisi topologica.

Il diagramma stratigrafico non tratta gli aspetti legati alla tridimensionalità degli oggetti che rappresenta. I limiti dell'elaborazione del matrix stanno nell'impossibilità di formalizzare il concetto di spessore, di quota delle US e la cardinalità (direzionalità) delle relazioni topologiche fra US (l'US 21 si trova a nord, sud, ovest o a est dell'US 3? L'US 23 tocca in direzione ovest l'US 3?).

Le potenzialità informative di questi aspetti hanno portato allo studio di nuove elaborazioni informatiche del matrix (RYAN 2001). In questo caso accanto al diagramma bidimensionale ne viene proposto uno in configurazione prospettica e con etichette rappresentate in accordo con la forma e la quota della superficie di ogni unità stratigrafica (oggetti 2d nello spazio 3d). Alle configurazioni bidimensionali si affiancano quindi grafi tridimensionali informatizzati e caratterizzati da simbologie più realistiche e spazio-referenziate generate elaborando dati di scavo (Tav. VI, a). È necessario sottolineare che già Harris nel suo volume aveva proposto una visualizzazione esplosa del deposito archeologico dove fra le altre cose era rappresentato anche l'andamento di tutta la superficie che delimita la regione di volume di ogni US (oggetti 3d nello spazio 3d) (HARRIS 1983, 136). Ryan elabora quindi un sistema informatico in grado di riproporre a video la stessa esperienza cognitiva ma trattando, almeno allo stato attuale delle ricerche, sempre e solo le superfici di contatto.

<sup>7</sup> *The Bonn Archaeological Statistics Package*, a cura di I. Scollar, I. Herzog, J. Rehmet e M.J. Greenacre, ha avuto un ampio successo tra gli archeologi, soprattutto tra quelli che si sono impegnati fin dalla prima ora nell'uso dell'informatica.

Uno dei momenti dello scavo in cui l'informazione topologica ha sempre avuto un'importanza fondamentale è quello del rilievo e della documentazione grafica. Spesso applicata in modo intrinseco, rischia di non essere messa in risalto e di conseguenza ignorata. La fase del rilievo necessariamente prende in esame alcune relazioni topologiche, sia nella realizzazione dell'eidotipo, sia nella misurazione diretta o indiretta dei punti essenziali (MEDRI 2003, 94-95). L'eidotipo rappresenta la base di analisi del contesto da misurare e procede con l'identificazione delle parti mettendo in evidenza le relazioni topologiche di "contiene" o "è contenuto" o degli accessi e dei percorsi di collegamento.

La complessità delle relazioni topologiche negli edifici e una schematizzazione per insiemi sono già state messe in risalto nel fondamentale lavoro di Gian Pietro BROGIOLO (1988a, 1988b). Se l'edificio storico è un problema complesso che può essere capito e risolto solo attraverso la sua scomposizione in sotto-problemi di piccole dimensioni allora può essere considerato come un sistema, cioè un insieme di parti strutturate. La scomposizione del complesso architettonico proposta da Brogiolo nelle sue unità di riferimento segue logiche corrispondenti alla teoria matematica degli insiemi applicata alla topologia.

La "topologia degli insiemi" suggerisce dunque l'idea di edificio come insieme di sottoinsiemi di elementi relazionati, dove i sottoinsiemi corrispondono alle forme architettoniche che interagiscono fra loro. Attraverso un grafo ad albero è quindi possibile rappresentare le relazioni gerarchiche fra le parti di un edificio. Definendo concettualmente e graficamente le parti e le relazioni esistenti è possibile quella scomposizione necessaria per una progressiva discretizzazione e semplificazione della sua apparente complessità, favorendone la comprensione; inoltre è possibile una suddivisione ottimale, che consente indagini parallele, ciascuna con documentazione indipendente, e definire gli elementi formali significativi indirizzando quindi la procedura di rilievo architettonico tridimensionale, nonché elaborare un sistema di archiviazione dei dati in ambiente GIS<sup>8</sup>.

Un'integrazione della topologia con le unità pedostratigrafiche all'interno del contesto stratigrafico è stata proposta da Giovanni LEONARDI e Claudio BALISTA (1992), suggerendo un'indispensabile attenzione verso i meccanismi deposizionali e post-deposizionali nella stratigrafia.

L'utilizzo del matrix è per ora molto riduttivo in quanto limitato al solo controllo della sequenza cronologica. È facile intuire che se fosse arricchito di nuove funzionalità potrebbe diventare uno strumento ancora più sofisticato per l'interpretazione della complessità topografica e formativa del deposito archeologico, soprattutto se appoggiata ad una documentazione grafica tridimensionale delle unità stratigrafiche (CATTANI, FIORINI, RONDELLI 2004) e

<sup>8</sup> Per una rassegna completa delle strutture topologiche dei dati tri-dimensionali si veda S. ZLATANOVA in <http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/thesis.htm>.

ad un'analisi geoarcheologica (LEONARDI, BALISTA 1992, 86-95). La necessità di rappresentare le relazioni topologiche (oltre a quelle fisiche finora già considerate) costituisce un valore aggiunto utile non solo per l'interpretazione finale del contesto archeologico, ma soprattutto per aprire nuove prospettive metodologiche nella ricerca archeologica, in cui la "riflessione" deve avvenire sempre più in modo interattivo e contestuale alle fasi di ricerca sul campo (HODDER 2002).

Da segnalare infine i tentativi di descrizione simbolica delle relazioni spaziali nei contesti di scavo, tra cui il contributo di Diego JIMÉNEZ e Dave CHAPMAN (1998), che propongono un sistema alternativo per estrarre e formalizzare le relazioni spaziali tridimensionali dei reperti archeologici in strato. Il metodo si basa sui *Proximity Graphs* (*Gabriel Graph*, *Relative Neighbourhood Graph*, *Beta-Skeleton*, ecc.) con i quali si può interagire. Questo tipo di grafo fu sviluppato in Geometria Computazionale per risolvere e mostrare condizioni di relativa connessione fra le parti di un insieme. Il sistema identifica e formalizza graficamente la *posizione* e la *connessione* fra gli oggetti a diversi livelli di risoluzione, mettendo in luce la presenza di "forme" (strutture) significative. Secondo gli autori l'analisi topologica dei reperti può fornire gli elementi per una corretta interpretazione della situazione stratigrafica. La formalizzazione e l'analisi di questo carattere possono quindi essere d'aiuto nella comprensione del processo che ha determinato quello stato di fatto (Fig. 9).

## 5. L'APPLICAZIONE DELLA TOPOLOGIA NELLO SCAVO DI HD-6

La topologia può quindi essere utilizzata sia per individuare le fasi progettuali, le modificazioni e l'uso di un complesso architettonico, sia per mettere in relazione episodi di formazione e trasformazione del deposito archeologico ed arricchire in questo modo le fasi di elaborazione e interpretazione. Per illustrare le potenzialità e cosa si intende più precisamente per relazioni topologiche, si presenta l'analisi dello scavo dell'abitato di HD-6 a Ra's al-Hadd (Sultanato d'Oman), che fa parte delle attività del Joint Hadd Project, una cooperazione italo-francese diretta dal Prof. Maurizio Tosi dell'Università di Bologna e dal Prof. Serge Cleuziou del CNRS di Parigi. Si tratta di un complesso architettonico (Tav. VI, b) databile tra la fine del IV e gli inizi del III millennio a.C., formato da una piattaforma con muro di cinta e da una serie di edifici posti all'interno costruiti con muri in argilla e pietra (TOSI *et al.* 2001-2002; CATTANI 2003).

Un primo passo nell'identificazione delle relazioni topologiche è costituito dalla proposta di integrare la scheda di unità stratigrafica (US e USM) con le relazioni topologiche (Fig. 10). Questa formalizzazione della scheda è necessaria per l'elevata complessità delle relazioni che possono essere controllate con una definizione per ogni singolo contesto.

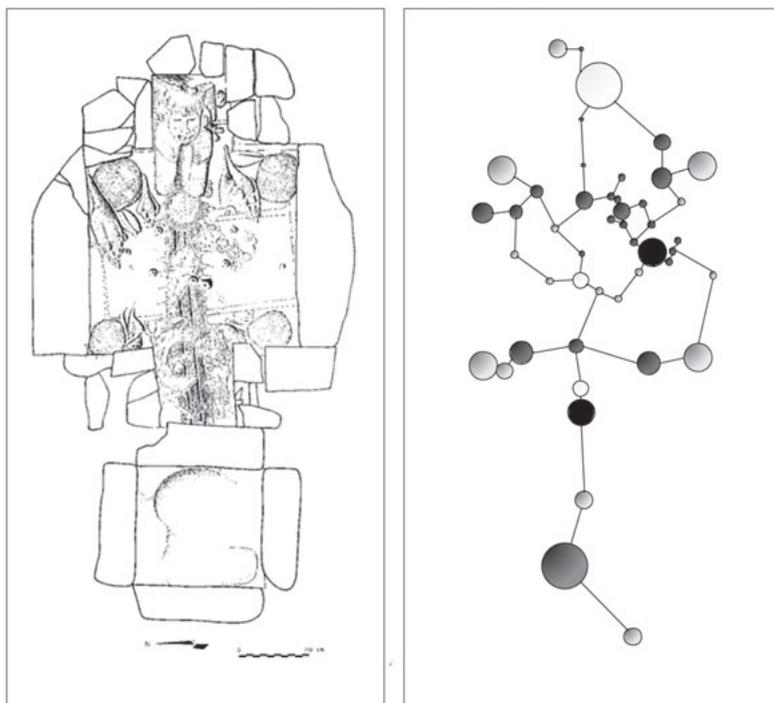


Fig. 9 – Grafo per l’analisi topologica dei reperti (ridisegnato da JIMÉNEZ, CHAPMAN 1998).

L’inserimento delle relazioni topologiche nella scheda US corrisponde alla finalità di agevolare e talvolta di indirizzare l’identificazione delle relazioni tra vari tipi di informazione. Apporta pertanto il vantaggio di operare più velocemente e automaticamente nel collegamento delle entità spaziali, utile per la valutazione interpretativa.

La relazione topologica inserita nella scheda suggerisce di:

- 1) identificare insiemi di complessità, utili nella valutazione del complesso archeologico e in un’analisi comparativa estesa ad altri complessi;
- 2) navigare tramite la selezione nelle possibili connessioni tra le unità;
- 3) procedere ad un’analisi geostatistica.

La formalizzazione delle relazioni topologiche nella scheda US forza l’operatore a cercare tali relazioni e ad esplicitarle, anticipando in parte il processo interpretativo e fornendo le indicazioni necessarie al GIS per procedere nella creazione di poligoni che corrispondono a insiemi di dati. Un passaggio successivo a questa formalizzazione potrà essere rappresentato dall’elaborazione di un programma che crea un matrix di insiemi, in cui le connessioni non siano solo di tipo temporale, ma anche di tipo logico e spaziale (Fig. 11).

Località		Anno		<b>US</b>	
Area	Saggio	Settore/i	Quadrato/i	Ambiente	Quote
<b>Unità stratigrafiche</b>		Piante	Sezioni	Prospetti	Foto
Nat.	Art.				Digitale Colore Dia
Definizione e posizione		Criteri di distinzione		Modo di formazione	
<b>Componenti</b>		Inorganici		Organici	
Consistenza		Colore		Misure	
Stato di conservazione					
Descrizione					
<b>Relazioni fisiche</b>					
uguale a			si lega a		
gli si appoggia			si appoggia a		
coperto da			copre		
tagliato da			taglia		
riempie			riempito da		
<b>Relazioni topologiche</b>					
Prossimo a			In continuità con		
In discontinuità con			Esterno a		
Chiuso da			Separato da		
Connesso a			Bucato in		
In successione con			Connette		
Interno a			Adiacente a		
Aperto in			Condiviso da		
Osservazioni					
Interpretazione					
Elementi datanti					
Datazione		Periodo o Fase		Dati quantitativi dei reperti	
Campionature		Flottazione		Setacciatura	
Affidabilità stratigrafica		Direttore		Responsabile	

Fig. 10 – Modello di scheda di US modificata con l'aggiunta delle relazioni topologiche.

La caratterizzazione per insiemi permette di semplificare, dal punto di vista della realizzazione grafica, l'elaborazione del diagramma sfruttando la possibilità di evidenziare le relazioni topologiche per blocchi gerarchici visualizzabili anche nel grafo ad albero (Fig. 12).

L'applicazione nel caso dello scavo di HD-6 mostra questo percorso, nonostante sia stato costruito fissando i parametri e i legami logici non automaticamente, ma in seguito a ragionamenti per verificarne la correttezza e l'applicabilità. In questo processo il risultato è stato ampiamente soddisfacente perché ha indicato la via per rispettare le formalizzazioni. Il simbolismo grafico qui adottato segue pertanto una scelta provvisoria che potrà es-

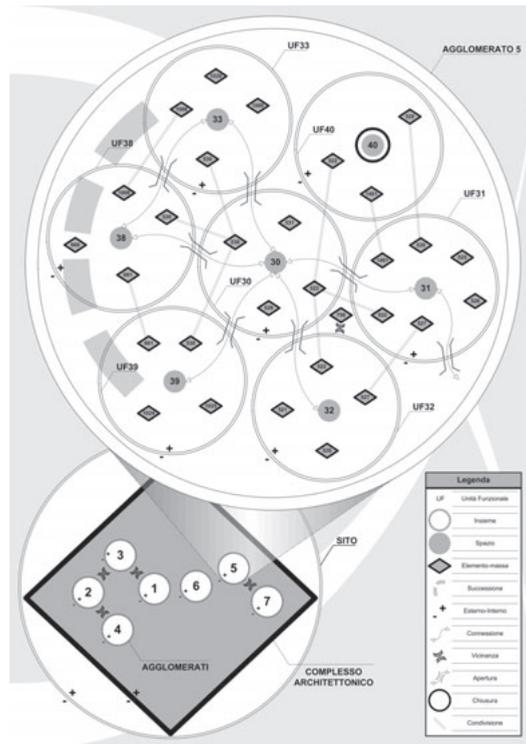


Fig. 11 – HD-6. Insiemi che rappresentano la gerarchia logico-spaziale dell’abitato con le relazioni topologiche principali.

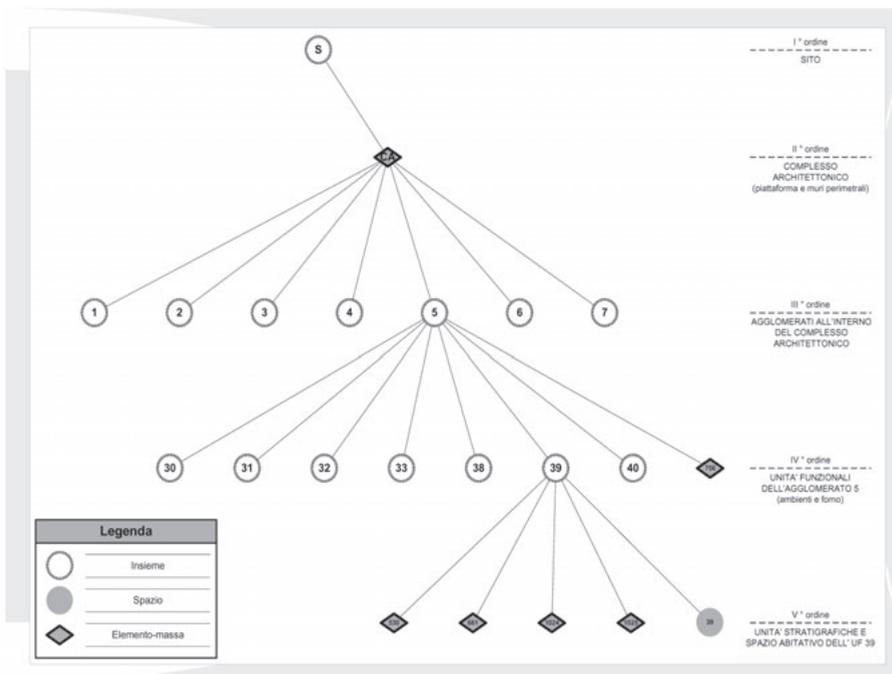


Fig. 12 – HD-6. Grafo della gerarchia logico-spaziale dell’abitato.

sere modificata quando dovrà corrispondere ad una formalizzazione informatizzata.

I dati archeologici distribuiti nello spazio corrispondono a fenomeni di deposizione, che possono mettere in evidenza attività o modalità del contesto antico. In altri casi corrispondono invece a fenomeni postdeposizionali, ugualmente importanti per l'interpretazione del deposito archeologico. La distribuzione dei dati può essere esaminata con l'analisi geostatistica e può essere interpretata correttamente attraverso un'operazione quantificabile, ripetibile e controllata. Le relazioni topologiche permettono di effettuare delle selezioni tematiche e ottenere un risultato proiettato su un piano interpretativo più efficace.

Un esempio di analisi geostatistica prevede che se esiste la relazione "interno a" nelle US collocate all'interno del blocco è possibile effettuare una query per "materiale" ed effettuare l'analisi spaziale di densità per una proposta di identificazione delle aree di attività artigianali distribuite per intensità.

Sull'uso della topologia in archeologia, rispetto alle applicazioni in architettura dobbiamo fare alcune considerazioni.

- 1) Il contesto può essere esposto completamente o può essere ancora parzialmente sepolto e oggetto di scavo. In entrambi i casi la documentazione è parziale e spesso lo stato di conservazione è lacunoso rendendo impossibile una valutazione ordinata e completa come si potrebbe applicare in un contesto architettonico (attuata spesso ancora nella fase di progettazione). L'analisi topologica assume in questo caso un valore di modellazione simulativa, che può interagire con la programmazione dello scavo.
- 2) Ogni complesso archeologico, compreso quello con edifici e strutture architettoniche, è composto di strati che rappresentano il risultato dei processi di formazione e di trasformazione. La topologia deve occuparsi anche di questi contesti caratterizzati da una notevole complessità analitica e interpretativa.
- 3) La topologia non può appoggiarsi a modelli precostituiti in quanto nei contesti archeologici non esiste una oggettiva ripetitività nei contesti (come invece è stato proposto per i modelli architettonici: DE LUCA 2001-2002).

## 6. LA TOPOLOGIA NEI GIS

Nella tecnologia GIS la topologia suggerisce il modo per esplicitare una serie di relazioni spaziali tra primitive geometriche e ciò avviene attraverso una particolare struttura dei dati che conserva i rapporti topologici<sup>9</sup>. «Le relazioni si potrebbero anche calcolare direttamente dalla geometria, ma sarebbe molto più costoso. Nello spazio della topologia le operazioni sono più semplici, in quanto simili a quelle che si fanno sugli attributi» (MOGOROVICH 2001, 7 dell'estratto). Anche il settore archeologico ha da tempo beneficiato

dei vantaggi offerti dall'archiviazione delle relazioni spaziali a livello tabellare e molti ricercatori trattano il record archeologico come dato topologicamente strutturato. La possibilità di eseguire tecniche avanzate di analisi spaziali unitamente ad operazioni automatizzate per manipolare e trattare gli errori di digitalizzazione e modifica giustifica infatti l'impiego di *coverage* bidimensionali. Tuttavia, anche se meno "performanti", si registra già da molti anni un aumento di tendenza nell'utilizzo di strutture dati non topologiche, ad esempio quella degli *shapefiles*, un fenomeno che dipende da una maggiore semplicità d'uso rispetto alla *coverage*<sup>10</sup>.

In questi ultimi anni molti ricercatori appartenenti al settore urbanistico e geologico hanno presentato, in collaborazione con le software house più affermate, applicativi GIS prototipali in grado di "sentire" le relazioni spaziali fra oggetti tridimensionali nello spazio tridimensionale (ZLATANOVA, RAHMAN, SHI 2002; ARENS 2003; ARENS, STOTER, OOSTEROM 2003). Lo scopo di questa nuova generazione di sistemi informativi "geo-scientifici" è di descrivere gli oggetti reali attraverso tecniche di modellazione solida e – tramite operatori geometrici e topologici – investigarne le proprietà fisiche e le relazioni spaziali (LOCK, HARRIS 1999, 3). È questo sostanzialmente l'impianto topologico che vige nella realtà materiale che ci circonda: una serie di relazioni spaziali (intersezione, contatto, inclusione e prossimità) fra volumi (gli oggetti) collocati all'interno di un volume (lo spazio).

Nello specifico la Delft University of Technology (TU Delft) riveste oggi un ruolo centrale nella sperimentazione di applicativi GIS 3D<sup>11</sup>. L'aspetto innovativo delle ricerche condotte dalla Sezione GIS-technology del Dipartimento di Geodesia (Facoltà di Ingegneria civile e Geoscienza) consiste nell'impiego dei concetti sviluppati nell'ambito della modellazione tridimensionale per la prima implementazione prototipale in ambiente DBMS (*Oracle*

<sup>9</sup> Una *coverage* è un esempio di struttura topologica dei dati che registra in modo esplicito le relazioni topologiche tra i poligoni confinanti nella Arc Attribute Table (AAT) registrando l'ID dei poligoni adiacenti nei campi LPoly e RPoly. Le linee adiacenti sono connesse attraverso i nodi, e questa informazione è registrata nella tabella arc-node. I comandi di ArcInfo, CLEAN e BUILD, forzano la topologia planare sui dati ed aggiornano la tabella della topologia. Sulla topologia nella tecnologia GIS cfr. EGENHOFER, CLEMENTINI, DI FELICE 1994, 3-4 dell'estratto; TARLE 1995, 3-6 dell'estratto; HEDORFER 1997, cap. 1; HEYWOOD, CORNELIUS, CARVER 1998, 33, 53-54; MOGOROVICH 2001, 1-10 dell'estratto; THEOBALD 2001.

<sup>10</sup> Gli *shapefiles* sono stati introdotti con il rilascio di ArcView 2 all'inizio degli anni '90 (ZEILER 1999, 68). Uno *shapefile* è una struttura dati non topologica che non conserva esplicitamente i rapporti topologici ed è pertanto semplice da creare e più veloce da modificare rispetto ad una *coverage* (cfr. THEOBALD 2001, 2 dell'estratto). In questo caso la versione 8.3 del software ArcGIS mette a disposizione una serie di tool per il calcolo immediato delle relazioni spaziali e per le operazioni di modifica degli elementi geometrici nel rispetto della loro integrità topologica (CHILDS 2003, 48-49 dell'estratto).

<sup>11</sup> Sulle attività svolte dalla Sezione GIS-technology del Dipartimento di Geodesia (Facoltà di Ingegneria civile e Geoscienza) consultare il sito: <http://www.geo.tudelft.nl/gist/UK/mainpage/index.htm>.

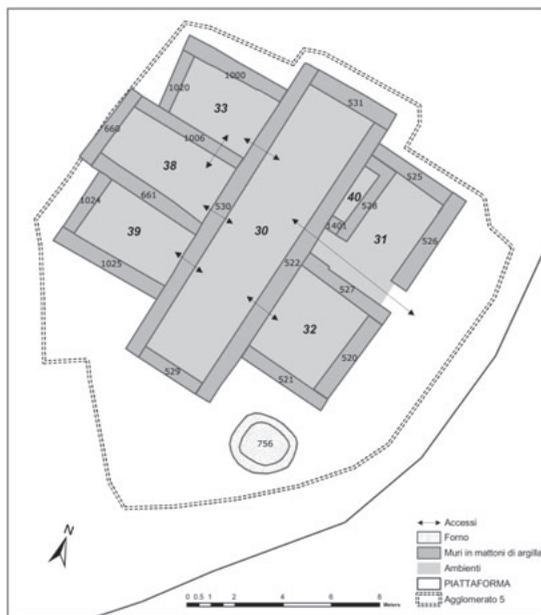


Fig. 13 – HD-6. Pianta dell’agglomerato B5.

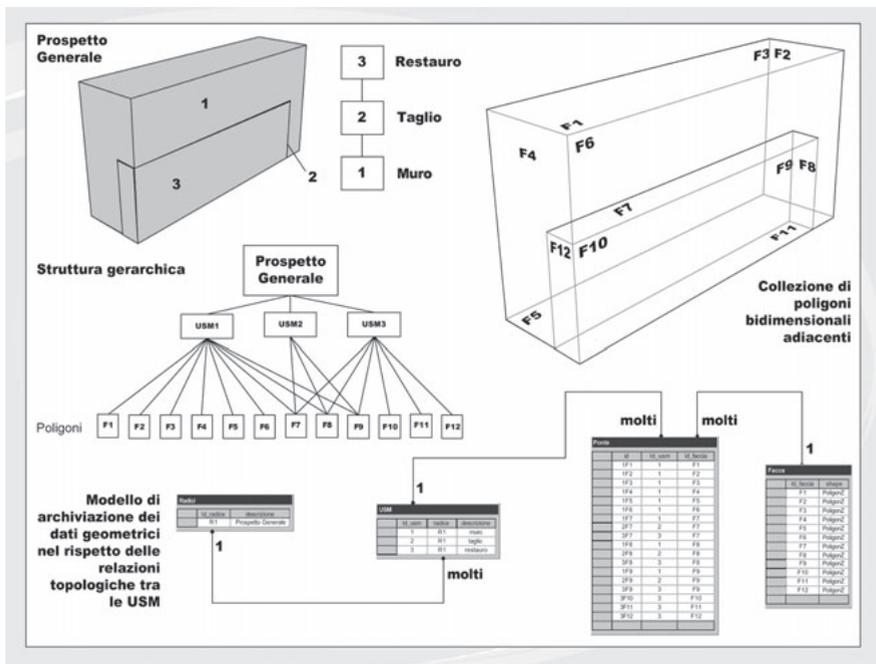


Fig. 14 – Modello di archiviazione dei dati geometrici nel rispetto delle relazioni topologiche tra le USM.

*Spatial 9i Spatial*) di una primitiva solida 3D. I Geo-DBMSs commerciali possono infatti registrare entità bidimensionali nello spazio tridimensionale (poligoni orientati nello spazio) ma non supportano primitive 3D. Gli oggetti possono essere rappresentati attraverso l'uso di primitive 2D (poligoni) adiacenti ma solo adottando la modellazione solida è possibile ottenere informazioni più realistiche sulle caratteristiche geometriche e le relazioni spaziali degli oggetti rappresentati (ARENS 2003, 1; ARENS, STOTER, OOSTEROM 2003, 1).

Attualmente la gestione topologica nei GIS<sup>12</sup> avviene sempre tramite collegamenti spaziali diretti rappresentati da connessioni, adiacenze ecc. L'applicazione della topologia nel GIS deve essere implementata con le relazioni logiche ed estesa agli insiemi. Come sempre è avvenuto, saranno le prossime versioni dei software commerciali a risolvere un problema attuale se ci saranno richieste da più parti in questa direzione.

Per ora la funzione di gestione del GIS è affidata alla convalida delle relazioni topologiche, necessaria per procedere alla selezione di oggetti. Inoltre le connessioni possono essere sfruttate se è stata costruita precedentemente una rete di collegamenti in base alle definizioni di topologia logica fornite nel database (Fig. 13).

MAURIZIO CATTANI

ANDREA FIORINI

Dipartimento di Archeologia  
Università degli Studi di Bologna

## BIBLIOGRAFIA

- AKIN O., MOUSTAPHA H. 2003, *Strategic use of representation in architectural massing*, «Design Studies» (<http://www.andrew.cmu.edu/user/oa04/Papers/Massing.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- ARENS C.A. 2003, *Maintaining Reality: Modelling 3D Spatial Objects in a Geo-DBMS Using a 3D Primitive*, Master Thesis, Section GIS-Tecnology, Department of Geodesy, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft (<http://www.geo.tudelft.nl/gist/publicaties/2003/afstudereren/MaintainingReality.zip>; ultimo accesso 11/12/2003).
- ARENS C.A., STOTER J., OOSTEROM P.J.M. 2003, *Modelling 3d spatial objects in a Geo-DBMS using a 3d primitive*, in *6th AGILE Conference* (<http://www.gdmc.nl/stoter/publicaties/agile2003.zip>; ultimo accesso 11/12/2003).
- BARCELÓ J., DE CASTRO O., TRAVET D., VICENTE O. 2003, *A 3D model of an archaeological excavation*, in M. DOERR, A. SARRIS (eds.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA 2002*, Hiraklion, Archive of Monuments and Publications, Hellenic Ministry of Culture, 85-89.
- BROGIOLO G.P. 1988a, *Archeologia dell'edilizia storica*, Como, New Press.
- BROGIOLO G.P. 1988b, *Campionatura e obiettivi nell'analisi stratigrafica degli elevati*, in

<sup>12</sup> Per una valutazione del controllo topologico nei GIS è in corso di approfondimento l'utilizzo di ArcGIS.

- R. FRANCOVICH, R. PARENTI (eds.), *Archeologia e restauro dei monumenti*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 335-346.
- BROGIOLO G.P. 1997, *Dall'analisi stratigrafica degli elevati all'archeologia dell'architettura*, «Archeologia dell'Architettura», 2, 181-184.
- CANDELATO F., CARDARELLI A., CATTANI M., LABATE D., PELLACANI G. 2002, *Il sistema informativo dello scavo della terramare di Montale (Castelnuovo Rangone – MO)*, in C. PERETTO (ed.), *Analisi informatizzata e trattamento dati delle strutture di abitato di età preistorica e protostorica*, Firenze, Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, 257-270.
- CARVER M.O.H. 1983, *Valutazione, strategia ed analisi nei siti pluristratificati*, «Archeologia Medievale», 10, 49-71.
- CARVER M.O.H. 1990, *Digging for data: archaeological approaches to data definition, acquisition and analysis*, in R. FRANCOVICH, D. MANACORDA (eds.), *Lo scavo archeologico: dalla diagnosi all'edizione (Siena 1988)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 45-120.
- CATTANI M. 2003, *Il sistema informativo dello scavo di HD6 (Ra's al Hadd – Sultanato d'Oman)*, «Ocnus», 11, 77-96.
- CATTANI M., FIORINI A., RONDELLI B. 2004, *Computer applications for a reconstruction of archaeological stratigraphy as a predictive model in urban and territorial contexts*, in K.F. AUSSERER, W. BÖRNER, M. GORJANY, L. KARLHUBER-VÖCKL (eds.), *Enter the Past: the E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage, Proceedings of the 31st CAA Conference (Wien)*, BAR International Series 1227, Oxford, Archaeopress.
- CHILDS C. 2003, *ArcGIS Topology for ArcView Users*, «ArcUser», July-September ([http://www.esri.com/news/arcuser/0703/files/av\\_topo.pdf](http://www.esri.com/news/arcuser/0703/files/av_topo.pdf); ultimo accesso 08/06/2004).
- CLARAMUNT C., JIANG B. 2000, *A representation of relationships in temporal spaces*, in P. ATKINSON, D. MARTIN (eds.), *Innovations in GIS VII: GeoComputation*, Ch. 4, Taylor and Francis, 41-53 (<http://citeseer.nj.nec.com/400380.html>; ultimo accesso 11/12/2003).
- CLARAMUNT C., JIANG B. 2001, *An integrated representation of spatial and temporal relationships between evolving regions*, «Journal of Geographical Systems», 3, 411-428.
- CONFORTO M.L. 1988, *La conoscenza della città antica per il recupero dell'opera edilizia*, in R. FRANCOVICH, R. PARENTI (eds.), *Archeologia e restauro dei monumenti*, Firenze, All'Insegna del Giglio (<http://192.167.112.135/NewPages/COLLANE/QDS12-131.html>; ultimo accesso 11/12/2003).
- CRESCENZI C. 1999, *Scienza del taglio dei solidi*, in *Architettura e ambiente: rilievo e documentazione*, «Firenze Architettura», 1, 76-80.
- DE LUCA L. 2001-2002, *Proposition d'une approche pour l'introduction des connaissances dans la chaîne Relevé-Modélisation-Représentation*. Projet du DEA – M.C.A.O. Laboratoire MAP-Gamsau, Marseille (<http://www.map.archi.fr/ldl/rechercheFR.html>; ultimo accesso 11/12/2003).
- DE VRIES B., JESSURUN A.J., KELLENERS R.H.M.C. 2000, *Using 3D geometric constraints in architectural design support systems*, in *Proceedings of the 8-th International Conference in Central Europa on Computer Graphics, Visualization and Interactive Digital Media 2000*, West Bohemia, CZ, University of West Bohemia, Czech Republic ([http://www.ds.arch.tue.nl/Research/Publications/Bauke/WSCG2000\\_Ref.pdf](http://www.ds.arch.tue.nl/Research/Publications/Bauke/WSCG2000_Ref.pdf); ultimo accesso 11/12/2003).
- DEKEYSER F., GASPARD F., FLORENZANO M., DE LUCA L., CHEN X., LERAY P. 2003, *Cultural heritage recording with laser scanning, computer vision and exploitation of architectural rules*, in *Proceedings of the International Workshop on "Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives"* (Portonovo, Ancona 2003), Italy ([http://www.map.archi.fr/theme1/axe/axe2/RMRARCHI/articles/3dim\\_scanner3d.pdf](http://www.map.archi.fr/theme1/axe/axe2/RMRARCHI/articles/3dim_scanner3d.pdf); ultimo accesso 11/12/2003).

- DI CRISTINA G. 2001, *Architettura e topologia: per una teoria spaziale dell'architettura*, Roma, Librerie Dedalo.
- DRAP P., FLORENZANO M., BLAISE J.Y. 1997, *PAROS, Photogrammétrie et modèles objet appliqués à l'étude de l'architecture construite*, «L'Objet, Logiciel, Base de données, Réseaux», 3, 1, 27-52.
- DUDEK I., DRAP P., BLAISE J.Y. 1999, *An architectural model compiler dedicated to archaeological hypothesis – An experiment on Krakow's Kramy Bogate*, in P. LENCA (ed.), *Proceedings of the Human Centered Processes Conference (Brest 1999)* (<http://moma.gamsau.archi.fr/Sources/articlesPdf/HumanCenteredProcesses1999.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- EGENHOFER M., CLEMENTINI E., DI FELICE P. 1994, *Evaluating Inconsistencies Among Multiple Representations, Sixth International Symposium on Spatial Data Handling (Edinburgh 1994)*, 901-920 (<http://www.spatial.maine.edu/~max/MR.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- FIORINI A. 2001-2002, *Il Castello di Roccella: analisi archeologiche di un sito fortificato medievale*, tesi di laurea in Archeologia Medievale, Facoltà di Conservazione dei Beni Culturali, Università di Bologna.
- FLORENZANO M., BLAISE J.Y. 2000, *Modèles et représentation a l'échelle architecturale: une expérience à Cracovie*, in *Rome An 2000. Ville, maquette et modèle virtuel. Actes du colloque de Caen (Caen 2003)*, Les Cahiers de la MRS, 33, 155-168.
- GERO J.S., KAZAKOV V. 2003, *On measuring the visual complexity of 3D solid objects*, in B. TUNCER, S. OZSARIYILDIZ, S. SARIYILIDIZ (eds.), *e-Activities in Design and Design Education*, Paris, Europa, 147-156 ([http://www.arch.su.edu.au/~john/publications/2003/03\\_GeroKazakov\\_EIA9.pdf](http://www.arch.su.edu.au/~john/publications/2003/03_GeroKazakov_EIA9.pdf); ultimo accesso 11/12/2003).
- GOTTARELLI A. 1995, *La modellazione tridimensionale del documento archeologico: livelli descrittivi e processamento digitale*, «Archeologia e Calcolatori», 6, 75-103.
- GROS P. 2001, *L'architettura romana: dagli inizi del III secolo a.C. alla fine dell'alto impero*, Milano, Longanesi.
- GUIDI A. 1994, *I metodi della ricerca archeologica*, Bari, Laterza.
- HARRIS E.C. 1983, *Principi di stratigrafia archeologica*, Roma, NIS (ed. or. 1979).
- HARRIS E.C. 1991, *The central role of stratigraphy in archaeological excavation*, *Interbentzio Arkeologia, Jornadas Internationales Arqueología de Intervención*, San Sebastián, Bergara-Gipuzkoa, Departamento de Cultura, 111-135.
- HEDORFER M.M. 1997, *Corso di cartografia numerica* (<http://brezza.iuav.it/~hedorfer/docs/dgcav/dgcavj96-ITA-toc.html>; ultimo accesso 11/12/2003).
- HEINE E. 1999, *High precision building documentation: element definition and data structuring*, in WORKING GROUP II (ed.), *Mapping and Preservation for the New Millennium – Brazil 500 Year*, The ICOMOS & ISPRS Committee for the Documentation of Cultural Heritage, Recife/Brazil ([http://cipa.icomos.org/papers/1999cd/artigos/02/O\\_Heine.pdf](http://cipa.icomos.org/papers/1999cd/artigos/02/O_Heine.pdf); ultimo accesso 11/12/2003).
- HERZOG I. 2004, *Group and conquer – A method for displaying large stratigraphic data sets*, in K.F. AUSSERER, W. BÖRNER, M. GORIANY, L. KARLHUBER-VÖCKL (eds.), *Enter the Past: the E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage, Proceedings of the 31st CAA Conference (Wien)*, BAR International Series 1227, Oxford, Archaeopress, 423-426.
- HERZOG I., SCOLLAR I. 1991, *A new graph theoretic oriented program for Harris matrix analysis*, in K. LOCKYEAR, S.P.Q. RAHTZ (eds.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, 1990*, British Archaeological Reports, Oxford, 53-59.
- HILLIER C., HANSON J. 1984, *The Social Logic of Space*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HEYWOOD I., CORNELIUS S., CARVER S. 1998, *An Introduction to Geographical Information Systems*, London, Addison Wesley Longman.

- HODDER I. (ed.) 2002, *Towards Reflexive Methods in Archaeology: the Example of Çatalhöyük*, Ankara, British Institute of Archaeology at Ankara.
- HUDSON P. 1979, *Contributo sulla documentazione dello scavo: problemi di pubblicazione e della formazione dell'archivio archeologico nell'esperienza inglese*, «Archeologia Medievale», 6, 329-343.
- JIMÉNEZ D., CHAPMAN D. 1998, *Visualizing 3D spatial patterns of archaeological assemblages*, in *Visualisation in the Social Sciences Workshop* (<http://www.agocg.ac.uk/wshop/sosci/jimenez.htm>; ultimo accesso 11/12/2003).
- LEE J. 2001, *3D data model for representing topological relations of urban features*, in *Proceedings of 21st Annual ESRI International User Conference*, San Diego (<http://gis.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap565/p565.htm>; ultimo accesso 11/12/2003).
- LEONARDI G. 1992a, *Procedure di stratigrafia processuale. La necropoli paleoveneta del Piovego a Padova*, in *Formation Processes and Excavation Methods*, «Aquileia Nostra», 57, 1986, cc. 209-236 (ristampato in LEONARDI 1992b, 199-235).
- LEONARDI G. (ed.) 1992b, *Formation Processes and Excavation Methods in Archaeology: Perspectives, Atti del seminario (Padova 1991)*, Padova, Dipartimento di Scienze dell'Antichità-Università degli Studi di Padova.
- LEONARDI G., BALISTA C. 1992, *Linee di approccio al deposito archeologico*, in LEONARDI 1992b, 13-47.
- LOCK G. 2003, *Using Computers in Archaeology*, London, Routledge.
- LOCK G., HARRIS T. 1999, *Analysing Change through Time within a Cultural Landscape: Conceptual and Functional Limitations of a GIS Approach* (<http://www.arkeologi.uu.se/afr/projects/BOOK/lock.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- MACDONALD A.J. 2001, *Virtual archaeology: virtual reality as a tool for the exploration of architecture*, submitted for the MSc, «Archaeological Information Systems», University of York, Department of Archaeology, September 2001.
- MEDRI M. 2003, *Manuale di rilievo archeologico*, Bari, Laterza.
- MOGOROVICH P. 2001, *La topologia*, lezione 8, dispense del corso, Sistemi Informativi Territoriali I Consorzio Nettuno (<http://www.uninettuno.it/materiali/B/172/433/18/Lezione%2008.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- PARISE BADONI F., RUGGERI GIOVE M. (eds.) 1984, *Norme per la redazione della scheda del saggio stratigrafico*, Roma, ICCD.
- PAPADIAS D., KAVOURAS M. 1994, *Acquiring, representing and processing spatial relations*, in T.C. WAUGH, R.G. HEALEY (eds.), *Advances in GIS Research, Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH 94) (Edinburgh 1994)*, London, Taylor & Francis, 2, 631-645.
- PUGLISI L.P. 2001, *L'architettura parla?*, «Archi't» (Rivista digitale di Architettura) ([http://architettura.supereva.it/seminario/prestinenza/prestinenza\\_01.htm](http://architettura.supereva.it/seminario/prestinenza/prestinenza_01.htm); ultimo accesso 11/12/2003).
- RAGIA L., LEOPOLD E. 2003, *Matching texts with geographical data*, in M. DOERR, A. SARRIS (eds.), *The Digital Heritage of Archaeology, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA 2002*, Hiraklion, Archive of Monuments and Publications, Hellenic Ministry of Culture, 103-107.
- RITTER F., PREIM B., DEUSSEN O., STROTHOTTE T. 2000, *Using a 3D puzzle as a metaphor for learning spatial relations*, in S.S. FELS, P. POULIN (eds.), *Proceedings of Graphics Interface (Montréal, 2000)*, San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers, 171-178 (<http://isgwww.cs.uni-magdeburg.de/~fritter/postscript/GI2000.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- RYAN N.S. 1985, *Some thoughts on an archaeologist's toolkit*, in E. WEBB (ed.), *Computer Applications in Archaeology*, London, University of London Institute of Archaeology, 126-132.

- RYAN N.S. 2001, *Jnet, a successor to gnet*, in *Archaologie und Computer*, Workshop 6, Forschungsgesellschaft Wiener Stadtarchäologie, November 2001 (CD-ROM).
- SCHIAVONI U., IOANNILLI M. 2002-2003, *Corso di tecniche di analisi urbane e territoriali (appunti)*, Roma, Università degli Studi "Tor Vergata".
- SHARMA J., FLEWELLING D., EGENHOFER M. 1994, *A Qualitative Spatial Reasoner*, in *6th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH) (Edinburgh 1994)*, London, Taylor & Francis, 665-681 (<http://www.spatial.maine.edu/~max/QR.pdf>; ultimo accesso 11/12/2003).
- THEOBALD D.M. 2001, *Understanding Topology and Shapefiles*, «ArcUser», April-June (<http://www.esri.com/news/arcuser/0401/topo.html>; ultimo accesso 11/12/2003).
- TOSI M., CATTANI M., CURCI A., MARCUCCI L.G., USAI D. 2001-2002, *Missione archeologica nel Sultanato di Oman "Joint hadd Project"*. *Campagna di ricerca 2000-2001*, «Ocnus», 9/10, 357-366.
- VANZETTI A. 1992, *Sepulture a cremazione. Diagrammi di flusso tra processi ed esito archeologico*, in LEONARDI 1992b, 213-231.
- ZEILER M. 1999, *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*, ESRI Press.
- ZLATANOVA S., GRUBER M. 1998, *3D Urban GIS*, in *Proceedings of the International Symposium on GIS: Between Vision and Applications (Stuttgart 1998)*, 691-699 ([http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/sz\\_mg98.pdf](http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/sz_mg98.pdf); ultimo accesso 11/12/2003).
- ZLATANOVA S., RAHMAN A.A., SHI W. 2002, *Topology for 3D spatial objects*, in *Proceedings of International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002 (Kuala Lumpur 2002)*, (CD-ROM) ([http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/SZ\\_AR\\_WS\\_02.pdf](http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/SZ_AR_WS_02.pdf); ultimo accesso 11/12/2003).

## ABSTRACT

Topology is the science to manage and identify spatial relationships between geometrical features. Application of topology in archaeology means the possibility of analysing the logic of space as it was in the mind of ancient communities or as it has been fixed in stratigraphical contexts by post-depositional effects. Qualitative definition of proximity, continuity, connection and of many other spatial properties, included since the earlier registration on the field for each archaeological feature, broaden the capability to find out spatial relationships and formal representation of logical expression of space.

The intent of this paper is to deal with the apparently difficult aspect of topology, starting from recent applications in architecture or, only partially, in archaeology. It suggests to find out methods of approach through a new form of stratigraphical unit and through representations of system theories and graphs. A case study of architectural proto-historical complex is presented for application of these principles and facilitate the comprehension of the use of topology. The development of GIS is always more directed to record and ensure spatial topological data and it appears to be the best way for future applications in archaeology.