



Università di Foggia

DIPARTIMENTO DI STUDI UMANISTICI

Scuola di Dottorato
Le Culture dell'Ambiente, del Territorio e dei Paesaggi

Corso di Dottorato
Storia e Archeologia Globale dei Paesaggi
XXVIII CICLO

Nuove tecnologie applicate alla comunicazione della ricerca archeologica. Dal trattamento dei dati alla gestione efficiente per la fruizione e la condivisione su piattaforme web.

Settore Scientifico *Disciplinare* L-ANT/08

Coordinatore: Prof. Giuliano Volpe
Tutor: Prof. Giuliano De Felice

Dottorando: Andrea Fratta

A.A. 2014-2015

*A mia madre per la sua forza,
A mio padre per il suo coraggio.*

*“Nothing is yours.
It is to use. It is to share.
If you will not share it, you cannot use it.”*

Ursula Le Guin, The Dispossessed

Indice

Introduzione	5
CAPITOLO I – L’ ARCHEOLOGIA DIGITALE	10
I.1. Storia dell’archeologia digitale	12
I.2. Archeologia digitale: le aree di interesse	18
<i>I.2.1 L’archeologia digitale per lo studio dei paesaggi</i>	21
<i>I.2.2 Documentazione dei contesti di scavo.</i>	27
<i>I.2.3 Archiviazione, organizzazione e gestione dei dati.</i>	31
<i>I.2.4 Archeologia quantitativa</i>	35
<i>I.2.5 Comunicazione e multimedialità</i>	42
CAPITOLO II – ATTIVITÀ PRELIMINARI	61
II.1. Fotogrammetria	64
<i>II.1.1 Storia.</i>	64
<i>II.1.2 Modalità operative.</i>	66
<i>II.1.3 Casi di studio.</i>	69
<i>II.1.4 Test di applicazione.</i>	73
II.2. Laser Scanning	86
<i>II.2.1 Laser scanner: categorie e potenzialità.</i>	87
<i>II.2.2 Descrizione della tecnologia</i>	88
<i>II.2.3 Procedura di scansione</i>	89
<i>II.2.4 Elaborazione dei dati: il Meshing</i>	90
II.3. Reverse Modeling per i Beni Culturali.	96
<i>II.3.1 Due applicazioni interattive a confronto. Soluzioni per la comunicazione del Castello di Deliceto.</i>	97
<i>II.3.2 Rilievo con laser scanner. L’esperienza degli Eremi di Pulsano.</i>	107
CAPITOLO III - UNO SCAVO IN ARCHIVIO	115
III.1. Herdonia: una città romana in Italia meridionale.	117
III.2. Il progetto.	119
<i>III.2.1 Scavare in archivio. Primi passi.</i>	120
III.3. Confronti e casi di studio	127
<i>III.3.1 Un 3D GIS web-based per la ricerca archeologica: MayaArch3D</i>	127
<i>III.3.2 Un database per il paesaggio e il patrimonio culturale in Africa: The Zamani Project.</i>	132
<i>III.3.3 Giza 3D. Archeologia digitale e comunicazione per le piramidi di Giza.</i>	135
CAPITOLO IV - HERDONIA. CONTESTO ARCHEOLOGICO E METODOLOGIE DI INDAGINE	140
IV.1 Gli inizi delle ricerche. 1962 – 1964.	141
IV.2. Le ricerche fra 1964 e 1966.	151

IV.3. Gli scavi dal 1966 al 1969.....	158
IV. 4. Le campagne di scavo dal 1970 al 1974.....	169
IV.5. Ortona. Le campagne del 1975, 1976 e 1977.....	179
IV.6. Ortona 1978 - 1986.....	191
IV.7. Gli ultimi anni delle ricerche belghe. 1987 – 1993.....	203
IV.8. Gli scavi italiani: 1993 – 1998.....	217
IV.9. Alcune considerazioni.....	224
CAPITOLO V.....	226
V. 1. Il GIS Archeologico.....	227
<i>V.1.1. La composizione dell'archivio</i>	230
<i>V.1.2. Acquisizione digitale della documentazione grafica di scavo</i>	232
<i>V.1.3. Georeferenziazione, vettorizzazione e composizione del GIS</i>	237
V.2. Applicazioni di realtà virtuale.....	244
<i>V.2.1. Due contesti significativi</i>	244
<i>V.2.2. Il rilievo fotogrammetrico</i>	250
<i>V.2.3. Metodi di modellazione 3D applicati alla documentazione grafica d'archivio</i>	263
CAPITOLO VI - CONDIVISIONE IN RETE.....	268
VI.1. Condivisione di dati d'archivio tramite piattaforme per il web.....	268
VI.2. Servizi online per la visualizzazione interattiva di modelli 3D.....	274
VI.3. Realtà virtuale per la divulgazione.....	281
Considerazioni finali.....	285
CONCLUSIONI.....	287
1. Pratiche di documentazione archeologica 3D.....	288
2. L'archivio Mertens.....	291
3. La comunicazione.....	295
4. Considerazioni finali.....	299
TAVOLE.....	301
BIBLIOGRAFIA.....	312
WEBGRAFIA.....	339

Introduzione

Il progetto descritto da questa tesi rientra nell'ambito disciplinare dell'Archeologia Digitale ed è stato pensato con l'obiettivo di sviluppare un workflow che comprenda in maniera organica i momenti di acquisizione, elaborazione e diffusione dei dati archeologici topografici tridimensionali.

In particolare la ricerca si è concentrata da una parte su modalità e procedure di rilievo archeologico con l'impiego di tecnologie e strumentazioni di precisione e dall'altra sulle modalità di gestione, trattamento e pubblicazione dei dati verso un pubblico ampio.

Alla base di questo progetto si pone una riflessione che ha sempre ispirato gli itinerari di ricerca del Laboratorio di Archeologia Digitale dell'Università di Foggia ed è strettamente connessa con la vasta problematica, ma anche con le enormi possibilità, del settore della comunicazione in ambito culturale e più specificatamente archeologico: utilizzare i dati sia come documentazione scientifica che per il loro potenziale comunicativo. In altre parole, è possibile trattare e confezionare i dati topografici di qualsiasi formato per ottenere non solo una documentazione grafica digitale di qualità ma anche ottimi contenuti che possono essere erogati tramite piattaforme interattive sia in locale che per il web. Per questo è importante costruire e perfezionare metodologie efficaci che comprendano tutti i momenti del processo di documentazione archeologica, dall'acquisizione alla pubblicazione dei dati.

La pratica di rilievo archeologico è stata sempre basata su impostazioni metodologiche e tecniche di altre discipline come la topografia e l'architettura, ma è pur vero che esse sono state adattate ad alcuni principi propri della disciplina archeologica, primo fra tutti il concetto di unità stratigrafica. La rapidità con la quale l'innovazione tecnologica sta introducendo strumentazioni e tecniche sempre più efficaci e precise nel mondo del rilievo topografico ha fatto sì che anche gli archeologi abbiano cominciato, già da anni ormai, a sperimentare macchinari complessi come i laser scanner o ad adoperare tecniche come la fotogrammetria per ottenere documenti tridimensionali in formato digitale caratterizzati da precisione e accuratezza enormi.

D'altro canto la rapida evoluzione del panorama della visualizzazione interattiva sta dando vita a scenari in cui la computer grafica è sempre più considerata come uno strumento dal forte impatto comunicativo, che dunque si presta perfettamente a descrivere contesti archeologici e ad utilizzare linguaggi propri dell'archeologia. Basti pensare alla rivoluzione in atto nel web: fino a non molti anni fa era impensabile interagire con un ambiente interattivo direttamente in una pagina web senza il ricorso a dei software tramite i quali si creavano apposite interfacce utente. Oggi, addirittura, esistono social network in cui la possibilità di condividere modelli 3D è alla portata di chiunque.

Il progetto di ricerca parte proprio da queste constatazioni e punta ad analizzare le pratiche di documentazione archeologica considerando la pubblicazione dei dati come fine ultimo di tutto un processo metodologico che troppo spesso si è arrestato al solo utilizzo tecnico, senza approfondire né verificare la possibilità di elaborare i dati topografici in modo da mettere in collegamento gli archeologi con il pubblico. In altre parole, oggi grazie alle tecnologie di rilievo, alle procedure di elaborazione di dati e alle possibilità quasi senza limiti del web, è possibile creare nuove modalità di fruizione virtuale del patrimonio archeologico, cosa che nel mondo reale richiederebbe un notevole impiego di risorse e di tempi.

Il lavoro si presenta suddiviso in due parti. La prima parte, articolata nei capitoli I e II, descrive le attività preliminari previste dal progetto: ricerca di confronti e sperimentazione di procedure metodologiche.

Il Capitolo I comprende analisi e descrizione di alcune delle problematiche dell'Archeologia Digitale, soprattutto in relazione a tematiche e ad aspetti che riguardano tecnologie per il rilievo tridimensionale, e più in generale l'utilizzo di documentazione grafica per scopi comunicativi. Nel Capitolo II sono state descritte le procedure metodologiche sperimentate per la creazione di dati spaziali *digital born* tramite fotogrammetria e laser scanning. Sono stati effettuati numerosi test in contesti diversi (spazi aperti e ambienti chiusi) e su materiali eterogenei (strutture e reperti), in cui sono stati analizzati potenzialità e limiti delle tecnologie impiegate, ma soprattutto sono state impostate delle procedure di ottimizzazione dei dati 3D in vista della loro implementazione in ambienti interattivi. Va sottolineato che è stato possibile verificare l'efficacia di queste procedure anche in progetti esterni che hanno avuto come finalità la realizzazione di applicazioni interattive per la comunicazione del patrimonio archeologico, ed in particolare del castello di Deliceto (FG).

Queste procedure risultano particolarmente efficaci con i dati 3D *digital born*. La gran parte della documentazione grafica di uno scavo archeologico viene tuttora redatta su supporti cartacei, con l'ausilio del disegno CAD se consideriamo contesti scavati negli ultimi decenni, ma che cosa ne è della documentazione prodotta nell'era predigitale?

Per rispondere a questa domanda, e dunque estendere la ricerca alle modalità di trattamento e gestione informatica di tutta la documentazione grafica, si è deciso di applicare metodologie analoghe ad un contesto archeologico preciso e ben documentato, vale a dire la città romana di *Herdonia*, nei pressi dell'attuale Ortona in provincia di Foggia.

La scelta di questo case study non è affatto casuale. Il sito di *Herdonia* è stato oggetto di ricerche e di scavi archeologici sistematici a partire dal 1962, quando Joseph Mertens, professore di

archeologia all'Università Cattolica di Lovanio, assunse la direzione della missione archeologica belga in Italia. Mertens condusse le ricerche sistematiche sino al 1993, anno in cui il testimone passò all'Università di Bari, che proseguì gli scavi fino al 2000. La documentazione prodotta in 31 anni dall'équipe belga è stata a lungo conservata presso l'Università di Lovanio, fino al 2004, quando l'intero archivio è stato acquisito e trasferito presso l'Università di Foggia. Nel terzo capitolo della tesi, sono state descritte le fasi del progetto ed alcuni casi presi come confronto ed utilizzati come costante riferimento durante la progressione del lavoro. Inoltre sono state introdotte le procedure metodologiche adottate per digitalizzare la documentazione grafica di scavo, passo fondamentale per iniziare una stagione che possa finalmente rendere pubblica questa preziosa miniera di informazioni su un sito che ha fatto la storia dell'archeologia in Puglia e in Italia meridionale.

Il quarto capitolo è stato destinato alla descrizione del sito archeologico di Ortona. Seguendo la suddivisione delle campagne di scavo così come è stata pubblicata nella serie Ortona, si è tentato di descrivere non soltanto le evidenze archeologiche e le interpretazioni cronologiche, ma anche la storia stessa delle ricerche. In particolare è stata posta attenzione sulle riflessioni metodologiche e sulle strategie di indagine messe in atto dall'équipe belga, in modo da cogliere aspetti importanti che hanno condizionato le tecniche di rilievo, l'aspetto della documentazione grafica e le modalità di archiviazione dei dati.

Tutte le fasi operative e le procedure di digitalizzazione della documentazione grafica di scavo sono state discusse nel Capitolo V. Sono state messe a punto delle procedure per l'acquisizione delle informazioni topografiche a partire dalle tavole cartacee e la conversione delle geometrie disegnate a mano in oggetti vettoriali bidimensionali ed in modelli 3D. Questa distinzione è stata motivata dalla previsione di due percorsi di fruizione distinti, uno per la diffusione dei dati topografici, destinato ad utenti esperti ed uno per l'erogazione di contenuti tridimensionali pensato per un pubblico generico.

La digitalizzazione della documentazione ha posto non poche problematiche. Non si dispone di alcun documento digitale dell'archivio, in primo luogo di una cartografia completa del sito. Pertanto la creazione di un sistema informativo geografico per *Herdonia* si è rivelata da subito come una priorità.

All'interno del GIS di *Herdonia* sono state georeferenziate tutte le aree di scavo indagate da Mertens. Questa operazione è stata condotta con numerose difficoltà dovute alla strategia di impostazione dei saggi di scavo sul campo.

Per quanto riguarda la conversione delle unità stratigrafiche disegnate su carta in oggetti tridimensionali, sono state indagate diverse modalità di restituzione, come ad esempio la

modellazione per *voxel*, elementi volumetrici grazie ai quali è stato possibile ricostruire in tre dimensioni porzioni di stratigrafia archeologica a partire da documentazione cartacea di 50 anni fa.

Ciò che rende interessante questo lavoro dal punto di vista della fruizione dei dati è la possibilità di creare da un lato un primo strumento di ricerca per la documentazione di *Herdonia*, costituito da un GIS e dall'altro un ambiente interattivo nel quale poter integrare dati *digital born*, acquisiti tramite tecniche fotogrammetriche con la ricostruzione tridimensionale di stratigrafie archeologiche. A tal proposito, sulla base dello stato di conservazione delle strutture, e per la particolare sequenza stratigrafica, sono stati selezionati due contesti della città romana, la Basilica e la Porta sud-occidentale. In queste aree infatti sono stati effettuati rilievi fotogrammetrici da terra, con lo scopo di essere implementati in ambienti interattivi in cui coesistere con i modelli 3D delle unità stratigrafiche.

Nel Capitolo VI sono state analizzate e discusse le problematiche di condivisione dei dati archeologici, suddivise in base all'output dei percorsi di erogazione previsti.

La prima parte del capitolo si concentra sulla pubblicazione di dati spaziali e topografici tramite web. Sono state analizzate diverse categorie di soluzioni che comprendono sia servizi *user friendly*, totalmente in linea con le caratteristiche del web 2.0 e piattaforme più complesse per la creazione di WebGIS archeologici.

La seconda parte invece descrive soluzioni di pubblicazione online per modelli 3D, di utilizzo immediato e facilmente accessibili da parte di un'utenza ampia. Inoltre sono state analizzate le fasi di sviluppo di un'applicazione interattiva tridimensionale tramite *game engine*, intesa non solo come contenitore per diverse tipologie di *3D data*, ma anche come punto di incontro fra il lavoro dell'archeologo e il pubblico. L'applicazione è infatti costituita da un'interfaccia all'interno della quale l'utente può sfogliare delle vere e proprie mappe 3D e conoscere dunque diverse fasi cronologiche dei contesti selezionati.

Nel capitolo conclusivo, infine, oltre a tracciare un bilancio del lavoro svolto per l'archivio di *Herdonia*, sono state descritte le proposte metodologiche in materia di gestione dei dati topografici archeologici e l'importanza della condivisione della documentazione di scavo con le comunità sia locali che virtuali.

Il percorso di ricerca di questa tesi si addentra nel tema della documentazione archeologica, la cosiddetta archeografia, analizzandone tecniche e metodologie. Le tecnologie digitali disponibili oggi consentono di produrre documentazione secondo modalità sempre più sofisticate, ma spesso utilizzata soltanto con finalità tecniche di studio e di analisi. Documenti

archeografici invece possono costituire la base di una buona comunicazione, purché siano sottoposti a trattamenti adeguati.

La pratica della documentazione può dunque essere considerata non soltanto come strumento di archiviazione, ma anche di condivisione della conoscenza. L'Archeologia Digitale può quindi giocare un ruolo fondamentale, non soltanto per la capacità di assimilare tecniche e tecnologie efficaci, ma perché può e deve modificare la propria impostazione metodologica attribuendo al pubblico un ruolo sempre più centrale.

CAPITOLO I – L’ARCHEOLOGIA DIGITALE

Nel 1996, durante una puntata di *Mediamente*¹, un programma di approfondimento culturale della RAI specializzato sulle nuove tecnologie, Sabatino Moscati risponde alle domande sul rapporto fra archeologia ed informatica. Pur non fornendo una definizione esaustiva di “Archeologia Digitale”, Moscati traccia un quadro piuttosto completo degli aspetti e delle problematiche che emersero dall’incontro fra la scienza informatica e la disciplina archeologica agli albori della rivoluzione digitale. Il contributo più grande dell’informatica in archeologia, secondo il grande archeologo, consiste nell’aver accompagnato i processi ricostruttivi “dall’approssimazione all’esattezza”. Tuttavia dall’intervista emerge con chiarezza un concetto fondamentale: è l’archeologia che cambia. Questa disciplina infatti, nata come scienza storica, dimostrava già venti anni fa, e forse ancora prima, una estrema dinamicità, riuscendo a porsi come “scienza di frontiera fra il mondo umanistico e quello tecnologico”, intesi come le due facce di una realtà unica, che è la ricerca scientifica. Sabatino Moscati ricorda correttamente che l’informatica è un metodo destinato a cambiare la “scienza del futuro”, decisamente marcata sì dalla moltiplicazione delle specializzazioni, ma anche dalla convergenza di prospettive e metodologie².

Venti anni fa dunque, l’incontro fra archeologia e informatica veniva salutato come una grande opportunità che avrebbe di fatto innovato sempre più i metodi e le pratiche della ricerca archeologica. L’intervista di Sabatino Moscati non poteva essere più puntuale nel fotografare un momento di vera e propria svolta. La metà degli anni ‘90 è stata infatti coinvolta da alcuni eventi che hanno segnato drasticamente il passaggio verso una era digitale, in cui i computer hanno letteralmente invaso la vita di buona parte della popolazione mondiale. Solo l’anno prima, nel 1995, Microsoft aveva lanciato Windows95, un sistema operativo destinato a fare scuola nel settore, e ad essere installato praticamente su qualsiasi personal computer. La prima vera alfabetizzazione informatica di massa è avvenuta proprio grazie alla diffusione fulminea di questa piattaforma, che ha avuto dunque il grande merito di direzionare ed uniformare l’uso del computer, sia in ambito domestico che lavorativo.

¹ Mediamente è stato un programma televisivo di Rai Educational, andato in onda dal 1994 al 2002. Il programma, ideato da Renato Parascandolo e condotto da Carlo Massarini, con la regia di Piccio Raffanini, era dedicato al mondo di internet e, più in generale, delle nuove tecnologie della comunicazione. L’intervista a Sabatino Moscati andò in onda il 22 aprile 1996. <http://www.raiscuola.rai.it/articoli/archeologia-digitale/5540/default.aspx> [ultimo accesso: 02/02/2016]

² È possibile leggere il testo integrale dell’intervista al seguente link: <http://www.mediamente.rai.it/biblioteca/biblio.asp?id=243&tab=int> [ultimo accesso: 03/02/2016]

L'altra grande rivoluzione, per certi versi ancora più incisiva fu la prima diffusione di Internet e del World Wide Web da parte della comunità internazionale. Per la prima volta nella storia gran parte dell'umanità ha potuto provare la sensazione di annullamento delle distanze, e da allora si è assistito ad un cambiamento radicale nella percezione stessa del mondo, concepito adesso anche nella sua dimensione "digitale", con la consapevolezza che da lì in avanti si sarebbero aperti scenari sempre più innovativi e che avrebbero rivoluzionato diversi aspetti della vita umana.

Se da un lato la rivoluzione digitale stava di fatto cambiando il mondo, a metà anni '90 il mondo della ricerca archeologica usciva da un ventennio di discussioni e confronti sull'uso degli elaboratori elettronici nelle pratiche di indagine, frutto di riflessioni teoriche e metodologiche iniziate negli anni '70 con la corrente processualista della *New Archaeology* prima e quella post-processualista in un secondo momento.

Sebbene dunque l'archeologia digitale, ovvero l'ambito disciplinare in cui rientra questa ricerca, possa sembrare piuttosto recente, è opportuno descrivere quale sia stata la sua evoluzione considerando sia gli aspetti legati all'impiego delle tecnologie digitali, sia i dibattiti teorici che hanno forgiato l'impalcatura teoretica e la metodologia stessa della disciplina.

Senza avere dunque la pretesa di scrivere una storia degli studi esaustiva, in questo capitolo sarà descritto il quadro di riferimento della disciplina congiuntamente allo studio di casi concreti che illustrino aspetti e problematiche dei diversi ambiti di applicazione dell'archeologia digitale.

I.1. Storia dell'archeologia digitale

Che si chiami Archeologia Computazionale, Archeoinformatica o Archeologia Digitale, questa disciplina, almeno in Italia, ha acquisito una struttura teorica precisa con un certo ritardo³. Lo dimostra il fatto che non è presente una definizione nel *Dizionario di Archeologia*, arcinota *summa* delle metodologie della ricerca archeologica, pubblicato nel 2000. Eppure descrizioni dell'uso degli elaboratori elettronici sono presenti in diverse voci del Dizionario, a conferma delle caratteristiche di questo ramo dell'archeologia, che si pone come disciplina di confine fra "ricerca umanistica" e "ricerca scientifica". Tuttavia proprio l'incontro fra queste due sfere ha generato troppo spesso incomprensioni, per non dire conflitti, che sono sfociate in vere e proprie chiusure da una parte e dall'altra. Quella che dunque poteva essere una grande opportunità è stata spesso un ostacolo che ha relegato l'archeologia digitale ad un corpo quasi estraneo alla ricerca archeologica "pura", poiché considerata troppo dipendente dalla formazione tecnologica⁴. Per fortuna non manca chi ha individuato nell'incontro fra la cultura umanistica e quella scientifica l'innescò di un circuito virtuoso grazie al quale le impostazioni teoriche, le metodologie e le pratiche hanno solo da guadagnare. *"Il futuro dell'archeologia è lungo i confini stessi della disciplina"*, scrive D'Andria⁵, riconoscendo come sia finito il tempo delle resistenze reciproche fra sfere della ricerca differenti e individuando come unica strada percorribile quella della multidisciplinarietà.

Nonostante dunque non esistano veri e propri manuali o definizioni univoche, l'archeologia digitale non è certo una disciplina nuova. Al contrario, l'incontro tra informatica e archeologia è avvenuto agli inizi degli anni '60 in Gran Bretagna e negli Stati Uniti, dove la disponibilità di calcolatori elettronici servì da impulso per applicare e sperimentare procedure statistiche in ambito archeologico⁶. Da allora si sono susseguite diverse discussioni sui metodi e sulla teoria delle applicazioni informatiche all'archeologia, che hanno via via modificato e rielaborato l'impalcatura teorica della disciplina in base ad influenze culturali derivate in un primo momento dalla corrente della *New Archaeology*⁷ e, successivamente dall'avvento dell'archeologia post-processuale⁸. Non è un caso che l'incontro fra archeologia e informatica sia dunque nato in concomitanza con la nascita dell'archeologia processuale, il cui obiettivo dichiarato era quello di introdurre il metodo scientifico nella ricerca archeologica,

³ D'Andrea, Niccolucci 2000

⁴ D'Andrea 2006

⁵ D'Andria, in Limoncelli 2012, p.11

⁶ Lock 2003

⁷ Terrenato 2000b

⁸ Terrenato 2000c

abbandonando l'idea di irripetibilità dei fenomeni storici in luogo di metodi ipotetico-deduttivi fondati su tecniche sperimentali e riproducibilità degli esperimenti. Secondo gli archeologi di questa corrente era dunque possibile determinare e codificare vere e proprie leggi per la lettura dei fenomeni storici, grazie anche all'adozione di metodi ed analisi attinte da altre discipline, come le scienze naturali, in modo da creare un'archeologia globale basata su metodologie analitiche, applicabili a qualsiasi set di dati.⁹ Fu così che in ambito anglosassone fecero la comparsa analisi statistiche e modellizzazioni a supporto dello studio dei paesaggi antichi, e questo determinò l'ingresso del computer fra gli strumenti indispensabili dell'archeologo¹⁰.

Il grande merito dell'introduzione dei metodi della statistica e delle analisi quantitative nella ricerca archeologica è stato quello di riscrivere la concezione del dato, visto ora come un'entità oggettiva non legata alla teoria, le cui proprietà potevano essere misurate¹¹. Secondo la New Archaeology era dunque l'oggettività, supportata da dati certi acquisiti con rigore scientifico, lo "strumento" per dimostrare l'esattezza del discorso archeologico, in netta opposizione all'approccio storicista che aveva fino ad allora condizionato l'impostazione teorica in archeologia. Sulla scia di un grande entusiasmo nacquero gruppi di ricerca formati da archeologi e matematici, come il CAA - *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*¹², che istituì la prima conferenza annuale interamente dedicata alle tematiche che legavano archeologia ed informatica. La prima conferenza si tenne a Birmingham nel 1973, e con il passare degli anni l'evento divenne di portata internazionale. La conferenza del CAA è giunta oggi alla sua quarantaquattresima edizione, ed ha raggiunto una tale importanza da essere stata ospitata in quasi tutti i continenti.

La rivoluzione provocata dall'approccio processualista non ebbe tuttavia una diffusione sistematica ed omogenea in Europa. Se in Paesi come la Francia le analisi quantitative trovarono una propria fisionomia nel corso degli anni '70, in Italia avvenne l'esatto contrario. Gli archeologi italiani infatti, fortemente legati alla tradizione storicista, non accolsero l'impostazione teorica dell'archeologia processuale, considerata estremamente riduttiva ed evolucionista. Il rifiuto della New Archaeology però, se da un lato era mosso da legittime considerazioni di tipo teorico, è stato anche la causa di un certo ritardo che il nostro paese ha sempre avuto nell'acquisire innovazioni metodologiche che in altri contesti avevano già trovato larga condivisione¹³.

⁹ Clarke 1968

¹⁰ Clarke 1972

¹¹ D'Andrea 2006

¹² CAA International: <http://caa-international.org> [Ultimo accesso: 11/02/2016]

¹³ Terrenato 2000b

Se è vero che la Gran Bretagna è stato il contesto in cui è nata la New Archaeology, è pur vero che proprio qui è stata avviata, a partire dalla metà degli anni '80, la critica più profonda all'approccio processualista¹⁴. Archeologi come Ian Hodder proposero di superare le convinzioni della New Archaeology, proponendo modelli teorici che non riuscirono mai a definire la struttura di una vera e propria "scuola" di riferimento, però associavano punti di vista e procedure diversi, dando vita a quella che è stata definita Archeologia Postprocessuale¹⁵. In sintesi, questa corrente rifiutava il positivismo dei decenni passati e soprattutto l'idea che si potesse trasformare l'archeologia in una scienza esatta, o che addirittura si potesse giungere alla formulazione di leggi universali.

Al contrario del pensiero processualista, il dato non solo diventa parte dell'interpretazione archeologica, ma viene anche considerato come oggetto teorico e non reale, quindi non scindibile dalla teoria. Questa nuova corrente di pensiero si inseriva in un contesto più ampio in cui prevaleva un certo scetticismo nei confronti del metodo informatico in archeologia, al punto da provocarne un vero e proprio declino.

Tuttavia, nonostante fosse presente ovunque il dibattito fra scuole di pensiero diverse, se non opposte, è pur vero che l'uso dei computer era di fatto entrato nella pratica archeologica, come dimostra la sempre più crescente necessità di archiviazione e di gestione di dati ed informazioni, e più in generale nell'ambito di quell'ampio processo di organizzazione e di gestione di risorse culturali che prende il nome di CRM (*Cultural Resource Management*)¹⁶.

Uno strumento che sin dagli anni '80 è stato utilizzato da sempre più numerose équipe archeologiche è senza dubbio il GIS (*Geographic Information System*)¹⁷. I sistemi GIS sono dei software nati per archiviare, gestire ed elaborare dati geografici con la possibilità di metterli in relazione fra loro tramite l'integrazione di banche dati. Inoltre, la particolare proprietà di poter gestire informazioni codificate in formati grafici sia raster che vettoriali, unita a quella di poter effettuare calcoli e simulazioni mirati alla strutturazione di modelli predittivi, ha favorito in tempi molto rapidi la diffusione di questi strumenti, al punto che oggi non esiste archeologo che non abbia una pur minima familiarità con essi. Inoltre l'innovazione tecnologica che favorì l'introduzione di strumenti elettronici per il rilievo topografico, con teodoliti e stazioni totali, rese ancor più indispensabile ricorrere a software GIS e CAD (*Computer Aided Design*) con il vantaggio di poter acquisire, modificare ed elaborare dati spaziali in maniera

¹⁴ Terrenato 2000c

¹⁵ Hodder 1991

¹⁶ King 2002

¹⁷ Forte 2002

decisamente più rapida e con un livello di precisione piuttosto elevato¹⁸. La raccolta e la gestione dei dati sono stati forse gli aspetti dell'indagine archeologica sul quale l'informatica ha avuto il più forte impatto¹⁹. Questa ricaduta può essere spiegata per una serie di ragioni pratiche, come le modalità di organizzazione dei dati, la possibilità di metterli in relazione fra loro e dunque di creare informazioni²⁰ finalizzate alla composizione del discorso ricostruttivo.

Come è stato sottolineato da François Dijndijan, *“l'informatica continua ad essere un motore di progresso importante, soprattutto grazie all'integrazione di tecniche matematiche”*²¹. Lo studioso individua due periodi caratterizzanti che riguardano l'ingresso e l'evoluzione dell'informatica in archeologia. In primo momento infatti è stato dato maggiore risalto al metodo della statistica e alla gestione di dati con i primi sistemi di acquisizione e archiviazione elettronica della documentazione archeologica. Successivamente emergono altre categorie di sperimentazione come il trattamento di immagini aeree e aerospaziali, il rilievo elettronico e la diffusione della grafica vettoriale, la visualizzazione di cartografie elettroniche tramite sistemi informativi geografici e la produzione di informazioni tramite database relazionali.

Il contributo dell'informatica però è stato fondamentale anche per favorire gli archeologi nel conseguimento di uno dei loro compiti specifici più importanti, ossia la comunicazione verso la comunità scientifica e verso il vasto pubblico. Questo è avvenuto soprattutto a partire dagli anni '90, con la diffusione di Internet e del personal computer, che hanno di fatto portato il mondo delle applicazioni multimediali alla portata sia di autori che di fruitori della conoscenza. Non è dunque un caso che proprio nell'ultimo decennio del XX secolo si sia sviluppato anche il settore della realtà virtuale applicato all'archeologia, con le prime pionieristiche ricostruzioni tridimensionali come ad esempio quella delle grotte di Lascaux realizzata dall'Università di Cincinnati, in Ohio, da parte del team di ricerca di Benjamin Britton²², che aprì di fatto le porte di scenari del tutto inediti per la comunicazione della

¹⁸ Mascione 2006

¹⁹ Evans, Daly 2006

²⁰ Dati e informazioni in informatica sono due concetti distinti. A tal proposito è utile fornire una serie di definizioni correnti nella manualistica informatica: “Un sistema informativo è un insieme ordinato tramite regole e interrelazioni di elementi quali persone, funzioni, dati, reti e tecnologie che interagendo tra loro raccolgono, elaborano, scambiano, archiviano ed emettono dati con lo scopo di produrre e distribuire dati e informazioni alle persone che ne hanno bisogno, nel momento e nel luogo desiderati così da supportare sia i processi operativi giornalieri come anche i processi decisionali e di risoluzione dei problemi.

I dati sono rappresentazioni originarie, cioè non interpretate, di un fenomeno, evento o fatto, effettuate attraverso simboli o combinazioni di simboli o di qualsiasi altra forma espressiva legate ad un qualsiasi supporto.

L'informazione deriva da un dato, o più verosimilmente da un insieme di dati, che sono stati sottoposti a un processo di interpretazione, derivante dalla conoscenza orientata in una materia, che li ha resi significativi per il destinatario, e realmente importanti agli scopi prefissi”. Boni 2005.

²¹ Dijndijan 1990

²² Craig et alii 2009

conoscenza archeologica. Ed è stato proprio l'ingresso della comunicazione tramite applicazioni multimediali a far riscoprire un rinnovato interesse dell'informatica da parte degli archeologi. Inoltre, se nei decenni precedenti l'uso del computer era stato quasi sempre delegato a specialisti di settore, a partire dagli anni '90, l'informatica diventa sempre più accessibile. Ciò che cambia è la possibilità di utilizzare gli elaboratori senza necessariamente imparare codici e linguaggi macchina, ma più semplicemente utilizzando software dedicati a specifiche categorie applicative, dotati di un'interfaccia grafica piuttosto intuitiva e *user-friendly*²³. Mentre negli anni '70 e '80 la diffusione di concezioni teoriche fondate sull'adozione del metodo scientifico, e di conseguenza le applicazioni informatiche, non è stata affatto omogenea nel mondo della ricerca archeologica, la rinnovata attenzione all'informatica in archeologia, a partire dalla fine degli anni '80 coinvolge anche i paesi più restii alla sperimentazione di nuovi metodi, come l'Italia²⁴. In quegli anni furono infatti organizzati i primi incontri di discussione e di confronto sui metodi dell'archeologia digitale²⁵ e nel 1990 fu pubblicato il primo numero della rivista *Archeologia e Calcolatori*²⁶, sulla scia dell'omonima pubblicazione di Paola Moscati di qualche anno prima²⁷. Erano anni in cui l'Italia stava vivendo un processo di trasformazione della ricerca archeologica in cui emergevano quelle che Francovich definì “le irreversibili differenze delle diverse tradizioni”²⁸. Secondo l'illustre studioso erano due le “culture” predominanti nel panorama della ricerca archeologica italiana, da un lato un'archeologia stratigrafica, che impostava la propria metodologia sui processi analitici della formazione dei depositi archeologici, dall'altro un'archeologia più tradizionale, fortemente propensa ad analizzare gli aspetti storico-artistici.

Nonostante tutto, gli anni '90 costituiscono il decennio di “formazione” dell'archeologia digitale, anche in Italia²⁹. Da un lato si erano consolidate le metodiche per la strutturazione e l'archiviazione dei dati di scavo o delle collezioni di reperti, e dall'altro aumentavano le sperimentazioni di strumenti che sarebbero diventati, con il passare del tempo, parte integrante della pratica della ricerca archeologica, come i GIS, la realtà virtuale e la comunicazione via web. Alle soglie del nuovo millennio dunque, l'archeologia digitale sembra essere il riflesso di “una nuova cultura in cui le due discipline sono contigue e in alcuni casi hanno una

²³ D'Andrea 2006

²⁴ Francovich 1990

²⁵ D'Andria 1987

²⁶ *Archeologia e Calcolatori*: <http://soi.cnr.it/archcalc/index.htm> [Ultimo accesso: 14/02/2016]. Per una sintesi sulla storia della rivista si veda anche Moscati 2009.

²⁷ Moscati 1987

²⁸ Francovich 1990

²⁹ D'Andrea, Nicolucci 2000

sovrapposizione di competenze e know-how”³⁰. Gli stessi D’Andrea e Nicolucci però ammettevano anche l’esistenza dei limiti di una disciplina che stentava ad avere un impatto virtuoso sullo sviluppo della ricerca, individuando, a ragione, come causa, l’incapacità del panorama italiano di considerare l’apporto dell’informatica in archeologia se non “in termini sussidiari e quindi di servizio”³¹. Questa sorta di “resistenza” culturale, probabilmente retaggio della critica post-processualista alle innovazioni della New Archaeology e al perdurare di una visione antiquaria, ha determinato un ritardo rispetto a contesti come quello anglosassone, in cui le istituzioni stesse, spinte da necessità di perfezionamento delle pratiche di tutela, hanno dato vita a diversi progetti di sperimentazione in diversi ambiti applicativi come il rilievo fotogrammetrico per innovare la documentazione grafica, la redazione di cartografie aggiornate grazie all’uso del telerilevamento o la diffusione della conoscenza archeologica esplorando le enormi possibilità offerte dalla rivoluzione di Internet.

Oggi l’archeologia digitale sembra avere i caratteri propri di una disciplina autonoma, in quanto possiede degli specifici contenuti scientifici. Come sempre, il mondo anglosassone è stato pionieristico già a partire dai primi anni del 2000. Lo dimostra la pubblicazione di testi che affrontano le diverse problematiche dell’archeologia digitale sia sul piano teorico che su quello delle applicazioni, e che sono stati quindi considerati veri e propri manuali³².

In Italia, seppur si avverte ancora una certa tendenza a considerare questa disciplina come “ausiliaria”, non esiste progetto di ricerca che non contempra l’uso di strumenti informatici per le attività previste, soprattutto quelle di documentazione ed analisi dei dati. È stata infatti finalmente messa in evidenza l’importanza della comunicazione³³ verso un pubblico differenziato, composto da professionisti o semplici appassionati, sia di dati che di interpretazioni erogate sotto forma di contenuti digitali diversi.

Ricadute di una nuova concezione, che vede l’archeologia digitale come tassello fondamentale nella formazione universitaria, si sono avute a partire dai primi anni del 2000 nell’istituzione di corsi di Applicazioni informatiche all’archeologia o Archeologia digitale all’interno dei regolari piani di studio, e sono nati diversi master dedicati all’uso del computer in archeologia e nel ramo più ampio dei Beni Culturali.

I campi di applicazione dell’archeologia digitale sono molteplici e possono coinvolgere praticamente qualunque aspetto dell’indagine archeologica stessa, dall’impostazione dei progetti ricerca fino alla comunicazione dei risultati per tutti i tipi di pubblico e con diverse

³⁰ D’Andrea, Nicolucci 2000, p. 14

³¹ D’Andrea, Nicolucci 2000, p. 15

³² Lock 2003; Evans, Daly 2006

³³ Cantone 2007

modalità di erogazione. Il suo sviluppo è strettamente connesso alle innovazioni tecnologiche introdotte nella vita quotidiana, ma non si limita ad un semplice aggiornamento in termini hardware e software. Ha ragione Lock quando scrive che il vero contributo dell'informatica in archeologia non sta semplicemente nell'aver introdotto potenti strumenti per risolvere problemi, ma soprattutto nell'aver modificato la maniera in cui si organizza il pensiero. Il rapporto fra informatica e archeologia sarebbe dunque in costante evoluzione grazie ad una dialettica basata sulla reciproca influenza. Per questo Lock preferisce parlare dell'archeologia computazionale come qualcosa di mai "completo", più simile ad un processo³⁴.

L'archeologia digitale dunque costituisce quella branca dell'archeologia che analizza, sperimenta ed applica il metodo informatico a qualunque fase della pratica e della ricerca archeologica, in modo da fornire strumenti per migliorare la comprensione del passato. In quest'ottica, l'uso intelligente del computer permette di perseguire sia le domande teoretiche che le applicazioni metodologiche³⁵.

I.2. Archeologia digitale: le aree di interesse

L'archeologia digitale si pone dunque come disciplina di frontiera fra il mondo della ricerca umanistica e quello della ricerca scientifica, facendo proprie metodologie e tecniche attinte da entrambi, in modo da produrre un ciclo virtuoso di reciproca influenza. Una delle caratteristiche peculiari delle scienze informatiche è quella di doversi confrontare con le costanti innovazioni, che non solo possono rendere obsolete determinate tecnologie, ma possono anche modificare l'organizzazione di intere attività. Per questa ragione le pubblicazioni di sintesi su metodi e tecniche dell'archeologia digitale tendono a concentrarsi più sulle problematiche dei contesti applicativi propri della disciplina, che sulle descrizioni puntuali di casi di studio.

Studiosi come Vannini, ad esempio, individuano sei ambiti in cui la collaborazione strategica fra informatica ed archeologia ha inciso maggiormente, e sono: la registrazione dei dati sul campo, la validazione, l'archiviazione, la gestione, la diffusione delle informazioni e l'azione diretta sugli aspetti di tutela e valorizzazione dei contesti archeologici³⁶.

Sul versante britannico, solo qualche anno dopo, Gary Lock suddivide il suo lavoro sull'archeologia computazionale in base ai diversi ambiti applicativi che compongono le fasi dell'indagine archeologica: ricognizioni e prospezioni, scavi (scindendo i momenti di

³⁴ Lock 2003

³⁵ Evans, Daly 2006

³⁶ Vannini 2000

acquisizione dei dati sul campo e di elaborazione in laboratorio), analisi di paesaggi digitali, conservazione e gestione delle evidenze del passato e comunicazione verso il pubblico³⁷.

Evans e Daly, invece, individuano cinque aree di impatto della Digital Archaeology: la pratica della registrazione e della rappresentazione dei dati archeologici, i metodi quantitativi, l'analisi di modelli predittivi o comunque volti a comprendere le interazioni uomo-ambiente, la realtà virtuale e la diffusione delle informazioni sia verso specialisti che verso il grande pubblico³⁸.

Si ritiene opportuno anche in questa sede descrivere in generale quelle che sono le problematiche dell'archeologia digitale in base all'ambito di applicazione, ma anche ponendo l'attenzione sui dibattiti più attuali nel settore. La divisione che dunque si propone affronta contesti a più livelli ed è composta, sulla base delle classificazioni citate, dalle seguenti categorie:

- L'archeologia digitale per lo studio dei paesaggi;
- Documentazione dei contesti di scavo;
- Archiviazione, organizzazione e gestione dei dati;
- Archeologia quantitativa;
- Comunicazione e multimedialità

Questa proposta di suddivisione delle tematiche dell'archeologia digitale non vuole avere la pretesa di essere considerata migliore rispetto alle proposte precedenti in termini assoluti, ma probabilmente si adatta in maniera più coerente a concezioni e tendenze presenti nell'attuale panorama del mondo informatico, che sono state introdotte nel mondo della ricerca archeologica.

Negli ultimi dieci anni il mondo del computer ha conosciuto una serie di ulteriori rivoluzioni, come ad esempio l'introduzione di dispositivi *mobile* e del concetto del *cloud*, che consente a ciascun utente di accedere tramite diversi *device* ad un contenitore di dati, opportunamente condiviso con altri utenti. Le esigenze di accessibilità e di maggiore integrazione hanno di fatto reso molto elastici i flussi di elaborazione dei dati, creando anche delle "sovrapposizioni" degli ambiti di applicazione dell'archeologia digitale. Un esempio, come si vedrà, è costituito dal campo della comunicazione, soprattutto tramite Internet. Il livello dei linguaggi di marcatura per il web, delle librerie grafiche e della configurazione hardware dei dispositivi attualmente

³⁷ Lock 2003

³⁸ Evans, Daly 2006

sul mercato consente oggi di erogare in un semplice browser, applicazioni di realtà virtuale anche molto complesse; uno scenario quasi inimmaginabile alle soglie del nuovo millennio.

1.2.1 L'archeologia digitale per lo studio dei paesaggi

“I paesaggi sono creati dalle persone”. Non esiste espressione più efficace di quella di Barbara Bender³⁹ per descrivere in poche parole la complessità del paesaggio, inteso come il risultato della continua interazione fra l'uomo e l'ambiente, e gli aspetti culturali delle comunità che hanno abitato determinati luoghi in determinati tempi, hanno avuto un impatto decisivo sulla modellazione e sulla percezione degli spazi e dunque dei territori che si sono sovrapposti nel tempo. Il paesaggio costituisce quindi un “palinsesto di paesaggi stratificati”⁴⁰, in cui si conservano tutte le modifiche naturali o antropiche che compongono il racconto dell'evoluzione culturale. È proprio il paesaggio a costituire il campo di indagine dell'archeologo e di quella che è in generale la ricerca archeologica, sempre più caratterizzata da una globalità di approcci.

Nello studio di un oggetto complesso come il paesaggio, composto da spazi e sequenze cronologiche stratificate, l'impiego di tecnologie digitali è ormai una pratica piuttosto consolidata. Forse proprio lo studio dei paesaggi accomuna l'indagine archeologica alla stessa informatica, in quanto entrambe possono essere considerate come discipline fondate sul concetto di *problem solving*⁴¹, volte cioè a cercare soluzioni a problemi “inediti”, o comunque non sempre risolvibili tramite comportamenti appresi⁴². Quasi come un meccanismo di intelligenza artificiale, l'archeologo si trova dunque a dover analizzare un set di dati complesso (il paesaggio), e può farlo solo acquisendo le informazioni necessarie per caratterizzare le sue componenti.

Seguendo quanto è capitato per altre discipline come la geografia e la geologia, anche in archeologia il contributo più grande dell'informatica per lo studio del paesaggio è stato senz'altro l'introduzione del *Geographic Information System*. Si tratta di una tecnologia digitale per l'archiviazione, l'organizzazione, l'analisi e la comunicazione di dati spaziali georeferenziati e di qualsiasi altra tipologia di dati che possa essere integrata ad una base cartografica digitale⁴³.

³⁹ Bender 1993, p.1

⁴⁰ Volpe 2006

⁴¹ Barcelò 2009

⁴² Il termine inglese *problem solving* indica il processo cognitivo messo in atto da un essere vivente (chiamato solutore) per passare da una data situazione ad una desiderata, dunque per risolvere un problema, senza aver appreso in precedenza la strategia per poterlo fare. Lo studio della risoluzione dei problemi accomuna diversi campi di applicazione che vanno dalla psicologia e la sociologia alla matematica e all'informatica. Tuttavia, anche l'archeologia può essere definita come una disciplina *problem solving*, in quanto essa pone davanti a dei problemi non direttamente riconducibili ad altri analoghi, e soprattutto il solutore non è in possesso in anticipo di tutte le nozioni che possono portare alla soluzione. Queste nozioni possono essere acquisite soltanto dopo un percorso di ricerca complesso che permetta di scomporre il problema in elementi più semplici e di individuare i rapporti fra gli stessi elementi. Soltanto dopo aver acquisito tale consapevolezza, è possibile avere una veduta d'insieme completa e riorganizzare gli elementi del problema in modo da sviluppare una chiave di lettura corretta per la soluzione del problema. Zambotti, Spektor, 2010

⁴³ Forte 2002

Come sottolinea Maurizio Forte, in ambito archeologico *“le analisi e le elaborazioni GIS interessano sia dati provenienti dal mondo contemporaneo, sia simulazioni e ricostruzioni del mondo antico, in una continua dialettica fra persistenza dell’antico e visualità del dato archeologico”*⁴⁴, ed è proprio per questa dialettica che il GIS è diventato lo strumento migliore per leggere il paesaggio e decifrarne le sue relazioni spaziali.

Gary Lock individua fondamentalmente tre ampi temi connessi con la storia metodologica dell’archeologia stessa che hanno favorito la diffusione di questi strumenti nella pratica comune dell’indagine archeologica⁴⁵. Il primo è stato senza dubbio la nascita ed il consolidamento dell’archeologia dei paesaggi intesa come *“area di studi discreta, con un set di concetti, metodi e tecniche”*⁴⁶. Nel dibattito teorico sull’impostazione teorica di questa disciplina infatti, il paesaggio è considerato il luogo in cui si ricompono l’archeologia degli insediamenti e di tutti i risultati di qualsiasi azione umana, annullando di fatto distinzioni eccessive fra archeologia dei paesaggi e archeologia urbana, dal momento che la città è considerata parte integrante del paesaggio ed allo stesso tempo elemento che ne determina l’assetto⁴⁷.

Questa particolare consapevolezza ha spinto gli archeologi a cercare soluzioni per rappresentare il paesaggio non soltanto con la finalità di descriverlo, ma anche, e soprattutto, con l’obiettivo di analizzarlo e di produrre informazioni.

Il secondo tema riguarda il crescente approccio interdisciplinare e globale dell’archeologia in generale e dell’archeologia dei paesaggi in particolare. È una prerogativa tipica della disciplina archeologica quella di assimilare ed adattare tecniche e metodi provenienti da altri settori all’interno della propria impostazione metodologica. La capacità di creare informazioni consiste proprio nell’integrazione fra dati differenti che possono essere collocati all’interno di una medesima mappa. La rappresentazione diventa dunque la strategia cognitiva più efficace in questo senso. Basti pensare all’adozione delle teorie sui modelli insediativi e sulle analisi spaziali in generale mutuati dalla scienza geografica ed adattati allo studio dei paesaggi antichi.

Il terzo ed ultimo grande tema individuato da Lock consiste nella grande diffusione dei metodi informatici e quantitativi nella ricerca archeologica. Già a partire dagli anni ’80 infatti *“I tempi erano maturi per nuovi approcci computerizzati nelle analisi spaziali, che potevano associare una serie di informazioni spaziali a dati di natura descrittiva”*.

Gary Lock scriveva le sue considerazioni agli albori di questo millennio. Non poteva immaginare che, appena un decennio dopo, i GIS avrebbero potuto offrire numerose altre

⁴⁴ Forte 2002, p.13

⁴⁵ Lock 2003

⁴⁶ Lock 2003, p.165

⁴⁷ Cambi 2009

possibilità agli archeologi, sia per quanto riguarda l'integrazione e la gestione di dati, sia per la possibilità di effettuare calcoli ed elaborazioni a partire dagli stessi in modo da produrre informazioni sempre più dettagliate. Oggi i GIS rivestono un'importanza non certo secondaria anche nell'ambito della comunicazione, soprattutto via web, ed è forse questo l'aspetto più innovativo apportato da questi strumenti nella gestione della documentazione archeologica. Non c'è dubbio però che la visione dello studioso inglese, che sintetizza il successo dei GIS in archeologia individuando come caratteristiche principali la possibilità di realizzare rappresentazioni grafiche spaziali, la contestualità, intesa come integrazione di numerosi tipi di dati differenti e la natura analitica, e non solo descrittiva, di questi strumenti resta tutt'oggi intatta. I GIS infatti consentono di creare nuovi contesti e nuove informazioni tramite due modalità principali: la sovrapposizione dei dati, derivata dalla proprietà di visualizzare simultaneamente livelli informativi distinti, e le elaborazioni spaziali, che consentono di costruire nuovi modelli geografici⁴⁸.

Bisogna aggiungere che l'evoluzione delle tecnologie fotogrammetriche, assieme alla crescente disponibilità di riprese aeree, anche da satellite, hanno incrementato le potenzialità dei GIS soprattutto in materia di analisi territoriali e gestione dei dati geografici.

La possibilità di integrare dati territoriali, mappe e dati archeologici, associata a quella di poter "vestire" i dati di tutti gli attributi che definiscono la complessità del record archeologico, e ancora a quella di visualizzare tematismi diversi, rendono i GIS gli ambienti ideali per produrre "*contesti spaziali attraverso differenze*"⁴⁹, superando la definizione di strumenti di ricerca, e acquisendo quella di ambiente di sviluppo della ricerca stessa.

Fermo restando che questi software possono essere utilizzati con efficacia per gestire dati territoriali e spaziali a qualsiasi scala, e con caratteristiche specifiche sia a livello di sito archeologico che di porzioni territoriali più ampie, trovando largo impiego ad esempio nei progetti di diagnostica archeologica, le ricadute più importanti dell'approccio informatico allo studio dei paesaggi archeologici consistono in un miglioramento delle procedure analitiche per l'interpretazione delle relazioni fra uomo e ambiente nelle epoche preistoriche e storiche. Comprendere le dinamiche insediative, lo sfruttamento delle risorse, la viabilità, la composizione e la diffusione delle specie vegetali e animali, il rapporto fra abitati e territori circostanti, ha permesso in seguito di perfezionare quella "*tecnica di predizione di localizzazione di siti archeologici*"⁵⁰ comunemente chiamata Archeologia Predittiva.

⁴⁸ Forte 2002

⁴⁹ Forte 2002, p.16

⁵⁰ De Guio 2015, p.301

Nonostante il lungo dibattito teorico⁵¹ che ha caratterizzato la diffusione dei metodi predittivi applicati alla ricerca archeologica⁵², è fuor di dubbio che questo tipo di approccio, notevolmente facilitato dall'introduzione del calcolo elettronico e dei sistemi informativi geografici, abbia permesso di ottenere ottimi risultati in diversi ambiti quali la pianificazione territoriale o la mappatura del rischio archeologico.

Uno dei primi esperimenti di archeologia predittiva fu realizzato da Ken Kvamme presso Great Plains in Colorado⁵³. Tramite applicazioni GIS furono individuate le aree con la più alta probabilità di individuare siti archeologici, grazie all'integrazione di una serie di layer informativi prodotti da specifici calcoli computerizzati. Kvamme realizzò una serie di mappe di un'area campione di 5.5 x 8.7 km, risultate da specifiche analisi spaziali quali: le pendenze, le pendenze esposte a settentrione, l'analisi dei rilievi rocciosi e dei canyon, l'idrografia e la distribuzione di materiale litico rinvenuto in fase di ricognizione. In base al "peso" di ciascuna variabile, stabilito in maniera ipotetica, sono state generate vere e proprie mappe di probabilità della diffusione di siti nell'area. Questo lavoro pubblicato negli anni '90, sembra caratterizzato da una matrice fortemente processualista, ed è forse questa la ragione per la quale questo approccio predittivo è stato fortemente discusso in altri contesti di ricerca, specialmente in Europa, dove le scuole teoriche archeologiche, caratterizzate da un maggiore storicismo, nutrivano forti perplessità riguardo all'adozione di questi metodi. Tuttavia al giorno d'oggi, dopo aver raggiunto una certa maturità nell'impalcatura teoretica, alcuni metodi dell'archeologia predittiva sono stati adottati un po' ovunque, come dimostra il crescente numero di progetti ispirati proprio dal concetto di predittività che saranno descritti più avanti.

⁵¹ Wheatley 2003; Lock, Harris 2006; Kamermans H., van Leusen M., Verhagen P. 2009; Gattiglia 2014; Gull 2015; De Guio 2015; Zubrow 2015.

⁵² Nel suo lavoro di sintesi sulla storia e sull'attuale panorama dell'archeologia predittiva, Armando De Guio, delinea un quadro che fino a tempi recenti rappresentava tre grandi percorsi evolutivi. Un primo percorso, scaturito dall'esperienza americana e olandese, volto a continuare sulla modellistica "tradizionale" dell'archeologia predittiva, era fondato su "*approcci induttivi/correlativi/eco-deterministici*". Un secondo percorso, nettamente contrapposto al primo, prevedeva il rifiuto della modellistica predittiva in favore di un approccio totalmente fondato sulla raccolta di dati sul campo, mentre il terzo percorso proponeva sostanzialmente una via di mezzo, con la formalizzazione di procedure per la valutazione, la gestione e l'attenuazione del rischio, tramite "*incorporazione e quantificazione dell'incertezza e definizione di intervalli di confidenza*". Quest'ultimo approccio sembra essere l'unico che abbia avuto un'evoluzione consistente, andando a definire le linee di ricerca della archeologia predittiva. Oggi, grazie alle nuove generazioni di tecnologie digitali, di algoritmi, di sensori e di piattaforme, è possibile effettuare un'inversione di rotta partendo dai dati noti del record archeologico, la *terra cognita*, all'analisi di tutte quelle anomalie telerilevate, sia pre che post-scavo, che vanno a comporre l'insieme della *terra incognita*. Una delle opportunità più grandi offerte da questi nuovi strumenti di ricerca consiste nella possibilità di riconoscere in maniera semi-automatica delle tracce sul terreno ed attribuire loro delle specifiche classi archeologiche, in modo da incrementare il potenziale informativo dei sistemi informativi geografici.

⁵³ Kvamme 1990

2.1.1 Le proprietà dei GIS.

Come è stato detto, i GIS costituiscono degli ambienti di sviluppo della ricerca che, grazie ad una serie di strumenti e di proprietà, consentono di produrre informazioni soprattutto mettendo in relazione ed interrogando i dati in maniera coerente con gli obiettivi della ricerca. Un sistema con queste caratteristiche può dunque favorire la nascita di ipotesi e di valutazioni, innescando un circolo virtuoso alimentato dalla formulazione di nuovi quesiti. È importante dunque descrivere quali sono queste proprietà e perché la loro interrelazione può essere determinante per classificare e valutare le potenzialità di un GIS⁵⁴.

In primo luogo la *query*, che costituisce la possibilità di interrogare il sistema associando database relazionali, composti da dati alfanumerici, alle componenti grafiche del sistema (basi cartografiche, elementi vettoriali, fotografie aeree, ecc.). Le interrogazioni possono essere *orizzontali*, che partono cioè dagli elementi visualizzati per evidenziare determinati elementi nelle tabelle di dati alfanumerici, o *verticali*, che, viceversa, consentono di selezionare dati a partire dalle tabelle per poi visualizzare l'esito della selezione direttamente sulla mappa. Tuttavia è possibile porre domande più complesse al sistema, caratterizzate dall'impostazione di diversi fattori numerici, come distanze, altitudine o qualsiasi altra grandezza, che prendono appunto il nome di ricerche multifattoriali.

Un'altra importante proprietà è quella della visualizzazione simultanea di tematismi diversi, grazie alla possibilità di sovrapporre diversi layer e quindi diverse componenti grafiche, sia raster che vettoriali. Questa proprietà consente di comparare fonti distinte di informazione, analizzandole ed interpretandole ai fini di ricostruire porzioni di paesaggio archeologico o, come si è visto, per realizzare modelli predittivi per l'individuazione di nuovi siti.

Le interrogazioni e le visualizzazioni comparate non sono l'unico metodo per produrre nuove informazioni in un sistema informativo geografico. La possibilità di effettuare calcoli, anche molto complessi, rendono i GIS degli ottimi strumenti analitici. Le analisi che possono essere effettuate in questi ambienti sono innanzitutto quelle spaziali, elaborazioni che possono essere effettuate su tutte le tipologie di dati georeferenziati. Le analisi spaziali più comuni sono:

- *Viewshed*: analisi di visibilità territoriale
- *Cost*: analisi dei costi di percorrenza
- *Network*: analisi di reti e percorsi
- *Slope*: analisi di rilievi e di ripidità
- *Aspect*: analisi di acclività e di microrilievo
- *Hillshade*: analisi dell'illuminazione ipotetica di una superficie

⁵⁴ Si ritiene utile fare riferimento alla schematizzazione proposta da Maurizio Forte [Forte, 2002]

- *Altre*: analisi di predittività, overlay topologici

Tutte queste analisi possono essere integrate fra di loro, anche in modo multifattoriale, determinando cioè l'incidenza di un fattore rispetto ad un altro, seguendo anche combinazioni plurime.

Alle analisi spaziali si affiancano le analisi di tipo statistico. Queste possono essere effettuate su qualsiasi fonte numerica di dati in modo da produrre nuovi tematismi, rappresentati tramite mappe di frequenza o di distribuzione di uno o più oggetti, o di una o più classi di oggetti (ad esempio la distribuzione di una specie vegetale o animale, o la frequenza di tipologie di ceramica).

Le proprietà analitiche dei GIS, associate ad un determinato tipo di logica, chiamata *fuzzy*⁵⁵ e ampiamente utilizzata nel campo dell'intelligenza artificiale, sono alla base di un'ulteriore proprietà di questi sistemi: la simulazione. Questa proprietà rende il sistema un calcolatore intelligente, che, sulla base di dati statistici e di affermazioni logiche, può formulare ipotesi sul comportamento di determinati fattori, in modo da suggerire ricostruzioni di fenomeni di diversa natura.

L'ultima proprietà fondamentale del GIS consiste nella possibilità di interpolare i dati territoriali in modo da generare rappresentazioni tridimensionali di porzioni di mappe. Queste rappresentazioni prendono i nomi di *DTM (Digital Terrain Model)* o *DEM (Digital Elevation Model)*, e consentono di riprodurre parti di paesaggio in 3 dimensioni, in modo da poter incrementare le possibilità analitiche esulando dalla visualizzazione bidimensionale.

È importante sottolineare come tutti i dati importati in un sistema GIS possono essere riferiti ad un medesimo sistema di riferimento in coordinate spaziali assolute, con il risultato di poter dunque determinare le dimensioni reali e il posizionamento di un oggetto sulla superficie terrestre.

La diffusione dei GIS nella ricerca archeologica risponde dunque a diverse esigenze che comprendono la necessità di organizzare e gestire i dati raccolti sul campo e di visualizzarli su basi cartografiche digitali georeferenziate. Le proprietà analitiche di questi ambienti forniscono all'archeologo elementi per formulare ipotesi, in un virtuoso e continuo confronto fra le considerazioni di partenza e i risultati delle diverse elaborazioni. In archeologia però, il GIS diventa anche uno strumento di analisi non soltanto per la multidimensionalità dei dati, ma anche per la natura diacronica delle informazioni, aggiungendo dunque un'importante proprietà a questi sistemi, e cioè quella di poter gestire e produrre tematismi cronologici.

⁵⁵ Barceló 2009

1.2.2 Documentazione dei contesti di scavo.

La pratica dello scavo archeologico implica la registrazione di dati sul campo e la loro successiva conservazione in archivi accessibili per analisi, interpretazioni e future reinterpretazioni⁵⁶. Questi archivi sono composti da documentazione piuttosto eterogenea che comprende testi scritti, schede di catalogazione, disegni, fotografie e output digitali di rilievi effettuati con strumentazione elettronica. È grazie infatti a questi prodotti che comincia il processo di interpretazione archeologica, e questo avviene a prescindere dalle tecnologie utilizzate per acquisire dati sul campo⁵⁷.

Negli ultimi decenni le sperimentazioni relative all'uso di tecnologie digitali nella pratica di documentazione e di gestione dei dati di scavo si sono moltiplicate senza mai però fornire ulteriori indicazioni per standardizzare procedure e formati finali. Tuttavia sono stati fatti passi da gigante soprattutto nella pratica del rilievo, del disegno semi-automatizzato e nella gestione della documentazione grafica e dei *legacy data*, con l'uso ormai ampiamente diffuso di GIS e banche dati elettroniche.

Per quanto riguarda il rilievo archeologico, si è assistito ad una moltitudine di sperimentazioni che hanno introdotto nella pratica di scavo tecniche di rilevamento sempre più speditive e precise. Qualunque archeologo oggi sa che può utilizzare una fotocamera non soltanto per produrre documentazione fotografica "classica", ma anche per poter ricavare informazioni numeriche tramite rappresentazioni digitali 2D e 3D. Il percorso per giungere a questo punto non è stato certo breve, e per giunta non sono mancate discussioni sugli aspetti critici di queste pratiche.

Le prime sperimentazioni di rilievo 3D condotte con laser scanner o tecniche fotogrammetriche avevano posto in luce una serie di vantaggi in termini di precisione, accuratezza, spedività, ma anche delle criticità rappresentate dai costi e dalla difficoltà di rendere accessibili i dati acquisiti.

Se da un lato infatti queste tecnologie permettevano di realizzare dei rilievi con output grafici mai visti prima in archeologia, dall'altro venivano considerate poco sostenibili e non mancavano posizioni scettiche sulla destinazione dei dati rilevati, spesso ingestibili e dunque scarsamente fruibili da terze parti. Inoltre agli alti costi della strumentazione, soprattutto nel caso dei laser scanner, si aggiungeva quello delle licenze d'uso dei software di funzionamento. Le sperimentazioni avviate a partire dai primi anni del secolo hanno dato il via anche a dibattiti su quale fosse la tecnica di rilievo 3D più conveniente sia in termini pratici che economici, fra

⁵⁶ Lock 2003

⁵⁷ De Felice 2012

laser scanner e fotogrammetria⁵⁸. A coloro che consideravano il laser scanner più lento in fase di acquisizione, ma con restituzioni grafiche più dettagliate e meno arbitrarie, si opponevano quelli che vedevano nelle tecniche fotogrammetriche la soluzione ideale, in quanto rendevano le operazioni di rilievo molto più speditive e sostenibili⁵⁹. Il rilievo archeologico però, essendo un'operazione funzionale all'intero sistema conoscitivo⁶⁰ impone che le innovazioni tecnologiche siano effettivamente applicabili all'indagine archeologica, ossia siano in grado di produrre dati che abbiano una validità scientifica concreta, e che consentano all'archeologo di effettuare le sue analisi.

Le tecniche e le tecnologie di rilievo 3D saranno ampiamente descritte nel capitolo successivo, in quanto gran parte di questo lavoro è dedicata proprio a questo argomento. Esse possono essere utilizzate per rilevare praticamente qualunque oggetto di interesse archeologico, dall'edificio al singolo reperto, anche di dimensioni notevolmente ridotte. Non è possibile individuare la tecnica *migliore* delle altre, ma quella più *adatta* rispetto alle altre. Come si vedrà in seguito, esistono dei casi in cui per effettuare un rilievo topografico di un sito archeologico le tecniche fotogrammetriche e di *structure from motion* possono rispondere meglio ad esigenze di rapidità di esecuzione e di ottimizzazione della resa grafica, mentre in altri, come ad esempio in ambienti ipogeici o rupestri, pieni di cavità, in cui la luce è scarsa se non del tutto assente e anche la possibilità di transito dell'operatore risulta particolarmente complicata, un laser scanner 3D può rivelarsi la soluzione ideale. Detto ciò, la scelta della tecnologia rappresenta la parte meno importante (e meno interessante) del problema, anche perché gli hardware ed i software più performanti di qualche anno fa sono stati sicuramente resi obsoleti da quelli prodotti oggi. La problematica maggiore, che costituisce anche la prerogativa dell'archeologo, riguarda la gestibilità dei dati sia in termini di elaborazione che di diffusione verso altri soggetti. I processi di documentazione tridimensionale devono fornire innovazione e miglioramenti che possano confluire nella pratica di tutti gli archeologi: se l'innovazione tecnologica è troppo costosa e complessa da gestire, allora la sua diffusione sarà scarsa e il suo contributo poco efficace⁶¹. Al contrario le tecnologie di rilievo devono affiancare e supportare l'archeologo, e non creare maggiori problemi, primo fra tutti quello della condivisione dei dati. Grazie a queste tecnologie è infatti possibile generare delle rappresentazioni tridimensionali estremamente dettagliate, ma anche difficili da gestire e dunque da essere visualizzate da altri utenti. Inoltre la condivisione dei dati dovrebbe conformarsi alla natura stessa del patrimonio culturale, inteso

⁵⁸ Vozikis et alii 2004

⁵⁹ Fiorini 2008; D'Andrea 2011; De Felice 2012

⁶⁰ Medri 2003

⁶¹ De Felice 2012

come patrimonio di tutta la collettività, e dunque dovrebbero essere accessibili a tutti sfruttando la possibilità di essere codificati in formati digitali aperti, che affranchino dunque l'utente dall'imposizione di software proprietari.

Queste istanze non sono rimaste affatto inascoltate. Basta pensare infatti alle numerose soluzioni presenti oggi nel panorama dei software la gestione dei dati⁶² acquisiti tramite tecniche fotogrammetriche o laser scanner, che offrono la possibilità di esportare i modelli in formati open come ad esempio il formato *ply*. Inoltre sono nate soluzioni software *structure from motion* gratuite, che consentono praticamente a chiunque di realizzare modelli 3D di oggetti della realtà, grandi o piccoli che siano. Sebbene non costituiscano soluzioni di tipo professionale, permettono comunque di realizzare buoni lavori, ma soprattutto hanno avuto il merito di rendere le tecniche fotogrammetriche alla portata di tutti.

Il campo del rilievo archeologico non è certo l'unico a costituire un ramo interessante dell'archeologia digitale. Infatti già molto tempo prima della nascita delle tecnologie descritte (e non sono le uniche ad essere utilizzate in un cantiere di scavo) è stata affrontata la problematica della archiviazione e della gestione dei dati di scavo. Come è stato detto, la documentazione prodotta durante un'indagine archeologica stratigrafica comprende grandi quantità di dati ed informazioni, redatte sotto forma di schede di catalogazione, giornali di scavo, tabelle di materiali, fotografie, disegni e rilievi di diverso tipo. Il contributo dell'informatica in archeologia è stato quello di aver fornito metodi e strumenti per rispondere alle necessità degli archeologi, che possono essere schematizzate in tre azioni:

- Archiviazione
- Correlazione delle informazioni
- Produzione di conoscenza

La creazione di archivi digitali di grande capacità è sempre stata un'esigenza di primaria importanza. Innanzitutto la conversione in digitale di documenti permette di oltrepassare i limiti dovuti alla *materialità* della documentazione analogica con un notevole risparmio di spazi fisici preposti alla conservazione dei materiali. Inoltre un database costituisce un ottimo strumento per reperire con facilità qualsiasi documento inserito nell'apposita banca dati. Quella della semplice archiviazione però non è mai stata una ragione sufficiente a giustificare la necessità di sistemi di gestione dei dati in archeologia⁶³. Le opportunità offerte dalla strutturazione di una

⁶² Un esempio è costituito da MeshLab, software open-source gratuito di gestione di mesh 3D utilizzato in tutto il mondo, soprattutto nell'ambito del reverse modeling per i Beni Culturali.

⁶³ Semeraro 2008

banca dati elettronica sono molte di più e riguardano la possibilità di produrre nuova conoscenza tramite la messa in relazione e il confronto fra dati ed informazioni differenti. Un database è dunque un contenitore potenzialmente infinito, in grado di rispondere a delle precise richieste da parte dell'archeologo, purché i dati siano stati strutturati nella maniera più appropriata.

È interessante notare come il dibattito sulle modalità e le problematiche dell'archiviazione di dati ed informazioni di scavo abbia portato anche alla creazione di strumenti software dedicati al campo dell'archeologia. Moltissimi gruppi di ricerca hanno costruito "in casa" i propri database, utilizzando software differenti, sia proprietari che open-source, ma nella maggior parte dei casi si tratta di strumenti pensati per gestire al meglio il flusso di lavoro dei propri progetti, e non per fornire strumenti efficaci, utilizzabili da tutti.

Tuttavia un software che sembra invece avere avuto un discreto successo è *ARK*⁶⁴, acronimo di *Archaeological Recording Kit*, sviluppato da L-P Archaeology⁶⁵, studio inglese di servizi professionali per l'archeologia ed i Beni Culturali. Si tratta di un kit di strumenti web-based, per l'acquisizione, l'archiviazione e la diffusione di dati archeologici, progettato per adattarsi a qualunque sistema di acquisizione, digitale o cartaceo, in modo da non esercitare alcun condizionamento sulle pratiche di documentazione delle équipes di archeologi. ARK fornisce un framework, un'interfaccia e un set di strumenti digitali realizzati utilizzando tecnologie open-source e standard-compliant.

Il principale punto di forza di ARK sta nella caratteristica di essere un toolkit web-based, e dunque non implica l'adozione di alcun pacchetto software al di fuori di un normale web browser. Il sistema di gestione dei dati permette di gestire informazioni digitali differenti come fotografie, planimetrie, GIS data, oggetti 3D, suoni e video.

La piattaforma di condivisione è stata costruita seguendo la dinamicità del web 2.0, e si adatta anche alla gestione di dataset non prettamente archeologici, ma che riguardano ad esempio banche dati bibliografiche o collezioni di immagini.

Inoltre ARK permette di mappare la struttura dei dati in modo da essere compatibile con strutture dati di altri database, seguendo ad esempio la standardizzazione prevista dal CRM CIDOC.

⁶⁴ ARK: <http://ark.lparcnaeology.com/> [ultimo accesso: 21/03/2016]

⁶⁵ L-P Archaeology: <http://www.lparcnaeology.com> [ultimo accesso: 21/03/2016]

1.2.3 Archiviazione, organizzazione e gestione dei dati.

Interventi sul campo, come scavi o ricognizioni, producono una documentazione che viene di regola depositata in appositi “contenitori” digitali: gli archivi. Gli archivi archeologici comprendono dunque tutti i documenti raccolti sia durante il lavoro sul campo che durante le analisi del materiale in laboratorio. Oggi le procedure di registrazione e di analisi trovano il loro esito nella produzione di materiale digitale, come ad esempio database, immagini, CAD, GIS, fogli di calcolo e file word-processed. Generalmente questo materiale viene custodito sia dai loro creatori che presso archivi degli enti preposti alla tutela del patrimonio archeologico⁶⁶.

Molti Paesi hanno sviluppato sistemi per archiviare, e dunque per preservare, informazioni sul proprio patrimonio culturale, facendo rientrare i repository archeologici in quella vasta area che in ambiente anglosassone è stata chiamata *Cultural Resource Management (CRM)*⁶⁷. Il termine CRM riassume una serie complessa di concetti e significati, ma può essere definito come un processo che individua nella protezione e nella gestione di elementi del patrimonio culturale delle importanti prerogative di sviluppo sociale⁶⁸. In ambito archeologico questa concezione si è tradotta nella realizzazione di sistemi di archiviazione digitale che, in coerenza con la legislazione nazionale, regionale o locale, costituiscono degli strumenti importanti in materia di progettazione e pianificazione territoriale. Non solo, questi corpi di informazioni hanno un grande potenziale come risorse di ricerca attraverso le quali le banche dati non sono considerate soltanto come l'esito finale di qualunque progetto di ricerca archeologica, ma come una tappa all'interno di un ciclo di raccolta e di riuso di informazioni⁶⁹.

Uno dei fattori di complessità dei sistemi di CRM consiste proprio nella grande varietà di informazioni. Esse possono essere riferite ad interventi archeologici diversi, come ricognizioni di superficie o scavi stratigrafici, comprendere categorie di manufatti su scale di grandezza eterogenee, dal reperto al paesaggio, ed essere codificate su diversi tipi di documenti, scritti, grafici e fotografici. Un ulteriore grado di complessità si aggiunge per gli archivi realizzati in epoca pre-digitale, anche diversi secoli fa, in quanto le pratiche di acquisizione dei dati e la codifica di informazioni sono state condizionate da impostazioni metodologiche completamente diverse da quelle attuali, complicando le modalità di organizzazione e di accessibilità⁷⁰.

⁶⁶ Condron et alii 1999.

⁶⁷ Lock 2003.

⁶⁸ King 2002.

⁶⁹ Richards, Robinson 2000.

⁷⁰ Richards 2009.

La pratica dell'archiviazione digitale ha come obiettivo primario quello di assicurare la preservazione di dati prodotti in formato digitale nel corso di un lavoro archeologico. Archiviare è dunque una pratica fondamentale in archeologia, soprattutto in fase di scavo, poiché la creazione di dati coincide con il momento della distruzione dell'evidenza primaria.

La preservazione dei dati archeologici è considerata prioritaria all'interno della Comunità Europea, in quanto mette in risalto l'importanza del patrimonio per l'identità culturale.

Preservare dati ed informazioni inoltre è la condizione necessaria per garantire l'accesso alle risorse culturali da parte di ricercatori ed utenti a vario titolo. Per questa ragione sono nati diversi collettori di dati archeologici digitali in diversi paesi del mondo.

In Europa, a partire dal 2013 è nato il sistema ARIADNE, progetto finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del Settimo Programma Quadro, che racchiude ed integra le infrastrutture di ricerca dati archeologici esistenti⁷¹. ARIADNE costituisce dunque una infrastruttura digitale focalizzata sul settore archeologico curata da partner europei provenienti da 13 Paesi dell'Unione, che consente l'accesso a numerosi dataset e a letteratura grigia archeologica⁷².

ARIADNE rappresenta dunque il filo che collega tramite l'integrazione di Open Data e approcci web-oriented una serie di banche dati già attive da diverso tempo, ma anche partner che sono in procinto di sviluppare le proprie piattaforme.

Fra i partner più importanti va sicuramente ricordato l'*Archaeology Data Service* britannico, attivo dal 1996, con sede a York⁷³. Si tratta del primo archivio digitale archeologico europeo, e raccoglie dati di numerose organizzazioni ed istituti di ricerca, messi a disposizione degli utenti in maniera gratuita. Questa banca dati fornisce l'accesso a più di 18000 report inediti e ad oltre 500 archivi digitali di dati in cui ciascun documento è indicizzato tramite un sistema di *Digital Object Identifier* (DOI). I dati raccolti dall'ADS provengono in larga parte da ricerche effettuate nel Regno Unito, ma negli ultimi anni sono stati integrati risultati di iniziative simili nell'area scandinava e dell'Europa settentrionale. A partire dal 2007 si è unito anche EDNA, l'e-depot per l'archeologia olandese, fondato all'interno del DANS (Data Archiving and Networked Services) e finanziato da KNAW, una prestigiosa istituzione di ricerca⁷⁴. Grazie ad un importante lavoro di formalizzazione e di standardizzazione della qualità dei dati, EDNA costituisce oggi una delle più grandi componenti di risorse digitali del DANS, e fornisce accesso gratuito a più di 17000 report archeologici. Gli archeologi olandesi sono infatti tenuti a

⁷¹ ARIADNE: <http://www.ariadne-infrastructure.eu> [Ultimo accesso:20/03/2016].

⁷² Richards 2012.

⁷³ Archaeology Data Service: <http://archaeologydataservice.ac.uk/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

⁷⁴ EDNA: <http://www.dans.knaw.nl/en/about/services/archiving-and-reusing-data/easy/edna> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

depositare dati e relazioni degli interventi di scavo nella piattaforma EASY, seguendo il protocollo di *quality standard*⁷⁵.

Anche la Svezia partecipa alla rete di ARIADNE tramite lo *Swedish National Data Service*, ospitato dall'Università di Göteborg. In collaborazione con il Dipartimento di Archeologia e Storia dell'Università di Uppsala, la collezione del SNDS è stata estesa anche ai dati archeologici, con la pubblicazione di numerosi file GIS⁷⁶.

Una seconda infrastruttura svedese presente nella piattaforma è il SEAD (*Strategic Environmental Archaeology Database*), con sede presso l'Università di Umeå, nella Svezia settentrionale⁷⁷. Questa piattaforma online è nata con lo scopo di facilitare l'archiviazione, l'analisi e la visualizzazione di dati su clima, ambiente ed impatto umano, non ancora editi o comunque non accessibili, tramite efficaci strumenti per il web.

In Germania invece con il progetto IANUS, coordinato dall'Istituto Archeologico Germanico (DAI), si sta lavorando alla realizzazione di una infrastruttura nazionale per la ricerca di dati archeologici digitali⁷⁸.

Esistono altre infrastrutture maggiormente strutturate per l'accessibilità ai dati piuttosto che alla preservazione digitale, come ad esempio il caso della piattaforma italiana FASTI Online, che fornisce un database di scavi di archeologia classica a partire dall'anno 2000⁷⁹. Il progetto, nato in Italia, oggi comprende 9 nazioni ed è patrocinato dall'*Associazione Internazionale di Archeologia Classica* (AIAC)⁸⁰. Il software utilizzato è ARK, realizzato da L-P Archaeology,

⁷⁵ Quella della standardizzazione è una problematica estremamente complessa, che nasce dall'esigenza di condividere dati secondo un linguaggio comune, che risulti comprensibile da parte di tutti coloro che accedono a questo tipo di risorse. Stabilire uno standard prevede dunque che ci sia una sorta di accordo professionale fondato su principi metodologici e pratici largamente condivisi. In ambito archeologico il discorso sull'adozione di standard assume un ulteriore grado di complessità, dovuto sia a fattori locali, come ad esempio le normative peculiari di ciascuna nazione o regione, sia a fattori individuali e dunque strettamente connessi con l'esperienza e la pratica di ogni singolo archeologo.

In Italia la definizione di standard per il patrimonio archeologico e culturale è una prerogativa dell'Istituto Centrale del Catalogo e della Documentazione. Oltre ad elaborare metodologie per lo sviluppo di standard, l'ICCD si occupa anche di predisporre strumenti di validazione dei dati e sistemi di gestione. Fra questi va ricordato il Sistema Informativo Generale del Catalogo (SIGEC), che "*controlla l'intero processo di produzione delle schede di catalogo, ne gestisce i flussi procedurali e permette, in tempo reale, la diffusione degli standard catalografici, gli aggiornamenti funzionali, l'immediata implementazione dei dati conoscitivi sul patrimonio culturale, la loro fruizione e condivisione con altri sistemi. Il sistema consente di predisporre l'ambiente di lavoro proprio di ciascun operatore associando le funzioni ai profili ed ai ruoli per ogni singolo ente ed utente, differenziando così le azioni che ciascuno avrà a disposizione per effettuare le proprie attività nella gestione dei dati di catalogo*" (dal sito web del SIGEC: <http://www.iccd.beniculturali.it>). Per un'analisi più approfondita sulla standardizzazione dei dati archeologici si veda D'Andrea 2006.

⁷⁶ SNDS: <https://snd.gu.se/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

⁷⁷ SEAD: <http://www.sead.se/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

⁷⁸ IANUS: <http://www.ianus-fdz.de/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

⁷⁹ FASTI Online: <http://www.fastionline.org/index.php> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

⁸⁰ AIAC: <http://www.aiac.org/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

e la piattaforma è organizzata in modo da poter cercare un sito tramite una mappa interattiva o un motore di ricerca.

Il network ARIADNE comprende anche piattaforme per la ricerca di artefatti, come ad esempio le risorse di ARACHNE⁸¹. Si tratta di un database curato dall'Istituto Archeologico Germanico e dall'Istituto Archeologico dell'Università di Colonia, che permette di sfogliare un archivio di centinaia di migliaia di oggetti.

L'importanza di questi progetti non consiste soltanto nell'aver messo a disposizione di tutti numerosi dati archeologici, risultato già enorme di per sé, ma anche nell'aver superato limiti politici ed istituzionali dovuti alla frammentazione e alla varietà delle stesse istituzioni europee. L'intelligenza di progetti come ARIADNE consiste nel fatto di aver individuare nella messa in rete la chiave di volta per collegare banche dati differenti, tracciando una strada che segua le direzioni di interoperabilità e ricerca incrociata. Costruire un database unico sarebbe poco realistico e non terrebbe conto di legislazioni e normative nazionali e regionali, nonché della proprietà e delle responsabilità legali dei soggetti che mantengono gli archivi.

Fra le banche dati disponibili in Italia va ricordata la Carta dei Beni Culturali della Regione Puglia, realizzata a partire dal 2007 e curata dall'autorità regionale e dalle università pugliesi, secondo un modello messo a punto da un team di ricerca coordinato dall'Università di Foggia⁸². La Carta è il risultato di un lungo lavoro di ricerca e catalogazione di siti di interesse culturale, con l'aggiunta di tutte quelle aree caratterizzate da un elevato potenziale archeologico ma prive di evidenze visibili sul campo. A tal proposito è stata elaborata una struttura logica del corpus dei dati distribuita su più livelli, con l'introduzione del concetto di *Contesto Topografico Stratificato*⁸³.

La Carta è stata pensata per avere non soltanto finalità di catalogazione e preservazione di dati, ma anche per identificare le aree non edificabili, le fasce di rispetto e le zone ad uso controllato in modo da supportare le attività di pianificazione territoriale.

Tuttavia va sottolineato che la Carta non rappresenta ad oggi la descrizione completa del patrimonio culturale pugliese, ma piuttosto lo stato della conoscenza su di esso. Molti siti infatti sono rappresentati graficamente come punti e non tramite poligoni di delimitazione di aree misurate sul campo, pertanto si rendono necessarie attività di verifica e di rilievo.

Queste verifiche non potranno che essere il frutto di intese e di collaborazioni sempre più frequenti fra enti amministrativi, soprintendenze e università. Il dato positivo che accomuna

⁸¹ ARACHNE: <http://arachne.uni-koeln.de/drupal/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

⁸² Barbanente et alii 2010.

⁸³ Volpe et alii 2008.

tutti i progetti realizzati in materia di Cultural Resource Management è costituito dalla sempre maggiore consapevolezza da parte di tutti i soggetti che operano nel settore dei Beni Culturali, che gli strumenti creati per conservare la documentazione relativa ad interventi di indagine archeologica e la mappatura delle evidenze stesse su base cartografica georeferenziata siano fondamentali per garantire e promuovere l'acquisizione di identità culturale, elemento imprescindibile per qualsiasi pianificazione di attività nell'ottica di sviluppo sostenibile locale⁸⁴.

1.2.4 Archeologia quantitativa

*“Se c'è una cosa che gli archeologi fanno, è contare”*⁸⁵. In effetti del record archeologico si conta tutto: frammenti di ceramica, metalli, small finds, monete, ossa, strutture, insediamenti, ecc. E non solo si conta, si misurano anche tutte le grandezze possibili come lunghezza, larghezza, peso, spessore, profondità, volume, area, colori. I dati archeologici dunque possono essere descritti anche da numeri, e la quantificazione di valori, le operazioni di calcolo e le statistiche possono acquisire un significato se forniscono istruzioni su come formulare delle osservazioni, sulla gestione efficiente di dati che altrimenti andrebbero a comporre un database senza fine e poco pratico da utilizzare e su come valutare differenze ed affinità⁸⁶. Nello specifico le analisi statistiche e quantitative permettono di specificare le probabilità di errore e di conseguenza hanno un senso nell'individuare le cause sulle quali si costruiscono spiegazioni. La statistica gioca un ruolo importante nelle analisi archeologiche poiché è nella natura dell'archeologo fare affidamento sui dati. Tuttavia i dati che compongono il record archeologico descrivono solo una parte del materiale che si conserva, il quale, a sua volta rappresenta solo una parte del materiale che le comunità hanno prodotto. Di conseguenza gli archeologi sono costretti a comprendere e spiegare il passato usando un set di dati imperfetto e limitato, ed è proprio questo limite alla base dell'impostazione teoretica dell'archeologia quantitativa. Questo approccio infatti consente di impostare ragionamenti in maniera logica e coerente con i dati, in modo da favorire le valutazioni successive.

L'approccio quantitativo in archeologia è stato introdotto in ambito angloamericano alla fine degli anni '50, e caratterizza tutti gli studi in cui i dati archeologici vengono trattati con metodi numerici propri di delle scienze matematiche e statistiche⁸⁷.

L'archeologia quantitativa si sviluppa di pari passo con la New Archaeology, che proponeva un'introduzione del metodo scientifico nell'impostazione metodologica della ricerca

⁸⁴ Magnaghi 2000.

⁸⁵ VanPool, Leonard 2011, p.1.

⁸⁶ VanPool, Leonard 2011.

⁸⁷ Terrenato 2000d.

archeologica. Metodi probabilistici, classificazioni numeriche, diventano in questo contesto degli strumenti di analisi sempre più frequenti, messi in discussione soltanto dopo che l'ascesa della corrente postprocessualista. Come si è visto, questo trend non delinea affatto un quadro complessivo ed omogeneo, poiché in alcuni paesi come l'Italia, caratterizzati da una forte formazione storicistica, le novità proposte dall'archeologia processuale hanno sempre stentato a fare presa nelle pratiche quotidiane di indagine. Tuttavia anche nel nostro paese è stato a cavallo fra gli anni '50 e '60 che fecero la comparsa le prime analisi quantitative⁸⁸.

Nello scenario attuale l'approccio dell'archeologia quantitativa gode di un'ampia considerazione, poiché i suoi metodi costituiscono un reale arricchimento per la documentazione e quindi per la formulazione delle ipotesi interpretative. Inoltre la riflessione teorica ha portato ad una rinnovata maturità della metodologia archeologica, dando il via ad un approccio che è stato chiamato *neoprocessualista*. Dati numerici e statistiche sono fondamentali e fanno regolarmente parte del set di documenti prodotti durante le indagini archeologiche, ma essi devono essere strumenti adatti a fornire visuali più definite nel discorso interpretativo dell'archeologo⁸⁹.

Nell'approccio quantitativo, l'archeologia stessa è considerata come disciplina matematica⁹⁰. L'investigazione archeologica, dunque, in quanto investigazione scientifica deve esprimersi in termini di problemi da risolvere. Così l'archeologo è incaricato di dover trovare risposte a questi problemi concreti, relativi ai dati che raccoglie. L'oggetto di studio riguarda quindi le conseguenze materiali dell'azione umana, ossia ciò che resta e si conserva fino a noi dell'azione sociale una volta che questa si è conclusa.

In quanto scienza sociale, anche l'archeologia si propone di risolvere due tipi o modalità di problemi:

- *Quale* tipo di azione sociale può porsi in relazione con collegamenti specifici di artefatti o frammenti di artefatti.
- *Perché* l'azione sociale in questione si produce, cambia o resta stabile.

Se non si conoscono dunque le azioni collettive che si sono verificate in un preciso momento e luogo, difficilmente si possono capire perché sono cambiate nel corso del tempo e neanche perché si sono cristallizzate in formazioni sociali distinte.

⁸⁸ Guidi 2015.

⁸⁹ Bertoldi et alii 2015.

⁹⁰ Clarke 1968, Barcelò 2007.

All'interno delle scienze sociali, l'archeologia sembra in realtà una sorta di *ingegneria inversa*, ovvero una disciplina che intende “*trovare la causa partendo dall'osservazione dell'effetto*”⁹¹. Quello che Barcelò chiama effetto non è altro che il materiale archeologico, caratterizzato da cinque proprietà basiche:

1. Forma
2. Dimensioni
3. Composizione
4. Superficie
5. Localizzazione (nel tempo e nello spazio)

Mentre le cause sociali delle proprietà osservabili nelle conseguenze materiali dell'azioni sociali possono essere riassunte in quattro grandi gruppi:

1. Produzione
2. Uso/Consumo
3. Distribuzione
4. Azioni post-deposizionali

Una schematizzazione di questo tipo può sembrare certo estremamente riduttiva e non rispecchiare una realtà così complessa e incerta come quella archeologica, che spesso non può essere interpretata con certezza. Quello che però secondo la disciplina dell'archeologia quantitativa è possibile sempre fare è osservare la proprietà materiali degli oggetti di un determinato contesto, metterle in relazione per cogliere le relative caratteristiche e misurare le differenze.

Le caratteristiche principali del linguaggio matematico più comuni in archeologia sono:

- *Quantità*: proprietà delle entità che ammette una gradazione
- *Qualità*: è l'opposto della quantità. Dunque è una proprietà che non ammette gradi o ordini.
- *Misurazione*: operazione che permette di assegnare numeri che rappresentino il grado di proprietà quantitative.
- *Descrizione*: operazione che permette di assegnare etichette alfanumeriche che rappresentano le proprietà qualitative.

⁹¹ Barcelò 2007.

I metodi quantitativi e statistici sono applicati ai dati. I dati sono delle osservazioni, non delle cose, e neanche degli artefatti. Ciò che costituisce un dato è infatti determinato dalle domande della ricerca e da prospettive teoretiche. Un dato viene creato per servire ad uno scopo definito da una impostazione intellettuale preesistente.

La raccolta dei dati deve seguire un'impostazione sistematica, senza lasciare tracce di ambiguità alle misurazioni, e impostando quelle che sono le variabili misurate dai dati stessi. Una variabile è una qualsiasi qualità del mondo reale che possa essere caratterizzata in quanto possiede stati alternativi⁹². Ciascuna variabile può avere delle variate, ossia delle osservazioni individuali fatte sulla stessa variabile (ad esempio l'angolazione dell'orlo in una stessa forma ceramica). L'insieme delle variate costituisce i dati, che dunque non sono variabili.

Un fattore centrale per costruire dati nella maniera appropriata consiste nell'identificare a quale scala andrebbero misurati.

Gli strumenti statistici di analisi dipendono strettamente dalla scala di misurazione, che può essere distinta in quattro tipi⁹³:

1. Nominale
2. Ordinale
3. Intervalli equivalenti
4. Rapporti equivalenti

I livelli *nominali* di misurazione si riferiscono a numeri utilizzati come etichette o per rappresentare l'abbondanza di una classe di fenomeni. Nel primo caso gli archeologi utilizzano etichette per codificare i dati, ma i valori assegnati non hanno alcun significato matematico e dunque non è possibile operare alcuna operazione aritmetica su di essi.

Per quanto riguarda il secondo caso la situazione cambia. Un ricercatore potrebbe infatti essere interessato a confrontare l'abbondanza e la distribuzione di particolari classi di reperti in un determinato paesaggio, in modo da ottenere informazioni su differenze tecnologiche o di funzione di alcuni siti. Per determinare se le differenze di abbondanza o distribuzione possano essere significative sono stati applicati in archeologia diversi test statistici, come ad esempio il test del chi quadrato⁹⁴.

⁹² Il colore della terra ad esempio è una variabile. VanPool, Leonard 2011

⁹³ I livelli di scala seguono un determinato ordine gerarchico. Più il livello è alto, maggiori sono le operazioni matematiche che si possono effettuare sui valori della scala. Stevens 1946.

⁹⁴ Baldi 1998.

In archeologia dunque i dati di livello nominale sono tipicamente attribuiti di variabili qualitative. Queste ultime sono chiamate variabili *discrete*, perché riflettono differenze rappresentate soltanto da un numero limitato di possibili risultati.

In definitiva, qualunque classificazione dà origine ad una scala nominale, e questa classificazione qualitativa può essere utilizzata per esaminare abbondanza e differenze di distribuzione.

Il secondo livello di scala è quello *ordinale* permette di ordinare gerarchicamente i dati stabilendo solo rapporti di uguaglianza e relazioni fra valori maggiori e valori minori. Non è possibile tuttavia stabilire quanta distanza esiste fra un valore e l'altro.

I numeri che vengono associati alle categorie esprimono la relazione d'ordine, sono dei semplici codici che servono a distinguere e ordinare, ma non dicono nulla sulla grandezza delle distanze tra le categorie. Inoltre non corrispondono alla quantità della proprietà misurata, ma rappresentano soltanto la relazione d'ordine tra le modalità ("più grande di", "superiore a", "precedente a").

Una scala ordinale descrive soltanto l'ordine di rango tra le modalità A e B ma non dà nessuna indicazione di quanto A sia più grande di B.

Non è possibile effettuare alcuna operazione aritmetica sui numeri di questa scala perché i valori numerici sono arbitrari, posto che venga preservata la relazione d'ordine tra i valori della scala.

Le misurazioni a livello di *intervallo* consentono invece di partizionare una grandezza in parti simmetriche utilizzando un valore di riferimento arbitrario (valore *zero*). Un esempio di misurazione di questo tipo è proprio la datazione per anni. Un anno infatti riflette il passaggio della stessa quantità di tempo e quindi permette di misurare il tempo con porzioni misurate simmetriche, ma l'anno 0 non indica l'inizio del tempo, bensì un punto scelto arbitrariamente.

Infine le misurazioni a livello di *rapporti equivalenti* sono analoghe a quelle precedenti ma con una differenza: l'aggiunta di un valore iniziale reale. Se si considera la temperatura, il valore 0 non indica un'assenza di temperatura, ma, se si prende come esempio la scala centigrada, il punto di questa grandezza in cui l'acqua congela passando allo stato solido. Al contrario, se si considera la misurazione di distanza lineare, il valore 0 sta ad indicare la totale assenza di lunghezza. Pertanto rientrano in questa categoria tutte le misurazioni effettuate utilizzando il sistema metrico.

Non esiste la scala di misurazione migliore, e una variabile può essere misurata a più livelli. Pertanto la scala più appropriata sarà determinata dalle contingenze e dalle domande del progetto di ricerca. È importante però che l'archeologo conosca la maniera in cui sono stati

costruiti i dati: non ha senso infatti tentare di effettuare calcoli aritmetici su dati che molto spesso possono essere misurati soltanto a livello nominale e ordinale.

Per evitare errori di valutazione, in archeologia quantitativa è necessario verificare la *validità* dei dati. Rendere un dato valido significa renderlo ben fondato o giustificabile, e quindi allo stesso tempo rilevante e significativo. I processi di validazione non sono affatto semplici e servono a confermare se la base dei dati è costruita in maniera tale da poter rispondere a specifiche domande. Un esempio in cui la validità dei dati ha portato a conferme interessanti proviene dalla dendroclimatologia, ossia lo studio ricostruttivo delle temperature e degli schemi di piovosità del passato. È stato dimostrato infatti che esiste una stretta correlazione fra la larghezza dei cerchi di crescita dei tronchi e specifici fattori ambientali come la temperatura e la quantità di acqua disponibile. Per altri tipi di calcolo, come ad esempio quello della popolazione in determinate aree geografiche, a livello di sito o di regione, non sono stati individuati metodi universalmente riconosciuti, poiché non c'è accordo sulla validità delle variabili archeologiche utilizzate come unità di misura.

Non è soltanto la validità a dover essere verificata. Infatti bisogna valutare anche se gli strumenti di calcolo siano accurati e precisi. *Accuratezza* e *precisione* non sono sinonimi, ma sono due concetti distinti che possono essere definiti, il primo come *la vicinanza di un valore misurato o calcolato al suo vero valore*, mentre la precisione consiste *nella vicinanza di ripetute misurazioni ad una stessa quantità*⁹⁵. Misurare in maniera accurata e precisa è un'operazione che dipende strettamente dalla struttura teoretica e analitica dell'impostazione della ricerca, e non dall'impiego di unità di misura piccole. Bisogna infatti scegliere unità di misura che possano mettere in evidenza variazioni significative in base al campione che si sta analizzando.

L'ultimo concetto di estrema importanza nell'impostazione di una ricerca di archeologia quantitativa implica la valutazione sull'insieme dei dati. Bisogna infatti definire se esso rappresenti la *popolazione* o un *campione* della popolazione. In statistica la popolazione è considerata come la totalità dei fenomeni riferita a ciò su cui si vogliono trarre delle conclusioni, mentre un campione è un sottoinsieme della popolazione. Sia la popolazione che i campioni sono finiti nel tempo e nello spazio, e sono definiti dagli investigatori. In archeologia è quasi impossibile misurare la totalità di fenomeni, perciò è molto più comune analizzare campioni in modo da comprendere alcune caratteristiche della popolazione in esame.

Forse è proprio l'inferenza, ossia la possibilità di ricavare informazioni su una popolazione a partire dallo studio e dalle analisi di un campione, il contributo più grande dell'archeologia

⁹⁵ Sokal, Rohlf, 1981.

quantitativa⁹⁶. Per raggiungere questo obiettivo vengono effettuati dei *test di significatività*, volti a quantificare la probabilità che un fenomeno archeologico rilevato possa costituire un dato da interpretare.

Esistono diversi tipi di test di significatività, ma quello più noto è senz'altro il test *chi quadrato* (χ^2), che può essere applicato anche a variabili nominali. In questo test i valori osservati nella realtà vengono confrontati con quelli che ci si aspetta qualora la loro distribuzione fosse del tutto casuale. La differenza fra valori osservati e valori attesi produce un χ^2 , che rapportato al numero di gradi libertà del campione, ossia al numero delle variazioni possibili del campione, permette di far ricavare il livello di significatività. Test come quello del χ^2 consentono dunque di tradurre in percentuali le sensazioni personali sulla significatività dei dati, anche se si limitano a fornire informazioni sulla casualità del fenomeno analizzato, senza misurare alcuna grandezza o anomalia.

Per questa ragione vengono utilizzate misure più complesse, anche derivate dal χ^2 , ma le elaborazioni più precise possono essere effettuate soltanto su variabili di tipo numerico, come dimensioni di manufatti o di parti di essi. Le elaborazioni matematiche possono essere rappresentate per mezzo di grafici di distribuzione, come ad esempio lo *scattergram*, che consiste in un sistema di assi cartesiani in cui ciascun valore misurato è rappresentato tramite un punto. Questi punti possono far notare subito quali sono i raggruppamenti più corposi o se esistono relazioni lineari, e che quindi indicano proporzionalità diretta o inversa, o relazioni curvilinee fra le variabili prese in esame.

Un campo in cui l'archeologia quantitativa ha apportato notevoli contributi è quello della classificazione numerica, tramite la quale è stato possibile definire tipologie di manufatti attraverso l'introduzione di misure di similarità. A tal proposito hanno trovato largo impiego le *cluster analysis*⁹⁷, che consentono di aggregare oggetti simili sulla base di parametri numerici, e dunque di stabilire gradi di prossimità a più livelli, dal manufatto al gruppo.

Esistono anche altri tipi di analisi che prendono il nome di *multivariate*, che possono essere applicate a diverse variabili, in modo da comprimere i dati che si vogliono confrontare in un numero minore di variabili.

L'archeologia quantitativa infine, ha avuto il merito di introdurre metodi statistici anche nell'archeologia dei paesaggi, dando inizio a procedure analitiche di tipo spaziale. In particolare, le analisi descritte finora acquisiscono un significato anche al fine di studiare la configurazione di siti o di particolari rinvenimenti sul singolo scavo. Sono sempre più numerosi

⁹⁶ Terrenato 2000d.

⁹⁷ Cowgill 1968.

gli strumenti informatici che permettono di effettuare queste analisi, soprattutto nel vasto mondo dei GIS, ormai muniti di tool per effettuare diversi calcoli.

Inoltre l'uso di strumenti informatici per il calcolo statistico sono sempre più utilizzati anche in archeologia. Ne è un esempio il crescente impiego di R⁹⁸, che consiste in un linguaggio per il calcolo statistico e la rappresentazione grafica⁹⁹.

Un altro software particolarmente indicato per analisi di archeologia quantitativa è *Past*, sviluppato dall'Università di Oslo¹⁰⁰. Si tratta di un software gratuito per analisi di dati scientifici, statistiche univariate e multivariate, analisi ecologiche e spaziali, con specifici strumenti per la codifica e l'analisi di stratigrafie¹⁰¹.

1.2.5 Comunicazione e multimedialità

In archeologia la comunicazione è intesa come l'atto di rendere intelleggibili alla collettività i tentativi di ricostruzione del passato, sulla base di dati materiali e forme culturali¹⁰². Per tale ragione la conoscenza archeologica è erogata sotto forma di interpretazione, che va a comporre una sorta di interfaccia fra l'informazione pura e il contesto di utenti, tramite un proprio linguaggio, sia testuale che grafico.

L'esigenza di comunicare è nata in concomitanza con le grandi scoperte archeologiche dell'Ottocento, che avevano suscitato un notevole entusiasmo da parte del pubblico, desideroso di conoscere luoghi, oggetti e testimonianze varie del passato. Fu in questo momento che fecero la loro comparsa i primi plastici e disegni ricostruttivi.

Non è soltanto la curiosità del pubblico a dare un senso alla comunicazione archeologica, ma soprattutto il diritto alla conoscenza di ciascun individuo, e più nello specifico, il diritto a conoscere il patrimonio culturale, inteso come bene comune. Questo concetto è stato sancito in Europa nel 2005, attraverso la *Convenzione di Faro*, promossa dal Consiglio Europeo, per adottare strategie comuni attorno al tema del valore del patrimonio culturale nella società¹⁰³.

⁹⁸ R-project: <https://www.r-project.org/> [ultimo accesso: 17/03/2016].

⁹⁹ R è un linguaggio, ma anche un ambiente, per il calcolo statistico e la rappresentazione grafica dei risultati. È un progetto sviluppato ai Bell Laboratories dal team di John Chambers. Distribuito come software open-source, R fornisce un'ampia gamma di tecniche statistiche e grafiche, e soprattutto uno strumento particolarmente indicato per la realizzazione di grafici di alta qualità per pubblicazioni scientifiche. R è un software libero, disponibile sotto i termini della licenza GNU General Public License per piattaforme UNIX, Windows e MacOS.

¹⁰⁰ Past è arrivato alla versione 3.11, pubblicata a febbraio 2016. Past: <http://folk.uio.no/ohammer/past/> [ultimo accesso: 17/03/2016].

¹⁰¹ Hammer et alii 2001.

¹⁰² Forte 2000

¹⁰³ Convenzione di Faro:

http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/UfficioStudi/documents/1362477547947_Convenzione_di_Faro.pdf [ultimo accesso: 12/01/2016].

Uno dei pilastri di questa convenzione riguarda proprio la valorizzazione, intesa come processo partecipativo e condiviso di conoscenza del patrimonio culturale¹⁰⁴. L'assenza di questa conoscenza, oltre a segnare una controtendenza ai fini della democratizzazione del sapere, pregiudicherebbe adeguate ed efficaci attività di tutela, rendendo il patrimonio vulnerabile ad una mercificazione selvaggia e volgare¹⁰⁵.

Dunque il patrimonio archeologico rappresenta la parte materiale di un passato che appartiene a tutti e che deve essere conosciuto da tutti¹⁰⁶. È compito dunque dell'archeologo tradurre la materialità delle tracce degli uomini del passato per renderle comprensibili agli uomini di oggi. Spesso le attività comunicative sono però considerate quasi come secondarie, poiché non conferiscono lo stesso prestigio di una pubblicazione scientifica per addetti ai lavori, quando invece è proprio nel momento in cui la conoscenza archeologica riesce a raggiungere il grande pubblico che la funzione sociale dell'archeologia stessa acquisisce maggiore rilevanza.

Comunicare l'archeologia implica l'acquisizione di competenze specifiche e la conoscenza di linguaggi e strumenti adatti ai vari tipi di pubblico.

Esistono diverse tematiche accorpate dalla comunicazione archeologica¹⁰⁷:

<i>1. Comunicazione didattico-divulgativa</i>	Riguarda musei, siti e parchi archeologici, ma anche pubblicazioni didattiche. È rivolta ad un pubblico variegato, di età differenti.
<i>2. Comunicazione scientifica</i>	Comprende tutte le pubblicazioni dei risultati delle ricerche in formato cartaceo o elettronico. È rivolta alla comunità scientifica o comunque ad un pubblico esperto.
<i>3. Comunicazione multimediale</i>	Comprende la realizzazione di prodotti che sfruttano le tecnologie digitali. In questa categoria rientrano le applicazioni di Computer Graphics e di Realtà Virtuale. Generalmente rivolta ad un pubblico ampio.
<i>4. Comunicazione commerciale</i>	

¹⁰⁴ Gualandi 2014

¹⁰⁵ Volpe 2013

¹⁰⁶ Manacorda 2007

¹⁰⁷ Forte 2000

Sebbene possa sembrare meno nobile, la realizzazione di merchandising e materiale promozionale per pubblicizzare un sito archeologico o un museo costituisce una realtà sempre più presente in tutto il mondo.

Le categorie descritte non rappresentano però dei compartimenti stagni, ma al contrario, si compenetrano, incrementando l'efficacia comunicativa. La comunicazione didattica ad esempio, fa sempre più uso di strumenti multimediali, sfruttando l'impatto emotivo-sensoriale che esercitano sui discenti. Le tecnologie digitali infatti offrono la possibilità di evocare i "fatti assenti"¹⁰⁸, e dunque di evocare immagini che possono arricchire l'esperienza di conoscenza, sia essa la visita ad un museo o la lettura di un'applicazione interattiva. Musei come il MAV di Ercolano¹⁰⁹ o Palazzo Valentini¹¹⁰ a Roma, caratterizzati entrambi da ambienti immersivi in cui il visitatore si muove all'interno di percorsi popolati da effetti sonori, visivi e da ricostruzioni tridimensionali, costituiscono ottimi esempi di come l'uso intelligente delle tecnologie digitali possa realmente incrementare il potenziale informativo del record archeologico e delle interpretazioni scientifiche.

Proprio le ricostruzioni virtuali di siti archeologici, monumenti o reperti, sono ampiamente utilizzate in ambito scientifico, non solo per visualizzare il risultato del ragionamento interpretativo, ma anche per simulare il processo ricostruttivo, e allo stesso tempo, verificarlo. L'archeologia digitale trova proprio negli aspetti comunicativi il campo di applicazione più vasto ed originale, in quanto le possibilità di creare contenuti digitali sono molteplici e possono essere adattate a qualunque contesto tramite una gamma decisamente ampia di modalità di fruizione.

Queste modalità abbracciano diversi campi come quello dell'editoria digitale, il web, le applicazioni interattive ludico-didattiche, e la realtà virtuale. Anche in questo caso, le distinzioni nette risultano poco efficaci per inquadrare categorie che in realtà sono perfettamente integrabili: scenari di realtà virtuale possono essere erogati su piattaforme per il web o moderne pubblicazioni elettroniche codificate in formati aperti come *ePub3*¹¹¹, possono essere popolate da contenuti interattivi.

¹⁰⁸ Marini Clarelli 2011, p.150.

¹⁰⁹ Museo MAV Ercolano website: <http://www.museomav.it/>

¹¹⁰ Palazzo Valentini website: <http://www.palazzovalentini.it/>

¹¹¹ Garrish 2011.

Tuttavia si tenterà di descrivere in breve le problematiche di questi campi e quali siano le tecnologie utilizzate a fini comunicativi.

1.2.5.1 Comunicazione didattica e divulgativa.

La diffusione di tecnologie digitali ha allargato le frontiere della comunicazione culturale. Sono sempre più numerosi i musei o i parchi archeologici che integrano i propri percorsi di visita con applicazioni interattive caratterizzate da un taglio divulgativo e didattico. L'obiettivo è proprio quello di rendere questi luoghi qualcosa di molto più vivo rispetto a dei semplici contenitori di vetrine o di rovine, spesso corredati da pannelli di non facile comprensione¹¹². Come si è detto, la valorizzazione non può prescindere dalla conoscenza del patrimonio culturale, e questa conoscenza deve essere trasferita a qualunque visitatore, in quanto "proprietario" di tutti gli oggetti considerati beni comuni. Dunque è senz'altro positivo che vengano realizzate applicazioni che sotto forma di gioco, di racconto o di ricostruzione virtuale, traducano il risultato del discorso interpretativo degli studiosi in un linguaggio ampiamente comprensibile da parte della comunità dei visitatori, cercando in definitiva di "invogliare il pubblico" alla conoscenza del mondo antico¹¹³.

Le applicazioni più efficaci sono solitamente dei videogame che, a prescindere dal tipo di grafica e dalle tecnologie utilizzate, hanno il pregio di coinvolgere maggiormente l'utente, che diventa così parte attiva in un percorso di apprendimento che amplia e rafforza il processo mnemonico¹¹⁴.

Le caratteristiche di questi videogiochi possono essere sintetizzate secondo il seguente schema:

<i>Ambiente immersivo</i>	L'impatto visivo è solitamente il primo fattore ad agire sul discente. La cura dei contenuti grafici, siano essi 2D o 3D, pertanto è fondamentale. L'utente deve poter ambientarsi con facilità nella scena e cogliere quantomeno a grandi linee il senso di ciò che è visualizzato sullo schermo. Anche gli effetti sonori arricchiscono l'esperienza e possono essere di aiuto per alcune funzioni specifiche.
---------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

¹¹² Gualandi 2014.

¹¹³ Carandini 2012.

¹¹⁴ Marini Clarelli 2011.

<i>Storytelling</i>	La grafica ha lo scopo di tradurre in immagini l'idea del docente, ma essa può risultare del tutto inefficace se l'applicazione è priva di una trama, di una storia che dia uno scopo all'utente. Pertanto molte applicazioni interattive museali sono organizzate sotto forma di racconti, anche brevi, che possano in un certo senso assegnare un ruolo al discente, che prenderà dunque parte alla storia stessa.
<i>Contenuti testuali</i>	I testi sono utilizzati per dare istruzioni e nozioni all'utente. Essi però fanno parte della veste grafica dell'applicazione e pertanto devono risultare in armonia con l'intero layout. Pertanto è preferibile utilizzare un linguaggio sintetico e di facile comprensione, demandando la spiegazione di terminologia tecnica ad altre funzioni (come ad esempio quella del glossario).
<i>Giochi e test</i>	Contenuti ludici sono solitamente utilizzati alla fine dei percorsi, con il duplice scopo di offrire un momento di svago e di far sì che gli utenti possano mettersi alla prova, verificando, anche con giochi piuttosto intuitivi, l'apprendimento delle nozioni.

Le applicazioni interattive ludico-didattiche sono sempre più presenti in musei, parchi archeologici o altri luoghi di cultura. Inoltre, la diffusione su scala planetaria di dispositivi *mobile* ha fatto sì che questo tipo di software trovasse una sua collocazione nell'ampio panorama delle app, raggiungendo gli utenti in maniera ancora più diretta. Anche nell'ambito di questo progetto sono stati studiati dei workflow per la creazione di contenuti digitali per app divulgative, di cui si discuterà nel capitolo successivo.

Un esempio che illustra in maniera efficace il ruolo della comunicazione didattica in ambito museale è costituito dalle installazioni multimediali della collezione archeologica conservata presso Palazzo Branciforte¹¹⁵, a Palermo. All'interno della Sala della Cavallerizza, un'ala del palazzo inaugurato nel 2012 in seguito al progetto di recupero e restauro a cura di Gae Aulenti, è stata allestita la collezione archeologica della Fondazione Sicilia, committente dell'intero progetto. L'allestimento è stato curato da un team di esperti dell'Università di Foggia¹¹⁶ che, oltre all'esposizione di reperti significativi dell'archeologia siciliana, hanno curato anche le applicazioni multimediali presenti su grandi monitor touch-screen¹¹⁷.

Il progetto multimediale è stato ideato in modo da essere coerente con le tematiche proposte nell'intero percorso di visita dello spazio espositivo archeologico, che riguardano la storia degli scavi e della collezione, il ciclo dell'argilla, la mitologia, gli usi e costumi delle popolazioni

¹¹⁵ Palazzo Branciforte: <http://www.palazzobranciforte.it/> [Ultimo accesso: 30/03/2016]

¹¹⁶ Dattolo et alii 2012.

¹¹⁷ De Felice 2013.

antiche che hanno abitato la Sicilia e l'incontro fra popolazioni e culture che da sempre ha caratterizzato la regione come terra di incontro.

La particolarità di questa applicazione consiste nell'adozione dell'*episodio*, "*inteso come unità narrativa autonoma e autoconclusiva, finalizzata alla trasmissione di una frazione di conoscenza*"¹¹⁸. Gli episodi sono caratterizzati dal racconto di storie legate alle tematiche principali ed in stretta connessione con gli oggetti in mostra, tramite testi e scenari grafici bidimensionali. La lettura degli episodi è rapida (tempo massimo: 5 minuti) e avviene in maniera interattiva. È l'utente infatti a decidere quando avanzare nel racconto tramite swipe, e anche quali argomenti approfondire semplicemente toccando i punti di interesse che popolano le tavole grafiche.

L'applicazione, realizzata tramite un software *web-oriented*, è strutturata in modo da contenere diverse sezioni accessibili dalla schermata principale. Oltre agli episodi divisi per tematiche sono presenti altri contenuti interattivi: giochi per intrattenere e verificare l'apprendimento di nozioni e concetti esplicitati in alcuni episodi, una galleria virtuale di reperti contenuti nella collezione archeologica, ruotabili e scalabili, il formato elettronico della pubblicazione edita in occasione dell'inaugurazione di Palazzo Branciforte¹¹⁹ e un album contenente tutte le immagini utilizzate nell'applicazione.

L'installazione multimediale di Palermo rappresenta in sintesi un modello che racchiude tutti gli aspetti peculiari della comunicazione archeologica didattico-divulgativa. In primo luogo l'interfaccia utente è molto intuitiva e di facile utilizzo. La ricerca di semplicità si riflette non solo nelle scelte tecniche e tecnologiche, ma anche, e soprattutto, nell'organizzazione e nella redazione dei contenuti. La scelta di raccontare il passato tramite episodi è quanto mai indicata per coinvolgere un'ampia platea di visitatori e per comunicare, in maniera semplice e gradevole, ragionamenti scientifici complessi, ma sempre nel rispetto dell'attendibilità delle informazioni. Un'ultima riflessione va fatta sul tipo di tecnologia utilizzata, sia hardware che software. Nel mondo della comunicazione si è spesso portati a dare maggior risalto alla sensazionalità provocata dall'impiego della tecnologia più all'avanguardia che sull'efficacia del trasferimento di conoscenza. L'applicazione di Palazzo Branciforte costituisce un chiaro esempio di come non sia necessario l'uso di apparecchiature hi-tech o di una grafica tridimensionale ultra-realistica per realizzare progetti interessanti. Al contrario la maggiore cura in progetti di comunicazione archeologica deve essere indirizzata al concept, all'organizzazione dei

¹¹⁸ De Felice 2013, p.253.

¹¹⁹ Volpe, Spatafora 2012.

contenuti e allo studio di strategie per incrementare il coinvolgimento del pubblico e dunque per rendere l'esperienza di visita davvero istruttiva.

1.2.5.2 Comunicazione scientifica.

Per quanto riguarda la pubblicazione elettronica di articoli scientifici, l'innovazione più grande sembra essere costituita dalla possibilità di incorporare contenuti grafici interattivi all'interno del corpo testuale. Già da diversi anni ormai, formati come il PDF possono integrare dei viewer per la visualizzazione e l'ispezione di oggetti tridimensionali. Nonostante essi permettano di condividere contenuti che aumentano le possibilità di comprensione da parte del lettore di alcuni argomenti specifici, come lo studio di particolari reperti o di stratigrafie murarie¹²⁰, questa tecnologia stenta a trovare un largo impiego, forse perché ritenuta non necessaria o perché la redazione dei contenuti richiede procedimenti e professionalità specifiche.

Va detto però che con la tecnologia attuale è possibile confezionare pubblicazioni elettroniche interattive, all'interno delle quali possono essere erogati contenuti audiovisivi anche complessi. È facile pertanto immaginare quali potranno essere le ricadute sulle pubblicazioni scientifiche di archeologia, che potranno essere popolate da mappe interattive o ricostruzioni tridimensionali di siti, ambienti e oggetti di vario tipo e di varia funzione.

Diverso lo scenario della divulgazione scientifica tramite Internet. Il web infatti offre possibilità di condividere i risultati delle ricerche integrando diversi output testuali, grafici, fotografici e interattivi.

Anche in questo il panorama di progetti realizzato è piuttosto vasto e comprende esperienze di tutto il mondo. Pertanto si ritiene utile restringere l'ambito geografico al contesto nazionale descrivendo i progetti che allo stato attuale sembrano fornire gli spunti di riflessione più interessanti: MAPPA Project¹²¹ e SITAR Roma¹²².

Si tratta di progetti che abbracciano diversi campi come l'archeologia dei paesaggi, l'archeologia preventiva, la topografia, l'archeologia pubblica e la comunicazione archeologica. Del resto l'archeologia di oggi è sempre più considerata come disciplina sociale, caratterizzata da una globalità di approcci, quindi non deve affatto sorprendere la natura interdisciplinare dei progetti di ricerca archeologica, al contrario, è una conseguenza logica e corretta.

¹²⁰ De Felice et alii 2013.

¹²¹ MAPPA Project: <http://www.mappaproject.org/> [Ultimo accesso: 30/03/2016].

¹²² SITAR Website: <http://www.archeositarproject.it/> [Ultimo accesso: 30/03/2016].

Il progetto *MAPPA (Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico)* è nato dalla collaborazione di diversi dipartimenti dell'Università di Pisa, con lo scopo di realizzare il primo archivio archeologico digitale open d'Italia¹²³. Nella fattispecie il progetto MAPPA ha costruito un network di sistemi e procedure standardizzate per la redazione e la gestione dei dati archeologici dell'area urbana della città di Pisa, con la finalità di rendere questi dati pubblici.

Il primo obiettivo pertanto era quello di creare una mappa del potenziale archeologico pisano che potesse costituire la base per la pianificazione urbanistica e per la conoscenza e la valorizzazione di un patrimonio archeologico ricchissimo e pluristratificato.

La comunicazione dei dati archeologici del progetto avviene secondo due modalità di erogazione: il WebGIS e il MOD.

Il primo è uno strumento di cartografia digitale per pubblicare liberamente sul web dati archeologici, geologici e geomorfologici. È possibile visualizzare i dati a disposizione secondo diversi tematismi di interesse scientifico e pubblico relativi alla cartografia archeologica, alla cartografia del potenziale archeologico e alla cartografia geomorfologica.

Il WebGIS è un tool dinamico, liberamente consultabile ed in continuo aggiornamento. All'interno della sua interfaccia grafica è possibile interrogare in tempo reale sia i dati che le loro analisi. Si tratta in definitiva di un potente strumento di conoscenza rivolto agli enti amministrativi di governo del territorio e di tutela e valorizzazione, a professionisti che operano nel campo dell'archeologia preventiva e a ricercatori, ma anche ad un pubblico vario di appassionati.

Il *MOD (MAPPA Open DATA)* invece è l'archivio digitale archeologico pensato per conservare e disseminare la documentazione archeografica (Dataset) e la letteratura grigia (Relazioni) prodotta nel corso di una qualsiasi indagine archeologica.

Questo strumento dunque riveste una duplice funzione. Da un lato infatti consente di diffondere la conoscenza archeologica tramite il libero accesso ai dati provenienti da un qualsiasi intervento di scavo praticato sul territorio di Pisa, e dall'altro tutela la proprietà intellettuale degli autori della documentazione assegnando a ciascun dataset e relazione un DOI (Digital Object Identifier) e una licenza d'uso Creative Commons del tipo CC BY-SA 3.0¹²⁴.

¹²³ Anichini et alii 2011.

¹²⁴ Questo tipo di licenza vincola l'utilizzatore dei dati a citare gli autori della documentazione ed a condividerla secondo le stesse modalità con le quali ne è entrato in possesso. Per garantire le libertà relative alla fruizione dei dati è necessario che ci siano specifiche licenze d'uso che siano sintesi della tutela del diritto d'autore da un lato e della libertà degli utenti dall'altro. Il concetto di copyleft, in alternativa al copyright, muove i suoi passi proprio da questa differenza sostanziale e le licenze d'uso ad esso ispirate mirano a bilanciare le norme e le condizioni che, nel caso di licenze per software

Il MOD è composto da un elenco di interventi di indagine archeologica. Ad ogni voce corrisponde una descrizione sintetica, una relazione liberamente scaricabile e, ove presente, un dataset composto da elenchi di US, fotografie e documentazione grafica.

Inoltre l'archivio è collegato al sistema WebGIS e dunque l'utente può geolocalizzare su una base cartografica l'intervento in esame.

A differenza del webGIS, che consente di visualizzare dati relativi ad indagini nell'area urbana di Pisa, il MOD consente già la possibilità di pubblicare dati qualsiasi intervento di scavo archeologico. L'idea di poter accedere liberamente e gratuitamente alla documentazione di scavo su scala nazionale rappresenta la sfida più grande che il progetto MAPPA vuole lanciare nell'ambito della conoscenza del patrimonio archeologico. Anche se l'Italia sembra essere

proprietari, sono state concentrate esclusivamente sugli autori. Le licenze CC, *Creative Commons*, nate con l'obiettivo di equilibrare i diritti sia degli autori che degli utenti, offrono diverse combinazioni di fruibilità delle opere. Le licenze Creative Commons sono strutturate su 3 livelli. Il primo livello prende il nome di *legal code*, ed è costituito da un tradizionale strumento legale per la descrizione tecnica della licenza. Esso è seguito da un secondo livello *human readable*, una sorta di interfaccia user-friendly che fa parte del codice legale, ma che è stata pensata per descrivere con concetti chiari le caratteristiche della licenza ai non esperti in materia giuridica. L'ultimo livello riguarda un protocollo per ottimizzare la leggibilità delle informazioni da parte dei software per l'utilizzo delle stesse, un'interfaccia-macchina, *machine readable*, per descrivere licenze che i software possono comprendere.

Esistono sei tipi di licenze messe a disposizione da Creative Commons differenziate in base ai gradi di libertà previsti:

Attribuzione, CC BY: permette di distribuire, modificare o utilizzare l'opera in qualunque modo, anche commerciale, purché sia riconosciuto credito all'autore.

Attribuzione - Condividi allo stesso modo, CC BY SA: l'opera può essere utilizzata, distribuita, modificata riconoscendo il credito dell'autore e accettando le stesse clausole per la distribuzione.

Attribuzione - Non opere derivate, CC BY-ND: consente la distribuzione dell'opera, anche commerciale, purché sia dato credito all'autore e non siano apportate modifiche all'originale.

Attribuzione - Non commerciale, CC BY NC: le distribuzioni, previo accreditamento dell'autore non possono essere finalizzate ad uso commerciale.

Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo, CC BY NC SA: le distribuzioni, previo accreditamento dell'autore non possono essere finalizzate ad uso commerciale e devono seguire le stesse regole di condivisione dell'originale.

Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate, CC BY NC ND: è possibile usufruire dell'opera e condividerla, ma senza fini commerciali e con l'obbligo di non apportare modifiche.

Numerose altre licenze oltre a quelle riportate sopra sono state proposte negli ultimi anni, e il numero probabilmente è destinato ad aumentare. Dal 2007 la Comunità Europea si è dotata di una licenza specifica per software open dedicato alla gestione di servizi e allo scambio dati fra enti pubblici chiamata EUPL1.1 (*European Union Public License*). Nell'ambito delle banche dati sono state sviluppate altre licenze come la *Open Data Commons Open Database License* (ODbL) e l'italiana *Italian Open Data License* (IODL), per l'accessibilità dei dati in formato aperto e la libertà di modifica fatte salve le garanzie di attribuzione del credito ai rispettivi autori e di uguale condivisione dei dati. È un chiaro sintomo di come e quanto sia prerogativa collettiva quella di stabilire il rapporto tra autori e fruitori in uno scenario che si avvale sempre più di tecnologia per la diffusione di conoscenza. le licenze Creative Commons sono sempre più usate per disciplinare le modalità di fruizione di opere di varia natura: testi letterari, composizioni musicali, filmati, progetti di Computer Graphics, e dunque, di modelli tridimensionali o scene di realtà virtuale.

sempre in ritardo nell'assimilare concetti di modernità che possano provocare impatti sociali positivi, la strada tracciata dall'équipe del progetto MAPPA sembra essere destinata ad avere delle buone ripercussioni a livello nazionale.

Il secondo caso preso in esame, il *SITAR - Sistema Informativo Territoriale Archeologico di Roma*, è un progetto di archeologia pubblica e partecipata, costituito da uno spazio che si arricchisce giorno dopo giorno di informazioni e conoscenze e che consente a tutti gli utenti della sua piattaforma di interagire fra di loro, creando un circolo virtuoso di produzione di informazioni¹²⁵.

Nato agli inizi del 2008, il SITAR è un progetto realizzato dalla Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma, che rientra nelle attività promosse dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo in materia di valorizzazione e conoscenza del patrimonio archeologico e di innovazione tecnologica degli istituti di tutela.

L'obiettivo primario del progetto è quello di implementare e mantenere attivo e dinamico il primo Catasto archeologico digitale del territorio metropolitano di Roma, per poter attivare sulla base di esso nuovi servizi informativi pubblici riuniti, appunto, nella piattaforma webSITAR, e rivolti a numerose utenze di tipo specialistico e professionale.

Come nel caso del progetto MAPPA, questi servizi informativi sono stati progettati con lo scopo di fornire un supporto costante ed in continuo aggiornamento alle attività di pianificazione urbanistica e territoriale.

Tramite un sito web caratterizzato da una grafica gradevole e da un'organizzazione dei contenuti molto intuitiva è possibile accedere al sistema, la cui architettura è strutturata in servizi per l'utente, che sono sostanzialmente afferenti a due percorsi principali: il webDB e il webGIS. Il primo percorso consente di accedere a diversi set di documentazione archeologica mentre il webGIS costituisce uno strumento di ricerca e analisi dei dati presenti nel sistema su base cartografica interattiva. Il *data entry* è in continuo aggiornamento ed esistono due modalità di accesso al sistema, una pubblica ed una tramite identificazione dell'utente¹²⁶.

Ciò che rende il SITAR un sistema interessante è la razionalizzazione del dominio di conoscenze trattato. L'intero impianto è stato infatti modellato attorno ai concetti di *semplicità* ed *ampiezza semantica*, approccio che ha permesso di definire poche classi di entità logico-informative. In questo modo è stato possibile creare una struttura snella, modulare ed allo stesso tempo completa nella sua componente descrittiva. Il lavoro di progettazione fondata su oggetti

¹²⁵ Serlorenzi et alii 2012.

¹²⁶ Questa modalità non è ancora disponibile, ma è di prossima implementazione.

logici è stato sottoposto ad un progressivo affinamento in modo da incrementare la funzionalità del sistema e la possibilità di interazione con banche dati differenti.

I livelli logici primari individuati in questa fase sono:

<i>Origine dell'Informazione</i>	Identificatore univoco dei contesti amministrativi e scientifici che contengono le informazioni archeologiche e topografiche. Non identificano oggetti fisici, ma piuttosto l'areale di indagine che ha generato l'informazione stessa (scavo d'emergenza, recinto di area monumentale, ricognizione, ecc.).
<i>Partizione Archeologica</i>	Definisce tutti i rinvenimenti materiali sia storico-archeologici che geologici. In questo livello è supportata la descrizione analitica di qualsiasi evidenza archeologica. Oltre a restituire un censimento delle testimonianze archeologiche, questo livello consente di descrivere l'assenza di resti archeologici certi e la non evidenza, cioè la mancanza di informazioni riguardo a determinati resti.
<i>Unità Archeologica</i>	Insieme logico in cui confluiscono le ricostruzioni storico-archeologiche e le analisi topografiche che descrivono i monumenti e i complessi. Rappresentano uno strumento per lo studio e l'interpretazione delle tracce archeologiche, contribuendo alla definizione di insiemi topografici oggi invisibili o parzialmente visibili.
<i>Dispositivo di Tutela</i>	È costituito dalla schedatura e dalla georeferenziazione dei Decreti Ministeriali che tutelano specifici manufatti di particolare interesse. Oltre ad essere uno strumento per la salvaguardia del patrimonio archeologico, hanno anche la funzione di supporto ad eventuali attività di progettazione e valorizzazione territoriale.

Questi livelli sono alla base della costruzione del Catasto archeologico e permettono di acquisire e sistematizzare sia dati di archivio o relativi ad interventi conclusi, sia documentazione in fase di produzione¹²⁷. La struttura logica del SITAR, frutto di un lungo lavoro di studio ed analisi di informazioni, metodologie e soluzioni operative, sembra dunque particolarmente funzionale all'individuazione del potenziale archeologico e al supporto di attività per la pianificazione territoriale.

Il SITAR costituisce un'efficiente piattaforma per la conoscenza intesa come strumento di ricerca, tutela e valorizzazione del patrimonio archeologico di Roma. La sua struttura modulare risulta essere estremamente dinamica in quanto può essere migliorata in qualunque momento aggiungendo o modificando componenti sulla base di uno schema in livelli logici. Nelle intenzioni dei curatori del progetto le innovazioni non si limitano alla configurazione attuale. È infatti in corso di studio la modalità di erogazione di contenuti digitali tridimensionali, realizzati a partire da documentazione d'archivio o sulla base di dati *digital born*. L'obiettivo è quello di creare un Catasto 3D che non sia solo una raccolta di oggetti 3D, ma uno strumento che offra *“una lettura coerente delle componenti dello spazio da elaborare, classificandole, ricostruendo la struttura logica della loro formazione e infine ripercorrendo la loro funzionalità stratificata nel tempo”*¹²⁸.

1.2.5.3 Comunicazione multimediale.

Prima di descrivere le caratteristiche di questo ramo della comunicazione archeologica, è opportuno specificare che in realtà molti aspetti della comunicazione multimediale sono stati già descritti nell'ambito delle applicazioni dell'archeologia digitale per la didattica e la divulgazione culturale. Si è deciso di mantenere una distinzione fra i due ambiti perché l'aggettivo *multimediale* lascia intendere una riflessione maggiormente concentrata sugli aspetti tecnologici.

La tecnologia che maggiormente ha influenzato la comunicazione in ambito archeologico è senza dubbio la realtà virtuale. L'espressione *Virtual Reality* sembra essere stata utilizzata per la prima volta da Jaron Lanier¹²⁹, informatico, fondatore della VPL Research Inc., azienda che per prima commercializzò i *DataGlove*, guanti elettronici utilizzati in applicazioni di robotica

¹²⁷ Alle quattro categorie descritte si sono aggiunti nuovi livelli informativi per la conoscenza delle architetture storiche ed archeologiche in materia di riduzione del rischio sismico. Questa categoria costituisce una traduzione di immediata operatività del SITAR.

¹²⁸ Serlorenzi et alii 2012, p. 47.

¹²⁹ Lanier 1988.

e di realtà virtuale. Questo termine probabilmente è stato coniato fondandosi sulle riflessioni attorno al concetto di virtualità in auge nel dibattito informatico dei primi anni '80¹³⁰.

A partire da allora sono state fornite numerose definizioni di questo concetto¹³¹, accomunate da caratteristiche affini. Con il termine realtà virtuale si definisce una tecnologia digitale che ricostruisce un ambiente reale o inventato e simula la presenza fisica di un utente all'interno di esso. All'utente viene data la possibilità di interagire con l'ambiente e gli elementi presenti, sviluppando un'esperienza sensoriale che può essere di tipo visivo, sonoro, tattile o anche olfattivo.

Immersività, interattività in tempo reale e tridimensionalità sono dunque le caratteristiche chiave di una applicazione di realtà virtuale¹³².

L'applicazione dei metodi e dei concetti di questa particolare branca della Computer Graphics in ambito archeologico ha dato inizio ad un insieme di studi e di esperienze che compongono la struttura metodologica della *Virtual Archaeology*¹³³. Questo settore ha riscosso un notevole successo nel panorama scientifico internazionale, ma anche con delle ricadute significative nell'industria delle Digital Humanities e della comunicazione culturale¹³⁴.

Le linee guida della Virtual Archaeology furono delineate proprio in una edizione del CAA da Paul Reilly, che a partire dal concetto chiave di "virtuale", inteso come "*an allusion to a model, a replica, the notion that something can act as a surrogate or replacement for an original*"¹³⁵, propose di utilizzare la realtà virtuale come strumento per strutturare il ragionamento scientifico in modo da ricostruire i processi di formazione del record archeologico. In altre parole Reilly mostrava particolare entusiasmo per le possibilità offerte dalla simulazione dello scavo archeologico, grazie all'impiego integrato di ipertesti, contenuti multimediali e modellazione dei solidi¹³⁶. Il campo di applicazioni è stato successivamente ampliato alle possibilità di visualizzare le ricostruzioni archeologiche di edifici, paesaggi e manufatti¹³⁷.

L'obiettivo della Virtual Archaeology consiste dunque nella simulazione del ragionamento archeologico¹³⁸ finalizzato alla realizzazione di modelli interpretativi che non vanno considerati

¹³⁰ Nelson 1980.

¹³¹ Wolley 1993, Aukstakalnis, Blatner 1995, Burattini, Cordeschi 2001.

¹³² Sarti, Forte 1995.

¹³³ Barcelò et alii 2000.

¹³⁴ Nell'ultimo decennio sono nati numerosi congressi di archeologia virtuale di ambito internazionale che costituiscono un momento fondamentale per la condivisione di esperienze fra il mondo della ricerca, aziende e professionisti di settore. Fra questi vanno ricordati *CAA, Digital Heritage e Archeologica 2.0*. In Italia dal 2006 è presente presso la Borsa Mediterranea del Turismo Archeologico di Paestum la mostra *Archeovirtual*, curata dal *Virtual Heritage Lab* dell'ITABC – CNR.

¹³⁵ Reilly 1991, p. 133.

¹³⁶ Guidazzoli 2007.

¹³⁷ Ryan 2002.

¹³⁸ Ryan 2002.

come *la* ricostruzione, ma come *una* ricostruzione possibile di un determinato contesto archeologico. Un modello infatti “*non può essere vero o sbagliato, perché non appartiene alla realtà. Si tratta di una proiezione da teorie, utilizzata per sapere se le nostre ipotesi sono vere, sbagliate, probabili o semplicemente possibili. Di conseguenza, una teoria scientifica deve essere composta di modelli e di ipotesi, che collegano il modello alla realtà*”¹³⁹.

È fondamentale dunque che sia ben definito un percorso metodologico e ricostruttivo fondato, possibilmente, su dati acquisiti sul campo¹⁴⁰, e che comprenda la valutazione sull’effettiva fattibilità delle ricostruzioni. Un elenco delle attività necessarie per la realizzazione di un progetto di Virtual Archaeology può essere schematizzato nel seguente modo:

<i>Valutazione preliminare</i>	Che cosa ricostruire e perché
<i>Elaborazione del progetto</i>	Organizzazione delle attività e del team, valutazione del budget
<i>Acquisizione dei dati utili</i>	Rilievi sul campo, ricerca della documentazione in archivio, ecc.
<i>Creazione del modello</i>	Approccio multidisciplinare, collaborazione fra esperti di dominio diverso
<i>Verifica</i>	Valutazione dell’efficacia comunicativa e della trasparenza della ricostruzione.
<i>Pubblicazione</i>	Scelta dei sistemi di visualizzazione, valutazione dei feedback del pubblico.

In fase di elaborazione del progetto è importante valutare anche quali siano i sistemi di visualizzazione dell’applicazione in vista della pubblicazione finale. Le caratteristiche dei dispositivi scelti infatti giocano un ruolo fondamentale sul livello di immersione dell’utente

¹³⁹ Barcelò 2001, p. 242.

¹⁴⁰ Forte, Beltrami 2000.

all'interno della scena virtuale. Questi hardware possono essere distinti in quattro categorie principali¹⁴¹:

<i>Projected</i>	La visuale dell'utente è riempita da schermi sui quali viene proiettato il mondo virtuale. Gli schermi sono solitamente concavi e di grandi dimensioni. Possono riempire spazi all'interno dei quali l'utente può muoversi liberamente o riempire una visuale a 360°.
<i>Headsets</i>	Dispositivi in forma di occhiali o caschi che gli utenti possono indossare per avere dei piccoli schermi proprio davanti agli occhi. La sensazione di immersione nella scena virtuale è pressoché totale, poiché gli HMD (Head-mounted displays) non permettono di scorgere spiragli del mondo reale.
<i>Desktop</i>	La visualizzazione della scena virtuale avviene tramite l'uso di un comune computer.
<i>Tabletop</i>	L'applicazione di VR è visualizzata su uno schermo piatto posto in posizione orizzontale. Questi dispositivi limitano l'interazione dell'utente a quei gesti che possono essere eseguiti stando attorno ad un tavolo. Questo sistema trova largo impiego in spazi espositivi.

Le ricostruzioni possono riguardare sia siti archeologici che altri tipi di contesti come musei virtuali o restauri virtuali. Nel primo caso la realtà virtuale può essere un importante strumento di indagine, analisi e conoscenza anche di siti inaccessibili, totalmente distrutti o per i quali manca una documentazione esaustiva e pertanto si può procedere ad una ricostruzione soltanto sulla base di confronti ed analisi iconografiche¹⁴². Ad ogni modo una delle caratteristiche comuni a tutti gli scenari di realtà virtuale è il grado di immersione dell'utente. Esistono diversi livelli di immersione¹⁴³ che possono essere schematizzati secondo quanto segue:

Pienamente immersivo	Una serie di dispositivi specifici viene utilizzata in modo da coinvolgere totalmente l'utente. Questi dispositivi possono stimolare capacità sensoriali anche tattili ed olfattive.
Parzialmente immersivo	L'utente resta a contatto con il mondo reale. È il caso delle applicazioni erogate tramite computer o tabletop.
Aumentato	Nei sistemi di realtà aumentata l'utente ha accesso ad una combinazione di elementi di realtà virtuale nel mondo reale. In ambito archeologico questa tecnologia viene impiegata in specifici percorsi di visita nei quali l'utente, tramite mobile

¹⁴¹ Fernie, Richards 2003.

¹⁴² Forte, Beltrami 2000.

¹⁴³ Fernie, Richards 2003.

device, può inquadrare un oggetto reale e visualizzare in tempo reale delle informazioni digitali sullo schermo, sotto forma di testi, immagini 2D o 3D.

Questo quadro sintetico sulla teoria e sulle caratteristiche tecniche della realtà virtuale applicata all'archeologia accomuna diversi progetti di valorizzazione di siti archeologici e di comunicazione culturale. Negli ultimi decenni sono state realizzate diverse applicazioni di realtà virtuale, sfruttando tutte le modalità di erogazione che sono state descritte. Si ritiene opportuno in questa sede presentare due progetti che possono essere considerati come esempi di uso virtuoso delle tecnologie per la realtà virtuale applicate all'archeologia. I due progetti, entrambi presentati in occasione dell'ultima edizione di Archeovirtual, sono *KIVI*, prototipo francese sviluppato dal CNRS e lo spagnolo *Vivir en un Oppida*.

KIVI è un prototipo realizzato dal CNRS (Marsiglia, Francia) che ha l'obiettivo di fornire all'utente una visualizzazione immersiva di modelli 3d conservati in banche dati elettroniche, utilizzando un semplice smartphone e un visore per la realtà virtuale, anch'esso realizzato dal team¹⁴⁴.

Il progetto si propone di indicare una nuova strategia di diffusione dei contenuti culturali 3D, attraverso la creazione di un sistema, accessibile a tutti, per la visualizzazione interattiva di oggetti culturali, conservati in database on-line o in digital libraries. Gli oggetti sono dunque visualizzati tramite il visualizzatore e l'utente può interagire con essi muovendo le mani.

Dal punto di vista della tecnologia questo progetto è interessante sia sul piano hardware che software. Innanzitutto per la strumentazione *handsfree*, che consente all'utente di liberare le mani e dunque di sentirsi maggiormente libero di interagire con gli oggetti virtuali. Il software open-source realizzato e utilizzato per la ricerca e manipolazione dei modelli digitali, consiste in una piattaforma online che non impone di installare particolari plugin. L'intero kit *KIVI* è stato realizzato con tecnologia low-cost, e potrebbe costituire uno strumento molto innovativo per la fruizione di manufatti archeologici. *KIVI* infatti pone l'attenzione sull'importanza di creare banche dati online di oggetti 3D che possano essere visualizzati in qualunque contesto culturale reale ed incrementare così la diffusione della conoscenza grazie ad esperienze di visita supportate da applicazioni di realtà aumentata.

¹⁴⁴ Abergel et alii 2015.

Vivir en el Oppida è un'applicazione di realtà virtuale immersiva¹⁴⁵ che adatta una grafica 3d interattiva, basata sui contenuti del Museo Nazionale di Archeologia di Madrid, ad un sofisticato sistema di visualizzazione realizzato da Samsung. Grazie al visore VR e ad un Pad, il visitatore può muoversi liberamente all'interno di un oppidum di II secolo a.C., ricostruito sulla base delle ricerche archeologiche condotte nel sito di Numanzia, roccaforte celtiberica conquistata dai Romani nel 133 a.C. in seguito all'assedio di Scipione Emiliano.

Il visitatore può "percorrere" le strade del villaggio ed "entrare" nelle abitazioni. Di particolare interesse è la strutturazione di un game che coinvolge l'utente nella ricerca e nella comprensione d'uso di particolari utensili, consentendo così di provare una sensazione di immersione completa nello spazio virtuale antico.

Strumenti e applicazioni per la realtà virtuale dimostrano sempre più che l'uso delle tecnologie digitali per la comunicazione in archeologia può realmente favorire la divulgazione e la diffusione della conoscenza verso un grande pubblico. È importante però che la tecnologia non sia il fine ma il mezzo. L'elemento caratterizzante di qualsiasi progetto di comunicazione multimediale dovrebbe sempre essere costituito dal ragionamento e dalle sintesi archeologiche, risultato di processi analitici di dati secondo impostazioni metodologiche ben precise. La tecnologia dunque è un mezzo per tradurre in scenari virtuali quelle che sono le ricostruzioni possibili maturate durante il percorso di indagine. L'obiettivo di un'applicazione interattiva virtuale potrà essere raggiunto soltanto se essa consentirà di coinvolgere il pubblico e allo stesso tempo di veicolare nozioni ed informazioni archeologiche.

Grafica tridimensionale e sistemi avanzati di realtà virtuale non costituiscono certo l'unico strumento di comunicazione multimediale per l'archeologia. L'altro grande canale di informazione è costituito da Internet. Il mondo del web, soprattutto nella sua versione più evoluta, il web 2.0, ha introdotto nella vita quotidiana di tutti i social media, ossia quell'insieme di tecnologie e pratiche che permettono di condividere informazioni codificate in testi, immagini, video e formati sonori, generate dagli utenti stessi, all'interno di una comunità virtuale potenzialmente infinita¹⁴⁶.

In archeologia i social media sono sempre più utilizzati come strumento di comunicazione di attività di ricerca e di promozione di iniziative sociali. Sempre più numerose sono infatti le pagine di informazione su scavi archeologici e progetti di ricerca sui social network più comuni, così come tante sono le iniziative culturali organizzate per coinvolgere e sensibilizzare la

¹⁴⁵ Azpitarte et alii 2015.

¹⁴⁶ Kaplan, Haenlein 2010.

collettività sull'importanza dei luoghi di cultura e del lavoro delle figure professionali che si cela dietro¹⁴⁷.

I social media dunque hanno cambiato le modalità di comunicazione culturale. Se fino a tempi non troppo lontani l'obiettivo finale di un progetto di ricerca come uno scavo archeologico era costituito dalla "pubblicazione", intesa come unico strumento della diffusione della conoscenza, quasi sempre destinato ad un pubblico di esperti, "oggi il problema si pone in maniera assai più complessa, in un mondo in cui il valore stesso delle cose è in larga misura determinato dalla nostra possibilità/capacità di comunicarle"¹⁴⁸. Questa consapevolezza è stata tradotta in maniera piuttosto efficace nell'ambito di *Uomini e cose a Vignale*, un progetto per la conoscenza e la valorizzazione del sito archeologico di Vignale di Piombino (LI) e del suo territorio, a cura del Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali dell'Università di Siena¹⁴⁹. Questo progetto spicca dal punto di vista comunicativo per la cura di contenuti e linguaggi per un pubblico ampio, e ha incluso una serie di iniziative *social*, con l'obiettivo di sensibilizzare e divulgare anche al di fuori della comunità virtuale. Una delle strategie più originali messe in atto dal progetto è stata la realizzazione di brevi video diffusi tramite la popolare piattaforma YouTube, in cui degli attori recitano delle storie costruite attorno ad evidenze e dati archeologici¹⁵⁰. Questi episodi, afferenti al genere del *docudrama*, utilizzano storie e dialoghi sia per dare informazioni sulla storia del sito e degli scavi, sia per raccontare storie inventate sulla base di informazioni desunte dall'analisi stratigrafica e dallo studio di particolari reperti.

Il linguaggio videonarrativo sperimentato grazie al progetto *Uomini e Cose a Vignale* ha restituito risultati importanti per quanto riguarda la vocazione pubblica e sociale dell'archeologia. La dimensione pubblica dell'archeologia non dovrebbe essere infatti considerata solo alla luce della sua utilità in materia di programmazione della gestione del territorio, ma anche nel coinvolgimento delle comunità locali e virtuali.

¹⁴⁷ Sono davvero tante le iniziative *social* in campo archeologico e culturale. Una di queste è *The Day Of Archaeology*, progetto nato in ambiente anglo-sassone che mira a portare all'attenzione del pubblico ciò in cui consiste il lavoro dell'archeologo, tramite la condivisione di migliaia di esperienze provenienti da tutto il mondo. Qualunque archeologo può infatti pubblicare una giornata tipo del suo lavoro scrivendo un post corredato di immagini o pubblicando un video. *Day of Archaeology*: <http://www.dayofarchaeology.com> [Ultimo accesso: 24/07/2015].

Un'altra iniziativa tutta italiana è *Invasioni Digitali*. Giunta ormai alla quarta edizione, questa iniziativa consiste nell'organizzazione di pacifiche invasioni di visitatori in musei, chiese, parchi o siti archeologici, dove gli organizzatori invitano gli "invasori" a condividere la propria esperienza sui social network, pubblicando post, foto o video. L'idea è quella di far riscoprire alle comunità locali un senso di appartenenza rispetto al proprio territorio, tramite l'accesso ai luoghi della cultura. *Invasioni Digitali*: <http://www.invasionidigitali.it> [Ultimo accesso: 24/07/2015].

¹⁴⁸ Zanini, Ripanti 2012, p.8.

¹⁴⁹ *Uomini e cose a Vignale* website: <http://www.uominiecoseavignale.it/> [Ultimo accesso: 30/03/2016].

¹⁵⁰ Zanini, Ripanti 2012.

1.2.5.4 Comunicazione commerciale.

La realizzazione di prodotti destinati alla vendita realizzati sulla base di informazioni archeologiche è anch'essa una maniera di fare comunicazione culturale. Non deve sorprendere quindi se la direzione di un museo o di un parco archeologico ricorre alla creazione di merchandising per fare cassa, magari con l'obiettivo di coprire spese o di utilizzare i proventi per la realizzazione di iniziative. Non sono solo gli aspetti economici a determinare tali scelte, ma anche l'efficacia che gadget originali ed intelligenti possano realmente essere un mezzo per attrarre visitatori e offrire loro modalità di fruizione delle informazioni culturali più familiari. Come è stato visto per i casi precedenti, tutto ciò che richiede un lavoro di creatività e di mediazione di linguaggio fra informazioni scientifiche e pubblico, può essere supportato dall'applicazione di informatica e tecnologie digitali.

Tralasciando tutte le applicazioni di computer graphic per la realizzazione di merchandising museale classico, come matite, magneti, t-shirt, ecc., una novità degli ultimi tempi è costituita dalla stampa 3D. Questa tecnologia ha di fatto dato vita ad un mercato a supporto di tutti quei settori per i quali la riproduzione materica di oggetti virtuali fornisce pezzi utili per la realizzazione di prototipi industriali o componenti non ancora presenti sul mercato.

In ambito culturale la stampa 3D è stata utilizzata per creare repliche di pezzi da collezione o di reperti particolari con finalità diverse che comprendono lo studio e l'analisi, la creazione di componenti per colmare eventuali lacune, la sostituzione di originali fragili, la ricostruzione di oggetti per i quali esistono solo riferimenti iconografici o ricostruzioni eseguite sulla base di informazioni testuali, la creazione di repliche per allestire percorsi tattili in favore di visitatori ipo e non vedenti, e appunto per il merchandising.

Diverse istituzioni museali si sono dotate di gallerie interattive di oggetti 3D, pubblicate anche tramite social network dedicati alla condivisione di contenuti simili, autorizzando gli utenti al download del modello 3D per la stampa materica. La possibilità di avere una replica di una statua o di un qualunque oggetto da collezione è una maniera del tutto inedita di fruizione a distanza. Gli utenti possono dunque avere un "pezzo da museo" in casa propria come strumento di studio o semplicemente come oggetto da esposizione. Fatto sta che nel momento in cui scelgono e stampano il modello si appropriano anche di tutte le informazioni scientifiche che lo riguardano, scoprendo così il suo valore storico e culturale.

CAPITOLO II – ATTIVITÀ PRELIMINARI

La prima parte del progetto di ricerca è stata dedicata interamente all'aggiornamento e alla sperimentazione di tecniche di rilievo tridimensionale in contesti archeologici. Tecniche come il laser scanning o la fotogrammetria non possono essere certamente considerate come delle novità, ma non si può dire lo stesso riguardo alle soluzioni hardware e software che permettono di acquisire dati topografici in maniera sempre più rapida, dettagliata e, in alcuni casi, abbattendo notevolmente i costi. Basti pensare all'uso civile di droni, una tecnologia che non molti anni fa appariva come fantascientifica mentre oggi, non solo sono impiegati in diversi settori, dall'agricoltura, alla topografia e anche all'archeologia, ma hanno sviluppato in tempi da record un mercato così vasto da essere alla portata di tutti.

Nell'ambito di questo lavoro non è stato fatto uso di aeromotori telecomandati, ma si è preferito concentrare l'attenzione su sistemi di ripresa terrestri più comunemente utilizzati nei cantieri di scavo archeologico o per il rilievo di spazi chiusi, come si vedrà nei prossimi paragrafi.

I test che saranno discussi in questa sede sono stati effettuati per raggiungere una serie di obiettivi. Innanzitutto per verificare la possibilità di istituire delle *good practice* per l'impiego di strumenti di rilievo 3D in progetti di ricerca archeologici. È importante infatti stabilire non tanto quale sia la tecnica migliore in assoluto, ma quella che più si adatta al contesto da rilevare. La scelta naturalmente va fatta dopo una serie di valutazioni in cui bisogna cercare di prendere in considerazione tutte le variabili possibili. Le procedure di acquisizione dei dati sul campo sono quelle solitamente proposte nella letteratura esistente, anche se in fase di valutazione bisogna tener conto della finalità degli oggetti da esportare. Ad esempio risulta poco utile utilizzare scansioni laser con un elevato livello di dettaglio se non è necessario effettuare particolari analisi su un determinato materiale, o se si vuole evitare di acquisire dati piuttosto difficili da gestire a causa della loro "pesantezza".

Il secondo obiettivo riguarda l'applicazione di procedure di ottimizzazione di dati 3D per la loro pubblicazione in ambienti interattivi siano essi accessibili tramite web o in locale. Come accennato in precedenza, questi dati risultano particolarmente utili per effettuare un'infinita serie di analisi numeriche, ma poco pratici da gestire o da visualizzare, soprattutto in assenza di buone risorse hardware. Eppure, considerato l'enorme livello di dettaglio che possono raggiungere, sarebbe uno spreco rinunciare all'implementazione di alcuni modelli in contenuti per la comunicazione con un pubblico ampio, siano essi costituiti da pagine web, da applicazioni interattive per desktop o per dispositivi mobile.

Questa prerogativa rappresenta un po' una sfida tecnologica tuttora in corso, anche in settori non propriamente connessi all'archeologia, che muove i suoi passi a partire da una domanda: è possibile preservare le caratteristiche dei 3D data anche in vista di una loro pubblicazione? Per trovare una risposta bisogna addentrarsi nel campo della Computer Graphics pura, cercando di attingere e confrontarsi con innovazioni tecnologiche e procedure metodologiche che incideranno sempre più nel mondo della comunicazione. D'altra parte i fondamenti metodologici di qualsiasi disciplina archeologica sono stati tracciati grazie al proficuo e costante confronto con discipline già ampiamente consolidate come la geologia, la topografia, l'architettura, le scienze naturali, ecc. Dunque oggi potrebbe risultare particolarmente utile approfondire tematiche legate alle tecnologie utilizzate per la produzione di un videogame e adattarle alle esigenze della comunicazione archeologica.

Solo per citare un esempio, è singolare il caso di un videogame prodotto da *The Astronauts*¹⁵¹, piccolo studio indipendente di sviluppo di videogiochi, premiato durante i *British Academy Game Awards*, concorso promosso dalla *British Academy of Film and Television Arts*¹⁵² per aver prodotto il videogioco più innovativo del 2015, *The Vanishing of Ethan Carter*. Si tratta di una fiction horror in prima persona dove la maggior parte dei contenuti grafici che compongono la scena virtuale tridimensionale è stata realizzata tramite tecniche fotogrammetriche, esattamente la stessa tecnologia che è ormai ampiamente utilizzata nella pratica di rilievo archeologico. Andrzej Poznansk, responsabile artistico del progetto, riferendosi alle ragioni che hanno spinto il gruppo ad utilizzare la fotogrammetria, ha dichiarato che gli assets presenti nel videogioco non sono semplici approssimazioni della realtà, ma sono la realtà stessa. Avverte però il suo pubblico che la fotogrammetria non è altro che uno strumento, scelto dal suo team per raggiungere l'obiettivo di permettere al giocatore di "sentire" il mondo virtuale e non semplicemente di riprodurlo fedelmente¹⁵³. Siamo davanti dunque alla conferma dell'efficienza delle tecniche di rilievo tridimensionale anche a fini comunicativi, in quanto una resa grafica quasi fotorealistica incrementa il coinvolgimento dell'utente. Non ci resta, dunque, che immaginare scenari in cui saranno realizzate sempre più applicazioni interattive nel mondo dell'*edutainment* in cui sarà possibile sfruttare direttamente i dati archeologici topografici.

Prima di passare dunque alla descrizione dei test effettuati e applicati in diversi contesti è opportuno esaminare più nel dettaglio le tecniche di rilievo adottate ai fini del progetto senza

¹⁵¹ The Astronauts: <http://www.theastronauts.com> [Ultimo accesso: 15/03/2016]

¹⁵² British Academy of Film and Television Arts: <http://www.bafta.org> [Ultimo accesso: 15/03/2016]

¹⁵³ Poznansk 2016: <http://www.theastronauts.com/2014/03/visual-revolution-vanishing-ethan-carter> [Ultimo accesso: 15/03/2016]

tralasciarne la storia e i campi di applicazione. Per tale ragione saranno descritte le due tecniche di rilevamento adottate nell'ambito della ricerca: la fotogrammetria e il laser scanning.

II.1. Fotogrammetria

La fotogrammetria¹⁵⁴ è definita come la scienza che permette di ottenere accurate misurazioni di caratteristiche geometriche di un oggetto attraverso l'uso combinato di fotografie scattate da diversi punti di vista. Questa tecnica si basa sul principio della prospettiva inversa e, più in generale, della geometria descrittiva, che permette di rappresentare oggetti tridimensionali in uno spazio bidimensionale usando proiezioni geometriche planari. Dalle rappresentazioni prospettiche è possibile stimare la posizione di punti particolari, che sono facilmente riconoscibili grazie ad un alto livello di contrasto con lo sfondo.

Più gli oggetti sono geometrici, più questa tecnica può essere impiegata con facilità. Per questa ragione non è affatto semplice adoperare tecniche fotogrammetriche in archeologia, considerata la varietà e l'imprevedibilità delle forme.

II.1.1 Storia.

La fotogrammetria è nata con la fotografia, grazie all'introduzione del Daguerrotipo, alla metà del XIX secolo.

Nel 1858 l'architetto Albrecht Meydenbauer (1834 – 1921) utilizzò alcuni fotogrammi per ottenere misurazioni durante le operazioni di rilievo della cattedrale di Wetzlar, nella regione dell'Assia in Germania, dando vita così alla fotogrammetria architettonica.

Nello stesso periodo il colonnello francese Aimé Laussedat (1819 – 1907) mostrò alla Commissione dell'Accademia delle Scienze di Parigi, come calcolare le coordinate di punti sul terreno da una coppia di immagini aeree. In questa maniera fu il primo ad applicare i principi della fotogrammetria ai rilevamenti topografici.

All'inizio del XX secolo furono inventati diversi strumenti fotogrammetrici. Nel 1901 Carl Pulfrich (1858 – 1927) realizzò lo stereocomparatore, un dispositivo che permetteva di individuare punti omologhi in due diversi fotogrammi. Eduard von Orel (1877 – 1941) inventò lo stereoautografo nel 1909. Fu utilizzato per la prima volta per tracciare linee planimetriche continue e curve di livello da lastre terrestri, e successivamente per restituire tavole aeree con il nome di stereopalingrafo.

Diversi sviluppi furono apportati durante gli ultimi decenni e strumenti sempre più efficaci furono inventati. Le tecniche fotogrammetriche furono ampiamente sfruttate durante le due guerre mondiali in modo da tracciare i territori nemici con la fotografia aerea. In questo periodo furono destinate parecchie risorse per lo sviluppo della fotogrammetria analogica.

¹⁵⁴ Guidi et alii, 2010.

Un contributo significativo alle strumentazioni fotogrammetriche fu dato nel 1955 da Russel Kerr Bean. Mise a punto il ER-55, *Ellipsoidal Reflector Projector for Stereo-Photogrammetric Map Plotting*, e lo utilizzò per il US Geological Survey negli anni 50 e 60 dello scorso secolo¹⁵⁵. Questo dispositivo permetteva di restituire non solo fotografie zenitali ma anche fotografie oblique. R. K. Bean inventò anche un ortoscopio (1959) che poteva produrre fotografie con lo stesso livello di accuratezza di mappe geografiche, e studiò anche un sistema di calibrazione della fotocamera.

L'introduzione del calcolo elettronico, a partire dagli anni '50, ebbe come conseguenza un notevole cambio nell'ambito dell'elaborazione di dati fotogrammetrici, mentre negli anni '70, con la diffusione degli elaboratori elettronici, nacque la fotogrammetria analitica, che consentiva di correggere gli errori dovuti alle distorsioni prospettiche tramite metodi matematici.

Negli anni '50 fu introdotta anche la triangolazione aerea, questa tecnica rappresenta il procedimento matematico di stabilire precise ed accurate corrispondenze tra sistemi di coordinate delle singole immagini e sistemi di proiezioni e datum geografici ben definiti. L'obiettivo principale della triangolazione aerea è quello di ricavare da punti di controllo sul terreno, sufficienti punti nei modelli fotogrammetrici in modo da poter assicurare che ciascun modello potesse essere accuratamente orientato.

Cambiamenti significativi si ebbero soltanto negli anni '90, quando cominciò l'era della fotogrammetria digitale. I sensori CCD e CMOS hanno infatti permesso di campionare le immagini con griglie numeriche, caratterizzate da proprietà tali da permettere l'estrazione di misurazioni in tre dimensioni.

Oggi la tecnica fotogrammetrica è ampiamente diffusa. Software di fotomodellazione sono sempre più comuni in settori come l'architettura, l'ingegneria, ma anche l'archeologia, per realizzare elaborati 2D e 3D grazie a potenti algoritmi di interpolazione delle immagini. Negli ultimi anni in particolare, la fotogrammetria ha raggiunto una diffusione così ampia da aver spinto alcuni sviluppatori a fornire veri e propri servizi online per la produzione di modelli tridimensionali. È il caso di servizi come *AutoDesk 123D Catch*¹⁵⁶, *Arc3D.be*¹⁵⁷ o *Python Photogrammetry tool*¹⁵⁸, che permettono a ciascun utente di caricare un set di foto e di ricevere direttamente sul proprio computer il modello già elaborato.

¹⁵⁵ Center for Photogrammetric Training 2008.

¹⁵⁶ AutoDesk 123D Catch: <http://www.123dapp.com/catch> [ultimo accesso: 22/02/2016].

¹⁵⁷ ARC3D, Automatic Reconstruction Cloud: <http://www.arc3d.be/> [ultimo accesso: 22/02/2016].

¹⁵⁸ Moulon, Bezzi 2012.

II.1.2 Modalità operative.

Attualmente la fotogrammetria è utilizzata sia dall'alto (satelliti, aerei, droni) che da terra in modo da mappare porzioni di superficie terrestre e, a scala più ristretta, in modo da acquisire informazioni geometriche di edifici o piccoli oggetti.

Questa tecnica permette di acquisire la posizione di oggetti tridimensionali attraverso l'interpolazione di fotogrammi da diversi punti di vista.

Prima di comprendere la fotogrammetria è importante comprendere come funziona una fotocamera. Una comune camera è composta da un obiettivo, un otturatore, un corpo macchina isolato dalla luce e un elemento sensibile sul quale l'immagine viene proiettata. Questo elemento può essere una pellicola o un sensore elettronico come i CCD o i CMOS.

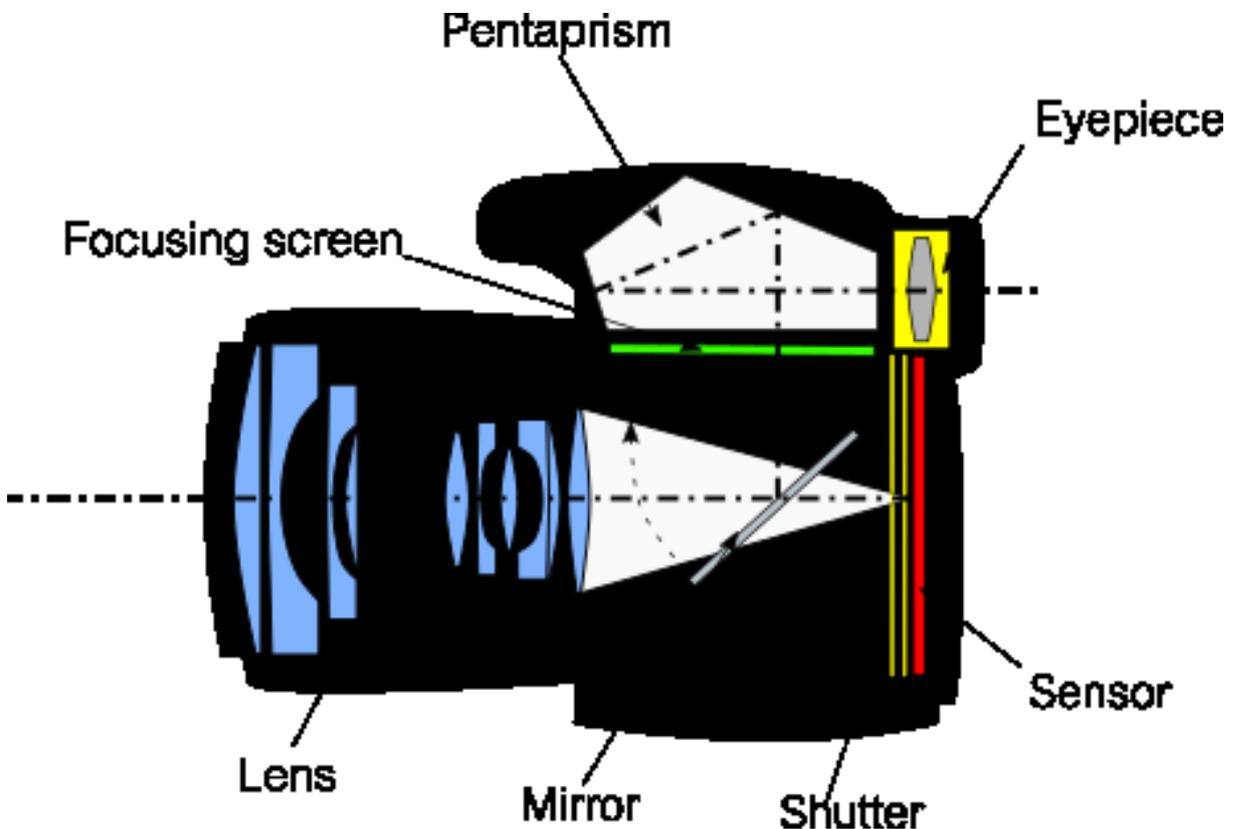


Fig. 1. Schema di una fotocamera reflex.

La luce entra nella camera attraverso l'obiettivo e colpisce il sensore o la pellicola; la quantità di luce introdotta può essere regolata dall'otturatore, aumentando o riducendo i tempi di esposizione.

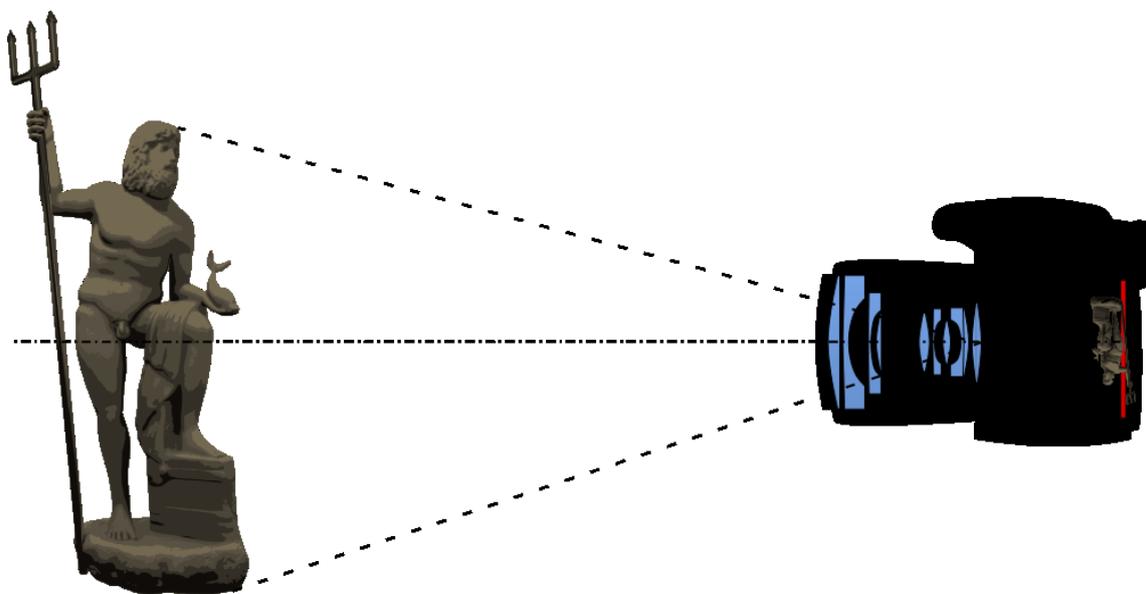
Come già detto la fotogrammetria è quella tecnica che consente di definire la posizione, la forma e le dimensioni degli oggetti sul terreno, utilizzando le informazioni contenute in immagini

fotografiche degli stessi oggetti, riprese da punti diversi¹⁵⁹. Ciascun fotogramma rappresenta ciò che in geometria si definisce una *proiezione prospettica centrale*.

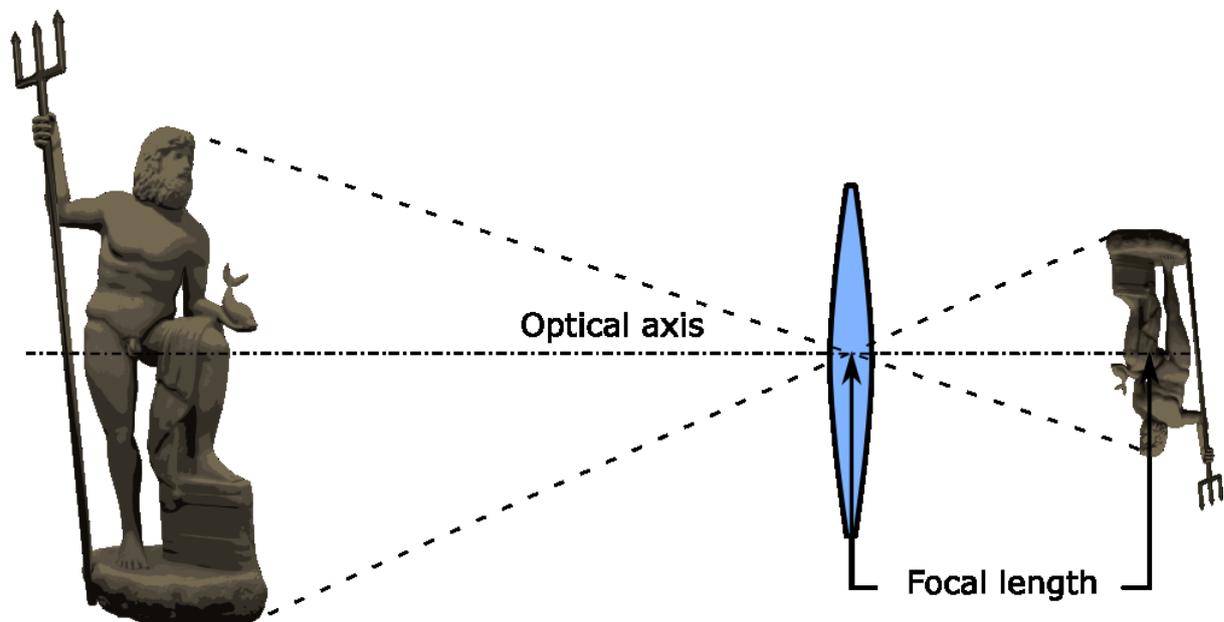
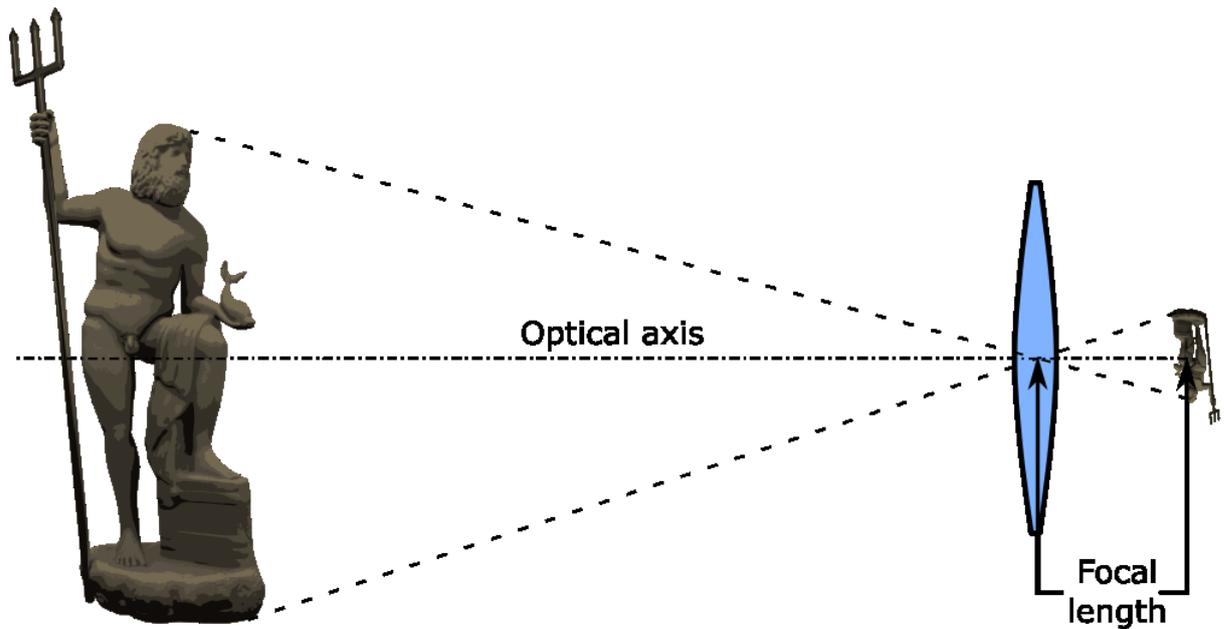
Un punto qualsiasi dell'oggetto che si sta riprendendo nello spazio tridimensionale viene proiettato su un piano di proiezione (il sensore o la pellicola della camera) attraverso un foro stenopeico (l'obiettivo), che prende il nome di *centro di prospettiva*. Questo punto diventa in fase di ripresa il centro di un sistema di riferimento globale, dove uno dei tre assi coincide con l'asse ottico della camera.

I punti dell'oggetto da acquisire vengono dunque proiettati su un secondo sistema di riferimento, vale a dire sul piano di proiezione.

Le dimensioni dell'immagine riprodotta possono variare in base alla lunghezza focale, vale a dire a quel segmento dell'asse ottico che rappresenta la distanza fra l'obiettivo e il piano di proiezione.



¹⁵⁹ http://online.scuola.zanichelli.it/cannarozzomisure-files/Volume_3/Approfondimenti/Zanichelli_Cannarozzo_Vol3_UnitaT1_10.pdf



I software utilizzati oggi per la restituzione tridimensionale degli oggetti utilizzano le proprietà dei singoli fotogrammi per calcolare la posizione di ogni punto ripreso in uno spazio tridimensionale facendo coincidere lo stesso punto in fotogrammi acquisiti da punti di vista differenti. L'operazione di collimazione di questi punti prende il nome di *matching*. Prima di procedere con l'interpolazione delle immagini è fondamentale però che il programma utilizzato sia in grado di individuare alcune proprietà della fotocamera, come la lunghezza focale, le coordinate del punto principale o i parametri di distorsione.

La restituzione dell'oggetto avviene mediante misurazioni manuali o automatiche di punti omologhi nelle immagini. Generalmente le misurazioni manuali possono essere effettuate su

oggetti caratterizzati da una geometria piuttosto semplice, utilizzando pochi punti, come nel caso di edifici, mentre è preferibile ricorrere a procedure automatiche se l'oggetto da restituire presenta superfici irregolari o comunque caratterizzate da molte discontinuità (modelli digitali del terreno, scavi, statue, reperti, ecc.). Il risultato *dell' image matching*, ossia della corrispondenza di più immagini attraverso il riconoscimento e la misurazione di punti omologhi, consiste in un set di coordinate 3D rappresentato graficamente da una nuvola di punti.

Esistono due tipi di approccio per la correlazione di immagini e si differenziano in base al tipo di primitiva, o di elemento minimo, utilizzata:

1. Aree con valori di grigio differenti
2. Entità riconoscibili

Il secondo metodo¹⁶⁰, è quello più sfruttato dagli attuali software di restituzione fotogrammetrica.

II.1.3 Casi di studio.

La relativa spedività della fotogrammetria è stata sicuramente uno stimolo per effettuare diversi test su oggetti di interesse archeologico. Questi test sono stati pensati con il duplice obiettivo di praticare la procedura di acquisizione di informazioni geometriche e restituzione di modelli tridimensionali e dall'altro lato di ottimizzare le mesh per la visualizzazione interattiva. Il workflow di lavoro è stato suddiviso in fasi e per ciascuna di esse sono stati adoperati specifici software:

Phase	Pipeline
Data acquiring – on field	-
Data processing – 3D photogrammetry	AutoDesk 123D Catch
Mesh editing	MeshLab
Baking texture and exporting	Blender
Interactive visualizing	SketchFab

¹⁶⁰ Gruen, Baltsavias 1988.

II.1.3.1 Acquisizione dati.

La fase sul campo costituisce il momento di acquisizione dei dati. Nella procedura di rilievo fotogrammetrico 3D è forse il momento più critico, poiché tutte le scelte operative effettuate saranno determinanti per la restituzione finale dell'oggetto.

La prima operazione comporta la pianificazione delle riprese. Si tratta di stabilire quantità e angolazione degli scatti da effettuare, ed è un'operazione tutt'altro che semplice. Innanzitutto bisogna fare una considerazione preliminare, e cioè interrogarsi sulla destinazione finale dell'oggetto tridimensionale restituito. Se lo scopo è quello di avere un modello misurabile su cui effettuare analisi numeriche, le riprese saranno pianificate in modo da ottenere una copertura pressoché totale dell'oggetto e riprodurre nella maniera più realistica possibile la topologia, anche a discapito delle qualità cromatiche; viceversa, se lo scopo è quello della visualizzazione attraverso applicazioni interattive, maggiore cura sarà destinata alla resa fotografica dell'oggetto. Facile intuire che una resa ottimale che contempi sia le proprietà geometriche e topologiche che quelle cromatiche dell'oggetto richieda il massimo dell'impegno in fase di acquisizione.

Il contesto in cui ci si trova ad operare inoltre gioca un ruolo fondamentale. Se si considera ad esempio un normale scavo stratigrafico, ossia il caso tipico in cui si ritrova ad operare un archeologo, bisogna considerare le naturali e continue variazioni di luce, ma anche le difficoltà di movimento dell'operatore, poiché non sempre è possibile scattare fotografie da punti di ripresa che in teoria sarebbero quelli ottimali, ma nella realtà sono difficili da raggiungere e, come spesso accade, poco sicuri.

Valutate le finalità del rilievo fotogrammetrico e le condizioni di luminosità e di mobilità dello spazio in cui si opera, si possono finalmente osservare le caratteristiche dell'oggetto da rilevare e cominciare le riprese. È importante considerare che ciascun fotogramma deve avere una buona sovrapposibilità con quello successivo, vale a dire che l'operatore deve muoversi attorno all'oggetto e tenere a mente che ciascuno scatto deve contenere buona parte della superficie acquisita tramite lo scatto precedente. Fatta eccezione per questo aspetto, non esistono regole particolari. La buona resa è data soprattutto dall'esperienza dell'operatore sia per quanto riguarda la conoscenza della fotocamera che la personale abilità nel "coprire" la superficie dell'oggetto da restituire.

II.1.3.2 Il data processing.

Terminata l'acquisizione sul campo, iniziano le operazioni di restituzione grafica 3D. la prima scelta da valutare riguarda l'adozione del software di elaborazione dei dati. Sul mercato sono presenti diverse soluzioni sia nell'ambito dei programmi proprietari di tutti i diritti sui propri contenuti informatici che in quello di programmi open source, e dunque distribuiti sotto particolari licenze come la *General Public License* (GPL). Inoltre i software più professionali e performanti sono logicamente quelli che hanno le licenze d'uso più costose¹⁶¹; tuttavia sono disponibili già da tempo software gratuiti che permettono di interpolare fotografie e di realizzare modelli 3D, come 123DCatch, prodotto dalla Autodesk, Arc3D, progetto open source realizzato dall'Università di Louvain e Visual SFM¹⁶², progetto indipendente a cura di Changchang Wu, ingegnere software alla corte di Google.

Queste ultime soluzioni sono state adottate nell'ambito di questa ricerca, poiché si tratta dei due software che più rispondono alle esigenze di sostenibilità sia economica che etica previste dalla procedura metodologica presa in esame. I due programmi si configurano come servizi web automatici in cui all'utente sono demandate poche e semplici operazioni. Prendiamo ad esempio il caso di 123DCatch. Una volta terminata l'iscrizione al servizio o aver effettuato l'accesso tramite un account personale su uno dei più comuni social network, l'utente può effettuare l'upload di un set fotografico su uno dei server messi a disposizione da Autodesk.

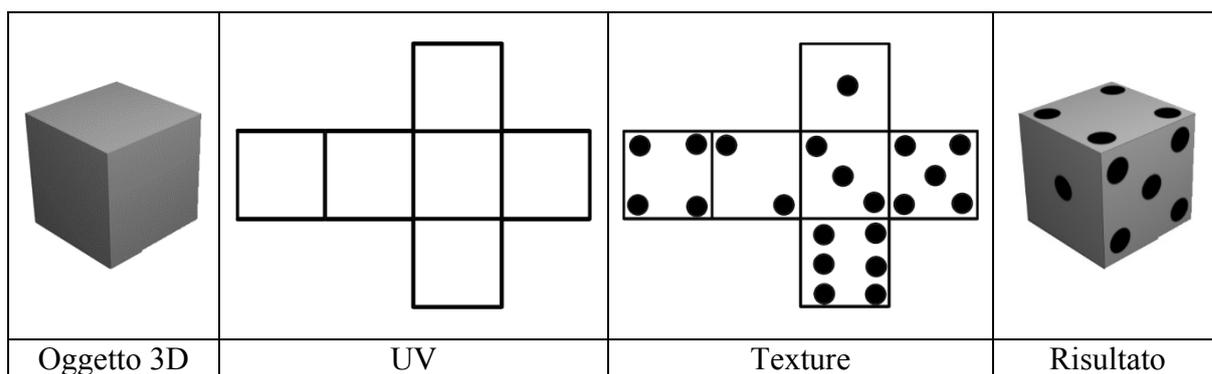
Il sistema è dotato di un software assolutamente non visibile da parte dell'utente, che tramite potenti algoritmi di matching, interpola le immagini determinando grandezze in un sistema di coordinate locale. Portate a termine queste operazioni di calcolo, comincia la costruzione del modello 3D. A tutti i punti dell'oggetto riconosciuti dal programma vengono assegnate coordinate spaziali x , y , z . Questi punti diventano così dei vertici che possono essere uniti da una moltitudine di facce triangolari; l'insieme di questi triangoli crea una superficie densa di geometrie che prende il nome di *mesh*. L'output finale dunque è costituito da un'oggetto tridimensionale formato da una superficie, o mesh, triangolare. Come è stato già detto, il software crea un sistema di coordinate locale e con esso anche l'unità di misura. Tuttavia l'interfaccia utente contiene dei comandi per poter affinare quest'ultimo valore. È sufficiente conoscere una o più lunghezze reali, misurate sull'oggetto stesso e indicare il punto iniziale e quello finale delle distanze note direttamente sulla mesh, in modo da poterla scalare in basi ai valori desiderati.

¹⁶¹ Le licenze dei software più performanti per uso professionale possono arrivare a costare più di 3000 euro.

¹⁶² Visual SFM: <http://ccwu.me/vsfm/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

La mesh può essere esportata in formato obj, praticamente uno standard utilizzato da tutti i software di grafica 3D, assieme alle informazioni cromatiche, codificate in appositi file raster che prendono il nome di *texture* e ad un file in formato mtl in cui sono scritte le istruzioni di distribuzione del materiale grafico sulle facce del solido tridimensionale.

Le informazioni cromatiche contenute nelle texture sono estratte direttamente dai fotogrammi. Il software di elaborazione individua posizione e distanze di tutti i punti dell'oggetto proprio grazie all'interpolazione di immagini, pertanto, è in grado di assegnare a ciascuna faccia triangolare della mesh l'esatta porzione di fotogramma corrispondente. Questa parte viene copiata in un apposito file raster direttamente sulla proiezione della faccia corrispondente in un sistema bidimensionale di coordinate numeriche che prendono il nome di UV. Per comprendere come funziona questo sistema bisogna immaginare di aprire un corpo solido, ad esempio un cubo, e di appiattare le sue componenti, in questo caso sei facce quadrate, su un foglio di carta. Le informazioni cromatiche saranno distribuite in maniera coerente sulle facce poligonali. In questo modo l'oggetto 3D può essere rappresentato "vestito" dei suoi colori fotorealistici.



In realtà le texture non sono affatto le uniche rappresentazioni grafiche bidimensionali che possono essere assegnate ad un oggetto 3D, ma si parlerà di questo nei paragrafi successivi. Il modello tridimensionale così restituito è già pronto per essere pubblicato, malgrado non sia stato ancora sottoposto a operazioni di alleggerimento e di correzione di errori che possono generare malformazioni nella mesh.

II.1.4 Test di applicazione.

Gli oggetti rilevati con questa tecnica sono entità archeologiche di diversa natura, forma e dimensioni: strutture rinvenute presso gli scavi di *Faragola* e di *Montecorvino*, contesti archeologici tuttora indagati dall'Università di Foggia, alcuni reperti del Museo di Lucera e architetture e ceramiche del Castello di Deliceto (FG). Sono stati acquisiti oggetti di diverso tipo proprio per avere un campione più variegato di dati e per provare le riprese in ambienti con luminosità differenti.

II.1.4.1 Strutture archeologiche.

Sono state effettuate sperimentazioni di rilievo fotogrammetrico tridimensionale nelle campagne di scavo 2013 di Montecorvino e di Faragola, entrambi situati nella provincia di Foggia e oggetto di studio e ricerca da parte del Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Foggia. I due siti si configurano in maniera del tutto diversa. Montecorvino, situato nel territorio di Volturino, è un insediamento medievale di altura caratterizzato dalla presenza di un'area castrense, dove svetta l'alta torre, una parte abitativa e, più in basso, dalla chiesa di S. Alberto, tuttora utilizzata per le celebrazioni in occasione della ricorrenza religiosa di venerazione del santo.

Nel caso di Montecorvino sono state acquisite due strutture murarie. La prima, identificata come USM 1629, nel saggio VI, all'interno di un ambiente pertinente all'abitato, ha la funzione di focolare, e risultava parzialmente crollata.



Fig. 2 - Montecorvino. Abitato medievale. Saggio VI, USM 1629

Il ricorso alla fotogrammetria è stato motivato da due ragioni. Innanzitutto per poter elaborare una accurata documentazione grafica, ma anche per poter immortalare in un modello 3D lo stato di conservazione della struttura, sicuramente non in pessime condizioni, ma con un equilibrio piuttosto precario.

Nome file	N° fotogrammi	Vertici	Facce
Amb26.obj	7	166.085	328.736

Il modello è stato realizzato con circa dodici scatti, dei quali solo sette sono stati accettati ed elaborati da Autodesk 123DCatch. Questo primo test è stato effettuato volutamente con un numero minimo di fotogrammi per valutare l'efficacia della restituzione fotogrammetrica come documentazione grafica di scavo. Considerato che per scattare le foto occorrono pochi minuti e che il risultato ottenuto consente di effettuare misurazioni e fornisce una base per elaborazioni vettoriali, questa tecnica può diventare parte integrante del lavoro dell'archeologo sul campo, anche senza disporre di competenze approfondite.

Inoltre, le condizioni di forte luminosità al momento dell'acquisizione rendono questo modello poco sfruttabile per l'inserimento in un contesto interattivo legato alla comunicazione, come ad esempio un virtual tour. È preferibile infatti che non ci siano forti chiaroscuri per non

compromettere l'illuminazione generale inserendo elementi in forte contrasto con il resto della scena. In altre parole bisogna scattare fotografie in momenti caratterizzati da una luminosità omogenea, ed è facile intuire che questo aspetto possa costituire un vero problema durante le operazioni di scavo archeologico.

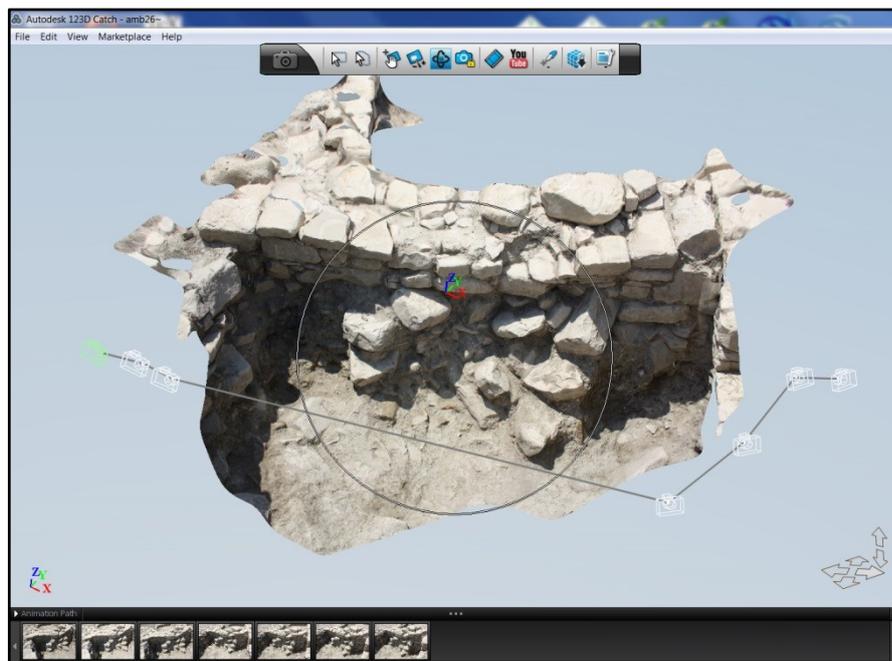


Fig. 3 - Restituzione del modello dell'USM 1629 in Autodesk 123D Catch.



Fig. 4 - USM 1629. Rendering del modello fotogrammetrico.

Il secondo oggetto acquisito con la tecnica fotogrammetrica nel sito di Montecorvino è un'altra struttura muraria, localizzata però nell'area castrense. Si tratta dell'USM 1325, all'interno del Saggio III, identificata come massicciata difensiva lungo il limite meridionale della motta.

La particolare conformazione, la pendenza della motta e la posizione della massicciata, quasi a ridosso del limite meridionale di scavo, rendevano le operazioni di rilievo manuale piuttosto complesse. Grazie alla restituzione fotogrammetrica tridimensionale è stato possibile realizzare dei fotopiani ortorettificati che sono stati sottoposti a procedure di vettorizzazione con software CAD, riducendo i tempi di acquisizione delle informazioni metriche e incrementando la precisione del rilievo.

Nome file	N° fotogrammi	Vertici	Facce
Mcv2.obj	11	42.504	82.243



Fig. 5 - USM 1325. Rendering del modello fotogrammetrico.

In località Faragola, nei pressi di Ascoli Satriano, sorgeva la celebre Villa senatoriale gioiello del gusto e dell'arte della società romana di V secolo d.C. La storia di questo sito affonda le sue radici nella Daunia preromana di IV sec. a.C., ed ha attraversato tutti momenti della storia romana, dalla romanizzazione fino al suo massimo splendore in età tardoantica, per poi venire destrutturata e definitivamente abbandonata nei secoli altomedievali. Grazie ad un esemplare progetto di musealizzazione, la Villa di Faragola oggi è senza dubbio uno dei parchi archeologici più importanti del territorio¹⁶³.

Presso l'area archeologica di Faragola è stata acquisita una sola struttura, pertinente al Saggio VI. Quest'area è stata oggetto di indagini sistematiche a partire dal 2007, e si configura come una porzione della *pars rustica* della villa di V secolo. Tuttavia gli ambienti rinvenuti hanno conosciuto un'intensa fase di attività produttiva nei secoli altomedievali, attestata dalla presenza di spazi e strutture funzionali a diverse attività produttive.

L'evidenza più grande di questa particolare vocazione di quest'area è senza dubbio costituita dalla struttura identificata come US 6180. Si tratta di una fornace localizzata al margine settentrionale del Saggio VI. Malgrado la volta della camera di combustione sia crollata, lo stato di conservazione al momento dello scavo appariva piuttosto buono ed evidenti erano le tracce dell'attività ignea e di argilla cotta (probabilmente ciò che resta della camera).



Fig. 6 - Faragola. Saggio VI, US 6180.

¹⁶³ Volpe, Turchiano 2010.

Per documentare quindi lo stato di conservazione, in condizioni sì ottimali, ma precarie, è stato realizzato un rilievo fotogrammetrico in modo da produrre un documento archeologico scalabile e misurabile.

Nome file	N° fotogrammi	Vertici	Facce
Kiln1m4k.obj	20	701.760	1.402.434



Fig. 7 - Elaborazione nuvola di punti con posizione dei punti di ripresa.



Fig. 8 - Faragola. Fornace (US 6180). Rendering del modello fotogrammetrico.

L'applicazione del metodo fotogrammetrico in un contesto di scavo archeologico si è rivelata piuttosto efficace come tecnica di documentazione. La fotogrammetria risulta indubbiamente speditiva, riducendo decisamente i tempi di rilievo, e consente di produrre elaborati grafici bidimensionali vettoriali fondamentali per lo studio delle evidenze archeologiche e che possono essere dati in consegna alle autorità competenti come documentazione grafica di scavo. In realtà sarebbe auspicabile che i modelli 3D rientrino a pieno titolo nella documentazione affidata alle Soprintendenze e che sia garantito l'accesso ad essi, previa opportuna regolamentazione che ne tuteli la proprietà intellettuale.

Il grande vantaggio di questi documenti digitali sta nel fatto che, come per le fotografie storiche, essi rappresentano oggetti reali in un determinato momento, e, nel caso di uno scavo archeologico, questo momento spesso coincide con il momento di migliore conservazione. Condividere questi dati è dunque fondamentale per favorire lo studio di questi oggetti e quindi garantirne e diffonderne la conoscenza.

II.1.4.2 Reperti archeologici

Anche nel caso del rilievo di oggetti di più piccole dimensioni, la fotogrammetria si è rivelata una soluzione efficace per l'acquisizione di informazioni metriche, morfologiche e cromatiche. Le prime prove sono state effettuate su alcuni oggetti conservati presso il Museo Archeologico di Lucera. Si tratta di due casi singolari per i quali i modelli tridimensionali fotogrammetrici si sono rivelati degli ottimi strumenti di analisi.

Il primo caso è rappresentato dal calco di un'iscrizione funeraria in lingua araba rinvenuta nei pressi di una delle porte della città.

Il modello tridimensionale, composto da circa 55mila facce triangolari, è caratterizzato da una texture altamente dettagliata. L'oggetto è stato ripreso da posizione piuttosto ravvicinata e con una luce che mette in risalto il chiaroscuro delle parti incise; in tale maniera, la superficie 3D del calco rende facilmente leggibili i caratteri arabi e altri particolari segni tracciati dal lapicida. Il secondo caso riguarda un particolare elmo in ferro caratterizzato da vicende alquanto bizzarre circa il suo rinvenimento. Questo oggetto sembra essere stato ritrovato infatti in una sorta di butto, praticamente intatto ed ignorato da tutti, a tal punto da mettere in discussione la sua autenticità¹⁶⁴.

¹⁶⁴ L'elmo di Lucera è stato oggetto di studio di una tesi di laurea triennale in Archeologia Medievale discussa dal Dott. Michele Giardino nell'A.A. 2012/2013 dal titolo "*Analisi archeologica di un elmo conservato al Museo di Lucera*", presso il Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università degli Studi di Foggia.

L'elmo è ben conservato, ma così fragile da non poter essere separato dal suo supporto, né tantomeno maneggiato per ricavare misure. Tramite l'interpolazione dei numerosi fotogrammi è stato realizzato un modello tridimensionale ben dettagliato che non solo può essere usato come strumento per effettuare misurazioni, ma permette anche di cogliere dettagli sulla fattura di questo discusso reperto. È il caso delle tracce di dipintura che sono state osservate sulla parte posteriore ad esempio: il ferro risulta maggiormente ossidato in corrispondenza di bande larghe regolari, segno della presenza di pigmenti utilizzati per la colorazione dell'elmo.

Non è questa la sede per rispondere alle questioni archeologiche su questo elemento d'armatura, ma l'analisi della fattura, della tipologia e anche delle tracce di decorazione appena citate, sembrerebbero scongiurare l'ipotesi del "falso" e confermare la datazione al XIII secolo.

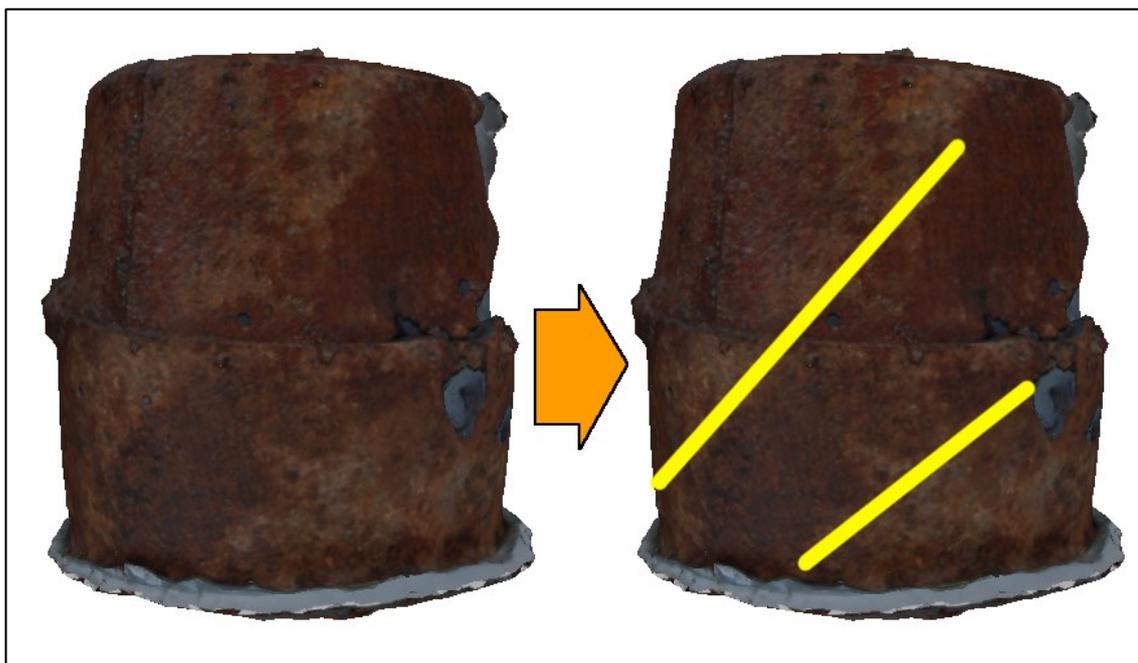


Fig. 9 - Elmo di Lucera. Dettaglio delle tracce di decorazione.

Dopo l'esperienza del Museo di Lucera, un'altra serie di reperti è stata sottoposta ad elaborazione fotogrammetrica. Si tratta di ceramiche di epoca medievale provenienti dal Castello di Deliceto. L'idea era quella di inserire una galleria tridimensionale di reperti all'interno di un'app per dispositivi mobile chiamata "Il Castello di Deliceto", realizzata dal team Hericool Digitools¹⁶⁵. Si tratta di una guida interattiva per i visitatori reali del Castello, in cui un personaggio storico realmente esistito, Antonio Piccolomini d'Aragona, primo Marchese

¹⁶⁵ Vincitore del bando Bollenti Spiriti – Principi Attivi 2012 della Regione Puglia per le Politiche Giovanili. <http://bollentispiriti.regione.puglia.it/> [ultimo accesso: 18/01/2016].

di Deliceto, racconta le vicende che hanno portato gli Aragonesi a trionfare sui nemici Angioini e illustra le parti del mastio agli utenti.

Alla fine della “visita guidata” è possibile sfogliare una piccola collezione di ceramiche corredate di descrizione crono-tipologica e, laddove possibile, di ricostruzione dell’intera forma vascolare.

La galleria comprende dieci frammenti ceramici ritenuti maggiormente significativi per caratteristiche tipologiche.

Id.	Descrizione	Cronologia
01	Fondo di forma aperta con decorazione geometrica incisa. Uso mensa	Metà XIII – inizi XIV sec.
02	Piatto da mensa con decorazione vegetale stilizzata	XIV sec.
03	Fondo di forma aperta con decorazione geometrica. Uso mensa	Metà XIII – inizi XIV sec.
04	Brocca con decorazione a bugne	XIV sec.
05	Contenitore da dispensa con decorazione a linee sottili	XIII – inizi XIV sec.
06	Fondo di forma aperta con decorazione vegetale. Uso mensa	Metà XIII – inizi XIV sec.
07	Ciotola emisferica. Uso mensa	XIII sec.
08	Fondo di forma aperta con decorazione geometrica. Uso mensa	Metà XIII – inizi XIV sec.
09	Albarello. Contenitore di spezie e medicinali. Uso farmaceutico.	Fine XIII – inizi XIV sec.
10	Ciotola emisferica. Uso mensa.	XIII sec.

Ancora una volta è possibile affermare che i documenti prodotti tramite tecniche come la fotogrammetria, se opportunamente elaborati, possono costituire un ottimo veicolo di comunicazione culturale e favorire la diffusione di conoscenza verso un pubblico di tutte le età.



Fig. 10 - Il Castello di Deliceto. Modello fotogrammetrico di ceramica all'interno di un'app per mobile.

II.2. Laser Scanning

La parola *laser* è un acronimo che sta per *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, e dunque sta a descrivere un'amplificazione della radiazione luminosa tramite un processo di emissione stimolata, ovvero di un'alterazione provocata dalla radiazione elettromagnetica. Un raggio laser è un fascio di luce caratterizzato da diverse proprietà fisiche quali:

- **Direzionalità:** il raggio può avere un'unica direzione a differenza delle altre radiazioni;
- **Monocromaticità:** il raggio laser appare di un solo colore;
- **Brillanza:** la luminosità del laser è notevolmente aumentata rispetto alle altre radiazioni grazie alla capacità di concentrare un'elevatissima quantità di fotoni in porzioni di spazio estremamente ridotte;
- **Coerenza:** i fotoni non vengono emessi in maniera casuale, ma hanno la stessa fase.

È grazie a queste caratteristiche che i laser si prestano a una variegata gamma di applicazioni e si differenziano in base alla loro configurazione. In particolare la grandezza fisica che determina la tipologia di laser è la potenza (unità di misura Watt) e proprio in base a un scala di valori in microWatt (mW) è stata redatta la relativa classificazione, con la funzione di determinare anche la pericolosità della radiazione:

Classe	Potenza	Descrizione della pericolosità
1	<0.04 mW	Laser totalmente innocui
2	<1 mW	Non arrecano danni alla vista
3a	<5 mW	Arrecano danni alla vista
3b	Tra 5 mW e 500 mW	Arrecano danni alla vista
4	> 500 mW	È pericolosa anche l'esposizione

La tecnologia laser¹⁶⁶ è ormai una consolidata realtà in diversi ambiti applicativi. Dispositivi laser sono ormai comunemente utilizzati in ambito medico per applicazioni oftalmiche o di microchirurgia, nell'ambito delle telecomunicazioni basate su fibre ottiche, nell'industria metallurgica per il taglio di precisione di materiale, nell'informatica o ancora nella metrologia per il rilievo di precisione.

¹⁶⁶ Bertolotti 2000.

La versatilità di questa tecnologia è dovuta alle numerose tipologie esistenti di laser, che si differenziano in base alle loro caratteristiche fisiche relative alla potenza o alla lunghezza di fase. Per comprendere appieno le differenti configurazioni che determinano il funzionamento di un dispositivo laser è necessario soffermarsi su alcuni concetti chiave.

II.2.1 Laser scanner: categorie e potenzialità.

Le proprietà fisiche del laser sono state sfruttate anche nel campo della metrologia¹⁶⁷. I progressi tecnologici nel settore hanno permesso di utilizzare strumenti sempre più potenti per l'acquisizione di informazioni spaziali siano esse pertinenti a contesti topografici ampi o concentrati sul rilievo di dettaglio di particolari di dimensioni non eccessive. La possibilità di registrare dati spaziali con un elevato grado di precisione in tempi relativamente contenuti è stata un'ulteriore ragione che ha favorito la diffusione di tali strumenti in tutti i settori in qualche modo legati all'ambito topografico e dunque anche nella pratica del rilievo archeologico. Ampiamente consolidata è la tecnica di rilievo indiretto tramite distanziometri e stazioni totali che utilizzano il laser come mezzo di misurazione, e nell'ultimo decennio è stato dato spazio ad una numerosa serie di sperimentazioni di particolari macchine per il rilievo di precisione, i laser scanner. Si tratta di strumenti che sfruttano le proprietà del laser per l'acquisizione in tre dimensioni di quantità notevoli di punti in uno spazio reale.

Va detto che nella pratica del rilievo tramite scansione tridimensionale non esiste soltanto la categoria degli scanner laser, ma una serie di dispositivi che sfruttano tecnologie differenti come i sistemi conoscopici o quelli a luce strutturata, senza considerare l'ambito delle scansioni effettuate tramite tecniche fotogrammetriche. Il variegato panorama di strumenti ha dato adito ad una serie di confronti sulle tecnologie più versatili in campo archeologico, grazie ai quali sono state indagate le innovazioni nella metodologia del rilievo topografico e della gestione dei dati alla luce di vantaggi e svantaggi di ogni strumentazione. Non sono mancate prese di posizione anche nette nei confronti dell'introduzione di dispositivi di scansione 3D all'interno delle pratiche e delle metodologie proprie della ricerca archeologica: ad una fase di "entusiasmo" per simili sistemi¹⁶⁸ è stato affiancato un momento di riflessione critica specialmente sulla gestione dei dati da essi prodotti che ha portato in alcuni casi a sconsigliarne l'uso in luogo di sistemi di documentazione tradizionali¹⁶⁹. Tuttavia sono le posizioni più equilibrate quelle che trovano maggiore riscontro fra le équipes di ricerca: non esistono strumenti

¹⁶⁷ Migliari 2001.

¹⁶⁸ Peripimeno 2006.

¹⁶⁹ Fiorini 2008.

migliori di altri, ma più *adatti* di altri. Vale a dire che la scelta della tecnica di rilevamento non può assolutamente prescindere dal contesto in cui si opera e dalle caratteristiche morfologiche dell'oggetto del rilievo¹⁷⁰. Per descrivere i numerosi dettagli di un reperto particolare, come una statua o un utensile di uso quotidiano, può essere utile ricorrere ad uno scanner laser, ma per documentare un frammento di una forma ceramica, un disegno eseguito con gli strumenti tradizionali può essere molto più funzionale rispetto ad una elaborazione di dati tridimensionali¹⁷¹.

II.2.2 Descrizione della tecnologia

Così come la pratica del 3D scanning è costituita da un gruppo di tecnologie differenti, quella del laser scanning è una famiglia di sistemi che sebbene utilizzino dei sensori attivi per l'acquisizione informazioni funzionano in base a meccanismi che consentono di produrre risultati diversi.

I sensori dei laser scanner possono essere essenzialmente di due tipi: a triangolazione e basati sulla misura della distanza. Gli scanner dotati di sensori a triangolazione si differenziano in base alla modalità di misurazione, che può essere puntuale (singolo spot), su sequenza di punti (a lama di luce) o per area (a lama di luce in movimento o a luce strutturata)¹⁷². In questi dispositivi la sorgente del raggio laser e il sensore hanno posizioni distinte e costituiscono i due punti noti per la misura trigonometrica. Poiché la distanza fra questi due componenti rientra nello stesso ordine di grandezza della distanza fra sorgente e superficie da misurare¹⁷³, i sistemi a triangolazione vengono in genere usati per l'acquisizione di piccoli volumi e possono effettuare riprese con una risoluzione di scansione nell'ordine del micron. Per tale ragione nel campo dei Beni Culturali trovano largo impiego nelle operazioni di rilievo finalizzate ad interventi conservativi o di restauro, poiché consentono di ottenere risultati finali caratterizzati da un elevato *level of detail* (LOD) e quindi di mappare perfino fenomeni di micro degrado.

L'altra categoria di sensori è quella basata sulla misura della distanza, o del tempo di volo, e sono indicati per il rilievo di oggetti molto grandi. In questo caso la sorgente laser e il sensore occupano la stessa posizione e la misurazione avviene in maniera molto simile a quella di una comune stazione totale: traguardata la superficie dell'oggetto e conoscendo le distanze angolari, la posizione di un punto viene acquisita in base al calcolo del tempo intercorso fra l'invio e la

¹⁷⁰ Medri 2003.

¹⁷¹ De Felice et alii 2012.

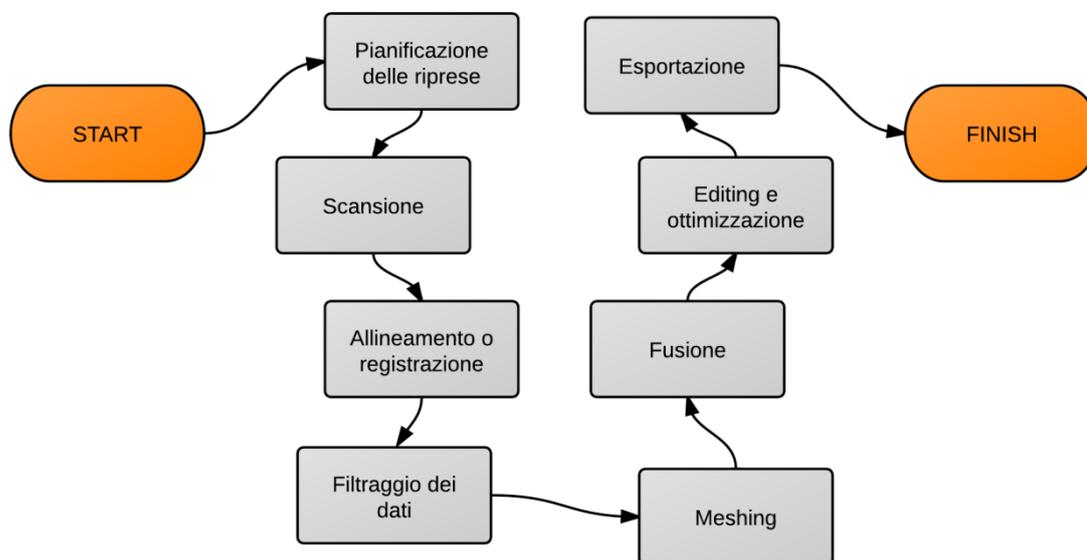
¹⁷² Guidi et alii 2010.

¹⁷³ Guidi et alii 2010, pag. 95.

ricezione del raggio laser. Questi scanner sono in grado di rilevare enormi quantità di punti¹⁷⁴ con una risoluzione di scansione nell'ordine del millimetro.

II.2.3 Procedura di scansione

Sebbene le tecnologie di scansione possano essere caratterizzate da configurazioni hardware differenti, il *workflow* operativo per l'acquisizione tridimensionale di oggetti reali presenta una struttura analoga a prescindere dal dispositivo utilizzato. Il processo di scansione è infatti scandito da fasi distinte che includono il susseguirsi di numerose azioni: dalla pianificazione e dall'esecuzione delle riprese fino alle operazioni di editing ed ottimizzazione dei modelli finali¹⁷⁵.



Pianificare le riprese è l'operazione preliminare alla fase di scansione. È il momento in cui si analizza l'oggetto del rilievo dal punto di vista topografico e morfologico. In questa fase si determina il numero di scansioni da effettuare e, nel caso di rilievo di oggetti di grandi dimensioni come edifici, siti archeologici o grandi monumenti, si stabiliscono i punti di ripresa e la disposizione dei target per l'allineamento delle nuvole di punti.

La fase di scansione è quella parte del processo in cui entra in funzione lo scanner. Le superfici toccate dal raggio laser vengono acquisite sotto forma di nuvola di punti in base a particolari opzioni modificate dall'utente, in particolare il passo di campionamento. Solitamente i dispositivi di scansione sono dotati di fotocamera per l'acquisizione fotografica della scena, in modo da attribuire informazioni cromatiche RGB a ciascun punto della nuvola. Il risultato di

¹⁷⁴ I modelli a tempo di volo più recenti sono in grado di rilevare anche 500000 punti al secondo.

¹⁷⁵ Scopigno 2006.

una scansione prende il nome di range map e può essere gestito tramite nuvola di punti o superficie triangolata (mesh). Ogni punto o vertice acquisito è caratterizzato da una serie di valori numerici: le coordinate spaziali X, Y, Z, le informazioni cromatiche R, G, B, e nel caso dei laser scanner TOF anche dal grado di riflettanza, per un totale di 7 valori. La natura di queste informazioni rende dunque le *range map* molto complesse dal punto di vista geometrico e numerico, e per tale ragione l'insieme dei dati necessita di apposite procedure di filtraggio per ridurre la *pesantezza* ed eliminare le zone ridondanti. Infatti i dispositivi di scansione possono rilevare superfici indesiderate oppure generare errori dovuti ad una molteplicità di disturbi sia strumentali che causati da particolari condizioni atmosferiche, igrometriche o di illuminazione. Tanto le nuvole di punti quanto le superfici triangolari da esse generate vanno sottoposte all'operazione di allineamento o registrazione. I software per la gestione di dati da laser scanner offrono diverse possibilità sia manuali che automatiche per posizionare le singole scansioni in un unico sistema di coordinate. L'allineamento avviene facendo collimare coppie di punti in comune fra due o più scansioni che possono essere selezionati dall'utente oppure possono essere particolari rappresentazioni vettoriali di punti noti, i target, fissati prima della ripresa in punti strategici della scena, che vengono individuati come entità geometriche dallo scanner.

II.2.4 Elaborazione dei dati: il Meshing

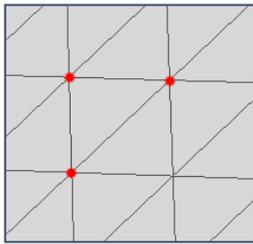
Gli algoritmi di allineamento consentono di rototraslare le singole range map in un sistema di coordinate unico siano esse sotto forma di nuvola di punti o di mesh. Pertanto questo processo può avvenire prima o dopo la conversione del dato spaziale da un insieme di punti ad una superficie poligonale. Questo passaggio di stato prende il nome di *meshing* ed è il risultato dell'applicazione di algoritmi basati su formule geometriche come il diagramma di Voronoi o la triangolazione di Delaunay¹⁷⁶.

Il diagramma di Voronoi rappresenta un reticolo nel quale i poligoni sono costruiti grazie a delle linee che bisezionano le congiungenti di due punti con i punti che li circondano.

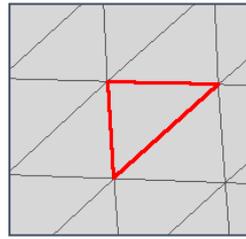
La triangolazione di Delaunay invece prevede la proiezione di tutti i punti su un piano bidimensionale e la loro congiunzione in base alla distanza minima.

Le mesh sono set di poligoni che nel campo della modellazione solida e, più in generale della computer graphics, definiscono oggetti poliedrici. Sono formate da una connessione ordinata di primitive geometriche quali vertici, edge (spigoli) e facce poligonali o triangolari.

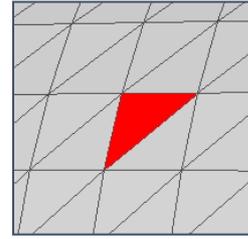
¹⁷⁶ Guidi et alii 2010.



Vertici



Edge



Faccia

Quest'ultima categoria è la modalità maggiormente diffusa per gestire le informazioni da laser scanner per le proprietà geometriche dei triangoli. Il triangolo infatti è sempre planare, dunque poco deformabile e ben si rapporta alle capacità di calcolo ed elaborazione delle schede grafiche dei computer¹⁷⁷. Una mesh è caratterizzata da una serie di attributi numerici che si riferiscono alle coordinate in tre dimensioni dei vertici e alle informazioni cromatiche RGB di ciascun vertice e di ciascuna faccia, inoltre ogni faccia deve essere disposta secondo una direzione che viene definita dalla *normale*, un vettore tridimensionale perpendicolare alla superficie. La quantità di informazioni presenti in una mesh pone dinanzi a non pochi problemi per la gestione di dati molto complessi come quelli da laser scanner. Per questo motivo le mesh possono essere sottoposte ad un continuo editing per decimare il numero di entità geometriche o per ottimizzarle applicando specifici filtri di *smoothing*, con l'obiettivo di rendere più fluido l'andamento della superficie e ridurre le porzioni ruvide, causate da possibili errori di calcolo o di scansione. È molto frequente che compaiano lacune, chiamate *holes* o buchi, dovute ad insufficienza di punti spaziali e dunque all'impossibilità da parte dell'elaboratore di interpolare le informazioni geometriche; a tal proposito esistono comandi per riempire questi vuoti e cercare di recuperare l'assenza di dati.

II.2.4.1 Fusione delle mesh

L'output di una scansione laser costituisce dunque una rappresentazione tridimensionale di un oggetto da un unico punto di vista. La copertura integrale della superficie dell'oggetto richiede dunque una moltiplicazione dei punti di ripresa, e quindi delle scansioni, in un numero adeguato. Il procedimento sinora descritto riguarda la gestione e il trattamento dei dati geometrici relativi alle singole scansioni e la conversione di ciascuna nuvola di punti in superficie triangolare. Un set di mesh opportunamente allineate non è sufficiente a

¹⁷⁷ Scateni et alii 2005.

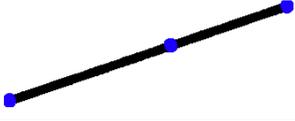
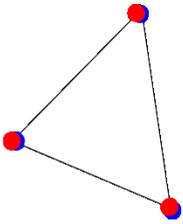
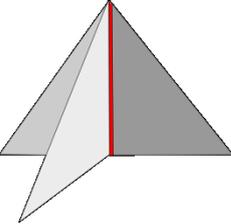
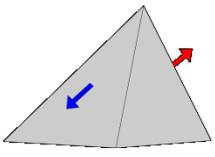
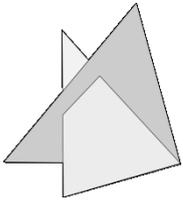
rappresentare un oggetto, poiché le zone di sovrapposizione fra le diverse superfici costituiscono un problema ai fini della correttezza formale del modello. Per tale ragione bisogna ricorrere a specifici algoritmi che consentono di fondere le diverse componenti in un corpo poliedrico unico. La fusione è un procedimento di *ricostruzione* dell'apparato topologico definito dalle singole mesh, detto anche *re-meshing*, che consente di sintetizzare tutte le informazioni geometriche in un'unica rappresentazione tridimensionale dell'oggetto priva di informazioni ridondanti e nella quale non restano elementi delle riprese originali. Si tratta di operazioni interamente governate dall'elaboratore, pertanto all'utente non è data la possibilità di intervenire in tempo reale sulla mesh, ma soltanto al termine del processo di fusione.

Gli algoritmi di fusione si basano su specifici metodi volumetrici. Il set di mesh viene inserito all'interno di una griglia tridimensionale ripartita in celle cubiche. L'unità minima della griglia prende il nome di *voxel*, volumetric picture element, che può essere definito come un'evoluzione cubica del pixel e rappresenta l'unità di misura per le immagini 3D. Vale a dire che come i valori in pixel dei lati di una immagine raster 2D definiscono la loro dimensione, allo stesso modo i voxel determinano la dimensione di un oggetto poliedrico¹⁷⁸.

Le mesh allineate dunque *passano* all'interno delle celle e, per ciascuna di esse, viene calcolato un campo di distanze che partono dalle facce del cubo fino a toccare quelle triangolari dell'oggetto. La superficie finale viene definita in base a valori medi all'interno del campo di distanze e la sua densità di informazioni aumenta in un rapporto di proporzionalità diretta con il numero di voxel di cui è composta la griglia: più alto è questo valore e più la mesh apparirà definita. Come si vedrà nei prossimi capitoli, i voxel sono stati utilizzati nell'ambito di questo progetto anche per ricreare in alcuni casi le volumetrie di unità stratigrafiche.

Per quanto gli algoritmi di remeshing siano studiati per generare modelli corretti da un punto di vista topologico, il set di mesh allineate può avere a volte caratteristiche tali da favorire lo sviluppo di anomalie che si concretizzano graficamente con la comparsa di elementi geometrici non desiderati. Questi rientrano nella categoria della geometria non-manifold e possono essere rimossi dai software preposti tramite comandi utili ad individuare particolari anomalie nella geometria dei triangoli e nelle modalità in cui questi sono connessi fra loro. La tabella riportata di seguito descrive quali sono gli errori topologici più comuni in una mesh triangolare:

¹⁷⁸ Scateni et alii 2005.

Triangolo degenere	Due o tre vertici del triangolo occupano la stessa posizione. Il triangolo appare come un segmento o come un punto	
Triangoli duplicati	Due triangoli hanno gli stessi vertici	
Faccia non-manifold	Più di due facce condividono lo stesso edge	
Facce instabili	Due facce adiacenti hanno le normali invertite	
Facce intersecanti	Alcune facce si intersecano con altre	

Una volta apportate le correzioni necessarie per rimuovere gli eventuali errori topologici, il modello 3D può essere sottoposto ad ulteriori modifiche di ottimizzazione. La quantità di informazioni geometriche presenti potrebbe risultare particolarmente ostica ai fini dell'esportazione dell'oggetto verso altre piattaforme, come ad esempio le soluzioni per la visualizzazione interattiva in real-time o sul web. È impensabile infatti poter inserire oggetti tridimensionali così complessi come quelli realizzati con laser scanner in un'applicazione interattiva realizzata con motori di sviluppo come OGRE¹⁷⁹ o Unity¹⁸⁰. Questi programmi pongono dei veri e propri limiti al numero di primitive geometriche che un singolo oggetto può avere al momento dell'implementazione in una scena 3D, ad esempio in Unity il numero di

¹⁷⁹ OGRE, acronimo per Object-Oriented Graphics Rendering Engine, è un motore di sviluppo libero per applicazioni 3D basato sul concetto di programmazione ad oggetti- (<http://www.ogre3d.org>).

¹⁸⁰ Unity rientra nella categoria dei game engine, motori di sviluppo particolarmente indicati per la creazione di giochi tridimensionali interattivi- (<http://unity3d.com/unity/>).

vertici non può superare le 65000 unità. Si tratta di un ostacolo di non poco conto se la scansione laser di un oggetto è finalizzata all'utilizzo del modello in un ambiente dalle caratteristiche simili. Come abbiamo visto, una mesh può essere semplificata tramite procedure di decimazione delle facce triangolari, in modo da ridurre, anche sensibilmente, il numero di facce, edge e vertici di un corpo solido. Una eccessiva semplificazione tuttavia può compromettere la resa grafica della mesh, poiché riducendo la quantità delle entità geometriche viene ridotta anche la quantità delle informazioni cromatiche, privando di dettaglio la texture del modello. Esistono strumenti in grado di trasferire le informazioni cromatiche dalle mesh originali su copie a bassa densità di poligoni, sfruttando le procedure di *baking texture* in Blender.

La finalità di questo trattamento è quella di preparare modelli realizzati con il laser scanner, e dunque ricchi di informazioni geometriche, per l'esportazione verso una molteplicità di piattaforme in base al tipo di fruizione che si intende proporre. Queste procedure sono state ampiamente utilizzate nell'ambito di questo progetto, pertanto si rimanda la descrizione di tutti i loro passaggi al Capitolo IV. Tuttavia è utile soffermarsi sul concetto di texture e sulle modalità di gestione del colore di mesh triangolari realizzate con laser scanner.

II.2.4.2 La gestione delle informazioni cromatiche

I dispositivi di scansione tridimensionale possono essere coadiuvati da fotocamere per acquisire informazioni cromatiche oltre alle coordinate spaziali della porzione di oggetto rilevata. La gestione del colore può variare in base al tipo di output prodotto dal sistema utilizzato. Se lo scanner produce nuvole di punti, le informazioni RGB saranno assegnate a ciascun vertice, pertanto saranno raggruppate sotto l'insieme denominato *vertex color*. In seguito ai processi di meshing e a opportuni trattamenti, il vertex color può essere esteso anche alle facce triangolari. Altri sistemi di scansioni, come ad esempio il David, generano direttamente una superficie triangolare priva di colore, ma con la possibilità di proiettare su di essa una immagine bidimensionale raster che prende il nome di *texture*.

L'applicazione di una texture prende il nome di *texture mapping*¹⁸¹ e consiste nel processo di attribuzione di informazioni relative a come il modello 3D deve apparire in fase di *rendering*, ossia di resa grafica. Il modello viene associato ad uno *shader*, cioè un insieme di istruzioni che indica l'aspetto che deve assumere il materiale in fase di resa grafica.

Tutti i software di editing 3D hanno una componente interna chiamata *motore di rendering*, dotata di specifiche capacità di restituzione visiva in grado di gestire le proprietà dei materiali come colore, opacità, illuminazione o altri parametri, ciascuno dei quali costituisce un *canale*.

¹⁸¹ Heckbert 1989.

Esistono tipi differenti di texture¹⁸². Alcune di esse infatti sono ripetibili e si dispongono in maniera regolare giustapponendosi una accanto all'altra fin quando non coprono l'intero corpo. Sono utilizzate per definire oggetti che non hanno particolari singolarità da mettere in evidenza. Viceversa le texture *ad hoc* sono studiate per conferire particolari dettagli in precisi punti del solido tridimensionale, sia esso un poliedro regolare o una mesh triangolare.

L'applicazione di una texture al modello tridimensionale avviene mediante proiezione, vale a dire tramite una corrispondenza fra i pixel dell'immagine raster e i punti della superficie. Le principali modalità di proiezione sono tre:

- **proiezione planare**: la texture è proiettata sull'oggetto da un unico punto di vista;
- **proiezione cilindrica**: l'immagine si avvolge lungo un asse intorno all'oggetto;
- **proiezione cubica**: in base all'orientamento delle facce la texture si adatta a seconda della proiezione planare più adeguata fra le tre XY, XZ e YZ.

Tuttavia queste proiezioni possono non essere sufficienti a conferire alla mesh l'aspetto desiderato. Per tale ragione esistono delle proiezioni che possono essere definite dall'utente o anche in maniera automatica (nel caso dei software per la gestione di mesh da laser scanner). Più che di proiezioni si tratta di sub-proiezioni e sono definite in base a degli edge che sono selezionati e utilizzati come *seam*, cioè come cuciture. L'associazione della texture alla superficie avviene tramite assegnazione di coordinate cartesiane che, per differenziarsi dalle coordinate del sistema di riferimento locale X,Y,Z prendono il nome di U (ascisse) e V (ordinate).

Le texture non costituiscono l'unica categoria di immagine raster da applicare ai modelli 3D. È possibile ricavare dalle superfici stesse delle immagini per la resa di effetti grafici come spessori, zone di rilievo o di ruvidezza, o ancora particolari condizioni di illuminazione che aumentano la complessità dell'oggetto senza modificarne la composizione geometrica, come nel caso del *bump mapping* e del *normal mapping*, oppure agendo direttamente su di essa (*displacement map*).

Le immagini raster per la mappatura possono essere di diverso formato in base alle finalità previste. Quelli più comuni sono i JPEG, i PNG, i TGA e i TIFF, ma possono essere utilizzati anche formati RAW o HDR in base alle necessità o al tipo di resa previsto. Formati come il JPEG fanno parte della categoria *lossy*, ossia realizzati tramite algoritmo di compressione con la conseguenza di una perdita di informazioni che ne compromette la qualità. I formati TIFF, PNG e TGA invece possono avere una compressione del tipo *lossless* e dunque non subiscono

¹⁸² Limoncelli 2012.

alcuna perdita. Questi formati inoltre, a differenza dei JPEG, possono gestire il canale *alpha* per la conservazione dell'informazione sulla trasparenza.

II.3. Reverse Modeling per i Beni Culturali.

Il procedimento che dall'acquisizione delle informazioni costitutive di un oggetto, come forma e colore, porta alla creazione di un modello tridimensionale digitale rientra in una particolare categoria della Computer Graphics detta Reverse Modeling, espressione che può essere tradotta come modellazione inversa. Questo tipo di applicazione ha trovato largo uso nell'ambito del design e della prototipazione industriale finalizzati alla riproduzione di particolari componenti o alla modifica di essi (in tal caso si preferisce parlare di *Reverse Engineering*).

Nel campo dei Beni Culturali le nuove tecnologie di acquisizione tridimensionale sono sempre più utilizzate per il rilievo di complessi architettonici, aree di scavo archeologico o manufatti come statue, dipinti, affreschi, reperti di particolare interesse¹⁸³. In particolare nell'ambito della ricerca archeologica l'ingresso di applicazioni di laser scanner o di fotogrammetria per la restituzione di modelli tridimensionali ha modificato e, in un certo senso, arricchito le pratiche di rilievo e disegno¹⁸⁴.

Il rilievo non è altro che un processo in cui sono registrate tutte le operazioni che conducono alla rappresentazione grafica dell'oggetto studiato. In altre parole il rilievo è *“un'esperienza scientifica e, come tale, gli si attribuisce il carattere essenziale della ripetibilità, fornendo, a chiunque sia interessato, tutti gli elementi di verifica, dall'impostazione, con le sue motivazioni, ai risultati attesi ed effettivamente conseguiti”*¹⁸⁵.

Il rilievo archeologico ha una duplice natura: esso è rappresentazione oggettiva e, allo stesso tempo, interpretazione soggettiva della realtà. A. Carandini sostiene che *“il disegno archeologico non è una rappresentazione più o meno realistica della realtà, ma una raffigurazione più o meno realistica della realtà interpretata nelle sue componenti e nelle sue relazioni fra di esse”*¹⁸⁶. Da questa considerazione emerge, quindi, che il disegno archeologico ha in sé una valenza scientifica, più che artistica o documentaria, ed esso deve conformarsi alla lettura della stratigrafia. Proprio per queste caratteristiche il rilievo archeologico, come afferma Maura Medri, differisce da altri tipi di rilievo per due motivi: uno di ordine materiale, che

¹⁸³ Peloso 2005.

¹⁸⁴ Semeraro 2009.

¹⁸⁵ Migliari 2001.

¹⁸⁶ Carandini 2000, p. 99.

riguarda la varietà degli oggetti¹⁸⁷ e la conoscenza degli stessi, e l'altro, di ordine concettuale, che riguarda invece la scelta del metodo e delle tecniche idonei alle caratteristiche dell'oggetto da rilevare, al fine di rendere il disegno fondamentale per il raffronto tra documentazione archeologica e interpretazione storica¹⁸⁸. Il disegno archeologico riveste un'importanza notevole fra le attività di documentazione, perché costituisce la base metodologicamente corretta dell'illustrazione archeologica, intesa come *“il luogo dove la ricerca si intreccia alla buona divulgazione, dove si esercita al meglio la capacità evocativa dell'archeologia”*¹⁸⁹.

Nella pratica del rilievo archeologico gli strumenti di acquisizione consentono di *“valutare la correttezza del dato acquisito per raffinare l'interpretazione del Bene e la qualità della sua rappresentazione”*¹⁹⁰.

Sono proprio le finalità divulgative quelle che rendono un modello tridimensionale particolarmente funzionale in archeologia: esso rappresenta un set complesso di informazioni che è una sintesi interpretativa dell'oggetto rilevato e allo stesso tempo una base di confronto che può essere condivisa da studiosi afferenti anche ad aree disciplinari diverse o essere indirizzata, come strumento di fruizione verso un pubblico ampio. Le caratteristiche di modelli digitali, infatti, rendono le tecniche di rilievo tridimensionale particolarmente funzionali per una molteplicità di applicazioni finalizzate alla catalogazione o alla fruizione di dati provenienti dai più diversi contesti archeologici. Fra le attività più comuni ci sono quelle relative all'archiviazione di modelli 3D, alla documentazione e al monitoraggio delle fasi di restauro e alla fruizione di beni archeologici, siano essi scavi, reperti o particolari contesti di difficile accesso (ambienti ipogei o rupestri, ad esempio).

II.3.1 Due applicazioni interattive a confronto. Soluzioni per la comunicazione del Castello di Deliceto.

Lo studio delle architetture medievali di Capitanata è una delle più importanti attività condotte dagli archeologi dell'Università di Foggia. In particolare, negli ultimi anni è iniziato un progetto di ricerca volto a studiare il patrimonio architettonico medievale di Deliceto, un villaggio fortificato fondato nell'XI secolo con un importante castello edificato dai Normanni, ma totalmente modificato man mano che le dominazioni europee si alternavano in Italia meridionale¹⁹¹

¹⁸⁷ L'archeologo rilevatore si trova a dover disegnare oggetti di diversa natura: edifici, strati, ossa, reperti, ecc.

¹⁸⁸ Medri 2003.

¹⁸⁹ Manacorda 2003, prefazione a M. Medri, *Manuale di rilievo archeologico*.

¹⁹⁰ Guidi et alii 2010, p. 337.

¹⁹¹ Favia, De Venuto 2011.

Dopo aver raccolto informazioni archeologiche e storiche sul complesso castrense, sono state esaminate soluzioni per la comunicazione digitale sia con la comunità locale che con il grande pubblico in generale, con il risultato di aver prodotto due applicazioni interattive differenti.

La prima di queste, History HUB_Deliceto, finanziata dal Comune di Deliceto, è stata realizzata nell'ambito del *Progetto di ricerca e di analisi scientifica, rilievo tecnico- archeologico e schedatura dell'edilizia storica e degli apparati murari del patrimonio castrale daunio, con particolare riguardo al Castello di Deliceto (Fg)*, condotto dall' Area di Archeologia dell' Università di Foggia. Il progetto è nato con l'obiettivo di analizzare e studiare il patrimonio architettonico del castello di Deliceto e di far confluire tutte le informazioni storiche e archeologiche acquisite in un ambiente virtuale costruito sulla base di dati topografici ottenuti tramite l'uso integrato di tecniche di rilievo strumentale di precisione. L'ambiente interattivo, liberamente scaricabile dal sito del Comune di Deliceto, è stato concepito con la finalità di favorire una fruizione in remoto del castello. L'utente può dunque effettuare una visita del complesso e apprendere sia la storia dell'edificio che le funzioni delle sue strutture dedotte dallo studio archeologico.

History HUB Deliceto è una piattaforma di realtà virtuale per la visita in remoto del castello normanno-svevo di Deliceto.

La realtà virtuale è una tecnica piuttosto utile nell'ambito della comunicazione culturale, soprattutto se intesa come strumento che vada incontro a necessità legate sia al processamento che alla diffusione di dati storico-archeologici.

Il castello rappresenta il primo livello di conoscenza, in cui gli utenti possono “camminare” all'interno della scena virtuale con un visuale in prima persona e rivivere così una visita reale al complesso, accedendo, tramite un sistema di punti di interesse, ad informazioni storiche e descrizione delle strutture.

L'ambientazione è caratterizzata da sollecitazioni di particolari sensi come la vista e l'udito, in modo da coinvolgere gli utenti e dunque stimolare la memoria e l'autoapprendimento, mentre l'illuminazione stessa della scena virtuale è stata pensata in modo da enfatizzare quegli elementi architettonici, come volte, finestre, feritoie, pavimenti) che più di altri catturano l'attenzione dei visitatori¹⁹².

Fra i vantaggi apportati dall'uso della realtà virtuale va assolutamente indicato quello di permettere in un certo senso di fruire di un bene patrimoniale come il castello anche a persone fisicamente impossibilitate a raggiungere luoghi simili. In particolare presso il castello di Deliceto, alcune aree sono momentaneamente escluse dai regolari percorsi di visita perché non

¹⁹² Baldassarro 2012

ancora opportunamente attrezzate. È il caso degli ambienti sotterranei della “*Torre del Parasinno*”, adibiti alla custodia di prigionieri fino al secolo XVIII, particolarmente stretti e dotati di ripidi accessi.

Proprio questi ambienti sono stati pertanto oggetto di rilievi tridimensionali con laser scanner. La scelta di questa tecnica di rilievo è stata determinata in base a due esigenze principali: in primo luogo quella di aggiornare la documentazione grafica esistente della Torre e, successivamente, quella di sfruttare l’elevato livello di dettaglio delle nuvole di punti per ricreare un ambiente virtuale completamente visitabile.

Il rilievo topografico della Torre Parassina del Castello di Deliceto (Fg) tramite laser scanner 3D è stato concepito per rispondere ad esigenze diverse quali:

- l’aggiornamento della documentazione grafica esistente;
- il supporto alle attività di analisi archeologica degli apparati murari del patrimonio castrale;
- la possibilità di creare un modello digitale navigabile di tutti i livelli interni alla torre, con particolare riferimento agli ambienti sotterranei, ritenuti maggiormente problematici in virtù di futuri progetti di fruizione.

Il lavoro si è articolato in diverse fasi: dal rilievo topografico con stazione totale laser e laser scanner 3D, alla elaborazione dei dati ottenuti finalizzata alla fruizione tramite ambienti di realtà virtuale.

La fase di acquisizione sul campo è durata circa 4 settimane, ed è stata preceduta dalla pianificazione delle riprese, momento fondamentale di impostazione dell’intero rilievo. In questa fase sono stati posizionati più di 60 target planari e sono state effettuate 34 scansioni per coprire sufficientemente i 5 livelli della Torre del Parasinno.

In fase di registrazione è stato possibile allineare le nuvole di punti mantenendo una media di errore pari a 3 mm¹⁹³. Ciascuna nuvola di punti, dopo essere stata pulita da parti superflue e da eventuali anomalie generate in fase di acquisizione, è stata esportata in formato PTX dal software di gestione del laser scanner *Cyclone 6.0*, perché oltre a garantire piena compatibilità con il programma di editing di mesh, Meshlab, consente di non perdere le informazioni relative al sistema topografico impostato in fase di scansione.

In fase di meshing sono state ricostruite le superfici degli oggetti solidi a partire dalle nuvole di punti. Anche in questo caso è stato utilizzando il filtro *Surface Reconstruction: Poisson*, basato

¹⁹³ Se si considera che la soglia massima generalmente accettata dai diversi software di gestione di dati da laser scanner è pari a 6 mm, l’allineamento delle nuvole di punti della Torre di Deliceto risulta particolarmente preciso.

sull'approccio volumetrico. Il procedimento di meshing avviene in maniera del tutto automatica; all'utente spetta solamente la scelta di alcuni parametri per la definizione della profondità dell'Octree, vale a dire della "risoluzione" del volume di contenimento, la cui unità di misura è il voxel. All'aumentare del valore di *Octree Depth* aumenta dunque il grado di accuratezza della mesh rigenerata. Valori compresi fra 10 e 15 consentono di ottenere mesh caratterizzate da un livello di dettaglio decisamente elevato. Per le mesh della torre sono stati utilizzati valori intermedi (tra 10 e 12) ritenuti ottimali per il recupero della morfologia di elementi particolari come i paramenti murari.

Le mesh sono state successivamente trattate in modo da eliminare anomalie e irregolarità generate durante il processo di meshing. Non è affatto insolito che il programma generi facce triangolari *non-manifold*, vale a dire facce non coerenti con l'intera trama della mesh.

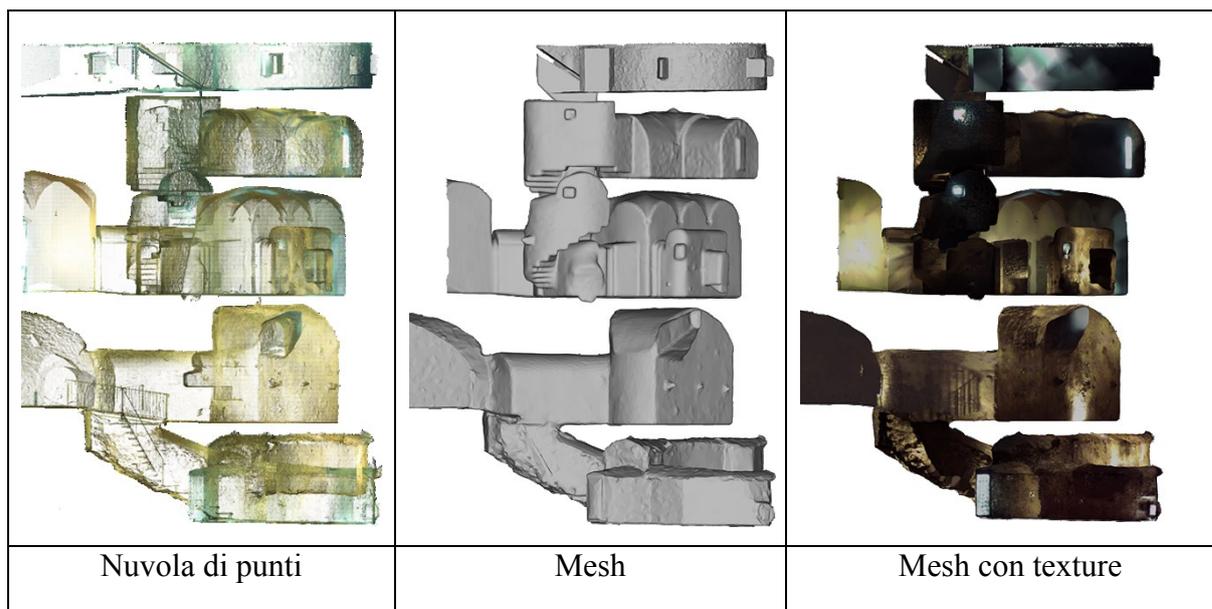
A partire dalle mesh iniziali, caratterizzate da un alto numero di facce triangolari, sono state realizzate delle repliche con un basso numero di poligoni, con la finalità di essere importate nell'ambiente di realtà virtuale.

Anche l'informazione cromatica assegnata a ciascun vertice delle nuvole di punti è stata sottoposta ad una vera e propria conversione da una serie di valori RGB ad un file raster per il rivestimento delle mesh: la texture.

Innanzitutto sono stati modificati i parametri di luminosità e contrasto, di bilanciamento del bianco e dei colori stessi per rendere uniforme l'assetto cromatico delle diverse scansioni, poiché ciascuna di esse è stata effettuata in condizioni di luce differenti.

Soltanto dopo aver effettuato tutte le regolazioni necessarie è stato possibile trasferire le informazioni cromatiche dai vertici della nuvola di punti alle mesh.

Le mesh ad alta risoluzione sono state parametrizzate in modo da poter essere rivestite da texture. La parametrizzazione consiste in un procedimento che consente al software di assegnare a ciascuna punto della mesh delle coordinate UV tramite le quali viene disposto il colore delle texture.



Come detto in precedenza, per ogni mesh ad alto numero di poligoni è stata creata una versione con un numero di triangoli decisamente limitato. Questo è stato fatto per importare i dati del rilievo con laser scanner in ambienti interattivi navigabili. I game engine infatti non possono gestire oggetti tridimensionali con una quantità di vertici eccessiva, ma pongono dei veri e propri limiti numerici (circa 65000 unità al massimo). Per tale ragione è stato necessario trasferire determinati attributi dalle mesh ad alta densità di poligoni verso copie estremamente ridotte tramite le procedure di *Baking* presenti all'interno dell'interfaccia di Blender, software di modellazione 3D open source utilizzato nell'ambito di questo progetto.

Tramite questa operazione è stato possibile trasferire il colore dalle texture originali senza perdita di dettaglio, ed è stato inoltre possibile generare delle particolari immagini raster chiamate Normal map, con la funzione di conferire maggiore dettaglio ai modelli ridotti, assegnando oltre alla texture la disposizione delle normali, ossia dei vettori che determinano la direzione delle facce triangolari di una mesh, senza modificare o aggiungere elementi geometrici.

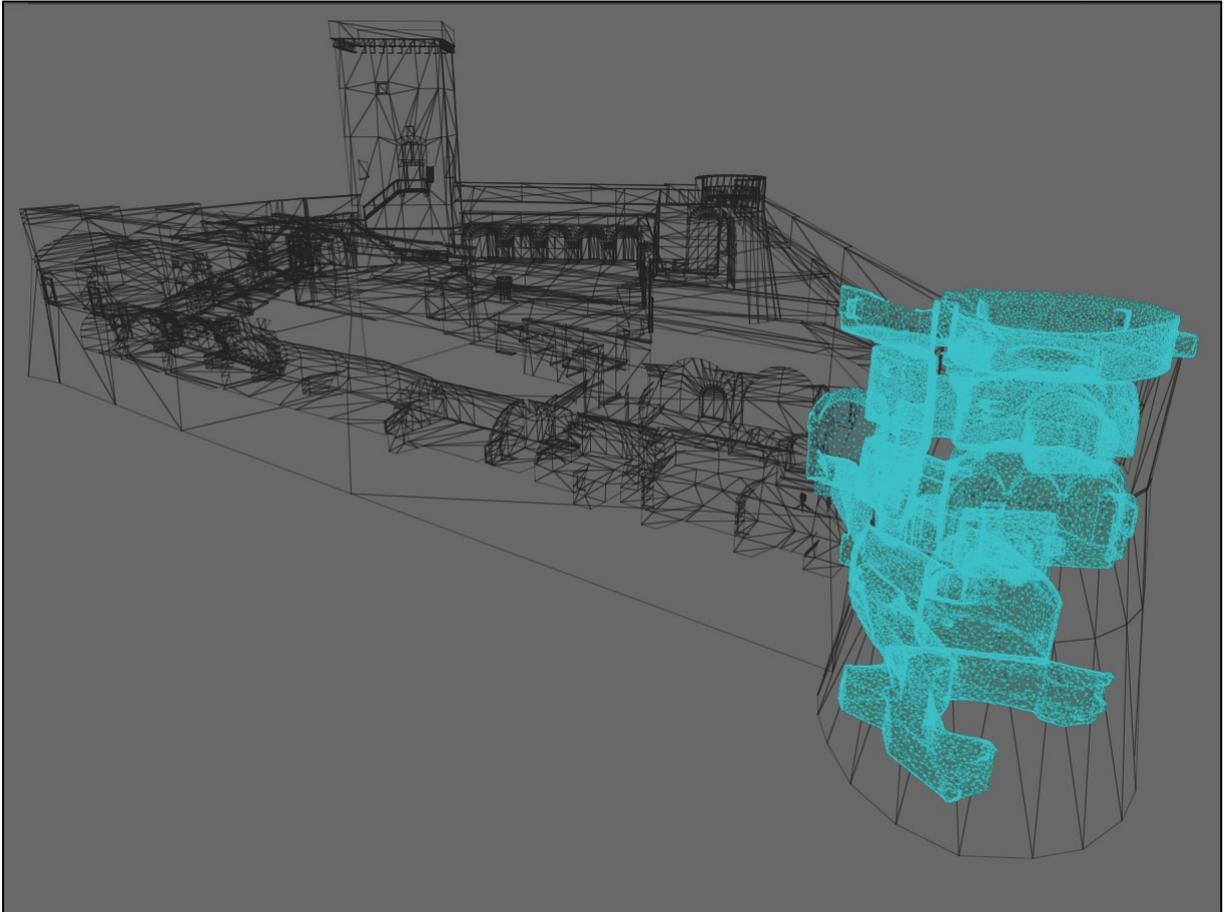


Fig. 11 - Deliceto History Hub. Integrazione della mesh da laser scanner all'interno dell'applicazione di realtà virtuale.

Per quanto riguarda i dati storici archeologici è opportuno specificarne la natura e dividerli in apposite categorie. In questo lavoro sono stati definiti dati un insieme eterogeneo di elementi che possono essere ricondotti a tre categorie: informazioni estratte dalle relazioni tecnico-scientifiche degli archeologi, dati topografici 3D sotto forma di nuvole di punti e fotografie storiche.

Pertanto non state elaborate tre modalità di accesso per l'utente:

- P.O.I. (Points Of Interest). La scena virtuale è cosparsa da piccoli oggetti a forma di torre che ruotano su sé stessi sospesi da terra. Ogni volta che l'utente si avvicina ad uno di questi oggetti, il punto di vista della camera cambia per inquadrare degli elementi significativi ai quali sono associate schede con tutte le informazioni testuali redatte dagli archeologi.
- 3D viewer. Si tratta di un'applicazione all'interno del virtual tour che permette agli utenti di visualizzare e di interagire con il modello 3D dei diversi livelli della torre Parasinno realizzati con laser scanner.

• Galleria Fotografica Storica. Un'ala del Castello è stata pensata come uno spazio espositivo attuale dove l'utente può visualizzare una serie di fotografie scattate a Deliceto da Arthur Haseloff e Martin Wackernagel agli inizi del XX secolo. Queste immagini conservate presso l'Archivio dell'Università di Kiel sono state oggetto di una mostra curata dall'Università di Foggia nel 2010¹⁹⁴. Nella galleria virtuale sono presenti anche fotogrammi dell'Archivio della Soprintendenza Archeologica della Puglia, scattati fra il 1947 e il 1962, e dunque in anni che hanno preceduto i lavori di restauro.

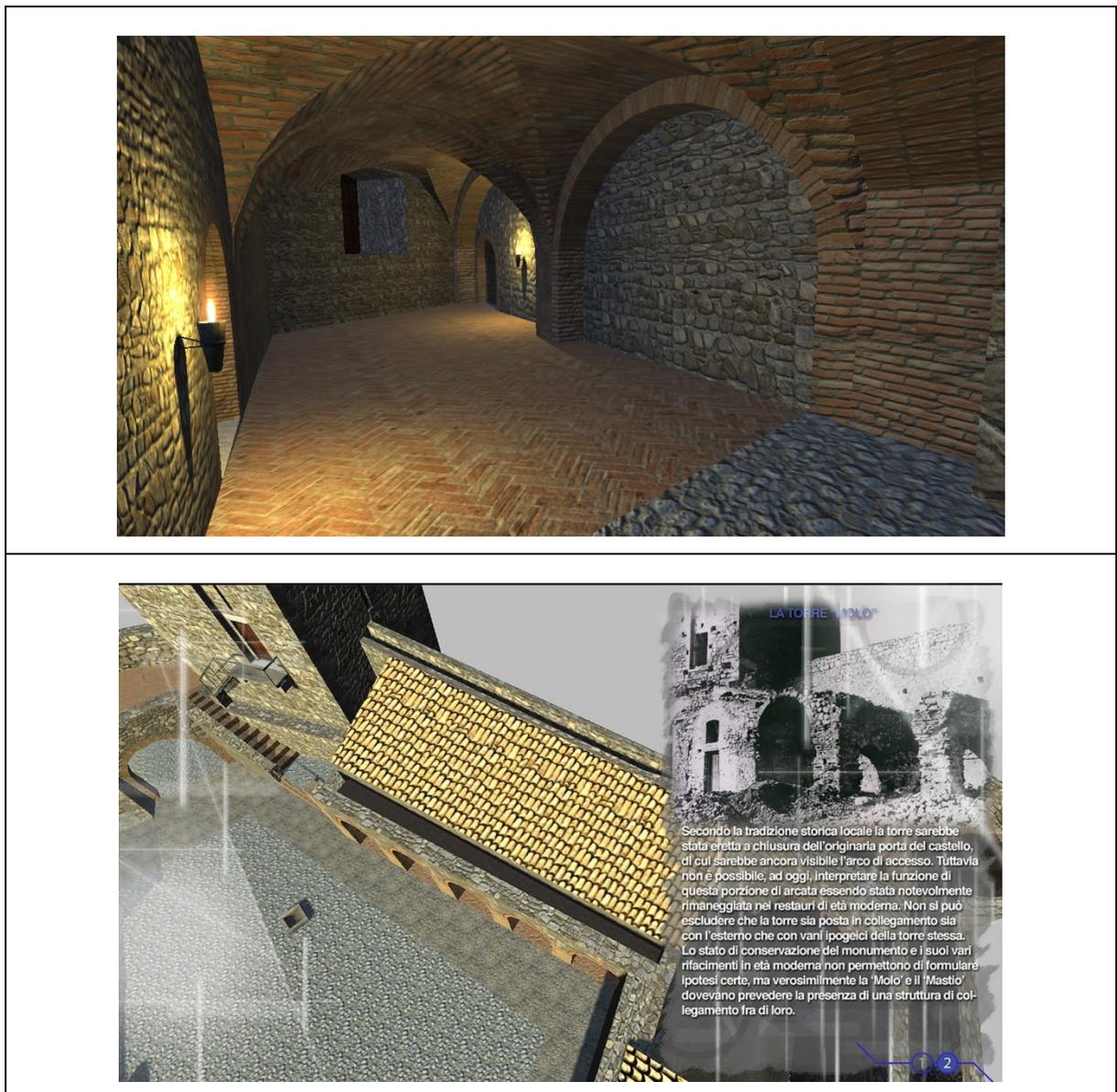


Fig. 12 - Deliceto History Hub.

¹⁹⁴ Favia et alii 2010.

È importante sottolineare come ancora una volta sia la collaborazione fra esperti in diversi settori il vero valore aggiunto. Solo grazie alla discussione e al confronto di idee basate su approcci metodologici pertinenti a discipline diverse è possibile infatti trovare soluzioni che tutelino sia la correttezza scientifica di ciò che si propone, sia gli utenti ai quali ci si rivolge.

History HUB_Deliceto rappresenta dunque un vero e proprio collegamento fra ricerca archeologica e comunicazione culturale, ed è la dimostrazione di quanto sia importante che la metodologia di una disciplina come l'archeologia digitale vada incontro alle comunità di utenti sia locale che globale, in modo da favorire la promozione del patrimonio, in questo caso di Deliceto, anche al di là dei limiti territoriali di un'area piccola e problematica come quella dei Monti Dauni.

L'esperienza di History HUB è stata fondamentale per l'ideazione di un'altra applicazione per dispositivi mobile, Il Castello di Deliceto, realizzata dall'associazione Hericools Digttools, vincitrice del bando Bollenti Spiriti – Principi Attivi 2012, emanato dall'Assessorato alle Politiche Giovanili della Regione Puglia.

Hericools Digttools è sì un'associazione, ma nata come un esperimento di start-up, per verificare quanto il know how maturato in seno al Laboratorio di Archeologia Digitale possa essere spendibile in termini di business virtuoso per la diffusione della conoscenza in ambito culturale. Il gruppo è composto essenzialmente da gran parte dello staff tecnico che ha lavorato alla produzione di History HUB, di formazione archeologica ma con esperienza nel rilievo topografico strumentale e nella realizzazione di applicazioni real time, più esperti di Computer Graphics, di linguaggi di programmazione e di audio editing.

L'app Il Castello di Deliceto è una guida per i visitatori del castello, realizzata con le sembianze di un libro interattivo di fiabe. Il protagonista, Antonio Piccolomini, primo marchese sotto la corona Aragonese, racconta la storia del castello durante la guerra contro gli Angioini nella seconda metà del XV secolo.

Ogni schermata dell'app costituisce una pagina di questo "libro", ed è popolata da oggetti bidimensionali animati. L'utente può leggere o ascoltare i brani della vicenda e interagire con alcuni contenuti speciali mentre osserva il castello nella realtà.

L'approccio metodologico seguito comprende tutte le fasi della ricerca storica ed archeologica, dall'acquisizione e dalla gestione di dati alla realizzazione fino alla implementazione in un'applicazione interattiva piuttosto intuitiva e user friendly.

Un ruolo chiave è costituito dallo storytelling¹⁹⁵. Attraverso la voce di Antonio Piccolomini, l'app racconta informazioni estratte da documenti del XV secolo e dalle più recenti analisi archeologiche del castello, ma con uno stile decisamente più accattivante, in prima persona, pensato per coinvolgere maggiormente utenti di tutte le età.

I contenuti speciali sono un interessante componente dell'app. Le procedure di trattamento e semplificazione delle pesanti mesh realizzate tramite laser scanner o fotogrammetria sono state efficaci anche nell'implementazione di modelli 3D all'interno di app, anche in assenza di dispositivi mobile particolarmente performanti. Il modello 3D degli ambienti della Torre Parasinno, già presente in History HUB è stato implementato anche in questo software ed è possibile visualizzarlo tramite un apposito viewer interattivo.

Inoltre alla fine del tour, il marchese invita gli utenti a scorrere una galleria interattiva di frammenti di ceramica. I modelli tridimensionale sono stati realizzati con tecniche fotogrammetriche a basso costo, e in alcuni casi è stato possibile modellare l'intera forma vascolare ricostruita sulla base di studi scientifici, tramite tecniche di modellazione tradizionale. L'app Il Castello di Deliceto è disponibile su Google Play Store per tutti i dispositivi Android a partire dalla versione 3.1 e su Apple Store per iOS.

Progetti come quello di Hericool Digttools sembrano essere sempre più richiesti. Molti enti locali infatti sono alla ricerca di soluzioni innovative per promuovere il proprio territorio. Per raggiungere questo obiettivo è necessario che ci sia innanzitutto una migliore accessibilità alle informazioni, chiedendo dunque la disponibilità di tutta la documentazione esistente su determinati contesti, ma non basta. È compito degli archeologi, degli storici, degli antropologi riuscire a tradurre, con l'ausilio di opportuni media, anche tecnologicamente avanzati, il potenziale informativo del patrimonio culturale in qualcosa che possa essere assimilato e ben accolto dal maggior numero di utenti possibile. In altre parole, sviluppo locale, promozione culturale e comunicazione non dovrebbero mai essere separate¹⁹⁶

Dopo il suo restauro, il Castello di Deliceto sarà presto aperto al pubblico. È questa la ragione per la quale sono state realizzate applicazioni raccomandate ai visitatori sia reali che virtuali.

I progetti che hanno ispirato la realizzazione di questi strumenti puntano a mettere in evidenza l'importanza delle relazioni fra ricerca archeologica, tecnologie e comunicazione verso un vasto pubblico¹⁹⁷. Ciò che emerso in ciascun caso è che si può e si deve mettere in connessione

¹⁹⁵ Given 2009, De Felice 2014.

¹⁹⁶ Sacco 2012.

¹⁹⁷ Gualandi 2014.

l'informazione archeologica con le possibili richieste degli utenti, anche se non è affatto semplice¹⁹⁸.

Al di là delle tecnologie utilizzate e dei prodotti realizzati è importante che queste applicazioni riescano nell'intento di comunicare ed in un certo senso divertire. Ed è proprio qui che entrano in gioco caratteristiche peculiari come l'immersività di un ambiente virtuale o il coinvolgimento della narrazione.

Entrambe le esperienze hanno rimarcato l'importanza del dato archeologico. Questo elemento può adattarsi ad una pluralità di formati di pubblicazione. È il caso dei dati topografici 3D: essi sono importanti documenti che attestano lo stato attuale di oggetti di interesse archeologico, storico, artistico e, allo stesso tempo, possono diventare strumenti di comprensione del patrimonio se inseriti in appropriati contesti digitali.

Condividere conoscenza archeologica dunque è fondamentale, ma per farlo è necessario fare uno sforzo affinché il pubblico abbia un ruolo centrale nella teoria e nella pratica dell'archeologia digitale.



Fig. 13 - Il Castello di Deliceto. Una schermata dell'app.

¹⁹⁸ Clack, Brittain, 2007.

II.3.2 Rilievo con laser scanner. L'esperienza degli Eremi di Pulsano.

Il secondo caso di acquisizione strumentale con laser scanner che è stato posto sotto esame riguarda il rilievo di alcuni dei cosiddetti “eremi” della valle di Pulsano, importanti insediamenti rupestri sparsi nei valloni garganici attorno all'Abbazia di Santa Maria di Pulsano¹⁹⁹, presso Monte Sant'Angelo in provincia di Foggia.

Questo lavoro è stato realizzato da ArcheoLogica s.r.l., società spin-off dell'Università di Foggia²⁰⁰ per conto del FAI²⁰¹ e della Provincia di Foggia²⁰², nell'ambito del progetto *Censimento 'I Luoghi del Cuore' 2010 – Fondo Ambientale Italiano. Realizzazione di una campagna di rilievo laser scanning degli Eremi dell'Abbazia di Santa Maria di Pulsano – Monte S'Angelo (FG)*, realizzato fra la fine del 2013 e la prima metà del 2014. Fra le finalità del progetto v'era la necessità di effettuare dei rilievi con laser scanner degli eremi per produrre una documentazione caratterizzata con un notevole livello di dettaglio, in modo da poter descrivere non solo la topologia, ma anche lo stato di conservazione di questi particolari siti.

Gli eremi di Pulsano costituiscono una vera e propria rete di insediamenti rupestri abitati a partire dall'epoca normanna da comunità monastiche eremitiche che gravitavano attorno al centro abbaziale. Molti di questi siti erano stati concepiti come cappelle o comunque come luoghi di meditazione e di preghiera, anche se quella religiosa non era l'unica funzione degli eremi. Alcuni di essi infatti presentano strutture e ambienti funzionali ad attività agricole e all'allevamento di bestiame. Quasi tutti questi eremi erano composti da una parte scavata direttamente nel costone di roccia calcarea della montagna garganica e da parti costruite in muratura o in legno, come attesta la significativa presenza di buche di palo. Alcuni ambienti erano dotati di strutture di servizio come cisterne, canali e fosse granarie.

Sono stati rilevati sei complessi rupestri tramite laser scanner, situati lungo un percorso che trova il suo punto di partenza presso l'abbazia e intende collegare gli eremi conservati meglio e maggiormente accessibili per eventuali visitatori. Gli eremi in questione sono:

- Santa Caterina
- Santa Margherita
- Mulino
- Studion/Pinnacolo
- San Giovanni da Matera
- San Gregorio

¹⁹⁹ Angelillis 1953.

²⁰⁰ ArcheoLogica S.r.l.: <http://www.archeologicasrl.com/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

²⁰¹ Fondo Ambiente Italiano: <http://www.fondoambiente.it/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

²⁰² Portale Istituzionale della Provincia di Foggia: <http://www.provincia.foggia.it/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

La tecnica del laser scanning è stata preferita per una serie di ragioni: la difficoltà di accesso a questi siti, la presenza di spazi angusti e senza condizioni di luminosità ottimali, ma anche la necessità di acquisire grosse quantità di informazioni numeriche in modo da ottenere nuvole di punti con un dettaglio molto elevato.

Lo strumento utilizzato è stato il Focus CAM2 prodotto dalla Faro²⁰³, un dispositivo che rappresenta una soluzione ottimale in quanto a precisione, velocità di esecuzione delle scansioni e leggerezza dell'attrezzatura, vantaggio di non poco conto se si considera l'impervietà di alcuni luoghi.

Nella tabella di seguito sono riportate le caratteristiche generali dello strumento:

<i>Accuratezza</i>	<i>+/- 2mm</i>
<i>Range di scansione</i>	<i>Da 0.6 a 30 metri</i>
<i>Velocità di misurazione</i>	<i>Fino a 976000 punti al secondo</i>
<i>Media errore</i>	<i>+/- 2mm</i>
<i>Campo di vista</i>	<i>300° in verticale, 360° in orizzontale</i>
<i>Classe laser</i>	<i>1</i>
<i>Peso</i>	<i>5.2 kg</i>
<i>Altre componenti</i>	<i>Bussola, Sensore di altezza, Compensatore biassiale, fotocamera</i>
<i>Dimensioni</i>	<i>240 x 200 x 100 mm</i>
<i>Controllo scanner</i>	<i>Display touchscreen e WLAN</i>

La procedura di lavoro adottata comprende due momenti, una prima fase di lavoro sul campo e le successive elaborazioni dei dati acquisiti.

Anche in questo caso l'operazione preliminare riguarda la pianificazione delle scansioni. L'impostazione del numero di riprese e dei punti di stazione dello strumento richiede un'osservazione accurata del sito che ci si appresta a rilevare. Non esistono particolari regole se non quella di cercare di coprire al meglio la superficie dell'oggetto da scansionare. Nel caso degli eremi, la difficoltà maggiore è stata quella di moltiplicare le scansioni in base alle caratteristiche morfologiche degli ambienti, estremamente irregolari. Inoltre, non sempre è stato

²⁰³ FARO: <http://ww.faro.com> [ultimo accesso: 12/01/2016].

possibile effettuare le scansioni ottimali per la difficoltà di posizionare lo scanner in condizioni di stabilità, data la particolare impervietà di questi luoghi.

La fase di pianificazione comprende anche il posizionamento di target topografici per l'allineamento delle diverse nuvole di punti. Oltre a stimare le condizioni di ripresa migliori, è indispensabile infatti collocare in punti strategici delle mire che possano essere riconosciute dal dispositivo per una corretta messa a registro delle scansioni effettuate. Una buona norma, fra l'altro imposta a buon ragione da diversi software di gestione ed elaborazione di *scan data*, è quella di non fornire mai meno di 3-4 target comuni fra due nuvole di punti, in modo da fornire almeno un *constraint* per asse geometrico. Tuttavia, nei casi più difficili, come ad esempio in ambienti particolarmente stretti dove risulta piuttosto arduo posizionare il numero sufficiente di target, è possibile effettuare l'allineamento contando solo su due punti in comune, a condizione che in entrambe le riprese lo scanner sia stato posizionato perfettamente in bolla.

Il kit del FARO Focus3D comprende anche dei target sferici dotati di magneti, particolarmente utili per l'allineamento delle nuvole di punti poiché permettono l'identificazione di uno stesso constraint da punti di vista diversi. Purtroppo però, è stato possibile utilizzare i target sferici soltanto per il rilievo dell'eremo di San Gregorio, una cavità situata nei pressi dell'Abbazia e ammodernata per fungere da cappella liturgica, all'interno della quale è stato possibile posizionare questi target senza difficoltà.

Una volta terminate le operazioni preliminari si è proceduto con le scansioni degli eremi. Una buona pratica è stata quella di preparare uno schizzo o un eidotipo su cui segnare punti di stazione, posizione e numero dei target ed eventuali annotazioni, come ad esempio difficoltà riscontrate e modifiche nella sequenza di acquisizione dei dati. È altresì importante ragionare sulla densità di scansione e sulle distanze da coprire tenendo sempre presente le performance dell'hardware utilizzato. In questo caso, trattandosi quasi sempre di ambienti ristretti, il limite strumentale della distanza massima di 30 metri non ha rappresentato un grosso problema, anche se in alcuni casi, come ad esempio un complesso piuttosto esteso come quello del Mulino, è stato necessario moltiplicare le scansioni nella terrazza esterna, fondamentale per raccordare le scansioni di tutti gli ambienti aperti su di essa.

Un problema di non poco conto è quello della densità di punti. È vero che è stata scelta questa strumentazione per le ottime capacità di acquisizione di dati, ma è pur vero che grosse quantità di punti possono essere poco gestibili dalla configurazione hardware dei computer di lavoro. Ciò impone di dover trovare il giusto compromesso fra quantità di informazioni e livello di dettaglio, ma facendo anche attenzione al range di scansione. Considerato che all'aumentare della distanza dalla sorgente del laser diminuisce la densità di punti acquisiti, bisogna

considerare che le porzioni più distanti dallo scanner saranno rappresentate con una quantità di punti decisamente inferiore alle porzioni più vicine. Per questa ragione si è preferito, almeno in linea generale, moltiplicare le scansioni, acquisendo superfici di dimensioni ridotte, però mantenendo valori di densità di punti più elevati. Per quanto riguarda le scansioni degli eremi di Pulsano, è stata mantenuta una media di 3 x 3 millimetri di densità. È stato possibile mantenere questi valori grazie alle notevoli prestazioni del laser scanner utilizzato. Infatti il tempo impiegato per effettuare una scansione di 3x3 mm, sfruttando al massimo la visuale dello scanner (300° in verticale, 360° in orizzontale) è di circa 6-7 minuti, risultato impensabile per dispositivi meno recenti. I tempi di scansione costituiscono una variabile estremamente importante, soprattutto in contesti come quello di Pulsano, dove sono necessarie in alcuni casi ore di cammino per raggiungere gli eremi e bisogna quindi calcolare anche i tempi di durata della batteria.

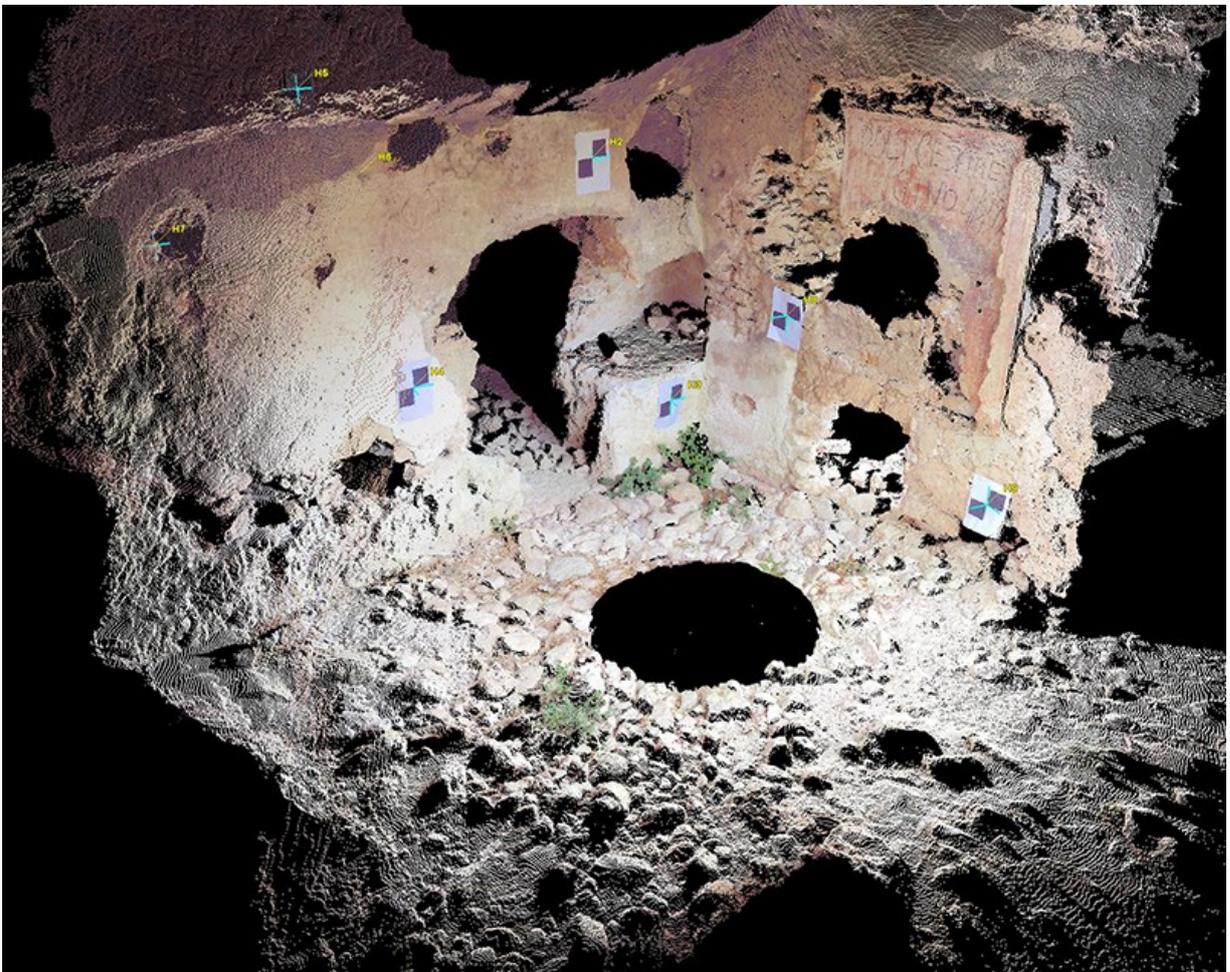


Fig. 14. Nuvola di punti con target per l'allineamento.

Tenuto conto di tutti i fattori descritti si è cercato di impostare il lavoro in maniera da ottimizzare i tempi di acquisizione in base alle dimensioni e alla complessità dell'oggetto da

rilevare. In base dunque ai tempi di percorrenza per raggiungere gli eremi e alla loro configurazione sono state stabilite sia le riprese che la densità di scansione, come riportato dalla seguente tabella.

Report di scansione

EREMO	Numero scansioni	Densità nuvola di punti
Santa Caterina	6	1 x 1 mm
Santa Margherita	9	3 x 3 mm
Il Mulino	24	3 x 3 mm
San Giovanni da Matera	8	10 x 10 mm
Studion/Pinnacolo	30	3 x 3 mm
San Gregorio	10	10 x 10 mm

Come si vede dalla tabella, si è cercato di mantenere livelli di densità piuttosto alti, fatta eccezione per due dei siti rilevati, e cioè San Giovanni da Matera e San Gregorio, entrambi cavità naturali. Nel primo caso le uniche modifiche all'assetto della grotta sono rappresentate dal portale di accesso e da alcune vasche scavate nella roccia per la raccolta delle acque. Purtroppo va segnalato che questo sito è stato pesantemente colpito da atti vandalici, soprattutto scritte con vernice spray, che hanno compromesso l'aspetto e il carattere spirituale dell'eremo. L'eremo di San Gregorio, situato nei pressi dell'Abbazia stessa, è una cavità naturale ormai utilizzata come aula di culto. L'interno ormai è del tutto modernizzato con pavimento, rampe di accesso, sistema di illuminazione e mobilio liturgico.

Considerate queste caratteristiche, si è deciso di utilizzare una densità piuttosto bassa, ma utile a riprodurre le configurazioni planimetriche e volumetriche di questi due siti.

Le informazioni spaziali non sono le uniche a poter essere acquisite tramite laser scanner. Generalmente tutti i dispositivi sono muniti di una fotocamera integrata che permette di acquisire fotografie della scena rilevata. Questa operazione risulta essere molto utile, soprattutto se lo scopo del progetto è quello di restituire un modello 3D finale con un aspetto quasi realistico. Le immagini acquisite vengono proiettate sulla nuvola di punti in modo da assegnare a ciascun vertice tre valori cromatici nella scala RGB (red, green, blue). Se da un lato l'attribuzione del dato cromatico conferisce una indubbia qualità nella resa finale, è pur vero che essa aumenta le proprietà numeriche di ogni singolo punto, rendendo di fatto il set di dati di scansione più complesso da gestire.

II.3.2.1 L'elaborazione dei dati

Una volta portato a termine il rilievo sul campo, è stato possibile iniziare il processo di elaborazione dei dati. Questa fase comprende diverse attività che riguardano in primo luogo il trattamento delle nuvole di punti e successivamente quello delle mesh triangolari.

Registrazione delle nuvole di punti.

Ciascuna scansione acquisisce una porzione della scena reale che viene rappresentata sotto forma di un insieme coerente di punti. Ogni nuvola di punti ha un suo sistema di coordinate relativo, in cui la sorgente del laser rappresenta il punto centrale. L'allineamento, o registrazione, delle nuvole di punti consiste nel far coesistere due o più nuvole di punti nello stesso sistema di coordinate.

Per questa operazione è indispensabile fare ricorso ai target. I software di gestione dei dati infatti possono riconoscere i target e assegnare un identificativo. In questo modo la registrazione avverrà facendo combaciare target analoghi e utilizzando gli stessi per rototraslare nella maniera opportuna le nuvole di punti.

Qualsiasi operazione di allineamento contiene sempre un margine di errore, seppur minimo. L'errore mediamente accettabile stando alle istruzioni di diversi manuali hardware e software è di al massimo 6 millimetri. Per contenere l'errore entro valori accettabili è fondamentale che il posizionamento dei target nella scena da rilevare sia il più accurato possibile. Per il rilievo degli eremi di Pulsano si è riusciti a contenere l'errore entro 2-3 millimetri, dunque entro un margine più che soddisfacente.

Una volta allineate tutte le nuvole di punti sono state effettuate delle screature per ridurre porzioni ridondanti, come ad esempio le parti marginali, rese superflue dalle scansioni adiacenti.

Il Meshing.

Le nuvole di punti sono un insieme di vertici che di per sé non sono sufficienti a rappresentare al meglio la topologia di un oggetto tridimensionale. Così, come nel rilievo archeologico con stazione totale i punti acquisiti vengono uniti in modo da definire i limiti delle unità stratigrafiche, allo stesso modo le nuvole di punti vanno convertite in oggetti che definiscano le componenti della scena acquisita nelle loro tre dimensioni, ossia le mesh.

Una mesh è una superficie composta da una giustapposizione di facce poligonali, generalmente triangolari. Ciascun punto della nuvola acquisita con laser scanner può dunque diventare un

vertice di una faccia triangolare, e l'insieme di queste facce compone la superficie che definisce l'intero oggetto.

Tutte le operazioni per la creazione e l'elaborazione di mesh 3D prendono appunto il nome di meshing, e per effettuarle sono stati adoperati appositi software. Il primo di questi è *MeshLab*²⁰⁴, un programma open-source realizzato dall'ISTI-CNR di Pisa, e ormai ampiamente utilizzato in qualsiasi progetto di gestione dati da laser scanner.

Prima di essere importate in MeshLab, le nuvole di punti sono state esportate in un apposito formato per set complessi di punti, il formato *ptx*.

Le superfici triangolari sono state generate utilizzando un particolare comando basato sull'algoritmo di Poisson, basato su un approccio volumetrico, che permette di creare mesh corrette dal punto di vista topologico e di controllare la densità di facce e dunque l'accuratezza dell'oggetto tridimensionale.

Sulle stesse mesh è stato possibile trasferire i colori della nuvola di punti, soltanto dopo aver parametrizzato la superficie triangolare. Questa operazione consente di effettuare il processo di mappature delle UV, ossia delle modalità tramite le quali il colore si dispone sulle facce triangolari.

Le mesh finali sono state esportate in formato *obj*, ampiamente supportato da tutti i software di grafica 3D. Sono state realizzate copie delle stesse mesh con un numero drasticamente inferiore di facce triangolari, per garantire la visualizzazione dei modelli su dispositivi con prestazioni standard.

L'obiettivo di questo progetto era quello di effettuare un rilievo con laser scanner di alcuni eremi che possono essere collegati da un itinerario ideale, in modo da fornire documentazione digitale altamente dettagliata.

Pertanto ai modelli 3D sono state allegate delle tavole illustrative con rappresentazioni ortografiche e prospettive degli eremi, seguendo dunque la prassi di redazione della documentazione grafica richiesta dalle autorità ministeriali italiane.

Tuttavia, le elaborazioni effettuate su questi modelli consentono di utilizzare i modelli degli eremi anche a fini divulgativi, confermando anche in questo caso la validità delle procedure di gestione e trattamento di questa particolare tipologia di dati digitali.

²⁰⁴ MeshLab: <http://meshlab.sourceforge.net/> [ultimo accesso: 30/03/2016].



Fig. 15 - Eremiti di Pulsano. Volte, sezione e piani di calpestio degli ambienti finali del complesso rupestre chiamato Studion/Pinnacolo.

CAPITOLO III - UNO SCAVO IN ARCHIVIO

Dopo aver effettuato numerosi test per la pratica del rilievo 3D e la gestione dei dati per l'implementazione di modelli altamente dettagliati in contesti digitali interattivi, si è reso necessario applicare procedure di gestione della documentazione di scavo archeologico ad un caso campione altamente significativo.

La scelta è ricaduta sul sito di *Herdonia*, nel territorio dell'odierna Ortona in provincia di Foggia. Si tratta di un caso molto particolare non soltanto per le vestigia tuttora ben conservate, ma anche e soprattutto per la storia delle ricerche sistematiche effettuate a partire dal 1962, anno in cui Joseph Mertens, professore di archeologia presso l'Università Cattolica di Lovanio assunse la direzione degli scavi. Iniziò così una lunga storia di indagini terminata soltanto nel 2000, con le ultime campagne di scavo condotte dall'Università di Bari. *Herdonia* è uno dei siti che ha davvero fatto la storia dell'archeologia in Italia meridionale, restituendo alle comunità della Puglia settentrionale un patrimonio culturale enorme. Non tutte le aree scavate da Mertens sono oggi visitabili, in quanto sono state ricoperte per consentire il ripristino delle attività agricole, e i resti visibili nel foro, presso le terme e sulla collina settentrionale sono in stato di abbandono. Tuttavia il rigore scientifico e metodologico con cui Mertens conduceva le sue ricerche ha fatto sì che tutta la documentazione di scavo sia stata custodita con un ordine più unico che raro in un archivio storico egregiamente organizzato.



Fig. 16 - Joseph Mertens nel 1963

Nel 2004 l'archivio Mertens è stato acquisito dal Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Foggia e da allora è stato utilizzato come inesauribile risorsa per tutti gli studi che hanno riguardato questo eccezionale sito. La storia celata in questo archivio è lunga e complessa, come dimostra l'abbondante quantità di documenti redatti in circa quaranta anni di scavi e di ricognizioni.

L'archivio costituisce dunque una memoria unica, composta da documenti che sono parte della storia delle tecniche e della metodologia della ricerca archeologica. Come si vedrà più avanti, Herdonia è stata non soltanto l'incredibile scoperta di una città pluristratificata, ma anche un laboratorio di metodologia in cui sono state sperimentate tutte le tecniche di scavo, di rilievo e di documentazione.

Pertanto questo lavoro vuole rientrare nella famiglia degli studi e delle ricerche su questo sito, nel tentativo di valorizzare al meglio il potenziale informativo contenuto in ogni singola pagina e in ogni singolo foglio di carta millimetrata contenuti nei raccoglitori di questo archivio.

Proprio come un sito archeologico viene indagato tramite la lettura delle unità stratigrafiche che lo compongono, così si è deciso di sfogliare interamente l'archivio Mertens per comprendere la natura e le modalità di acquisizione dei dati. Soltanto in questa maniera è possibile infatti perseguire il fine ultimo di questa ricerca, e cioè quello di diffondere la conoscenza custodita in questa preziosa raccolta.

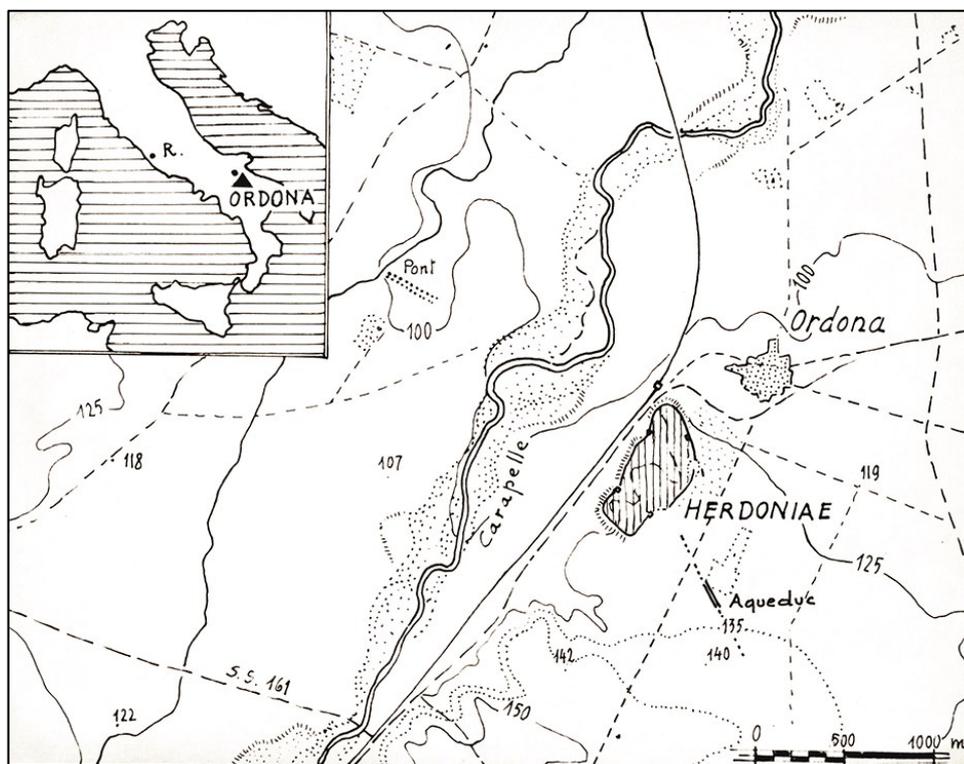


Fig. 17 - Inquadramento geografico di Herdonia (Archivio Mertens)

III.1. Herdonia: una città romana in Italia meridionale.

Herdonia è un caso più unico che raro nell'archeologia dell'Italia meridionale. Abbandonata alla fine del basso medioevo, in confronto ad altri siti di uguale importanza, ha conservato eccezionali tracce monumentali di una storia plurimillennaria, iniziata in epoca preromana e continuata fino al XV secolo. Nei cospicui depositi, che in alcuni punti raggiungono l'altezza di 7 metri, si sono stratificate storie di un continuum ininterrotto: dall'abitato indigeno agli insediamenti romani, durante la repubblica o l'età imperiale, fino ad essere testimone di secoli di decadenza e della trasformazione da benestante città romana a villaggio, abbandonato fin quando non fu costruito il borgo rurale tuttora esistente in prossimità del sito archeologico.

L'obiettivo principale dei primi scavi condotti da Mertens ad Herdonia era quello di comprendere la topografia generale della città antica, a partire dalla localizzazione della cinta muraria²⁰⁵. Questa è stata una delle più importanti scoperte fatte dall'équipe belga. Al III sec. a.C. risale la costruzione del primo muro difensivo, circondato da un fossato, presto rimpiazzato da un nuovo muro in mattoni crudi. Soltanto agli inizi del I sec. a.C. fu realizzato un nuovo solido muro in opera cementizia, che sostituì le antiche fortificazioni e delimitò uno spazio urbano di circa 20 ettari.

Durante la seconda guerra punica (218 – 201 a.C.) Herdonia fu distrutta dalle truppe di Annibale e la sua popolazione fu deportata a Metaponto e a Turi. Sempre nel I sec. a.C. Herdonia divenne municipio e fu assegnata alla *gens Papiria*. A partire da questo periodo furono costruiti diversi monumenti ed edifici pubblici, segno di uno sviluppo urbano particolarmente intenso che trovò il suo culmine nel II secolo d.C., con la costruzione della Via Traiana, che di fatto consacrò Herdonia come importante città commerciale, soprattutto per la produzione e la vendita di derrate alimentari.

Tra il II e il III secolo, Herdonia appariva particolarmente elegante grazie al foro monumentale circondato da templi, edifici pubblici e botteghe; anche alcune abitazioni dovevano essere particolarmente agiate, così come i bagni termali. Nonostante i terremoti nel IV e nel V secolo abbiano distrutto gran parte degli edifici pubblici, fra i quali la Basilica, Herdonia mantenne la sua importanza almeno fino alla fine del V secolo, come è attestato dalla presenza di una sede episcopale presieduta dal vescovo Saturnino.

La grande quantità di tombe e di aree coltivate sembra confermare la riduzione dello spazio urbano durante l'Altomedioevo, fino a che non ebbe inizio una nuova fase nell'XI secolo, dopo

²⁰⁵ Mertens 1965.

che una nuova chiesa fu costruita sulla collina settentrionale della città, e, attorno ad essa, un villaggio di abitazioni costruite in legno. Nel XII secolo la chiesa fu trasformata in un *castellum* circondato da un fossato difensivo e divenne, nella prima metà del XIII secolo, residenza reale di Federico II di Svevia. Il villaggio medievale di Herdonia fu definitivamente abbandonato fra XIV e XV secolo, probabilmente a causa di una crisi nella produzione agricola, ulteriormente aggravata dall'istituzione della Dogana della Mena delle Pecore, istituita a Lucera da Alfonso d'Aragona nel 1447.

Gli scavi furono interrotti nel 2000 a causa di contenziosi fra il Ministero dei Beni Culturali e i proprietari terrieri su cui sorgono le rovine dell'antica città, con il risultato che l'area archeologica risulta attualmente in stato di semiabbandono²⁰⁶.

Non è soltanto la dimensione materiale a rendere Herdonia un "oggetto di memoria". La storia stessa della scoperta e la lunga esperienza delle ricerche sul campo che hanno portato alla luce gran parte del sito, aiutano a rendere questo caso unico e aumentano il suo valore. Le ricerche sistematiche ebbero inizio nel 1962 e continuarono per circa quarant'anni. Sotto la direzione di Joseph Mertens dell'Università Cattolica di Lovanio e di Giuliano Volpe dell'Università di Bari, Herdonia è stato il progetto di ricerca archeologica più lungo in Italia meridionale, dove numerosi archeologi provenienti da diverse nazioni hanno potuto incontrarsi e condividere le loro esperienze, le metodologie e le tecniche di ricerca per quasi mezzo secolo²⁰⁷. Non esiste metodologia di indagine che non sia stata applicata ad Herdonia, e neanche una tecnica di documentazione che non sia stata sperimentata qui. Dal piccolo sito gestito da pochi archeologi ed operai al campo scuola internazionale con più di cento studenti di archeologia; dalle lunghe trincee e le quadrettature utilizzate con il metodo Wheeler fino allo scavo per grandi aree e alle ricognizioni sul campo; dai diari di scavo, le mappe e le sezioni disegnate su carta millimetrata alle prime applicazioni di disegno vettoriale in CAD e alla gestione digitale dei dati, dai negativi su vetro e le pellicole da 35 mm alla fotografia digitale e le scansioni laser.

Di questa eccezionale esperienza di ricerca e di didattica resta una traccia importante ed unica: l'archivio storico degli scavi. Un vero e proprio palinsesto di memorie e tecniche, materiali e testimonianze che racchiude quarant'anni di archeologia. Una base documentaria estremamente importante, e anche molto complessa, data la natura della sua storia e la grande varietà dei suoi contenuti, a partire dal primo nucleo storico degli scavi condotti dal team belga, donato dal

²⁰⁶ Volpe et alii, 2007.

²⁰⁷ Mertens 1995.

Prof. Mertens all'Università di Foggia nel 2003, fino alla documentazione degli scavi italiani (1993 – 2000)²⁰⁸.

III.2. Il progetto.

Sin da quando l'archivio è stato acquisito dall'Università di Foggia, al gruppo di lavoro del Laboratorio di Archeologia Digitale è stato affidato il compito di preservare ed utilizzare i dati di archivio. Dopo la sospensione dei lavori sul campo, sono stati condotti diversi progetti di archeologia digitale per ricostruire le diverse fasi della città, naturalmente utilizzando i dati contenuti nell'archivio storico. Finora sono stati realizzati modelli ricostruttivi dei monumenti principali del foro romano e le terme. Questo lavoro di ricerca rientra nell'ambizioso progetto nato con l'obiettivo di integrare, convertire a formati digitali e rendere disponibili per la comunità l'insieme dei dati esistenti. L'idea principale rientra negli itinerari di ricerca del Laboratorio e riguarda nello specifico sia le metodologie e le tecniche di rilievo archeologico e di documentazione che il trattamento dei dati spaziali in vista della loro pubblicazione. Si è tentato infatti di esaminare il potenziale di un workflow per la gestione dei dati, con l'obiettivo di diffondere conoscenza archeologica tramite la condivisione delle informazioni scientifiche²⁰⁹. Il progetto è nato con lo scopo digitalizzare i dati di archivio e sperimentare alcune possibili modalità di condivisione del potenziale informativo della documentazione grafica di scavo attraverso applicazioni per il web.

La procedura metodologica adottata è stata suddivisa in tre fasi principali:

1. Studio e acquisizione dei dati
2. Trattamento informatico
3. Condivisione

L'archivio di Herdonia rappresenta un caso di studio piuttosto interessante, poiché pone dinanzi diverse questioni che comprendono sia la gestione dei dati topografici, come ad esempio l'integrazione di diversi tipi di dati, acquisiti in diversi periodi con diverse tecniche, sia le ripercussioni sociali innescate dal processo di pubblicazione delle informazioni.

Inoltre, il recupero e la digitalizzazione degli archivi rientra nel dibattito sulla condivisione e sull'accesso aperto in archeologia. È importante considerare che nel 2008 l'*Europae*

²⁰⁸ Volpe, Leone 2008.

²⁰⁹ Bonacchi 2012.

Archaeologiae Consilium ha messo su un gruppo di lavoro specializzato nella ricerca sui processi di archiviazione della documentazione archeologica tramite il progetto ARCHES²¹⁰. L'obiettivo principale di ARCHES è quello di “rendere consistente la pratica di archiviazione in archeologia in Europa, in modo da facilitare l'accesso e la preservazione dei documenti archeologici. Questo può essere raggiunto producendo standard e buone pratiche per la creazione, la compilazione, il trasferimento e la custodia di archivi archeologici che siano sostenibili e aperti a sviluppi successivi”²¹¹. Sin dalle prime dichiarazioni dunque emerge con estrema chiarezza l'esigenza di rendere queste informazioni disponibili, e che questo venga fatto in termini di sostenibilità e di accessibilità, concetti che sono stati assimilati anche nelle premesse di questo progetto.

Gli archivi rappresentano il posto dove l'informazione archeologica viene depositata e codificata in diversi documenti. Così, l'archivio di Herdonia rappresenta il caso di studio ideale per sperimentare diverse metodologie di documentazione, per integrare dati spaziali e topografici differenti e utilizzarli come strumento per raggiungere un obiettivo socialmente più ampio, e cioè rendere le comunità consapevoli di un patrimonio archeologico come quello di Herdonia, nonostante versino in condizioni critiche a causa di lunghe e complesse problematiche burocratiche.

III.2.1 Scavare in archivio. Primi passi.

Sebbene Herdonia sia ben conosciuta nella comunità degli archeologi, grazie alle numerose pubblicazioni scientifiche²¹², sembra mancare una reale conoscenza del sito da parte della comunità locale e, più in generale, del grande pubblico. In questo senso la condivisione dei dati dell'archivio Mertens risulta assolutamente necessaria. La disciplina archeologica può e deve avere un ruolo fortemente sociale, rendendo accessibili al pubblico i risultati delle ricerche.

Inoltre lo scavo in archivio permette di acquisire e condividere informazioni non soltanto sul sito di Herdonia, ma anche sulla storia degli scavi, sulle metodologie e sulle pratiche adottate, e dunque su aspetti che costituiscono di per sé oggetto di interesse culturale.

III.2.1.1 Acquisizione dei dati.

L'archivio contiene diverse tipologie di documenti. Tutta la documentazione scritta è conservata in raccoglitori divisi per ordine cronologico; qui si possono riscontrare diari di

²¹⁰ Europae Consilium Archaeologiae: <http://european-archaeological-council.org/> [Ultimo accesso: 30/12/2015].

²¹¹ ARCHES Project 2012.

²¹² Sono stati pubblicati ben undici volumi della serie Ordonia, una guida per la visita del sito, numerosi articoli e tesi di laurea e di dottorato.

scavo, report, articoli di giornale sia della stampa belga che della stampa italiana e perfino lettere che Mertens riceveva dai suoi collaboratori. Ci sono anche bozze e schizzi di reperti particolari, come ceramiche, monete e elementi architettonici.

I reperti archeologici sono stati inventariati in elenchi raggruppati in base all'anno di rinvenimento. Molti di questi sono conservati presso il Museo Civico di Foggia e presso il Museo di Ortona, quest'ultimo di prossima apertura. Sono disponibili in archivio descrizioni, diapositive e disegni. Interessante è il caso di un registro in cui è possibile cercare i reperti in base al materiale in cui sono stati realizzati, come ad esempio l'ambra, e di risalire al numero identificativo delle fotografie tramite il codice assegnato al reperto stesso. Si tratta in pratica di uno strumento che, tradotto nel linguaggio delle banche dati elettroniche, può essere considerato una vera e propria *query*, ossia una particolare interrogazione posta al database, effettuata per mettere in relazioni elementi di diverso tipo, in questo caso, materiali con reperti e reperti con fotogrammi.

La documentazione grafica è composta da mappe geografiche aerofotogrammetriche sulle quali sono state posizionate, seppur con approssimazione, le aree di scavo, planimetrie e sezioni stratigrafiche delle aree scavate. Le unità stratigrafiche sono rappresentate con colori diversi che stanno ad indicare generalmente le fasi cronologiche. Non doveva essere affatto semplice orientarsi in stratificazioni profonde e complesse come quelle di Herdonia, per questo probabilmente si è pensato di adottare questo tematismo. Lo studio dell'archivio infatti è importante per comprendere sia le modalità di **organizzazione** delle informazioni archeologiche, sia le **metodologie** adottate nella pratica di scavo e di documentazione dei dati spaziali.

Come già detto, l'archivio contiene tipologie diverse di dati e dunque numerose sono le attività che andrebbero condotte per la loro fruizione. Tuttavia è assolutamente prioritaria la creazione di una cartografia digitale in cui i dati spaziali possano coesistere in unico sistema di riferimento georeferenziato, e questo per almeno due ragioni fondamentali. In primo luogo, dopo 40 anni di scavo non esiste una **cartografia globale** di Herdonia in formato digitale; la seconda ragione riguarda la possibilità di collegare qualsiasi altro documento (fotografie, testi, disegni, ecc.) alla stessa base cartografica digitale e di integrare dati topografici *digital born*, acquisiti tramite stazione totale o con tecniche di rilievo 3D come il laser scanning e la fotogrammetria. In definitiva la creazione di questa mappa serve a fornire uno strumento per tutte le future ricerche che, si spera, avranno luogo nel sito di Herdonia.

III.2.1.2 Procedimento.

Il primo step di lavoro è stato interamente dedicato all'acquisizione e all'analisi di tutta la documentazione grafica redatta dagli archeologi belgi. La ricerca in archivio ha avuto diversi scopi. Prima di tutto la sistemazione della documentazione grafica. Tutti i disegni sono stati organizzati seguendo l'ordine utilizzato dagli archeologi belgi. Ogni mappa infatti è stata etichettata con un numero che sta ad indicare un preciso contesto topografico dell'area archeologica, dopodiché è stata acquisita tramite scanner e vettorizzata tramite disegno CAD, assegnando a ciascun vertice delle entità geometriche che definiscono le singole unità stratigrafiche coordinate spaziali in tre dimensioni.

La documentazione grafica risulta essere fortemente condizionata dalla metodologia di scavo. È facile immaginare infatti che una planimetria disegnata negli anni '60 possa apparire molto diversa dagli output grafici a cui si è abituati oggi. Ed è proprio il caso dell'archivio Mertens. Ci sono molte differenze in confronto alla maniera attuale di concepire la documentazione grafica di scavo. Ad esempio non esistono overlay di singole unità stratigrafiche. Gli archeologi belgi disegnavano planimetrie con insiemi di unità stratigrafiche raggruppate in fasi cronologiche differenti. In alcuni casi sono stati disegnati più *niveaux*, livelli altimetrici, di una stessa trincea, definiti sulla base di cronologie distinte, ma anche di connessioni funzionali fra unità diverse.

Pertanto dal punto di vista planimetrico, ciò che resta sono solo *selezioni* di unità stratigrafiche, mentre per quanto riguarda la documentazione verticale sono state redatte numerose sezioni, che però non bastano a ricostruire l'intero ingombro degli strati individuati.

Un'altra differenza considerevole è lo scarso numero di *quote altimetriche*. Come si vedrà più avanti, questo costituisce un problema non di poco conto ai fini della restituzione tridimensionale di porzioni di stratigrafia di Herdonia, poiché costringe ad un'approssimazione topologica assolutamente in contrasto con la precisione e l'accuratezza dei rilievi strumentali praticati al giorno d'oggi.

Bisogna considerare anche un altro aspetto critico, di cui la documentazione grafica ne è il riflesso: i cambiamenti nella pratica di scavo. Sin dagli anni '60, Mertens adottò come forma dello scavo le **lunghe trincee**. Alcune trincee possono raggiungere anche 400 metri, ma la larghezza rimane sempre di 2 metri. In diverse zone ritenute importanti per rispondere alle domande archeologiche che venivano poste man mano che si procedeva con le ricerche, sono state scavate aree più grandi. È interessante notare come anche Herdonia sia stata coinvolta nei dibattiti metodologici degli anni 70. Infatti in alcuni casi (trincee 70 – 71), neanche Mertens si sottrasse alla sperimentazione di scavi praticati con il metodo Wheeler, giustapponendo piccole

aree di scavo quadrangolari di 5 metri per lato e separate da risparmi di 1 metro. L'esperienza non ebbe una lunga durata, poiché lo stesso Mertens dovette ammettere che questo metodo comportava più complicazioni che vantaggi, e dunque decise di abbandonarlo presto, preferendo lo scavo per estensioni più grandi²¹³.

Dopo che i disegni sono stati interamente vettorizzati, è stato creato un GIS posizionando le aree di scavo su uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, liberamente scaricabile in formato vettoriale dal SIT della Regione Puglia²¹⁴. Un primo posizionamento è stato effettuato grazie alla misurazione di angoli e distanze rispetto ad un punto noto tuttora esistente, che l'équipe belga utilizzava come riferimento. Tuttavia gli errori di posizionamento non mancano. Nonostante sia stato possibile effettuare alcune correzioni tramite l'impiego della stazione totale, risulta difficile far combaciare rilievi vecchi con le cartografie attuali. Se per le aree caratterizzate dalla presenza di resti di monumenti antichi è possibile sfruttare qualche riferimento in più, la situazione cambia drasticamente nelle aree di scavo che furono ricoperte e che oggi sono destinate ad uso agricolo o pastorale.

Va detto che non sarebbe stato possibile realizzare la cartografia completa di Herdonia senza prima comprendere le dinamiche di ricerca e le scelte operative effettuate nell'arco di tanti decenni. Per questo motivo il lavoro condotto in questa fase è stato affiancato da un attento studio dei giornali di scavo e di tutto il materiale edito sulle ricerche ad Herdonia, in modo da comprendere i criteri che hanno condizionato il lavoro sul campo e quindi la documentazione, ma anche per raccogliere informazioni sulle stratificazioni indagate.

III.2.1.3 Gestione.

Il GIS di Herdonia non rappresenta solo un sistema per visualizzare mappe georeferenziate, ma anche una base di informazioni archeologiche collegate ai dati spaziali²¹⁵. Per realizzarlo è stato utilizzato **Quantum GIS**, un software open source ormai molto popolare e ampiamente diffuso in diversi settori, archeologia compresa.

QGIS è stato utilizzato per categorizzare le entità geometriche di tutti i layer vettoriali in modo da consentire agli utenti di cercare informazioni tramite opportune interrogazioni. Dopo una suddivisione preliminare, sono state create delle categorie per caratterizzare ed arricchire di informazioni le entità geometriche, come anno di scavo, contesto topografico o cronologia. In

²¹³ Mertens 1976, p. 23.

²¹⁴ SIT Puglia: <http://www.sit.puglia.it/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

²¹⁵ Teodor 2014.

questa maniera è possibile visualizzare diverse mappe tematiche di Herdonia, dove i layer possono essere etichettati in base all'anno di scavo o alla cronologia storica.

Un primo importante obiettivo è stato quello di creare una cartografia digitale di Herdonia, al momento non esistente. Sono stati acquisiti più di **250 disegni cartacei**, e posizionate **245 aree di scavo**, la maggior parte situate nell'area urbana della città romana, ma non mancano sondaggi effettuati all'esterno del tracciato murario.

III.2.1.4 Condivisione di dati vecchi e nuovi

Si tratta del punto maggiormente critico dell'intero progetto. Questa è la fase in cui si concretizza la finalità principale, vale a dire l'apertura dell'archivio Mertens al pubblico. Sarebbe impensabile oggi parlare di condivisione senza includere il vasto mondo del web. Per tale ragione la prima modalità di erogazione dei dati che è stata prevista consiste nella realizzazione di strumenti di visualizzazione della cartografia digitale. In primo luogo la creazione di un WebGIS, ma esistono anche procedure per la creazione di mappe interattive da implementare in semplici pagine codificate in HTML.

La pubblicazione dei dati spaziali costituisce un utile strumento di tutela soprattutto per amministrazioni locali e soprintendenze, ma è anche un veicolo importante per raggiungere un pubblico più ampio e variegato, senza che possieda necessariamente nozioni di archeologia. Tuttavia le cartografie digitali, anche se particolarmente indicate per comprendere le caratteristiche topografiche del sito, quali l'estensione della città, la disposizione urbana, la viabilità, non riescono a rendere appieno l'idea del complesso sviluppo cronologico di Herdonia, così come si è stratificato fino al momento dello scavo. La storia di Herdonia, le sue dinamiche insediative, le forme e l'aspetto del suo abitato sono stati ricostruiti proprio grazie allo studio delle stratigrafie archeologiche, ed è per questo che diventa importante esportare verso il pubblico non solo ricostruzioni del passato codificate in *oggetti finiti*, ma anche le modalità con le quali, attraverso il metodo stratigrafico, gli archeologi formulano le loro ipotesi. Una delle tecniche più efficaci nel descrivere la complessità stratigrafica è la **grafica 3D**. I dati spaziali, le informazioni topografiche e le scansioni cronologiche rappresentate sulle tavole cartacee dell'archivio Mertens possono essere tradotte in formati digitali e trasferite in ambienti interattivi che possano veicolare con immediatezza le complesse sequenze stratigrafiche di Herdonia. Per raggiungere questo obiettivo, sono state selezionate alcune aree campione del sito che meglio si prestano a descrivere i cambiamenti urbani che si sono verificati nell'arco di diversi secoli.

Il primo caso riguarda la zona nordoccidentale del foro romano, in cui tuttora sorgono i resti della **Basilica**. Quest'area costituisce un campione in cui sono rappresentate grossomodo tutte le fasi di vita del sito. Il settore infatti, inizialmente occupato da un fossato difensivo e da tombe a camera di epoca daunia, è stato interessato da tutte le trasformazioni avvenute in epoca repubblicana prima, con l'installazione di magazzini sotterranei e fognature e poi durante la prima età imperiale con la costruzione della Basilica. Questo importante edificio pubblico, fortemente danneggiato da eventi sismici, fu riutilizzato in piccola parte come edificio di culto cristiano in età tardoantica fino al definitivo abbandono in epoca medievale²¹⁶.

L'altro caso preso in esame riguarda un settore periferico ma estremamente importante della città, la **porta d'accesso sudoccidentale**. Le modifiche nell'assetto di Herdonia non si sono concentrate soltanto nel centro urbano, ma anche nella cinta muraria. Proprio lo studio delle mura urbane è stato uno dei primi obiettivi di ricerca di Mertens²¹⁷, in quanto considerate essenziali per definire l'estensione della città romana. La porta SO rappresenta un testimone particolarmente importante delle modifiche avvenute nell'opera di rinforzo della cinta muraria, poiché le sue strutture sono attualmente ben conservate e hanno consentito di individuare meglio che in altre porzioni quali e quanti siano stati gli interventi di restauro e di ammodernamento dei sistemi di difesa della città.

L'idea è quella di implementare in un viewer interattivo oggetti tridimensionali realizzati tramite procedure di rilievo archeologico sia che si tratti di dati *digital born* attuali che di disegni su carta degli anni 60.

È stata infatti condotta una campagna di **rilievo fotogrammetrico** in modo da ottenere modelli 3D di alta qualità attraverso l'elaborazione in software a basso costo, come *Autodesk 123DCatch* e *VisualSFM*. I dati, opportunamente trattati come è stato illustrato nel Capitolo II, possono essere facilmente implementati in qualsiasi ambiente interattivo.

Per quanto riguarda i rilievi realizzati su carta dall'équipe di Mertens sono state applicate **procedure specifiche** per creare entità geometriche tridimensionali a partire dai dati numerici estrapolati. Queste procedure, che comprendono sia tecniche di modellazione 3D tradizionale che tramite calcolo delle volumetrie grazie all'impiego di *voxel*, saranno trattate nel Capitolo V.

L'applicazione interattiva si propone l'obiettivo di *narrare la stratigrafia* al più ampio pubblico possibile, dando l'opportunità agli utenti di effettuare una sorta di *scavo virtuale*. I dati 3D sono particolarmente indicati per questo tipo di finalità, in quanto possiedono caratteristiche tali da

²¹⁶ Mertens 1971, 1997.

²¹⁷ Mertens 1965.

conferire ad oggetti unici una morfologia numericamente precisa e una qualità di dettagli grafici decisamente elevata. In altre parole, tutta la documentazione grafica di scavo può essere utilizzata come mezzo di diffusione della conoscenza archeologica.

In definitiva questo lavoro vuole rimarcare la stretta correlazione che esiste fra archeologia e comunicazione, cercando di porre sempre più al centro delle pratiche metodologiche il concetto di condivisione delle informazioni con un pubblico misto di esperti e di utenti ordinari. L'informatica e, più nello specifico, la Computer Graphics sono metodi grazie ai quali tradurre in contenuti digitali, o meglio in *assets*, tutti quegli elementi, come le unità stratigrafiche, tramite i quali gli archeologi scrivono la storia di un sito.

III.3. Confronti e casi di studio

L'idea di questo progetto rientra nel solco di una lunga serie di esperienze grazie alle quali sono state messe in luce le peculiarità di processi di trattamento dati e sono state portate all'attenzione dei dibattiti scientifici tematiche importanti come l'accessibilità ai dati e la comunicazione archeologica.

I progetti di ricerca in archeologia che prevedono la realizzazione di GIS, database, modelli ricostruttivi tridimensionali o rilievi topografici di precisione con laser scanner e tecniche fotogrammetriche sono sempre più numerosi. Sarebbe un'impresa considerevole poter citare una moltitudine di casi, ed è per tale ragione che si è scelto di descrivere una serie di casi di studio particolarmente affini allo scopo di questa ricerca, e quindi alle procedure di trattamento dei dati archeologici spaziali e topografici dal momento dell'acquisizione alla loro pubblicazione.

III.3.1 Un 3D GIS web-based per la ricerca archeologica: MayaArch3D

Il Progetto MayaArch3D²¹⁸ ha costruito un ambiente virtuale di ricerca per la documentazione e l'analisi di siti archeologici complessi. Nello specifico si tratta di un GIS tramite il quale integrare modelli 3D di città, paesaggi e oggetti associati a dati archeologici.

Punto di forza di questo progetto è senza dubbio il carattere interdisciplinare che ha portato alla collaborazione fra archeologi, storici dell'arte e manager di risorse culturali con esperti in geoscienze, remote sensing, fotogrammetria, modellazione 3D e realtà virtuale provenienti da diverse istituzioni di diversi Paesi.

Il caso di studio è rappresentato dall'antica città Maya di Copan, in Honduras, un sito definito patrimonio mondiale dall'UNESCO, indagato a partire dalla metà del XIX secolo, da équipe di diverse nazionalità. Questo caso risulta piuttosto complesso, poiché numerosi reperti, dati ed archivi risultano fare parte di collezioni sparse in tutto il mondo. Il WebGIS 3D si pone dunque come obiettivo quello di raccogliere tutti questi dati in un sistema per la visualizzazione e l'analisi, collegandoli a mappe 2D e a modelli 3D della città antica.

Il progetto, finanziato dal Ministero Federale dell'Educazione e della Ricerca in Germania, ebbe inizio nel 2009 come piccolo progetto pilota condotto da archeologi e storici dell'arte afferenti all'Istituto Germanico di Archeologia, ed era stato strutturato in modo da cercare approcci innovativi per integrare GIS, modelli digitali tridimensionali e ambienti di realtà virtuale online per la didattica e la ricerca sui paesaggi e sulle architetture antiche. Poco a poco, sono stati

²¹⁸ MayaArch3D Project: <http://www.mayaarch3d.org/> [ultimo accesso: 02/03/2016]

coinvolti ulteriori partner grazie ai quali è stato possibile realizzare dei tool specifici per l'analisi e la visualizzazione interattiva dei dati.

L'idea era appunto quella di sfruttare il potenziale informativo di grandi quantità di dati eterogenei, normalmente molto difficili da gestire e soprattutto da mettere in relazione con altre entità come mappe georeferenziate, tabelle di materiali, fotografie o archivi documentali, in modo da poter avviare analisi spaziali anche complesse.

Il WebGIS 3D realizzato nell'ambito del progetto offre dunque un sistema per la gestione di modelli 3D e di dati ad essi associati, in modo da essere visualizzati in real-time, analizzati e comparati con altri modelli. Inoltre i modelli 3D sono messi in relazione con il sistema GIS tramite un database grazie al quale è possibile reperire facilmente informazioni tecniche sul sito e sul paesaggio circostante. Infine sono stati implementati strumenti per analizzare i modelli 3D in connessione con i dati spazio-temporali. Gli utenti infatti possono esplorare mappe interattive 2D o navigare all'interno di scene tridimensionali per effettuare ricerche, query o misurare modelli della città antica di Copan, di alcune delle sue strutture e di caratteristici oggetti di rilevanza culturale.

Questo strumento, tuttora in fase di testing, si chiama *QueryArch3D*, e potrebbe in futuro essere applicato a qualsiasi contesto archeologico. Si tratta di una infrastruttura per geodati (GDI), munita di modalità interattive e web-based per l'analisi e la visualizzazione. In realtà, trattandosi di un progetto in fase di realizzazione, le analisi che possono essere effettuate al momento riguardano soltanto le mappe bidimensionali degli insediamenti, e sono relative all'accessibilità dei siti, alla visibilità, ad allineamenti topografici o paesaggistici e alla distribuzione cronologica. Tuttavia, è un primo ed importante passo per compiere la complessa operazione di recupero di oggetti, informazioni e dati sparsi in diverse parti del mondo, e che finora non erano mai stati sottoposti ad alcuna archiviazione digitale e neanche collocati su base cartografica georeferenzata.

I dati che possono essere esaminati sono piuttosto eterogenei e comprendono:

- Un sistema Informativo Geografico e un 3DVR che permette di visualizzare 24 kmq e 3000 strutture della valle di Copan²¹⁹;
- Modelli 3D di sculture e architetture realizzati nel 2009 con laser scanner e fotogrammetria, e utilizzati come test per sistemi di documentazione 3D²²⁰;
- Immagini digitali di artefatti e architetture provenienti dall'Honduras con particolare riferimento al sito di Copan nel periodo tardo (600-900 d.C.).

²¹⁹ Richards-Rissetto 2010.

²²⁰ Remondino et al. 2009, von Schwerin et al. 2011.

Per quanto riguarda le risorse software invece sono stati già implementati:

- *i.DAIfield* - il database dell'Istituto Archeologico Germanico, adattato alle necessità di archeologi e manager di risorse culturali che operano nei siti sia Maya che non, in Honduras;
- *Geomajas* – un GIS framework open-source per il web. La sua funzione è quella di un browser per gestire e visualizzare geodati 2D e 2.5D;
- *QueryArch3D 1.0* – il prototipo del sistema web-based per effettuare interrogazioni sul material 3D, realizzato in Unity3D²²¹;
- *Three.js* – Libreria JavaScript in combinazione con WebGL, che costituisce dunque la base per lo sviluppo dell'ambiente 3D web-based²²².

Davvero molto interessanti sembrano essere gli sviluppi futuri del progetto. Gli autori infatti dichiarano di voler proseguire il lavoro fatto creando altri strumenti di lavoro. Da un lato infatti si dovrà insistere con il popolamento del database, e dunque continuando quel lavoro di ricerca e acquisizione di dati archeologici per rendere l'archivio digitale sul sito di Copan molto più dettagliato. Per raggiungere questo obiettivo è necessario dunque aggiungere numerosi altri dati provenienti da indagini vecchie e nuove, e integrando tutta la documentazione con nuove informazioni, nuove tipologie di dati archeologici come ad esempio le iscrizioni e anche nuovi modelli tridimensionali realizzati con tecnologie aggiornate.

Viene evidenziata la necessità di mettere a punto nuovi software per meglio gestire la documentazione e soprattutto ottimizzarla per incrementare il grado di accessibilità. Gli interventi previsti in questa direzione sono:

- Un **GIS 3D** per la modellazione e la georeferenziazione di informazioni con un accesso web-based decentralizzato, in modo da permettere a gruppi di ricercatori di lavorare sui dati in maniera simultanea. Uno dei risvolti più importanti sarebbe lo sviluppo di un sistema di gestione utenti con un ampio range di livelli di accesso e munito di funzioni per importare ed esportare dati 3D differenti, secondo procedure standardizzate;
- Un nuovo **database 3D** ed una **nuova interfaccia** utente, entrambi realizzati con software open-source, per smarcarsi dai software proprietari utilizzati finora, come Unity3D;

²²¹ Agugiaro et al. 2011.

²²² Auer 2012.

- Una **pipeline** per la comunicazione fra il database i.DAIfield, realizzato con software proprietario FileMakerPro e il database degli oggetti 3D realizzato con Postgresql/PostGIS;
- L'incremento delle **funzioni di analisi spaziale** per realizzare mappe di visibilità, degli insediamenti e della distribuzione cronotipologica di reperti, sculture, architetture ed iscrizioni.

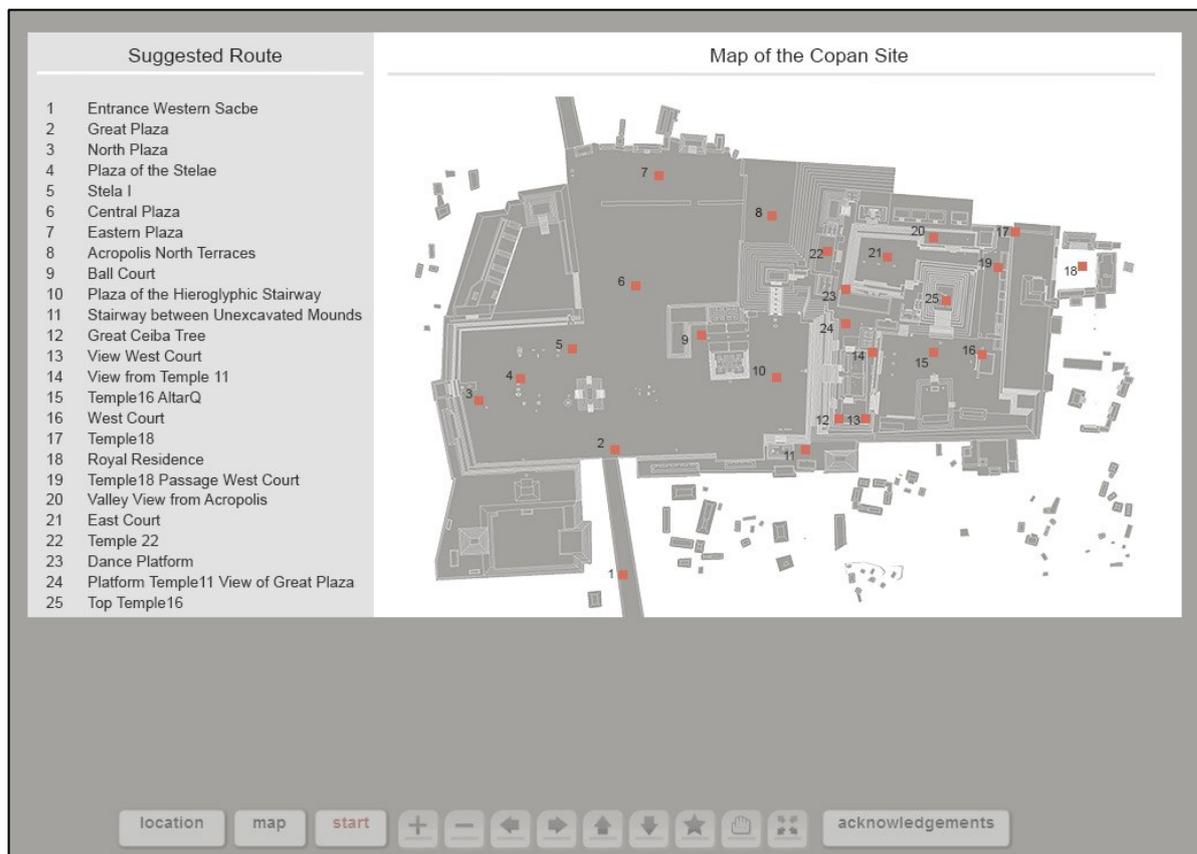


Fig. 18 - MayaArch3D. Mappa interattiva del sito di Copan

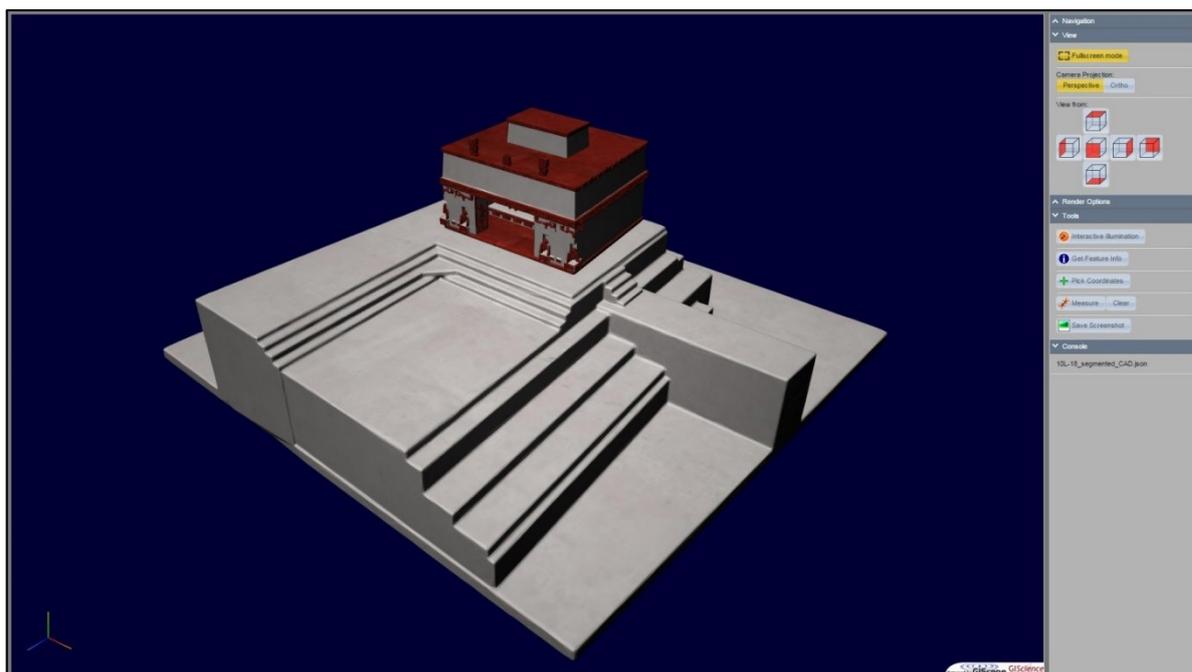


Fig. 19 - MayaArch3D. Viewer interattivo per oggetti 3D

MayaArch3D rappresenta un caso di studio ottimale per sintetizzare da un lato quelle che sono le prerogative dell'Archeologia Digitale, e dall'altro quale orientamento stanno prendendo i progetti di acquisizione, trattamento, gestione e comunicazione di dati ed informazioni archeologiche.

I processi di realizzazione di progetti simili sono molto complessi ed hanno bisogno di tempo e di équipe numerose. È assolutamente interessante notare come da MayaArch3D rappresenti in piccolo anche il cambiamento di tendenza che si sta verificando soprattutto negli ultimi tempi riguardo ad una filosofia maggiormente concentrata sugli aspetti di accessibilità e condivisione. Ne è una prova tangibile la volontà, ma anche la consapevolezza, di concentrare i prossimi sforzi nella realizzazione di strumenti software e nell'adozione di formati aperti, in modo da garantire alle generazioni future di investigatori maggiori possibilità di accesso ai contenuti digitalizzati, soprattutto dopo una difficile attività di ricerca e acquisizione dei repository sparsi nel mondo²²³.

²²³ Von Schwerin et alii 2015.

III.3.2 Un database per il paesaggio e il patrimonio culturale in Africa: The Zamani Project.

Il progetto *Zamani*²²⁴, condotto dall'Università di Città del Capo, in Sudafrica, è nato con lo scopo di costruire un database sul paesaggio e sul patrimonio culturale del continente Africano, che consentisse un rapido e libero accesso ad una serie di dati differenti relativi a siti archeologici e di interesse culturale di numerosi Paesi africani. Il progetto infatti mira ad acquisire il dominio spaziale del patrimonio culturale, con particolare attenzione a quello africano, tramite la registrazione accurata delle strutture fisiche e architettoniche, la loro dimensione e la loro posizione. I siti documentati sono stati analizzati nel contesto del loro ambiente fisico, e laddove possibile, la topografia dei paesaggi circostanti è stata mappata sulla base di immagini satellitari e della fotografia aerea. L'idea di acquisire documentazione sul patrimonio culturale africano è nata innanzitutto per diffondere conoscenza a livello internazionale e per fornire materiale per la ricerca e per la didattica, ma, allo stesso tempo, per creare un record permanente e metricamente accurato di importanti siti, in funzione di futuri interventi di restauro e di conservazione.

Le tecnologie digitali sul quale si basa il progetto comprendono la realizzazione di un sistema informativo geografico, di modelli tridimensionali e di altre categorie di dati spaziali. I dati sono stati acquisiti nel corso di campagne di rilievo, spesso complesse e difficili, giacché si è operato in Paesi caratterizzati da situazioni politiche e sociali complicate, per non dire pericolose, quali: Ghana, Mali, Camerun, Egitto, Sudan, Etiopia, Kenya, Tanzania, Uganda, Mozambico, Zimbabwe, Algeria e Sud Africana anche ad Abu Dhabi e in Giordania. Al momento sono in programmazione ulteriori interventi in altri siti africani.

La collezione è stata concepita come un modello integrato ed interattivo, all'interno del quale i dati contestuali sono strettamente collegati con quelli spaziali. In questa dialettica fra fonti informative differenti prende corpo la filosofia del progetto, e la convinzione che gli strumenti creati non costituiscano soltanto una sorgente di informazioni, ma anche la base per nuove forme di documentazione dei siti, che possano apportare innovazione anche nel campo della loro gestione.

Il progetto *Zamani* è stato realizzato a partire dal 2004 dalla Divisione di Geomatica dell'Università di Città del Capo ed è stato finanziato fino al 2012 dalla Fondazione *Andrew W. Mellon*, mentre attualmente è finanziato dalla fondazione indipendente *Zamani African Cultural Heritage Sites Trust*.

²²⁴ The Zamani Project: <http://zamaniproject.org/index.php/home.html> [ultimo accesso: 05/03/2016]

Il lavoro di documentazione dei siti archeologici condotto nell'ambito del progetto Zamani, ha avuto come finalità la pubblicazione di dati e risultati su un sito web, tramite il quale poter erogare contenuti digitali ed informazioni archeologiche.

Il sito web si presenta ben curato e molto intuitivo. Sin dalla homepage infatti appaiono piuttosto chiare le modalità per sfogliare i dati presenti nel sistema. È possibile infatti raggiungere i contenuti o in base alla tipologia di dati, o in base alla posizione geografica. Nel primo caso le tipologie di dati sono:

- **Modelli 3D** – Si tratta di repliche di monumenti, siti e porzioni di paesaggio generalmente acquisiti tramite laser scanner. I modelli possono avere tre gradi di risoluzione (High, Medium, Low Resolution). In alcuni casi sono stati resi disponibili gli esiti di scansione laser sotto forma di nuvole di punti.
- **Scenari virtuali** – Alcuni modelli 3D da laser scanner sono stati implementati in veri e propri scenari interattivi, in cui l'utente può navigare e leggere informazioni sul sito tramite l'uso di P.o.I. (points of Interest) disseminati lungo il percorso virtuale²²⁵.
- **Panoramiche VR** – Vedute fotografiche a 360° la cui immersività è incrementata dall'integrazione con informazioni testuali.
- **Video e Fotografie** – Sono state effettuate delle riprese video e delle battute fotografiche per documentare lo stato attuale di siti e del paesaggio circostante.
- **Layout del GIS** – Tavole tematiche estratte dal GIS del progetto, sulla quale sono riportati i tematismi peculiari scelti per meglio descrivere le caratteristiche dei diversi comprensori.
- **Planimetrie e sezioni** – Mappe raster bidimensionali realizzate dalle visuali ortogonali dei modelli da laser scanner e che completano la documentazione tecnica architettonica ed archeologica.

²²⁵ Per visualizzare gli scenari è necessario installare particolari plug-in di Unity3D e utilizzare browser compatibili come Mozilla Firefox.

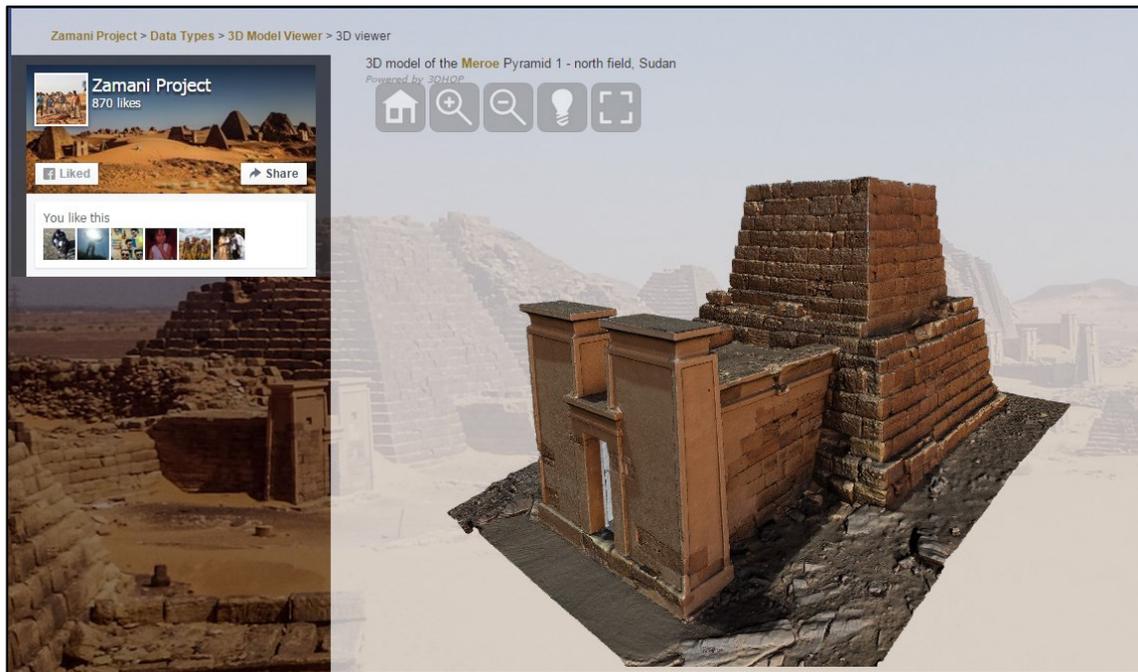


Fig. 20 - Zamani Project. Il viewer 3D

La seconda modalità di ricerca dei contenuti digitali dello Zamani Project è tramite area geografica. I siti sono raggruppati per Paese e cliccando su ognuno di essi appare una lista dei materiali disponibili. Non tutti infatti dispongono degli stessi dati e alcuni casi, essendo parte di progetti di documentazione digitale tuttora in corso, sono solo citati.

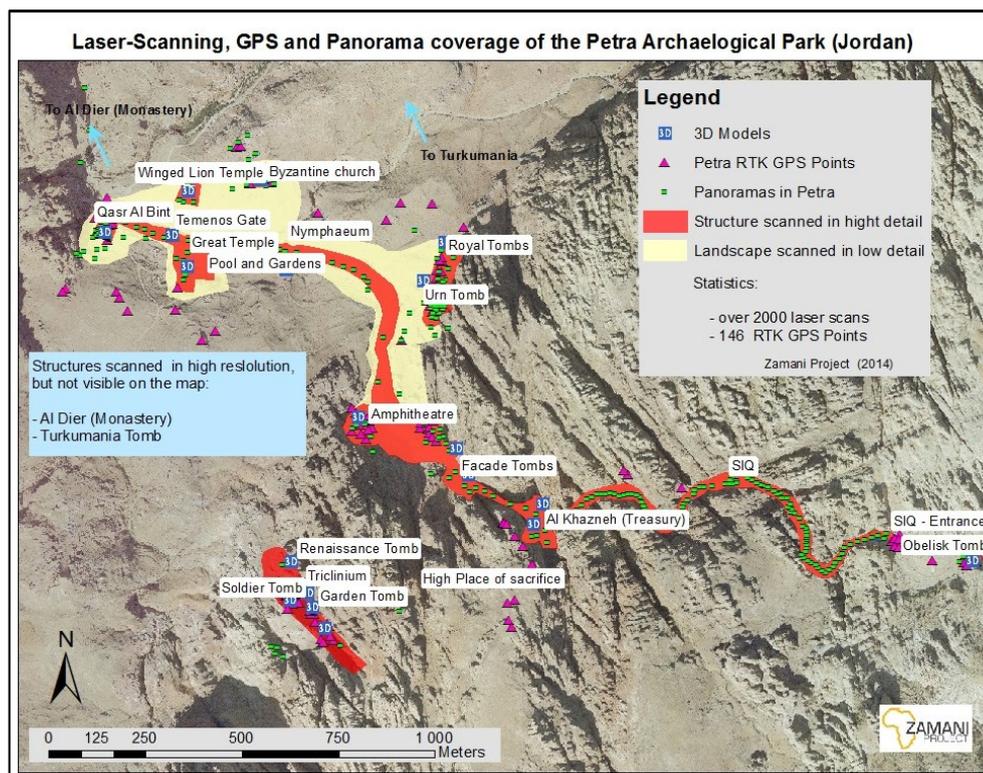


Fig. 21 - Zamani Project. Un layout GIS

III.3.3 Giza 3D. Archeologia digitale e comunicazione per le piramidi di Giza.

Il progetto Giza è stato realizzato da archeologi dell'Università di Harvard in collaborazione con l'azienda di bandiera francese *Dassault Systèmes* con l'obiettivo di creare scenari virtuali di grafica tridimensionale per l'area archeologica della necropoli di Giza. Tramite un sito web ben curato sia per la veste grafica che per l'organizzazione dei contenuti²²⁶, i visitatori possono immergersi in scene virtuali ambientate nell'Egitto di III millennio a.C.

La particolarità del progetto sta nell'aver impostato le ricostruzioni 3D del sito a partire dalla documentazione di archivio tradizionale, nello specifico di documenti fotografici e cartografici, di disegni e di descrizioni di oggetti. Gli autori del progetto infatti individuano proprio nell'unione fra il vecchio e il nuovo una forma di accesso rivoluzionaria alla conoscenza archeologica di Giza²²⁷.

Tuttavia l'enorme quantità di documentazione raccolta in più di due secoli di ricerche su questo sito ha imposto un lavoro di raccolta e sistematizzazione digitale dei dati, della durata di dieci

²²⁶ Il progetto Giza 3D è stato pubblicato sul sito: <http://giza3d.3ds.com/#discover> [ultimo accesso: 24/02/2016]. Un grosso limite di questo progetto consiste però proprio nella scelta del plugin 3Dvia per la visualizzazione dei contenuti 3D. questo plugin, prodotto dalla stessa Dassault Systèmes, è gratuito, però è compatibile soltanto con sistemi operativi Microsoft Windows e con i browser Internet Explorer e Mozilla Firefox.

²²⁷ Der Manuelian 2013.

anni, che si è concretizzato nel *Giza Archives Project* curato dal Museum of Fine Arts di Boston²²⁸.

Senza la documentazione precedente infatti nessun approccio allo studio della necropoli di Giza sarebbe stato possibile, tantomeno la visualizzazione 3D, visto che essa è una tecnica per comunicare delle informazioni archeologiche. Pertanto nell'ambito del Giza Archives Project sono stati digitalizzati migliaia di documenti composti da negativi fotografici (anche su lastre di vetro), diari di scavo ed inventari con le descrizioni di reperti. La grande sfida intellettuale posta dalla digitalizzazione di questa gran quantità di materiale stava nel riuscire a trovare una struttura organizzativa. Si è partiti dunque dall'individuazione delle tombe a *màstaba*, come nodi centrali di un database SQL modulare, ai quali sono stati collegati i dati di tutte le entità pertinenti, nonché dei dati aggiuntivi come disegni di planimetrie e sezioni, rappresentazioni ortografiche delle pitture parietali, foto, pubblicazioni, Quick Time VR, ed informazioni connesse con le singole tombe, come eventuali nomi di proprietari o particolari notizie ricavate dalla traduzione dei geroglifici.

La visualizzazione 3D nel Giza Project è stata concepita come strumento di accesso di nuova generazione sia per un pubblico esperto che per uno di appassionati. I rendering delle ricostruzioni sono stati fondati esclusivamente sul corpo di dati di archivio, con l'obiettivo a lungo termine di integrare sia la documentazione tradizionale che gli ambienti tridimensionali immersivi.

Il lavoro di ricostruzione della necropoli è avvenuto per step. Per prima cosa sono state analizzate fotografie storiche, mappe e annotazioni per ottenere informazioni su una possibile configurazione dell'area archeologica. I risultati di queste analisi sono stati integrati con quelli provenienti da verifiche sul campo, dopodiché sono stati realizzati i modelli 3D dei singoli monumenti. Questi ultimi sono stati caricati all'interno del modello generale dell'altopiano di Giza, modellato a sua volta sulla base di alcune correzioni di tipo geologico e orografico. Sono state infatti rimossi gli elementi del paesaggio moderno ed è stato tracciato nuovamente il corso del Nilo, posizionando l'alveo in posizione ravvicinata rispetto all'altopiano, così come doveva apparire circa 4500 anni fa.

Non è stata fornita una ricostruzione esaustiva di tutte le evidenze presenti a Giza, ma i monumenti principali sono stati tutti inseriti.

²²⁸ Gli archivi di Giza mantenuti dal Museo di Boston possono essere consultati in rete al seguente indirizzo: <http://www.gizapyramids.org/> [ultimo accesso: 24/02/2016].



Fig. 22- Giza3D. Veduta aerea della ricostruzione dell'altopiano.

Gli utenti possono dunque visualizzare l'intero altopiano dall'alto oppure a livello di suolo, entrando così nei monumenti funerari e, in alcuni casi passare dalla ricostruzione di una fase ad un'altra. La scena virtuale oltre a contenere monumenti e oggetti ricostruiti, è popolata anche da personaggi animati che rappresentano antichi Egizi mentre compiono particolari azioni come ad esempio quelle connesse con i rituali funebri. La presenza degli avatar, oltre a dare un'idea delle proporzioni degli spazi, facilitando l'orientamento degli utenti all'interno dell'ambiente, aiuta a comprendere la funzione di specifiche strutture.



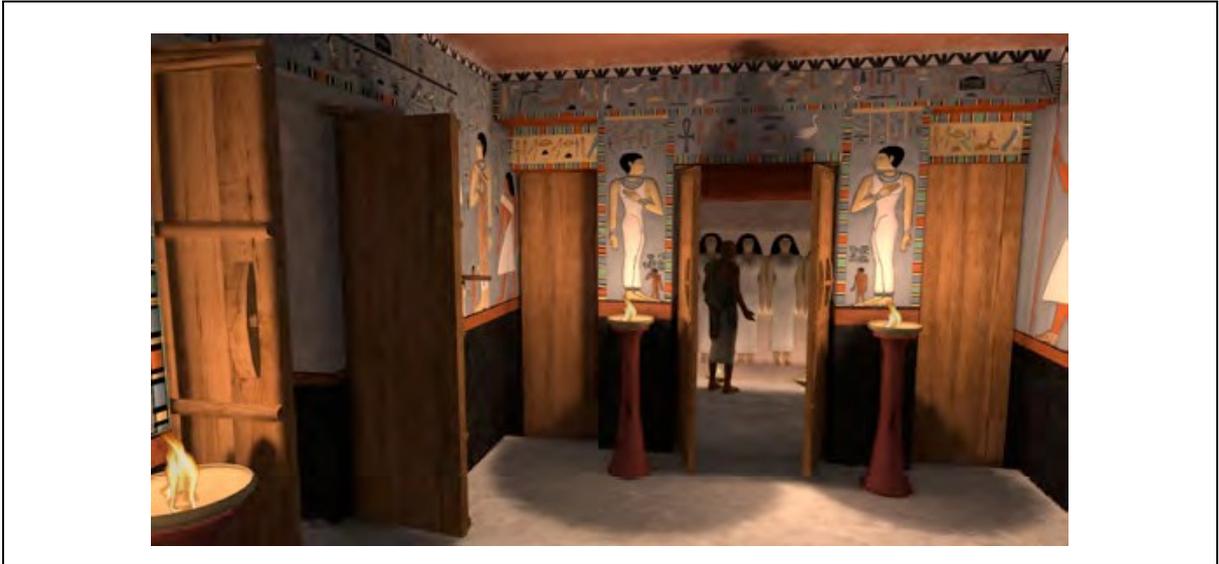


Fig. 23 - Giza3D. Rendering di ambienti ed oggetti.

Il Giza Project dimostra come la grafica 3D possa rivestire la duplice funzione di strumento di ricerca e di comunicazione, e dunque coinvolgere allo stesso tempo tipi di pubblico differenti. Percorrere itinerari all'interno di ambienti virtuali interattivi può infatti indurre i ricercatori a formulare le loro ipotesi o a visualizzare ambienti difficilmente accessibili nella realtà, o ancora a confrontare la configurazione di una particolare struttura con i dati e le informazioni in proprio possesso. D'altro canto gli utenti "comuni" possono apprendere nozioni ed informazioni in una maniera decisamente più innovativa, che sfrutta le potenzialità della grafica 3D e della realtà virtuale per incrementare il coinvolgimento del pubblico.

Va anche detto che questi strumenti di comunicazione oggi assumono un valore maggiore motivato dalle sempre più frequenti distruzioni di importanti siti archeologici di aree geografiche che sono purtroppo teatro di orrende vicende belliche. Poter visualizzare gratuitamente, tramite un comune sito web, dati, informazioni e ricostruzioni tridimensionali di importanti testimonianze del patrimonio archeologico mondiale costituisce sicuramente uno strumento per tramandare conoscenza, quella stessa conoscenza evidentemente temuta da coloro che intendono annientare intere popolazioni recidendo le proprie radici.

Gli esempi descritti sono stati considerati come costanti riferimenti nell'ambito di questo lavoro. Si tratta di grandi progetti, frutto del lavoro di équipe della durata di tanti anni, e in alcuni casi realizzati grazie al supporto di partner industriali di alto profilo.

Progetti di questa portata non possono prescindere da solide e proficue collaborazioni fra esperti di dominio differenti. È il carattere interdisciplinare a fornire i risultati più interessanti, proprio perché fondato sull'integrazione di metodologie e professionalità specifiche.

CAPITOLO IV - HERDONIA. CONTESTO ARCHEOLOGICO E METODOLOGIE DI INDAGINE.

L'analisi della documentazione d'archivio è stata affiancata dallo studio di giornali di scavo, dei rapporti annuali e delle pubblicazioni relative ad Herdonia curate dallo stesso Mertens. In particolare, la serie Ordon, giunta nel 2008 all'undicesimo volume, presenta una distribuzione dei risultati delle ricerche non affatto casuale. Infatti le campagne di scavo sono state raggruppate nei vari volumi non soltanto per una vicinanza cronologica, ma anche perché concepite con lo scopo di fornire risposte a precise domande archeologiche che si sono susseguite durante il corso delle ricerche.

Comprendere queste dinamiche significa comprendere le strategie attuate in fase di scavo, e dunque acquisire istruzioni sulla distribuzione di trincee e sondaggi, sulla loro posizione all'interno del sito e sulla metodologia di scavo adottata. A tal proposito risulta particolarmente interessante notare l'attenzione di Mertens agli aspetti metodologici e le sue riflessioni in merito alla selezione di tecniche e procedure.

Inoltre è stato possibile mettere in relazione la documentazione grafica con le interpretazioni del team di Mertens, ripercorrendo fasi di scavo e conseguenti aggiornamenti nella formulazione delle ipotesi ricostruttive.

La lettura dei testi ha fornito in sostanza una sorta di **manuale di istruzioni** per consultare l'archivio, o meglio per orientarsi al suo interno, rendendo più agevole la comprensione della documentazione e quindi la composizione della mappa generale del sito.

Pertanto si ritiene utile descrivere la straordinaria vicenda delle ricerche sul campo così come è stata ripartita nelle pubblicazioni della serie Ordon. Sono queste infatti a rappresentare il cuore della conoscenza archeologica di Herdonia, mentre l'archivio è il luogo in cui sono custodite le sue tracce.

IV.1 Gli inizi delle ricerche. 1962 – 1964.

Le prime campagne della missione belga hanno avuto luogo durante gli inverni 1962/63 (dal 26 novembre al 27 aprile) e 1963/64 (dal 7 ottobre al 29 marzo). Una carta topografica dettagliata del sito è stata redatta su base fotogrammetrica dal SIAT (Studio Italiano Aerofotogrammetrico Topografico) di Roma che si è occupato anche delle riprese da aereo ed elicottero.

Storia degli scavi.

Nel 1965, Joseph Mertens scrive: *“Non siamo certo i primi ad aver scavato il suolo di Ortona, ma mai è stato esaminato in maniera sistematica ed approfondita”*²²⁹. I lavori svolti sinora si erano limitati a studi di topografia generale e la documentazione esistente proveniva da ricerche sporadiche e da ritrovamenti occasionali. I reperti erano sparsi in collezioni pubbliche e private in Europa e in America, e provenivano perlopiù da necropoli che circondavano la città antica: si tratta di oggetti in bronzo, armi e fibule, e di ceramiche *“multicolore di forme molto variegata”*²³⁰, vale a dire la ceramica indigena. Una serie di circa trenta sepolture fu esaminata da Angelucci negli anni compresi fra il 1872 e il 1876, mentre i primi scavi sistematici, sempre all'interno delle necropoli, furono intrapresi da Q. Quagliati nel 1902. Dopo un periodo di sospensione delle ricerche, soltanto alla fine della seconda guerra mondiale, grazie al contributo dell'interpretazione delle fotografie aeree della Royal Air Force, a cura di John Bradford, iniziò uno studio sistematico delle evidenze archeologiche nella Puglia: villaggi neolitici, città e ville romane, centuriazioni e reti viarie. Tuttavia nonostante la disponibilità di questi nuovi dati, il sito di Ortona non fu affatto oggetto di ricerche se non a partire dal 1954, quando furono effettuati dei sondaggi all'interno del circuito murario della città romana. Degrassi scavò parzialmente la porta sud-ovest della città e qualche struttura del foro urbano, ma a parte la localizzazione di alcuni elementi essenziali della città romana, questi scavi precisarono soprattutto quello che era considerato il **problema maggiore** di Ortona, ossia il rapporto tra le necropoli daunie dal VI al IV secolo a.C. e la città preromana. È interessante come Mertens rivendichi l'assoluta necessità di verificare sul campo le tracce evidenziate grazie alla fotografia aerea, dimostrando quanto fosse rigoroso il metodo scientifico applicato dall'équipe belga.

²²⁹ Mertens 1965, p.7.

²³⁰ Mertens 1965, p.8.

Storia del sito

Città dell'antica Daunia, regione che occupava la parte settentrionale dell'antica Apulia, Herdonia fu abitata a partire dal VI secolo a.C., come dimostrano i numerosi ritrovamenti nelle necropoli che circondano l'antico abitato. Il nome di quest'ultimo resta piuttosto oscuro. Alcuni autori attribuiscono alla città monete con la dicitura MER, datate al VI o all'inizio del V secolo, lo stesso per la scritta SARDO, di IV secolo o quella contemporanea ERDANON (o ARDANON). Altri pezzi datati al III secolo presentano soltanto la lettera H come indicatore della provenienza da Herdonia. Una importantissima attestazione recante la dicitura SERDAIOI, nel testo di un trattato di alleanza con la città di Sibari, depositato nel tempio di Olimpia, confermerebbe il ruolo strategico rivestito da Herdonia durante le guerre puniche. Dopo la sconfitta romana a Canne, nel 216 a.C., Ortona passò dalla parte di Annibale; nel 214 Roma tenta di riconquistare una serie di città sannite, lucane e apule passate al nemico, e nel 212, sappiamo grazie a Tito Livio, che le truppe romane posero i quartieri invernali nei pressi di Ortona, ove nello stesso anno le truppe di Cneo Fulvio Flacco furono sconfitte da Annibale. Due anni dopo, nel 210, Annibale sconfisse nei pressi di Herdonia anche le milizie di Cneo Fulvio Centinato e, sia per mancanza di fiducia nella città, sia per non lasciare ai Romani le sue basi in Daunia, fece deportare la popolazione a Turi e a Metaponto. Sempre secondo Tito Livio la città di Herdonia fu data alle fiamme.

In quest'epoca tutta la regione sembra aver conosciuto un periodo di densa occupazione. Annibale dispose i suoi soldati in basi situate nei dintorni di Herdonia in modo da controllarne la viabilità. Il fatto che questi luoghi fossero ben nascosti nei boschi lascia pensare ad un paesaggio vegetale ben diverso da quello attuale. È opportuno notare come anche i Romani posero il loro accampamento fuori dalla città. Tito Livio, forse per scaricare un po' di responsabilità dei consoli romani, afferma che questo campo non presentava le garanzie per resistere ad un assalto nemico. Mertens utilizza questo testo come prova per confutare le tesi di alcuni autori che ipotizzavano la presenza di due insediamenti distinti, uno in pianura e l'altro nell'attuale sito di Ortona, ma egli stesso afferma che *“da nessuna parte gli autori antichi fanno menzione di uno spostamento dell'abitato”*²³¹. Piuttosto l'analisi della fotografia aerea sembra aver rivelato *“la possibilità dell'esistenza di un abitato distinto nella pianura, sconosciuto e insospettato, di epoca preromana, attorno al quale si sarebbe sviluppata la storia più antica di Herdonia”*. Già nel IV secolo la regione fu scenario di eventi importanti: nel 319, mentre il console Lucio Papirio Cursori rioccupò Luceria, il suo collega Quinto Publilio Philo

²³¹ Mertens 1965, p.10.

percorse l'Apulia e sottomise diverse popolazioni. L'anno seguente ci fu la *deditio* di Canusium; Herdonia, situata a metà strada fra le due città fu certamente coinvolta in questi scenari politici: alleanza con i Sanniti, disfatta nel 297, occupazione da parte di Pirro poco prima della battaglia di Ausculum, e infine la deportazione nel 210 da parte dei Cartaginesi.

Sotto la Repubblica Herdonia ricevette il titolo di *municipium*, governata da pretori, edili, quattorviri e da tutte le cariche previste per questo rango cittadino. Diversi autori antichi la citano come città di sosta lungo l'asse stradale che collegava Benevento a Brindisi²³², o ancora come una città povera e abbandonata: *obscura incultis Herdonea* la definisce infatti Silio Italico²³³.

Nel II e nel I secolo delle importanti riforme agrarie coinvolgono la regione. Durante il I secolo inoltre, dopo la costituzione della Regio II augustea, Apulia et Calabria, la città conobbe una considerevole rinascita che raggiunse il culmine a partire dal 109 d.C., quando fu costruita la Via Traiana, di cui Herdonia era un importante centro.

In età tardoantica, più precisamente nel V secolo, la città fu sede episcopale: alcuni testi infatti citano per l'anno 499 un vescovo chiamato Saturnino Herdonitano.

Infine, almeno in questa prima parte delle ricerche, Mertens considera la città medievale “un pallido riflesso della città antica”, inquadrando la sua concentrazione su una delle colline dell'antico abitato. Grazie all'analisi della ceramica e delle monete è possibile stabilire che ci fu una continuità di vita fino al XV secolo, momento in cui Herdonia fu definitivamente abbandonata.

Le ricerche archeologiche

Lo studio della storia di Herdonia, delle fonti letterarie e l'interpretazione della fotografia aerea furono alla base delle impostazioni di ricerca adottate da Joseph Mertens.

Durante le prime due campagne di scavo, le ricerche si sono soffermate su tre questioni principali:

1. La topografia generale del sito
2. Il recinto urbano e la cronologia della città
3. La necropoli preromana

È importante per Mertens specificare la tecnica di scavo adottata, e ciò si è rivelato un dato molto utile ai fini di questa ricerca, per comprendere non solo le strategie adottate anno per

²³² Strabo, Geogr., VI, 3, 7, C 282

²³³ VIII, 567

anno, ma anche l'evoluzione metodologica dell'équipe belga in relazione alle domande archeologiche iniziali.

La tecnica è quella di “*sondaggi e scavi parziali*”²³⁴. I sondaggi sono lunghe trincee che intercettavano differenti strati fino alla roccia sottostante. Durante le prime due campagne furono aperti 38 sondaggi.

Gli scavi parziali riguardano le zone più importanti dal punto di vista planimetrico e cronologico, come l'ingresso dell'anfiteatro, le porte urbiche e la parte orientale della cinta muraria.

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
1	1962	Anfiteatro
1a	1962	Anfiteatro
1b	1962	Anfiteatro
2	1962	Anfiteatro
3	1962	Anfiteatro ingresso N, quartiere Nord
3a	1962	Anfiteatro ingresso N, quartiere Nord
3b	1962	Anfiteatro ingresso N, quartiere Nord
4	1962	Mura NE, Quartiere Nord
5	1962	Anfiteatro ingresso S, Mura E
6	1962	Mura Est, Serie di 19 sondaggi
7	1963	Mura lato Ovest, ai piedi della collina N
8	1963	Porta Nord Est (Via Traiana)
9	1963	Mura E, a S di Anfiteatro
10	1963	Mura E, a S di Anfiteatro
11	1963	Mura E, verso collina N
12	1963	Mura E, verso collina N
14	1963	Mura E, verso collina N
15	1963	Mura E, verso collina N
16	1963	Collina N, castellum
17	1963	Porta Nord Est
18	1963	Anfiteatro
19	1963	Campus, Serie di 12 sondaggi
20	1963	Mura NE, verso collina N
21	1963	Mura NO, Porta Nord Ovest
22	1963	Anfiteatro
25	1963	Anfiteatro ingresso N
26	1963	Porta Nord Est (Via Traiana)
27	1963	Porta Sud Ovest
28	1963	Collina meridionale
29	1963	Mura SE, Serie di 10 sondaggi
30	1963	Porta Nord Ovest

²³⁴ Mertens 1965, p. 12.

31	1963	Anfiteatro ingresso N
32	1963	A Nord dell'ingresso N dell'anfiteatro
33	1963	Fra Anfiteatro e campus, serie di 11 sondaggi
34	1964	Mura occidentali
35	1964	A Nord della Porta Sud Ovest, intra moenia
36	1964	Quartiere a Nord Ovest dell'Anfiteatro
37	1964	Zona extra moenia ad Est delle mura Est
38	1964	Mura Est, Serie di 10 sondaggi

Topografia generale

L'antica Herdonia occupava una serie di colline situate nel Tavoliere, la grande e fertile pianura oggi coltivata con viti, ulivi e cereali. La pianura è attraversata da corsi d'acqua oggi di scarsa portata, ma che anticamente costituivano un'importante risorsa. Ed è proprio a sud di uno di questi, il Carapelle, che nacque Herdonia.

La città antica era delimitata da una cinta muraria lunga 1980 metri, che inglobava una superficie di circa 20 ettari che comprende tre colline, divise da avvallamenti in cui sorgevano le tre porte urbane individuate fino ad allora. Lo studio del tracciato murario ha permesso di seguire lo sviluppo cronologico dell'intera città, come si vedrà in seguito.

Nel settore nordorientale della cinta fu tagliata una breccia per costruire nel II secolo d.C. l'anfiteatro.

Sempre a nord, ma nel settore occidentale, alla sommità della collina più elevata di Herdonia, è stato individuato un fortino di epoca tarda a pianta quadrata, dotato di un bastione in terra preceduto da un fossato difensivo. Questo complesso, chiamato *castellum*, occupa una superficie di 80 metri quadrati e copre del tutto le strutture di epoca imperiale. Al momento dello scavo non era ancora possibile fornire datazioni precise ma viene menzionato del materiale di epoca altomedievale. Grazie alla foto aerea inoltre è stato possibile individuare lungo la cresta settentrionale della città, una serie di abitazioni molto tarde: Mertens aveva così individuato l'asse principale della Herdonia medievale. All'interno della città ugualmente sono state individuate tracce del declino della città nelle strutture, nelle sepolture a cappuccina e nei corredi estremamente poveri.

L'attenzione di Mertens si rivolge maggiormente ai resti di un'altra struttura situata nel settore nord est, sottostante all'anfiteatro, che in parte la distrugge. Si tratta di un piazzale intercettato dalle **trincee XIX e XXII**, di larghezza stimata attorno ai 53 metri, identificato inizialmente come il foro della città. Il peribolo di questa piazza è costituito da un muro in opera incerta costruito al di sopra di strati di occupazione più antichi. Al di là di questo muro sono state

individuate anche strutture di un quartiere produttivo, come la fornace 178 nella trincea XVIII, per la produzione di laterizi.

Tutte queste strutture sono state in parte distrutte dalla costruzione dell'anfiteatro.

L'arena è del tipo semi-interrato, confrontabile con quelle di Pompei, Venosa e Lucera. Questo monumento è costruito in opera reticolata intervallata da fasce di laterizi. E le sue mura poggiano su serie di pilastri che hanno tagliato gli strati di occupazione più antica e che sono collegati da archi di scarico. Il complesso forma un'ellisse dove l'asse maggiore misura 90 metri, mentre quello minore, 75; l'arena risulta ridotta ad una lunghezza di 60 metri nel suo asse maggiore.

La documentazione grafica, e in particolare lo studio della sezione della **trincea XVIII** ha consentito di riconoscere meglio la sequenza temporale che ha caratterizzato la storia dell'anfiteatro: il riempimento di terra, livellato per formare la piana dell'arena copre numerose strutture precedenti. L'analisi della stratigrafia e del materiale ceramico rinvenuto consente di datare il riempimento di questo edificio al I secolo d.C.

Altre strutture sono state individuate in quest'area: alcune sembrano essere allineate al grande piazzale a sud dell'anfiteatro, mentre altre si dispongono lungo la strada intercettata dalla **trincea XXXVI** e che collegava la porta nord-est al centro della città. Si fa riferimento a quella che sarà correttamente identificata con la *Via Traiana*, ma in assenza di dati certi, Mertens si limita a definirne la lunga continuità di vita grazie all'analisi delle tecniche murarie delle strutture ad essa allineate: dall'opera reticolata di I secolo a "*tecniche più trascurate*" di epoca tarda²³⁵.

L'indagine delle porte della città ha confermato che furono erette strutture anche al di fuori della cinta muraria, come nel caso dell'abitazione nei pressi della porta nord ovest, dotata di cisterna e di un ipocausto, probabilmente parte di una azienda agricola. Le tombe rinvenute in quest'area sembrano collocarsi cronologicamente nel Basso Impero, e sono quasi tutte infantili. Tracce di occupazione più recenti sono state rinvenute sulle alture del settore nordorientale della città, grazie anche all'interpretazione della fotografia aerea. Le strutture, intercettate dalle trincee IV, VIII, XVII, XIII, erano tutte in ciottoli, mattoni riutilizzati e argilla. Alcune monete permettono di datare dei muri all'età costantiniana, mentre altre sono sicuramente medievali; la ceramica invece, arriva fino al XV secolo.

La necropoli di questo piccolo abitato si trova nei pressi dell'anfiteatro, ed è composta da tombe ad inumazione prive di corredo.

²³⁵ Mertens 1965, p.18.

Le prime ricerche ad Herdonia interessarono anche strutture lontane dal centro abitato. Si tratta dei resti di un *ponte di età traiana* sul Carapelle e di un acquedotto sotterraneo in opera incerta e rivestito di tegole, situato a sud est della città.

La cinta muraria e la cronologia della città

Dopo aver analizzato la topografia generale della città e parte dei suoi edifici, il secondo obiettivo di Mertens era quello di definire una **scansione cronologica di Herdonia**, a partire dallo studio della cortina muraria. Gli scavi hanno permesso di seguire l'intero tracciato della cinta muraria, che si estende, come già detto, per quasi 1980 metri. Il circuito murario, nei suoi tre secoli di esistenza, ha conosciuto rimaneggiamenti e ricostruzioni a volte radicali, cambiamenti che hanno riflesso alcuni avvenimenti storici. Soprattutto grazie alle indagini presso le **porte** (trincee VIII, XVII, XXVI, XXI, XXVII e XXXIX) è stato possibile seguire l'evoluzione cronologica delle mura, mentre le trincee III, IV, VI, XIX illustrano nella loro successione stratigrafica, l'intera evoluzione dell'assetto urbano. Sulla base di questi dati, Mertens propone una scansione cronologica divisa in otto fasi cronologiche, invitando però a non considerarle secondo uno schema rigido.

Fase 1.

Individuata durante la campagna 1963/64, questa fase è costituita da un rialzo di terra bruna posta direttamente sulla roccia, rinvenuto nelle trincee XXVI, III e VI. Anche alcune buche di palo tagliate nella roccia possono essere ricondotte a questa fase. Si tratta forse delle tracce dell'antico passaggio che dava accesso alla città e che era fiancheggiato da torri in legno. All'interno della città le numerose buche di palo nello strato roccioso lasciano ipotizzare un abitato costruito in legno e argilla.

La datazione di questa fase è stata proposta sulla base dello studio della necropoli anteriore all'abitato scavato. Tutte le tombe di questa necropoli sono daunie e contengono ceramiche locali o importate, ma soprattutto tagliano lo stesso strato di terra scura appena citato.

Grazie allo studio della ceramica è stato possibile definire che questa necropoli, sicuramente attiva nel **V secolo a.C.**, è stata abbandonata agli inizi del III, quando l'abitato fu strutturato.

Fase 2.

Il terrapieno primitivo fu presto rimpiazzato da una costruzione tutta nuova. Mertens considera questa scoperta come *“uno dei maggiori risultati degli scavi di Ordona”*²³⁶.

²³⁶ Mertens 1965, p. 22.

Questa cinta arcaica si appoggia sia sulla roccia che sul terrapieno antecedente ed è costituita da una fondazione in ciottoli di fiume, sormontata da una muraglia in mattoni crudi.

All'interno della città un terrapieno spesso quasi 13 metri fu posto come rinforzo di questo muro, che ne diventa praticamente il paramento esterno. Infatti il terrapieno è mantenuto all'interno da un muro più piccolo di controscarpa fatto in ciottoli, terra e qualche mattone crudo.

In corrispondenza delle porte, le mura sono più solide. Non è possibile precisare se in questa fase vi fosse già un fossato a protezione ulteriore della cinta muraria.

All'interno del riempimento sono stati trovati numerosi frammenti di ceramica a vernice nera di produzione apula, tardoattica o protocampana, databile **fra IV e III secolo a.C.**

Fase 3.

In questa fase vengono rinforzate le difese esistenti. La porta nord est fu dotata di una torre supplementare e munita di un paramento in pietra che conferiva un impianto a tenaglia, tipico dei sistemi difensivi ellenistici e italici.

Fase 4.

Sembra che queste difese non rispondano ai bisogni del momento. Le mura vengono rinforzate un'altra volta e dappertutto si constata un rialzamento del terrapieno (trincee III, VI e XIX) con ghiaia e sabbia gialla.

La torre esistente presso la porta nord est viene rimpiazzata da una struttura più grande, mentre un piccolo bastione viene costruito a ridosso della cinta muraria.

Probabilmente è questo il momento in cui viene scavato il fossato difensivo, ma ancora nessuno scavo era stato effettuato per verificare questa ipotesi.

La ristrutturazione delle difese sembra essere il riflesso della complicata ed incerta situazione politica dell'Italia meridionale fra IV e III secolo a.C. Mertens scrive che questa fase "*segna la fine di un periodo di sviluppo assai rapido, che copre forse l'intero III secolo*"²³⁷. In questo momento la città sembra essere stata abbandonata. È interessante come in alcune trincee (XVII e XXX) sia stato individuato uno spesso strato di terra scura, di probabile origine alluvionale, anteriore alla fase 5. L'ipotesi proposta da Mertens è quella di mettere in relazione questa fase di abbandono con il **210 a.C.**, anno in cui Annibale occupò la città e deportò la popolazione a Turi e a Metaponto.

²³⁷ Mertens 1965, p. 23.

Fase 5.

In questa fase la cinta urbana viene quasi completamente ricostruita in solida muratura. La cinta è formata da due pareti, quella esterna, più solida, costituisce la facciata propriamente detta, mentre quella interna è il muro di controscarpa che contiene il riempimento sul quale era collocato il cammino di ronda.

Piuttosto interessante la tecnica costruttiva, particolarmente evidente nel muro 43 della trincea IV.

La fondazione è formata da blocchi di pietre legati da una malta dura. Il paramento interno è formato da singoli blocchi compressi in casseforme di legno, mentre quello esterno in opera incerta di ottima fattura. La stessa tecnica è stata adoperata per la costruzione del muro di controscarpa.

La cinta muraria viene munita di torri circolari costruite nella medesima tecnica.

Le mura circondano tutta la città e poggiano sull'antico riempimento in terra, parzialmente abbandonato e smantellato.

L'analisi dei reperti ceramici, delle monete e di alcuni frammenti di carbone datati tramite esame del radiocarbonio, consentono di datare questa fase alla **fine del II secolo a.C.**

Fase 6.

Questa fase riguarda quasi esclusivamente la ristrutturazione della porta sud ovest, che assume un aspetto monumentale grazie alla costruzione di due torri quadrate di 6x6 metri. Le torri erano costruite con blocchi in cassaforma e opera incerta, mentre la facciata presenta un'opera reticolata di ottima fattura. Come sostiene Mertens, "*non deve essere passato molto tempo fra la fase 5 e la fase 6*"²³⁸. Infatti l'analisi del materiale ceramico permette di stabilire una datazione leggermente più recente, ovvero la **seconda metà del I secolo a.C.**

Fase 7.

Con l'Impero e la Pax Romana, le difese avevano sempre meno utilità pratica e, pertanto, furono in gran parte smantellate.

I cambiamenti maggiori sono stati individuati nel settore nordorientale, con la costruzione dell'anfiteatro e di una strada individuata nella trincea XVII grazie a due pilastri identificati con i numeri 128 e 161, che coprono il muro di controscarpa. La distanza fra i due pilastri è di 4,80 metri, ossia la larghezza di una strada romana. Al livello di costruzione dei pilastri è presente

²³⁸ Mertens 1965, p. 25.

un sottile strato di malta sul quale fu posta la base della strada, costituita da uno spesso strato di pietre e ghiaia e ricoperta da pietrisco duro.

In questa fase il fossato difensivo viene abbandonato e gradualmente riempito.

I materiali più antichi risalgono alla fine del primo secolo a.C., mentre alcune ceramiche recanti i nomi dei vasai risalgono al primo secolo della nostra era.

La tecnica costruttiva stessa dell'anfiteatro, opera reticolata con fasce di laterizi e scale in mattoni, combacia perfettamente con la datazione proposta e dunque con l'età augustea.

Tuttavia lo stesso Mertens ritiene in questo momento prematuro effettuare una scansione cronologica dell'anfiteatro, pur avendo individuato due fasi costruttive.

Interessante il caso della costruzione della nuova strada. Essa è il chiaro segno di una nuova sistemazione urbana, ma è sicuramente successiva all'età augustea, come attesta il rinvenimento di un busto bronzeo raffigurante l'imperatore Traiano. Si tratta quindi della Via Traiana, citata da Strabone come uno dei due assi che collegava Roma a Brindisi. Herdonia diventa in questo momento un importante centro lungo la via fra l'impero e l'oriente.

Fase 8.

L'ultima fase individuata alla fine delle prime due campagne di scavo segna ancora una volta un cambiamento radicale nell'assetto urbano di Herdonia. La città antica risulta abbandonata. Umili strutture coprono quelle antiche senza tener conto delle disposizioni urbanistiche antiche. Sembra quasi che si sottovaluti l'assetto urbano della città medievale, e in questa scansione in fasi non viene ancora menzionato il castellum sulla collina settentrionale, intercettato dalla trincea XVI. Si fa però riferimento ad una lunga continuità di vita attestata dalla presenza di maioliche datate al XV secolo, momento del definitivo abbandono del sito.

La necropoli antica.

Uno degli obiettivi della campagna del 1963 è stato l'esame della necropoli preromana, estesa sia intorno alla città antica che all'interno del suo perimetro.

Molte tombe furono distrutte al momento della costruzione della cinta muraria.

Nel 1964 fu indagata l'area di necropoli ad est della città antica, e furono scoperte numerose tombe, di cui purtroppo solo una ventina intatte.

Da un primo esame del materiale pertinente ai corredi è stato possibile osservare la compresenza di tradizioni locali ed elleniche, ugualmente importanti nella formazione dell'arte apula.

IV.2. Le ricerche fra 1964 e 1966.

La terza e la quarta campagna di scavo furono effettuate rispettivamente dal 28 settembre 1964 al 19 aprile 1965 e dal 4 ottobre al 21 maggio 1966. All'équipe belga stavolta si affianca anche la Soprintendenza alle Antichità della Puglia e il Museo Civico di Foggia. Per non disperdere troppo le forze, Mertens preferì concentrarsi su alcune zone chiave dello scavo e lavorare molto sulla documentazione grafica e sugli inventari dei materiali, che cominciavano ad essere piuttosto abbondanti.

La tecnica di scavo in forma di sondaggi e trincee è stata riservata stavolta a zone ancora poco conosciute, come la collina meridionale. Anche al centro della città sono state scavate aree disposte attorno al foro. Nell'arco di queste due campagne sono stati aperti 22 nuovi saggi, (dalla trincea 39 alla trincea 60).

Le ricerche si sono concentrate in diversi settori:

1. Il Foro e le strutture adiacenti
2. L'anfiteatro
3. La cinta urbana
4. La collina meridionale
5. La necropoli

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
39	1964	Porta Sud Ovest
41	1965	Area a Nord del Foro, angolo Via Traiana
41a	1965	Serie di 5 sondaggi lungo la Via Traiana
42	1966	Mura SE
43	1965	Porta Nord Est
44	1965	Collina centrale, serie di 3 sondaggi
45	1965	Campus
46	1965	Foro, lato Est
47	1965	Tempio B
48	1965	Piazza del Foro, lato Est
49	1965	Prime indagini Macellum
50	1965	Piazza del Foro
51	1965	Intra moenia a N della Porta SO
51a	1965	Intra moenia a N della Porta SO
52	1965	Foro, lato Est
53	1966	Botteghe foro lato Ovest
54	1965	Anfiteatro
55	1965	Anfiteatro
56	1965	Anfiteatro
57	1966	Basilica
58	1966	Lunga trincea collina meridionale
59	1966	Lunga trincea collina meridionale
60	1966	Mura meridionali

Il Foro e le strutture adiacenti.

Il centro monumentale dell'antica Herdonia è facilmente visibile sul terreno; tuttavia, prima degli scavi, le strutture erano interrato, tranne una, la fontana monumentale.

Già nel 1954/55, Degrassi aveva scoperto una serie di muri in opera reticolata, tutti appartenenti ad un medesimo insieme architettonico, vale a dire un piazzale fra il tempio A e il foro.

Con gli scavi precedenti (trincee XXXVI e III) già era stata intercettata l'estremità settentrionale del complesso.

La **trincea XLI** ha permesso di indagare l'area attorno all'angolo formato dalla Via Traiana davanti alla fontana, e le strutture adiacenti ad essa. In quest'area sono state rinvenute cisterne e magazzini sotterranei. Un insieme di 16 ambienti collegati da passaggi, si estende verso nord, mantenendo lo stesso orientamento della grande terrazza ad esedra. L'accesso ai sotterranei era garantito da scale in mattoni e tegole.

Al centro della terrazza si ergeva un **monumento su podium**, di cui sono stati rinvenuti elementi in pietra di taglio a nord est del tempio A, nella trincea LII. L'abside della terrazza, costruito in tegole, è stato scavato nella trincea XLV.

Questo complesso si sviluppa attorno ad una piazza lastricata, di pianta rettangolare, orientata in senso NO-SE che misura 59 x 35 metri. Attorno alla piazza, sui lati NE, SE e SO correva un criptoportico, una galleria sotterranea con volta, larga quasi 2 metri, al di sopra della quale si ergeva un portico monumentale, di cui le basi sono ancora parzialmente conservate in situ.

Lungo l'asse della piazza, sul lato SE si ergeva il tempio A. Si tratta di un tempio su podio, di 18 x 7,5 metri, di cui la cella è preceduta, verso il foro, da una larga scala ed è chiusa sul fondo da una nicchia monumentale addossata al riempimento della terrazza sovrastante.

Su entrambi i lati del tempio ci sono ambienti che aprono sul foro. Quelli al nord sono stati scavati, ed è stata riscontrata una cappella con ambienti annessi di sicura epoca tarda.

L'edificio a sud del tempio A è il macellum, composto da una sala circolare su cui si aprono a raggiera le diverse botteghe. Lo scavo di questo edificio sarà completato nella campagna 1966/67.

Il lato meridionale del foro è stato investigato attraverso le trincee LIII, XLVII e L. In questo settore è stata individuata una serie di botteghe aperte sulla piazza e allineate al portico. Queste botteghe coprono un'altra serie di ambienti che sono disposte secondo l'orientamento del tempio B, della basilica e di parte del foro.

La trincea XLVII ha restituito uno degli elementi più interessanti dell'antica Herdonia, il **tempio B**. Collocato nell'angolo occidentale del foro, di questo edificio non restano che l'alto podio e i resti, poco elevati, di alcuni muri. Le sostruzioni si appoggiano direttamente sulla roccia.

L'impianto dell'edificio rispecchia in pieno le *tradizioni indigene italiche*, e può essere classificato come tempio a cella periptero a *ambulatio sine postico*.

La costruzione del tempio ha comportato la distruzione di strutture e tombe più antiche. Si tratta di abitazioni semplici, costruite in mattoni crudi su uno zoccolo di muratura, di cui sono state rinvenute tracce in diverse aree della città come la basilica, l'anfiteatro, la zona delle mura e la collina meridionale.

Per quanto riguarda le tombe al di sotto del tempio, si tratta perlopiù di sepolture infantili con tipici corredi indigeni, databili al IV secolo a.C., che possono essere considerate il *terminus post quem* per la costruzione dell'edificio. Il *terminus ante quem* invece è costituito da alcune strutture situate attorno al tempio databili al I secolo d.C. Pertanto, grazie all'analisi del materiale archeologico, dell'impianto e delle tecniche costruttive, è possibile datare il tempio B al II secolo a.C.

Al momento della risistemazione del foro, il tempio fu fiancheggiato da due scale e la sua facciata fu restaurata fino alle fondazioni, creando un dislivello rispetto al foro di quasi 3 metri. Questi lavori di terrazzamento hanno provocato la distruzione delle tracce più antiche.

Il **foro** stesso, di pianta quasi triangolare, è stato scavato nella **trincea L**. ci tratta di una piazza lastricata circondata da un marciapiede poco sopraelevato e, sui lati nord e ovest da un colonnato che collegava il tempio B alla Via Traiana con un pavimento a mosaico.

Il **portico** ospitava statue onorifiche di cui si sono conservate le basi con iscrizioni. Nella piazza stessa è stata scavata una fogna che collegava l'area del tempio B alla Via Traiana.

La **trincea LVII**, iniziata nel 1965, aveva come scopo lo studio della **basilica** che si estende lungo tutto il lato nord-ovest del foro. Per costruire questo edificio è stato necessario livellare la zona in modo piuttosto considerevole: questi lavori hanno certamente distrutto tombe e abitazioni indigene, che sono state invece ritrovate nella parte centrale e in quella settentrionale della basilica.

Da segnalare due scoperte rilevanti nella campagna 1966/67 (e quindi non pertinenti alle campagne descritte in Ordon 2). La prima è quella di una tomba a camera preceduta da un dromos, con un ricchissimo corredo funerario, databile fra IV e III secolo a.C. La seconda è una trincea profonda 4 metri, che Mertens ipotizza essere un dromos di una tomba, ostruita da un muro di fattura tipicamente indigena, con pietre, terra e tegole.

Tornando alla basilica, essa si presenta con un classico **impianto vitruviano**: il muro esterno ingloba una superficie rettangolare di 41 x 27 metri; la struttura poggia su 4 file di 8 imponenti colonne posate su massicce fondazioni in muratura. I muri sono in opera reticolata con catene di raccordo e pilastri in mattoni.

La facciata sul lato del foro presenta tre grandi porte, mentre una quarta porta doveva esistere lungo il lato corto della basilica, aperto sulla Via Traiana e fiancheggiato dagli ambienti che Vitruvio chiama *chalcidica*.

Nell'ingresso centrale fu costruita in epoca tarda una **cappella con un'abside**, attorno alla quale si sviluppa una vasta struttura con pianta irregolare. In questi ambienti trovava posto il cimitero di cui facevano parte le numerose tombe identificate. In altre parti del centro urbano è stata riscontrata una situazione simile. Altre due cappelle con abside sono state individuate in alcune botteghe del foro e una quarta probabilmente nei pressi del tempio B.

Al momento della redazione di questo rapporto non risultava semplice precisare le diverse fasi dello **sviluppo cronologico del centro di Herdonia**, tuttavia si potevano tracciare delle grandi linee.

La **prima occupazione** attestata in questa come in altre aree del territorio era costituita da un **abitato indigeno daunio**, databile fra VI e IV secolo a.C., con giustapposizione di tombe e abitazioni.

Il vallone fu parzialmente riempito al momento della **costruzione del primo circuito difensivo** e della **sistemazione della prima terrazza** nella seconda metà del I secolo. Tuttavia nell'angolo ovest di questa terrazza esisteva già il tempio B, la cui costruzione risale al II secolo a.C.

La prima costruzione del foro, al di sopra di ambienti sotterranei esistenti, si allinea al tempio B, e comporta la costruzione della basilica, di cui la tecnica costruttiva richiama fortemente quella della prima fase dell'anfiteatro, datata agli inizi della nostra era. In quest'epoca viene tracciata la via principale della città, via che presto prenderà il nome di Via Traiana.

La costruzione del **tempio A** e del piazzale antistante va a sconvolgere del tutto l'impianto del foro. La terrazza primitiva viene tagliata per due terzi da terrazzamenti alti più di 5 metri. La tecnica costruttiva del tempio, opera reticolata di buona fattura con catene di laterizi può essere paragonata a quella della seconda fase dell'anfiteatro, ed essere quindi datata a cavallo fra I e II secolo d.C.

Dei rifacimenti datati al II e III secolo sembrano essere passati sotto silenzio.

Nei secoli IV e V, questi monumenti pubblici vengono abbandonati o adattati a nuove funzioni. In diverse parti del foro sono stati riscontrati **ambienti absidati** circondati da cimiteri, che avevano probabilmente la funzione di cappelle di culto cristiano. Prive di corredo, molte di queste erano situate attorno al tempio A. Sembra quindi di poter riconoscere una vita religiosa a Herdonia che confermerebbe ciò che la tradizione letteraria indica chiaramente, ossia la presenza in questo periodo (V secolo) di un vescovo.

L'anfiteatro.

I lavori sono proseguiti con lo scavo delle trincee LIV, LV e LVI, che hanno favorito l'indagine dell'accesso meridionale e della porzione orientale dell'edificio.

La cinta urbana.

Nonostante durante le prime due campagne di scavo sia stato possibile evidenziare il tracciato e precisare la cronologia della cinta urbana, restavano da indagare diverse aree. Per questo sono stati aperti i sondaggi da M a R della trincea XXXVIII, che hanno permesso di seguire il percorso piuttosto irregolare del tracciato murario nel settore sudorientale, e la trincea XXXIX nell'area della porta sud ovest, appartenente alla cinta in mattoni crudi.

Nell'area della collina sud le fortificazioni della città sono state scavate nelle trincee XLII, LVIII LIX e LX. Questi scavi hanno confermato la cronologia iniziale e hanno dimostrato altresì come anche in quest'area le mura abbiano intercettato e distrutto un abitato indigeno con adiacente necropoli.

La collina meridionale.

A proposito di questo settore dell'area urbana Mertens scrive *“i risultati dei lavori effettuati sulla collina meridionale del sito di Ordona, sono fra i più importanti ottenuti durante le quattro campagne di scavo”*²³⁹. Ed infatti le tre trincee, LVIII, LIX e LX, orientate da nord a sud in modo da tagliare tutta la collina per una lunghezza totale di 350 metri, hanno restituito dei risultati davvero straordinari:

- a. La scoperta di una occupazione assai densa, testimoniata da buche di palo scavate nella roccia e muri di pietra e mattoni crudi o tegole, a formare ambienti di cui ancora non è possibile seguire l'orientamento.
- b. La cinta muraria, così come il fossato, hanno tagliato o coperto parte di queste abitazioni, e ciò dimostra che l'abitato indigeno si estendeva ben al di là del perimetro delle mura, e che queste ultime non hanno fatto altro che tagliare un settore particolarmente adatto alla difesa. La sopraelevazione delle strutture difensive è stata ottenuta con dei terrazzamenti artificiali e grazie allo scavo del fossato, che sembra dunque essere contemporaneo alla prima fase della cinta muraria, fatta in mattoni crudi.
- c. Su tutta la collina si riscontra la compresenza di abitazioni e tombe di tipo indigeno. Queste sono scavate nella roccia e munite di ricchi corredi: ceramica geometrica daunia, ceramica a vernice nera, qualche contenitore in bronzo e a volte armi in ferro. Nella trincea LIX va segnalata la successione di una tomba daunia della fine del V secolo, di una abitazione e di una tomba infantile datata alla seconda metà del IV secolo.
- d. Per la prima volta viene attestata una fase di occupazione preistorica grazie al rinvenimento di ceramica incisa di tipo subappenninico.
- e. La collina sembra non essere mai stata abitata in epoca romana. Nelle trincee non è mai emersa alcuna struttura né repubblicana né imperiale.
- f. La collina meridionale sembra dunque prestarsi meglio allo studio di una agglomerazione daunia nel territorio di Ordona.

²³⁹ Mertens 1967, p. 14.

La necropoli.

Come già detto, numerose tombe sono state rinvenute. Va detto che le ricerche si sono concentrate anche in settori *extra muros*. Nell'estate del 1964 sono state scavate dieci tombe indigene nella vasta pianura ad est della città romana. Altre tombe sono state scavate attorno all'anfiteatro.

Alla fine della quarta campagna di scavo, Mertens ritiene che lo studio della topografia generale della città sia stato completato dai lavori sulla collina meridionale e presso le restanti parti della cinta muraria.

Gli scavi nel centro urbano hanno fornito dati essenziali per la ricostruzione dell'impianto urbano e per lo studio dell'evoluzione cronologica del centro monumentale.

Tuttavia mancano ancora ricerche approfondite nella collina settentrionale della città, già avviate durante la prima campagna con lo scavo della trincea XVI.

IV.3. Gli scavi dal 1966 al 1969.

Le campagne pubblicate nel terzo volume della serie di Ortona²⁴⁰ sono:

- Dal 17 ottobre al 21 dicembre 1966
- Dal 3 marzo al 6 maggio 1967
- Dal 30 settembre al 7 dicembre 1967
- Dal 16 marzo al 2 giugno 1968
- Dal 2 settembre al 5 dicembre 1968
- Dal 15 settembre al 20 dicembre 1969

Gli obiettivi principali di queste 6 campagne di scavo erano:

1. Lo scavo completo del foro e dei monumenti che lo circondano
2. Lo studio della topografia generale della città grazie a lunghe trincee scavate attraverso il territorio urbano
3. La necropoli indigena
4. Il posto occupato dalla città antica in un contesto geografico e topografico più ampio

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
61	1966	Mura NE
62	1966	Basilica
63	1967	Basilica (ambiente NO)
64	1966	Basilica
67	1967	Basilica
68	1967	Lunga trincea da Basilica a collina N
68.69	1968	Castellum
68.70	1968	Castellum
68.71	1968	Castellum
68.72	1968	Castellum
68.73	1968	Castellum
68.74	1968	Castellum
68.75	1968	Lunga trincea collina centrale
69.2	1969	Via Traiana, circa 1 km ad Est di Herdonia
69.3	1969	Via Traiana, circa 1 km ad Est di Herdonia
69.4	1969	Foro
69.5	1969	Foro
69.7	1969	Quartiere Domus A

²⁴⁰ Mertens 1971.

Il foro e il centro monumentale.

Il foro come lo conosciamo attualmente è il risultato di uno sviluppo di diversi secoli. All'epoca di Traiano ha ricevuto il suo impianto definitivo e il suo aspetto pienamente monumentale.

La piazza rettangolare di 54 x 29,50 metri, magnificamente lastricata, è circondata da un doppio gradino che consentiva di accedere ai portici e allo stesso tempo copriva il criptoportico sui lati NE e SO del foro. Più a nord, una piazza triangolare fungeva da raccordo fra il foro e la basilica. Quest'ultima occupava tutto il lato NO del foro, mentre sul lato SO c'era il tempio B ed una serie di botteghe regolarmente allineate.

L'angolo meridionale del foro è occupato da un mercato circolare che fiancheggiava il tempio A; nuovi ambienti formano l'angolo est del foro, da cui inizia la serie di magazzini che occupa tutto il lato NE del foro, fino alla Via Traiana.

Nella stessa piazza, oltre al criptoportico sono stati riscontrati una serie impressionante di ambienti sotterranei a volta e un profondo fossato risalente all'epoca preromana.

Il fossato pre-romano.

Durante lo scavo della basilica nella campagna 1966, il fossato è stato intercettato per la prima volta. Largo 5,70 metri e profondo 4, questo fossato taglia la basilica in tutta la sua larghezza fino al foro.

I lavori effettuati nella campagna 1969 al centro del foro – trincea 69-IV – hanno permesso di constatare come questo si prolunghi per più di 20 metri davanti alla facciata della basilica; a questo punto si dirama in due parti, una verso N e quindi verso la Via Traiana, l'altra verso SO, in direzione del tempio B.

Il fossato è tagliato nel suolo vergine, le pareti sono quasi verticali. Ad intervalli regolari dei muri portanti ostruiscono il fossato; questi sono costruiti con una tecnica indigena, in cui ciottoli e laterizi sono legati da argilla. Questa tecnica è stata riscontrata nella collina sud ed è possibile datarla al IV secolo a.C.

La messa fuori servizio di questo fossato è certamente antecedente all'installazione della città romana, e il riempimento è stato coperto non solo dalle fondazioni della basilica ma anche dalle vestigia di abitati precedenti; il materiale archeologico del riempimento si ferma agli inizi del III secolo a.C.

Per ora il significato di questo fossato resta un'incognita, ma la sua apertura deve aver avuto una certa importanza: si inserisce nell'insieme di terrazzamenti e scavi praticati in quello che diventerà più tardi il centro dell'abitato romano.

Il complesso sotterraneo del foro.

Il complesso dei magazzini sotterranei che si estendeva al di sotto dell'angolo settentrionale del foro era stato intercettato nelle precedenti campagne di scavo. Questo insieme, orientato in senso NO-SE si estende per 52 metri ed è formato da 23 ambienti disposti su file più o meno parallele.

La muratura è fatta di ciottoli legati da malta dura. Tutti i muri dovevano essere stati costruiti in elevazione, bisogna quindi dedurre che il livello primitivo era molto più basso di quello del foro di epoca imperiale. Ciò è stato confermato nel corso della campagna 1969, dove è stato possibile constatare come questi sotterranei si appoggiassero ad un solido muro rinforzato da pilastri quadrati (trincea 69-IV), il cui paramento apparecchiato si trova rivolto verso nord, cioè dalla parte opposta rispetto al foro. In questo punto i muri scendono fino alla quota -953 cm, e cioè 3 metri sotto il livello del foro imperiale. Questo dato sembra implicare l'esistenza di un vallone colmato successivamente, al momento della costruzione del centro monumentale.

Tutti questi ambienti sotterranei avevano una volta ed erano collegati da stretti corridoi; l'accesso era garantito da scale in muratura e l'assenza di intonaco indica che non si tratta di cisterne.

Fino alla campagna del 1969 non era stato scavato completamente nessuno di questi ambienti, pertanto non si avevano informazioni né sul livello esatto, né sulla eventuale pavimentazione.

La basilica.

Tutto il fianco NO del foro è occupato da un grande monumento, la basilica, per la quale è stato necessario realizzare dei terrazzamenti che hanno abbassato notevolmente il livello davanti al tempio B e rialzato il terreno lungo la Via Traiana. Il risultato fu la cancellazione degli strati di occupazione più antichi, fatta eccezione per gli elementi interrati, vale a dire il fossato e le tombe a camera indigeni. Nella zona centrale e in quella orientale i livelli più antichi sono conservati meglio in quanto sono stati ricoperti da uno spesso riempimento di terra riportata; in questa parte la basilica poggia su vestigia precedenti.

Si tratta di strutture artigianali di epoca repubblicana: si tratta di una serie di vasche e cisterne collegate da canalizzazioni formate da tegole e tubi in terra cotta.

Ancora più in basso sono stati scoperti i resti di strutture pre-romane. Si tratta di un nucleo di abitazioni costruite in mattoni crudi e tegole, simili a quelle ritrovate sotto al tempio B. questo dato lascia supporre che la basilica fece seguito al tempio B nel progetto urbanistico di rendere quest'area il centro monumentale dell'abitato, in un processo che cominciò nel II secolo a.C. e raggiunse il culmine agli inizi del II secolo d.C.

Da notare il ritrovamento di particolari pavimenti mosaicati con sottili ciottoli di fiume disposti di taglio a formare motivi geometrici. Esempari simili sono stati rinvenuti in altre parti della città, come ad esempio nella collina centrale.

La basilica presenta una pianta rettangolare di 41 x 27 metri. Lo scavo di questo edificio, cominciato nel 1965, fu proseguito nel 1966 nel settore occidentale con le trincee LXII e LXIV, nel settore centrale ed orientale con la trincea LXVII e durante la campagna 1968 lo scavo fu terminato nell'angolo NO con la trincea LXXVI.

Lo stato di conservazione delle vestigia è condizionato dal rilievo del terreno, che ha protetto i muri su una altezza di quasi tre metri ad ovest, mentre verso nord est i resti sono quasi al livello delle fondazioni.

I muri sono costruiti in opera incerta o pseudo-reticolata (termine oggi obsoleto), intervallate da fasce di laterizi; anche le catene di congiunzione e i pilastri sono in mattoni. I muri sono stati rivestiti da uno spesso strato di intonaco dipinto, ornato con grandi pannelli rossi o blu, mentre i pilastri e le colonne erano rivestite da stucco. Il pavimento è in *signinum*.

All'interno un rettangolo di 4 x 8 colonne che misura 30 x 15,50 metri isola la navata da una banchina che la stringe su quattro lati; le basi in pietra a doppio toro, erano sormontate da colonne in mattoni segmentate e stuccate, coronate da magnifici capitelli ugualmente in pietra, di cui sono stati ritrovati una dozzina di esemplari. Questi capitelli sono di stile ionizzante, con fregio a ogive e palmette fra quattro coppie di volute che ornano gli angoli.

Oltre agli accessi e alle strutture tarde già descritte in precedenza, va segnalato un ambiente rettangolare aperto sul lato settentrionale della basilica con un triplice passaggio costituito da due colonne disposte in antis. Il pavimento è rivestito da un fine mosaico bianco e al centro di esso, addossato alla parete settentrionale c'era un podio su cui probabilmente era poggiata una statua. La disposizione classica di questa sala indusse Mertens ad ipotizzare che questa fosse la curia della città.

Il tempio A e il mercato circolare.

Di fronte alla basilica, dall'altra parte della piazza, sorgeva il tempio A; i lavori effettuati nel 1966, con la trincea LXVI, e nel 1969, con la trincea 69-V, hanno permesso lo scavo completo del podium e delle scale del tempio.

Il podio è alto circa 2,50 metri ed è ricoperto di intonaco bianco. La scala di accesso conserva ancora diversi gradini e fu prolungata verso la piazza del foro andando a coprire parte del lastricato.

Di poco più a sud, il mercato circolare della città è stato scavato agli inizi della campagna 1966/67, con la trincea LXV, e successivamente nel 1967 e 1969, dopo un lungo lavoro se si considera che i resti di questo monumento sono stati interrati per più di 6 metri.

Mertens considera questo edificio fra i più interessanti della città. Il mercato è composto da 13 ambienti disposti a raggiera attorno ad un cortile centrale del diametro di 14,20 metri. I muri di separazione degli ambienti terminano con 14 semicolonne in mattoni, rivestite di stucco. Il pavimento in mosaico bianco e le soglie sono ancora in un eccellente stato di conservazione; i muri presentano una tecnica costruttiva in opera reticolata con cordoni e catene di congiunzione in laterizi. Numerose le pitture parietali in situ, composte perlopiù da figure animali e umane dipinte su larghi pannelli bianchi separati da motivi lineari e floreali. Una scala a chiocciola permetteva l'accesso al piano superiore del mercato e al quartiere meridionale situato al di sopra del foro.

L'accesso al mercato è costituito da un corridoio che si apriva sul colonnato del foro; il pavimento anche in questo caso è mosaicato. Questo ingresso è fiancheggiato da ambienti dei quali uno è absidato e forma una vasca semicircolare. In epoca tarda questa vasca fu colmata e riutilizzata come piccola cappella attorno alla quale furono scavate delle sepolture ad inumazione.

I fianchi nord-est e sud-ovest del foro.

L'intero lato SO del foro è occupato da una serie di botteghe o *tabernae* che si aprono sul portico; queste rappresentano una fase secondaria della sistemazione urbanistica di Herdonia e coprono le vestigia di altre botteghe allineate al tempio B e alla basilica. Le due serie presentano planimetrie identiche e utilizzano come cellula base la *taberna* rettangolare, larga circa 4,50 metri e separata dal portico grazie ad una cancellata scorrevole, sistema ampiamente diffuso nell'impero romano.

Il lato opposto del foro presenta un allineamento identico delle taverne, che furono inizialmente scavate nel 1964, poi parzialmente indagate nel 1967 e 1968, e infine ultimate nella campagna del 1969 (trincea 69-IV).

La successione delle botteghe è meno uniforme: tre ambienti di maggiori dimensioni si inseriscono fra le *tabernae* di formato standard. Il pavimento è sia in calcestruzzo liscio, sia ricoperto da lastre in pietra o di marmo. Tutto il complesso copre importanti resti di strutture antecedenti, che sono state livellate e interrate.

I lavori della campagna del 1969 hanno permesso lo scavo completo del foro nel suo stadio monumentale, che può essere datato al II secolo d.C. Gli edifici esistenti, come il tempio B e la basilica, furono dunque integrati in un quadro monumentale che includeva la piazza rettangolare lastricata, delimitata su tre lati da un criptoportico e circondata dal tempio A, che Mertens ipotizza essere consacrato al culto di Giove, e da serie di botteghe.

Questo carattere monumentale si inserisce perfettamente nelle concezioni architettoniche dell'Alto Impero e soprattutto dell'epoca di Traiano, dove il gusto ellenistico si fonde armoniosamente alle disposizioni funzionali delle tradizioni romane.

In epoca tarda anche l'area del foro perde le sue funzioni originarie, diversi ambienti vengono colmati e l'intera area assume una funzione funeraria, come attestano le diverse sepolture disposte attorno agli ambienti absidati, probabilmente utilizzati come cappelle.

Sembra dunque che a partire da questo momento e durante tutto l'Alto Medioevo, il centro gravitazionale di Herdonia sia da individuare altrove, e più precisamente sulla cresta che collega l'area dell'anfiteatro al *castellum*, dove sono state rinvenute diverse strutture di epoca tarda.

I settori periferici

Gli scavi di Herdonia non si sono limitati soltanto all'esame sistematico del centro della città romana. Le campagne 1967 e 1968 furono quasi interamente dedicate allo studio della rete viaria *intra muros* e del *castellum* sulla collina settentrionale.

Il Castellum settentrionale.

Un primo sondaggio è stato effettuato nel 1963, con la trincea XVI, e fu scoperta un'occupazione medievale molto intensa. Nel 1968 il settore fu completamente indagato con le trincee da 69 a 74, con risultati piuttosto sorprendenti: al posto di una costruzione a carattere militare, è stata scoperta una magnifica basilica cristiana a tre navate coronate da tre absidi allineate.

L'edificio misura 25 x 17,30 metri, non ha un transetto e neanche un atrio, ma un portico di accesso nella facciata occidentale. La navata centrale, così come le altre due, culminano con tre absidi poco sporgenti. Due file di cinque colonne dividono la chiesa in sei campate. Le colonne ottagonali sono realizzate con mattoni ed hanno un diametro di 92-95 centimetri.

In seguito a ulteriori rifacimenti, i pilastri della navata centrale furono collegati da un solido muro rinforzato da pilastri costruiti sia in blocchi di tufo disposti in file regolari, sia in opera pseudo-reticolata; i quattro angoli dell'edificio furono rinforzati con muri portanti. Inoltre le absidi furono livellate e tompagnate, in una maniera che lascia pensare ad un cambio di funzione

dell'edificio. A questo secondo stadio si datano ugualmente il fossato e il riporto di terra che circondano il sito, nonché la muraglia con le torri angolari, di cui restano poche vestigia. Questi lavori cambiarono completamente l'aspetto del sito, ricoprendo gran parte delle costruzioni esistenti.

D'altronde al momento della costruzione della chiesa furono livellate e coperte tutte le strutture di epoca imperiale, che a loro volta erano state costruite su vestigia precedenti, come tombe e abitazioni indigene.

Fatto sta che questo punto settentrionale costituisce un posto molto importante nella topografia del sito di Ortona: esso fu occupato dai tempi più remoti fino a tutto il Medioevo, sebbene sia difficile precisare le fasi dell'occupazione, soprattutto quelle medievali.

La datazione della chiesa è incerta, per quanto si sappia dai testi antichi che nel V secolo Ortona fu sede episcopale. La chiesa non doveva essere di molto posteriore a questa data, considerato che la cristianizzazione della Puglia e della Daunia fu piuttosto rapida, considerata la posizione su grandi assi viari come la Via Appia e la Via Traiana.

La trasformazione della chiesa in fortino militare potrebbe riflettere il periodo di conflitti fra Longobardi e Bizantini; la ceramica e le monete trovate in questo sito, prive di contesto stratigrafico, attestano una frequentazione fino al XV secolo.

La cinta romana.

Sul tracciato della cinta muraria, quasi a metà cammino fra la porta NE e la collina settentrionale, il saggio 66/LXI ha portato alla scoperta di una torre quadrata della cinta repubblicana; questa torre, addossata verso l'interno al terrapieno, misura 6,70 x 6,50 metri, e poggia sulla cinta in mattoni crudi, che non presentava affatto torri in questa porzione.

L'installazione urbana sulla collina centrale e su quella settentrionale.

La topografia generale di questi settori è stata studiata per mezzo di due lunghe trincee, che tagliano tutta la città da nord a sud. La prima, lunga 320 metri e larga 2, la trincea 67/LXVIII, collega l'angolo nordorientale della curia alla porta occidentale del castellum.

La seconda invece, lunga 446 metri e larga 2, la trincea 68/LXXV, parte dall'angolo sud della cinta e si arresta al muro settentrionale, ad una decina di metri dalla porta NO.

L'obiettivo di queste due trincee era doppio: da un lato precisare l'aspetto urbanistico generale della città, e dall'altro, fornire informazioni sui diversi edifici costruiti in questi settori.

È stato possibile constatare come la città di Herdonia non presentava una rete viaria regolare, su un piano ortogonale, ma le strade, poco numerose, si adattavano alle necessità topografiche

generali del sito. La trincea LXVIII ha intercettato tre strade: l'asse principale della città, la Via Traiana, con il suo lastricato perfettamente conservato, una stradina perpendicolare che portava alla basilica e una terza, dai piedi del castellum verso la porta NO.

Il numero dei muri prova che la vallata fu densamente abitata, tanto all'epoca pre-romana che sotto la Repubblica e l'Impero. In più parti i muri in mattoni crudi delle costruzioni pre-romane furono completamente distrutti da lavori di terrazzamento ulteriori; le abitazioni romane sono costruite in generale su terrazze tagliate nel fianco della collina. È tuttavia interessante notare come, ad eccezione di qualche muto pre-romano, l'orientamento delle strutture sia rimasto costante, malgrado cambiamenti e ricostruzioni. Vanno segnalati due orientamenti: le abitazioni nel settore centrale sono allineate alla Via Traiana, quelle del settore settentrionale sulla stradina che scende dalla collina. In generale queste abitazioni sono molto modeste, ad eccezione di due strutture lungo la Via Traiana, di cui una possiede dei muri in mattoni e dei pavimenti a mosaico e l'altra una grande corte circondata da un portico formato da pilastri rettangolari in mattoni e pietra di taglio.

La trincea 68/LXXV ha completato i dati ottenuti; essa ha fornito una stratigrafia generale del sito piuttosto corposa, grazie all'enorme accumulo di terra riscontrato sulla sommità della collina. Questa particolare circostanza ha fatto sì che alcuni muri si fossero conservati per un'altezza di 3-4 metri, alcuni addirittura ornati di affreschi.

Diverse strade e stradine furono intercettate da questa trincea, quasi tutte cammini di ghiaia, la cui installazione rivela una pianta urbana quasi ortogonale. Su questo impianto si allineano tutte le costruzioni romane, ma non le tracce preromane e preistoriche. A questi ultimi periodi appartengono muri in ciottoli e mattoni crudi, nonché le numerose buche di palo tagliate nella roccia che presentano allineamenti più o meno rettilinei, anche se è difficile ricostruirne le planimetrie. Negli strati inferiori sono state rinvenute le tracce del più antico insediamento di Ortona, come i frammenti ceramici dell'età protoappenninica, 1700 a.C.

L'epoca romana, soprattutto dal I secolo a.C. al I secolo d.C. è ben rappresentata. Alcune ricche dimore dovevano ergersi in questa porzione della città, come dimostrano gli affreschi e i pavimenti in opus signinum ornati da decorazioni a mosaico, con motivi geometrici, che richiamano i mosaici di età repubblicana scoperti al di sotto della basilica augustea.

La trincea LXXV ha rivelato una zona residenziale dell'antica Herdonia, di cui lo scavo potrà fornire magnifici testimoni dell'arte e dell'architettura provinciale romana fra la fine della Repubblica e l'inizio dell'Impero. La disposizione ordinata dell'abitato di quest'epoca riflette senza alcun dubbio i profondi riassetti urbanistici che hanno interessato il centro della città, e si distingue nettamente dalla disposizione repubblicana e più ancora dalle tracce

dell'insediamento preromano. È possibile dunque constatare un orientamento costante, condizionato dalla topografia generale del terreno e dalle valli che separano le tre colline della città. Questa disposizione è identica a quella riscontrata sulla collina meridionale.

L'occupazione medievale ha lasciato poche tracce: qualche silos e una fornace a pianta esagonale lunga 6 metri.

Infine, l'abitato indigeno comprende sia tombe a fossa che a grotticella.

Le necropoli

Fra le necropoli bisogna distinguere quelle tarde, dal Basso Impero all'Alto Medioevo, da quelle romane ed indigene.

I cimiteri tardi.

Si estendono soprattutto attorno alle cappelle e alle chiese sparse nel sito. Sono composti da tombe ad inumazione senza corredo; il defunto era deposto in una fossa circondata da un muretto o da tegole piane, a volte le tegole erano disposte "a capanna". Nei pressi del foro la copertura spesso consisteva in lastre della piazza reimpiegate. Numerose tombe di questo tipo sono state scoperte attorno ai templi A e B, nella basilica e attorno alla chiesa del castellum.

Le tombe romane.

Situate *extra muros*, lungo le vie romane, già nel 1965 e nel 1966 erano state scoperte diverse tombe ad est dell'anfiteatro. Dei sondaggi effettuati nel 1969 hanno riportato alla luce cinque tombe, di cui quattro ad incinerazione ed una ad inumazione. Due tombe ad incinerazione erano poste in un recinto rettangolare, allineato alla Via Traiana; le altre sono in generale circondate e ricoperte da tegole piane. Le ossa sono disposte in recipienti in terra cotta muniti di coperchio. I corredi funebri comprendono vasi in ceramica e bicchieri in vetro.

La necropoli indigena.

Come già detto questa necropoli si estende su un territorio molto vasto, che comprende tanto la porzione occupata dalla città romana che le campagne circostanti.

All'interno delle mura una serie di tombe a camera fu scoperta sotto alla basilica, nella trincea LXVII e sulla collina del castellum. Purtroppo la maggior parte di esse risultava distrutta o saccheggiate.

Anche le tombe a fossa sono particolarmente numerose. Sono state riscontrate nei lunghi sondaggi LXVII e LXXV. Gli inumati sono deposti in posizione ripiegata e circondati da ricchi corredi databili al IV secolo a.C.

Nel 1969 furono scavati due sondaggi, il 69/II e il 69/III, tracciati nel settore della vasta necropoli daunia ad est della città romana, lungo la Via Traiana. Sono state rinvenute otto tombe non munite di reperti straordinari, ma di ceramiche geometriche e a vernice nera. Una di queste sepolture era della tipologia “a grotticella”.

Uno degli obiettivi principali dei sondaggi nella necropoli era quello di verificare le constatazioni fatte sulla collina meridionale, per conoscere la coesistenza e la contemporaneità delle tombe e dell’abitato indigeno. Questa coesistenza ha potuto essere constatata nella trincea 69/III, dove è stato scavato un edificio rettangolare di 8,50 x 4,80 metri, orientato in senso NO-SE, dove la facciata SE è caratterizzata dalla presenza di due pilastri quadrati; le fondazioni in pietra e tegole poggiano direttamente sulla roccia. All’interno della struttura è stata sistemata la sepoltura di un bambino.

Numerose buche di palo sono state ritrovate in questi sondaggi, ma la loro disposizione non permette di ricostruire la planimetria di nessuna abitazione. La scarsa profondità e le incessanti arature del sottile strato di terra che ricopre la roccia naturale hanno completamente stravolto la stratigrafia in modo da rendere quasi impossibile precisare la cronologia delle tombe, delle buche di palo e delle fondazioni.

Ricognizione nella Valle del Carapelle.

Uno dei punti importanti del programma di ricerca del 1969 è stata la ricognizione nei dintorni dell’antica Herdonia. Nel 1964 fu recuperato un settore dell’acquedotto romano.

In questa campagna invece, è stato affrontato il problema della *città fantasma*, di cui sono ben visibili le tracce dalla fotografia aerea e che si estende sulla riva sinistra del Carapelle. Una ricognizione effettuata nelle zone dove le tracce erano più nette non ha permesso di confermare l’ipotesi della presenza di una città. Al contrario, le tracce rettilinee non dovevano essere altro che antichi limiti catastali; i resti di abitazioni e il materiale archeologico indicano la presenza di installazioni rurali dal II secolo a.C. al II secolo d.C. Quattro “ville” sono state individuate, distanti fra loro quasi 500 metri. In base ai risultati, considerati parziali e provvisori, Mertens ipotizza correttamente che non si tratta di un abitato dal carattere urbano, ma dei resti di una riforma agraria, e dunque di una centuriazione antica.

È interessante notare la prudenza di Mertens nell’interpretazione delle tracce della centuriazione da fotografia aerea. Oggi infatti, dopo decenni di esperienza, l’occhio degli

archeologi dei paesaggi è molto più allenato ad individuare questi segni dalle riprese fotografiche aeree. Che si tratti di una sorta di “inesperienza” dovuta alla giovane età della pratica dell’aerofotointerpretazione? O forse di un’impostazione metodologica che vede nell’analisi stratigrafica la fonte di dati archeologici certi? Può darsi che entrambe le riflessioni siano corrette, ma, ad ogni modo, l’attitudine di Mertens è rivelatrice di un’attenzione ad una metodologia di scavo e, più in generale, di ricerca, non solo in continua evoluzione, ma anche in continua sperimentazione.

IV. 4. Le campagne di scavo dal 1970 al 1974.

Dopo quattordici anni dal 26 novembre 1962, giorno in cui iniziarono le ricerche sistematiche nell'area di Ordon, Mertens sorprende i lettori scrivendo nell'introduzione al volume: “*i contorni della storia dell'antica Herdonia cominciano ad essere tracciati in pieno*”²⁴¹. Non si tratta di ostentata modestia, ma della cura e dell'attenzione che lo studioso nutre nei confronti di un sito archeologico dalle potenzialità davvero straordinarie. E per poter cogliere appieno queste potenzialità auspica che le ricerche continuino ancora a lungo.

È così che il professor Mertens introduce il quinto volume della serie su Ordon, volume che raccoglie l'esperienza di cinque anni di scavo, dal 1970 al 1974.

Queste campagne hanno avuto luogo:

- Dal 5 settembre al 18 dicembre 1970
- Dal 3 settembre all'11 dicembre 1971
- Dal 4 settembre al 13 dicembre 1972
- Dal 10 settembre al 28 novembre 1973
- Dal 2 settembre al 30 novembre 1974

Il programma di ricerche previsto per questo quinquennio è stato:

- Lo studio topografico e stratigrafico degli elementi che costituiscono il centro monumentale della città romana.
- L'occupazione dell'*ager herdonitanus* in epoca romana.
- Problemi relativi all'abitato indigeno e ai suoi rapporti con la necropoli preromana e con la città romana.
- Studio topografico e stratigrafico di Ordon nel Medioevo.

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
70.1-18	1970	Quartiere fra domus B e porta Nord Est (Wheeler)
71.2-29	1971	Collina sud (Wheeler)
71.30	1971	Foro
72.1	1972	Foro
72.5	1972	Terme
73-74	1973	Macellum
74.1	1974	Collina sud extra moenia
74.2	1974	Collina sud extra moenia
74.3	1974	Collina sud mura

²⁴¹ Mertens 1976, p. 5.

Il centro monumentale della città romana.

Durante la campagna 1970 fu completato lo scavo del vasto piazzale del foro; una ricerca sistematica ha favorito allo stesso tempo lo studio del criptoportico attorno alla piazza sui fianchi NE, SE e SO.

Nel 1973 e nel 1974 fu completato lo scavo del macellum, nell'angolo meridionale del foro, mentre, sempre nel 1970 fu intrapreso lo studio planimetrico e stratigrafico della zona estesa fra il foro e la porta NE.

Un altro edificio pubblico appartenente al centro monumentale e identificato come le terme della città, è stato recuperato e parzialmente scavato nel 1972.

Il criptoportico.

Questa vasta galleria sotterranea delimita la piazza del foro sui lati NE, SE e SO, e allo stesso tempo i contorni del piazzale che si estende davanti al tempio A. Sembra infatti costruita in funzione di quest'ultimo. Inoltre la piazza era circondata da un portico sul quale si aprivano le numerose botteghe disposte in serie regolari, secondo uno schema ben noto nell'urbanismo romano.

Le colonne del portico si appoggiavano sul paramento esterno e sulla volta del criptoportico. Questo si estendeva per una lunghezza totale di 123 metri, occupando tre lati di un rettangolo di 35 x 44 metri. La galleria è tagliata nella roccia, che in questo punto è un tufo molto tenero e facile da tagliare. La larghezza della galleria non è mai uguale: varia da 1,67 a 1,90 metri procedendo dal settore orientale a quello occidentale; l'altezza nell'asse della volta è di 2,48 metri. La volta, dal profilo ribassato, è stata colata in una cassaforma di legno poggiata sulle pareti, e queste ultime non presentano paramento né intonaco. Questo sotterraneo fu costruito secondo un procedimento molto moderno: le trincee di fondazione furono in effetti scavate direttamente nella roccia naturale e riempite con pietre e malta; solamente dopo la presa della malta che la galleria propriamente detta è stata scavata e sormontata da una volta.

Sembra che non sia stata prevista alcuna deambulazione: in effetti nell'angolo meridionale e in quello orientale il suolo è rialzato di mezzo metro, inoltre dei muri portanti di vario spessore si appoggiano alle pareti del sotterraneo intralciando il passaggio. La disposizione degli accessi sembra confermare questa ipotesi, e infatti nessun accesso praticabile è stato rinvenuto, a parte le tracce di una scala di cui si conservano tre gradini, ma che fu messa fuori servizio dalla costruzione del portico sovrastante.

Interessante lo studio del riempimento della galleria. Una volta scavato non ha rivelato alcun pavimento e neanche di uno strato netto di occupazione; inoltre esiste una differenza fra il riempimento del braccio orientale e quello del braccio occidentale. Il braccio orientale fu riempito sistematicamente in due riprese per consentire la sistemazione della fondazione delle colonne del portico, mentre quello occidentale fu riempito gradualmente, forse perché in quel punto non era necessario rinforzare la stabilità del portico.

La cronologia della galleria sotterranea può essere dedotta da elementi topografici e archeologici. La galleria è infatti allineata al tempio A e ad una serie di botteghe che copre degli ambienti precedenti allineati alla basilica e databili all'età augustea. Dunque la galleria è sicuramente posteriore. Inoltre l'uso pratico di questi sotterranei è cessato in seguito alla costruzione del portico soprastante.

Lo studio del materiale archeologico permette di precisare questa cronologia relativa: sembra infatti che la messa fuori servizio della galleria risalga agli inizi del II secolo d.C.

Il criptoportico di Herdonia sembra aver avuto una vita piuttosto breve: concepito nell'ambito di una sistemazione monumentale del foro può essere datato alla seconda metà del I secolo d.C. e fu colmato agli inizi del II. Quale sia stata la sua funzione è difficile da stabilire. Il ritrovamento di piccoli canali di scolo, posti durante i lavori di riempimento della galleria, ne rivelano comunque una funzione secondaria.

Il macellum.

Questo monumento situato nell'angolo meridionale del foro fu scavato a partire nel 1967 e completato soltanto nel 1974, considerato il notevole riempimento. I suoi muri, conservati per altezze anche superiori ai 6 metri, il pavimento mosaicato e le pitture parietali rendono il macellum uno degli elementi più spettacolari delle vestigia di Herdonia.

Il mercato fu integrato nell'insieme del foro durante il momento più recente di risistemazione, e cioè agli inizi del II secolo d.C. La tecnica costruttiva dei muri, l'opera mista di reticolato e laterizi, corrisponde alla terza fase del reticolato, collocata da Lugli fra il 50 e il 180 d.C. Non sorprende dunque il recupero di una base con dedica all'imperatore Adriano: è probabile che il mercato sia stato costruito sotto il suo regno.

La cronologia relativa dei diversi elementi di costruzione e delle decorazioni che compongono il macellum può essere facilmente stabilita.

La rete fognaria, i pavimenti e i muri furono costruiti in un primo momento.

La zona estesa tra il foro e la porta NE

Il principale obiettivo degli scavi in quest'area, dove la fotografia aerea ha rivelato la presenza di costruzioni di epoca tarda, è stato lo studio della sovrapposizione stratigrafica e dell'evoluzione della città antica, dall'epoca romana al Medioevo.

Una zona di 57 x 22 metri è stata suddivisa in 18 quadrati di 5 x 5 metri esaminati sistematicamente dalla superficie agli strati rocciosi. È la prima volta che Mertens adopera lo scavo con testimoni di terra (metodo Wheeler) ad Herdonia.

Il tracciato della prima strada romana, che successivamente farà parte della Via Traiana, ha condizionato tutta la sistemazione urbanistica del quartiere. Il gomito descritto dalla strada ha provocato lo spostamento delle strutture che, verso sud-ovest, sono allineate alle costruzioni che collegate al foro. Questi edifici presentano tutti una tecnica di costruzione piuttosto curata, opera incerta e reticolata, e successivamente opera laterizia e mista. Diversi pavimenti sono in opus signinum, a volte decorati con cubi di mosaici. La maggior parte di questi ambienti risale al I secolo a.C., ma subiscono numerose trasformazioni, a volte radicali, nel corso dei primi tre secoli della nostra era. Il complesso attesta una occupazione piuttosto densa di questo settore.

Le terme.

Ad un centinaio di metri a nord ovest della basilica, una serie di blocchi in muratura lasciava supporre l'esistenza di un importante edificio in quest'area, a maggior ragione perché situato in prossimità della Via Traiana. Nel corso della campagna 1972, l'area fu scavata su una superficie di 10 x 20 metri, mentre una trincea di 66 metri di lunghezza e di 2 metri di larghezza è stata scavata in direzione del foro. Tutte le macerie presenti in questa zona appartenevano dunque ad un unico complesso architettonico crollato al di sopra di ambienti con pavimenti a mosaici.

L'elemento centrale di questo settore è costituito da un ambiente quadrato di 4 x 4 metri (amb. 34), con muri in opera reticolata regolare ed angoli in laterizi, ricoperti da due strati di malta rosastra e rivestiti di marmo bianco e rosso. Un gradino di 98 centimetri si estende tutto intorno all'ambiente. Il pavimento è composto da un bordo di marmo bianco largo 30 centimetri e da un mosaico bianco con tessere di circa 1 x 1 centimetri.

In questa parte dello scavo sono stati recuperati enormi frammenti di una volta crollata, di cui la decorazione in stucco è particolarmente considerevole: presenta motivi di ramoscelli, acini e grappoli di uva, mentre degli amorini vendemmiatori e un satiro inseguono una menade. I pannelli sono circondati da un fregio di foglie di acanto.

Questa vasca si apre a sud su un grande ambiente (amb. 35), largo 9,70 metri e lungo 11,25 metri. I muri sono in opera reticolata, ricoperti di intonaco rosa e da lastre di marmo bianco; il

pavimento è ornato da un mosaico a motivi geometrici che presenta un'alternanza di quadrati e rettangoli bianchi e neri. Il muro occidentale è ornato sulla facciata esterna da una serie di nicchie semicircolari ricoperte da intonaco; nel muro orientale invece è stata posizionata una porta larga 1,45 metri, dotata di una soglia in calcare bianco. Da questa porta si accede all'ambiente 66, che al momento della scrittura del volume non era ancora stato scavato completamente. Lungo i muri di questo ambiente corre una pedana poco sopraelevata, ornata da mosaici e lastre di marmo che a sua volta circonda un tappeto in mosaico di 7,80 x 7 metri, decorato da una doppia banda nera all'interno della quale si alternano fiori rossi e neri su fondo bianco. Al centro di questo pavimento c'è un secondo pannello inquadrate da una treccia policroma rossa e bianca su fondo blu.

Tutto questo complesso risale agli inizi del II secolo d.C., considerata la analoga tecnica edilizia con le botteghe del foro, ma è stato preceduto da almeno due grandi periodi di costruzione, di cui uno in opera reticolata. Tuttavia al momento della pubblicazione lo scavo era ancora parziale. Numerose strutture sono state costruite successivamente: canali di scolo verso la Via Traiana o muri di epoca medievale costruiti sui pavimenti in mosaico.

La lunga trincea 72/5 che parte dall'ambiente 66 in direzione del foro, ha permesso di scoprire altre strutture annesse a questo complesso ed anche delle stradine. Vanno ricordati il corridoio 71, con mosaico a cerchi secanti neri su fondo bianco e una serie di muretti che compongono l'ipocausto 85. A questo fa seguito un secondo ipocausto delimitato a sud da una strada rivestita di ciottoli, larga 4,50 metri, che delimitava a sud il complesso termale.

Al di sotto di queste vestigia è stata ritrovata una struttura preromana con muri in tegole, assieme a delle fosse e a del materiale di IV e III secolo a.C.

L'occupazione dell'Ager Herdonitanus all'epoca romana.

L'interpretazione della fotografia aerea rientra in questi anni a pieno titolo nella metodologia di ricerca archeologica, e anche l'équipe belga guidata da Joseph Mertens ne fa largo uso per estendere i propri orizzonti di ricerca al di là delle mura urbiche di Herdonia e comprendere modalità insediative ed organizzative delle campagne circostanti.

Il patrimonio fotografico rilasciato da John Bradford, a partire dal 1943, aveva infatti costituito una risorsa di informazioni preziosissima, in quanto aveva permesso di localizzare numerosi villaggi neolitici, tracce di centuriazione e di occupazione romane e anche villaggi e fortificazioni medievali: un palinsesto diacronico che testimonia la vocazione agricolo-pastorale della pianura del Tavoliere.

Per quanto riguarda l'epoca romana, il caso più interessante per descrivere l'organizzazione dell'ager herdonitanus è quello della zona situata a 3,5 km a NNO della città antica, chiamata Posta Crusta. L'interpretazione delle fotografie aeree dell'Istituto Geografico Militare aveva permesso di localizzare numerose tracce rettilinee che avevano fatto pensare in un primo momento alla presenza di una città scomparsa, ma che furono poi correttamente interpretate come i resti di un antico catasto.

La riforma agraria realizzata negli anni 1958 e 1959 però, stravolsero completamente l'aspetto della zona. Tuttavia grazie ad una ricognizione terrestre effettuata nel novembre del 1969, è stato possibile confermare il carattere rurale di questa aerea, grazie a materiale archeologico che va dal II secolo a.C. al IV d.C. Furono localizzate quasi 16 ville disposte lungo un asse NNO-SSE e distanti fra loro quasi 500 metri.

In un punto leggermente sopraelevato e con un notevole spargimento di laterizi e macerie di muratura è stato indagato nel 1972, ma con scarsi risultati a causa del pessimo stato di conservazione delle strutture. Si è deciso dunque di effettuare un sondaggio in un'altra area caratterizzata sempre dalla presenza di materiale da costruzione, dove è stata completamente scavata una villa romana che si estendeva su una superficie di 47 x 50 metri. Questo sito sembra essere stato occupato dal II secolo a.C. al IV d.C., e in questo lungo periodo ha subito diverse trasformazioni senza però alterazioni del suo orientamento, che non corrisponde affatto a quello della centuriazione.

Sono state distinte circa dieci fasi costruttive di questo edificio. Della prima fase non restano che tronconi di fosse rettilinee tagliate nella roccia. Quanto ai muri, essi devono essere stati distrutti per poi essere sostituiti da muri successivi. I materiali ceramici consentono di datare questa fase dal III al I secolo a.C.

La seconda fase è ben documentata ed è il momento in cui viene costruito l'edificio a pianta quadrangolare, orientato NNO-SSE, esteso su una superficie di 20,70 x 19,20 metri. Questa superficie è divisa in due parti di uguali dimensioni da un muro assiale. La parte meridionale è composta da una facciata e da una serie di piccoli ambienti che affacciano su un largo corridoio dove erano allocate delle giare di approvvigionamento. Il corridoio fungeva da raccordo con la zona settentrionale dell'edificio, dove ci sono ambienti di più larghe dimensioni destinati al ciclo produttivo dell'olio di oliva. Al centro dell'edificio un *oecus* di 6 x 3,65 metri, pavimentato in *opus signinum* ornato da frammenti di marmo e da tessere nere e bianche. Questa fase può essere datata alla piena età augustea.

Se la terza e la quarta fase non presentano modifiche rilevanti all'edificio, la quinta fase rappresenta una svolta notevole. Le strutture sono rimpiazzate da un edificio più grande, con

due ali disposte ad L e aperte sul lato occidentale. La funzione di questo edificio resta sempre legata alla produzione dell'olio di oliva.

Le fasi 6, 7, 8 e forse anche la nona, non sono altro che delle sistemazioni dello stesso edificio; ciò che sembra cambiare è la produzione, da quella dell'olio a quella del grano.

Gli studi effettuati fino a questo punto non consentivano una datazione puntuale, ammette Mertens, ma questo ingrandimento è senza dubbio segno di un periodo di grande attività economica a cavallo fra III e IV secolo, anche se il palinsesto della cultura materiale non sembra denotare alcuna ricchezza. Mertens ipotizza perciò che quella di Posta Crusta possa essere stata solo una parte di possedimenti più grandi legati ad attività produttive rurali, con elementi sparsi un po' ovunque nell'ager.

Difficoltà di datazione esistono anche per l'ultima fase individuata in questo primo studio, dove l'ala orientale viene demolita e livellata per far posto ad un piccolo edificio con funzione funeraria, circondato da tombe prive di corredo ma perfettamente allineate.

L'abitato indigeno e la città romana.

L'analisi del rapporto fra l'insediamento daunio e la città romana è un obiettivo ricorrente nel progetto di ricerca di Mertens per la ricostruzione storica e archeologica di Herdonia.

Anche nei primi anni '70, due campagne di scavo sono state incentrate sullo studio delle tracce dell'abitato indigeno, in particolare quella del 1971 e quella del 1974. Le ricerche sono state concentrate nel settore meridionale della città, dove l'occupazione romana è stato meno intensivo.

Nella campagna del 1971 gli scavi sono stati effettuati al centro della collina meridionale, fra i due grandi sondaggi aperti nel 1966. Tutta la zona in esame è stata sistematicamente quadrata con 29 quadrati di 5 metri, analizzati minuziosamente tanto dal punto di vista stratigrafico quanto da quello planimetrico. Mertens dunque non si oppone all'adozione di pratiche di scavo in linea con i principi teorici di quegli anni, ma non nasconde una certa insofferenza nei confronti del metodo di scavo per quadrati con testimoni verticali, il metodo Wheeler, e ammette: *“i risultati furono rivelatori e hanno dimostrato che solo uno scavo di una grande superficie può restituire risultati maggiori e scientificamente validi”*²⁴².

Le trincee del 1974 invece, furono tracciate in modo da intercettare la cinta romana, il fossato che la costeggiava e una parte della zona che si estendeva immediatamente davanti alle strutture difensive. Uno dei risultati più importanti di queste ricerche è stata la constatazione che, al momento dello scavo del fossato attorno alla città romana, la terra asportata è stata in parte

²⁴² Mertens 1976, p. 23.

rigettata dietro alla cinta muraria, formando un aggere, e in parte stesa verso l'esterno, al di là del fossato. Questo strato di ghiaia piuttosto omogeneo e spesso anche un metro, ha fornito un riferimento cronologico ben preciso. Esso copre infatti tutto un insieme di abitazioni, strade e tombe appartenenti al vasto abitato daunio, che è diventato zona extraurbana, e pertanto una parte di esso è stata abbandonata e ricoperta al momento dell'installazione della città romana, agli inizi del III secolo a.C.

La comparazione fra le strutture trovate nel 1974 extra muros e quelle scavate nel 1971 all'interno della città permette di cogliere il carattere fondamentale dell'apporto romano nel corso dei primi secoli di esistenza della città, tanto dal punto di vista della tecnica di costruzione che da quella della tipologia degli edifici o dell'impianto urbanistico.

Sulla collina meridionale l'esame archeologico ha confermato i risultati ottenuti nel 1966: alle primitive capanne in legno, di cui restano le buche di palo tagliate nella roccia, succedono abitazioni rettangolari costruite con ciottoli e mattoni crudi. Queste strutture si compongono in generale di due ambienti, il pavimento è in semplice terra battuta e a volte le pareti sono coperte da intonaco di calcare o di marna. La disposizione regolare di queste abitazioni, in senso NO – SE, è segno, in un certo senso, di una consapevolezza in materia urbanistica. Ciò che più rappresenta una scoperta importante per Mertens è che lo stesso orientamento sarà mantenuto anche dopo la costruzione degli edifici in muratura romani, quasi senza soluzione di continuità. Mertens inoltre traccia un primo quadro di riferimento cronologico in cui gli elementi più antichi risalgono al VIII secolo a.C., ma è solo a partire dal VI che si assiste ad una occupazione sistematica, costituita da un'alternanza fra aree funerarie e aree insediative che si infittisce specialmente fra V e IV secolo.

Esemplare il caso del sondaggio 71.26, di 5 x 5 metri, in cui sono rappresentate quattro fasi differenti: una tomba di infante degli inizi del V secolo viene obliterata da una abitazione in mattoni crudi risalente al pieno V secolo; questa struttura viene in parte distrutta alla fine del IV per far posto ad una tomba a grotticella. Quest'ultima viene a sua volta coperta da un edificio pavimentato con uno dei tipici mosaici geometrici in ciottoli di fiume.

In appena due secoli dunque, la funzione di quest'area cambia quattro volte.

Sono stati indagati anche dei settori al di fuori del circuito murario, con l'obiettivo di verificarne analogie e differenze. Il materiale archeologico, non molto ricco, copre il V e il IV secolo fino agli inizi del III. In questo settore è significativa l'assenza totale di edifici in pietra e di pavimenti rivestiti, che sembrano essere dunque particolarità tecniche apportate dai coloni romani. Le strutture sono in legno o in mattoni crudi, mentre le strade e l'impianto urbanistico riflettono una disposizione meno rigida rispetto a quella registrata all'interno delle mura.

Tuttavia ciò che sembra mantenersi costante è la giustapposizione e la successione fra abitato e necropoli, come dimostra il ritrovamento di numerose tombe a fossa e a grotticella.

In definitiva lo studio di questi due settori ha dimostrato che l'apporto dei Romani è consistito soprattutto in una regolarizzazione urbanistica e in un miglioramento tecnico.

La cinta muraria fu tracciata tenendo conto di esigenze strategiche e ignorando del tutto la situazione esistente. A tal proposito Mertens afferma che l'area della città romana è stata ritagliata artificialmente all'interno della vasta estensione dell'abitato daunio e che gli abitanti abbiano dovuto *“accontentarsi in un modo o nell'altro dello spazio ristretto all'interno delle mura”*²⁴³.

Tuttavia non esclude eventuali forme di resistenza da parte della popolazione indigena, che probabilmente ha continuato ad abitare per un certo periodo all'esterno del circuito murario. A supporto dell'ipotesi di Mertens, il carattere *“conservatore o xenofobo”*²⁴⁴ di questa popolazione sembra essere attestato anche dalla totale assenza di ceramica di importazione greca o apula, con una predilezione per le produzioni locali, ampiamente rappresentate in tutte le sue forme e varianti.

Ortona medievale.

Nel tentativo di ottenere una visione più completa dell'evoluzione storica del sito, gli interessi di ricerca si sono spostati anche sui periodi più recenti della storia di Ortona. Già nel 1963 e nel 1968 era stata indagata la collina settentrionale, dove una basilica cristiana altomedievale fu trasformata successivamente in casa fortificata. D'altra parte gli scavi all'interno della città hanno sempre rivelato la presenza di resti di abitati e di necropoli di epoca postromana.

Nella campagna del 1970 è stato intrapreso lo scavo sistematico di un settore ancora poco conosciuto, situato fra il foro e la porta NE e attraversato dalla Via Traiana, e dove, grazie alla fotografia aerea, era stato possibile individuare la presenza di costruzioni di epoca tarda.

Inoltre la presenza di notevoli accumuli di terra alimentava le aspettative di Mertens, che sperava di intercettare *“una stratigrafia completa dall'epoca daunia fino al Medioevo”*²⁴⁵.

Come già constatato, dopo il IV secolo sembra verificarsi un abbandono graduale, marcato da un cambiamento funzionale di questo settore, con la presenza di sepolture all'interno delle abitazioni, in questo momento quasi completamente abbandonate. Queste tombe sono orientate in senso E-O e a volte sono ricoperte da tegole disposte a cappuccina; nessuna di esse ha

²⁴³ Mertens 1976, p.26.

²⁴⁴ Mertens 1976, p.28.

²⁴⁵ Mertens 1976, p. 28.

restituito un corredo, motivo per il quale risultava difficile per gli archeologi datare questa fase con precisione. Tuttavia, quello della cronologia assoluta non risultava essere il solo aspetto problematico per Mertens. Egli scrive infatti che non sembra possibile precisare i rapporti fra le sepolture e le strutture costruite al di sopra delle rovine romane, strutture costruite con una tecnica “piuttosto trascurata” e impiantate in uno spesso strato di terra che ricopriva gli edifici romani.

Queste strutture presentano muri costruiti con ciottoli legati da argilla e sono disposti in maniera irregolare, anche se si constata un certo allineamento lungo un percorso di ghiaia che taglia l'intero settore. La divergenza di orientamento e di disposizione delle strutture rispetto alle configurazioni anteriori, lascia supporre un abbandono temporaneo del sito; la stessa constatazione fu fatta durante lo scavo della porta NE, dove la strada romana fu totalmente coperta dall'abitato medievale.

Il quadro cronologico di questi cambiamenti resta tuttavia complesso e di difficile determinazione. Lo studio delle serie numismatiche sembra riflettere una netta flessione dell'occupazione fra VII e IX secolo, e soltanto con la riconquista della Puglia da parte dei Bizantini si assiste ad un ripopolamento del sito. Le ceramiche individuate, a vetrina piombifera o la maiolica policroma, attestano una frequentazione che parte dall'XI secolo fino ad intensificarsi durante il XIII e il XIV.

Con la distruzione del castellum nel 1489, Herdonia viene definitivamente abbandonata.

Verso il 1608 viene costruito un convento dei frati Gesuiti, poco a nord rispetto alla città antica, e in questo punto nacque il nuovo villaggio. Soltanto nel 1774 però fu avviato un programma sistematico di occupazione del territorio, con la creazione di un piccolo villaggio di coloni.

È interessantissimo notare come l'attenzione di Mertens ricada anche sulle fasi più moderne della storia insediativa di Ortona. Nel 1974 infatti, una parte della campagna di scavo fu destinata proprio al rilievo delle vestigia del primo villaggio di coloni, ancora presenti nell'attuale villaggio. Pertanto sono state disegnate le planimetrie di una torre quadrata e di una struttura che probabilmente serviva da alloggio ai primi coloni.

IV.5. Ortona. Le campagne del 1975, 1976 e 1977.

Il sesto volume della serie Ortona si apre con un rapporto sulle campagne di scavo effettuate dal 1975 al 1977.

1975

- 14 aprile – 31 maggio
- 10 settembre – 30 novembre

1976

- 5 aprile – 27 maggio
- 14 settembre – 8 dicembre

1977

- 27 marzo – 25 giugno
- 19 settembre – 8 dicembre

Il programma di ricerca seguito in queste campagne non si discosta da quelle precedenti. Il primo punto riguardava lo studio dell'abitato indigeno daunio, problema sempre più complesso man mano che si acquisivano nuovi dati. I sondaggi di scavo dedicati a questo punto del programma (trincee 75, 4-7) erano tutti collocati nella parte meridionale della città, a sud della cinta muraria.

È stato ugualmente proseguito lo studio della stratigrafia e della topografia del centro della città romana, in modo da aggiornare la pianta del foro e precisare disposizione e cronologia di numerosi monumenti. Questa ricerca è stata condotta negli anni 1976 e 1977, con lo scavo del settore settentrionale del foro e della basilica (trincee 76, 1-4, 77, 5).

Inoltre è stato approfondito lo studio della zona orientale del centro, tra la piazza del foro e la cinta muraria (trincee 75, 1-3, 77-6).

L'ultimo punto del programma riguarda le ricerche su Ortona medievale. L'abitato di quest'epoca si estende soprattutto sulla cresta settentrionale della città romana. Nel 1976 le ricerche si sono concentrate in questo settore con una lunga trincea che partiva dalla porta NE per giungere fino alle pendici della collina del castellum (trincea 76, 5). L'anno successivo la trincea è stata allargata nel punto iniziale, a nord della porta NE con le trincee 77, 1-3, e un nuovo saggio di scavo è stato aperto sulla collina settentrionale (trincea 77, 4). Questi scavi non solo hanno permesso di esaminare le forme insediative più tarde, ma hanno anche permesso di

scoprire quartieri periferici della città romana, ancora sconosciuti. Inoltre i quasi 6 metri di interro della trincea 76,5 nel suo tratto meridionale, hanno sigillato e protetto una stratificazione che va dall'epoca daunia fino al XIV secolo, restituendo in pratica uno spaccato dell'intera storia insediativa del sito di Ortona.

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
75.1	1975	Foro, Tempio A
75.2	1975	Campus
75.3	1975	Tempio A
75.4	1975	Collina Sud extra moenia
75.5	1975	Collina Sud, mura
75.6	1975	Serie di 4 trincee situate 120 metri a Sud della Collina Sud
75.7	1975	Lunga trincea situata ad 1.5 km a Sud di Herdonia
76.1	1976	Basilica
76.2	1976	Basilica, esterno
76.3	1976	Basilica esterno, foro
76.4	1976	Basilica, ambienti annessi
76.5	1976	Lunga trincea da Porta Nord Est a Collina Nord
77.1	1977	Porta Nord Est
77.2	1977	Porta Nord Est
77.3	1977	Porta Nord Est
77.4	1977	Collina Nord
77.5	1977	Angolo Nord Foro
77.6	1977	Tempio A, fra Macellum e Campus
77.7	1977	Porta Sud Ovest, zona intra moenia

L'abitato daunio.

Lo studio dell'abitato daunio è stato uno dei punti cardine del programma di ricerca dell'équipe di Mertens. Questo abitato aveva un'estensione di gran lunga superiore a quella della città romana, e fino all'intervento degli archeologi belgi non era mai stato oggetto di studi topografici sistematici. Sono stati intrapresi scavi di emergenza nelle zone interessate dalla posa in opera di canalizzazioni per l'irrigazione, dalla costruzione di immobili o dall'impianto di vigneti, ma si trattava più di salvataggi che di lavori intrapresi all'interno di un programma di ricerche prestabilito.

Pertanto fu necessario intraprendere questo lavoro da zero, con tutta una serie di problemi da risolvere, come ad esempio la presenza di un insediamento neolitico o protostorico, o dell'aspetto urbano dell'abitato indigeno, e quindi l'esistenza di un'acropoli o di sistemi difensivi, o ancora il rapporto fra abitato e necropoli. Inoltre gli innumerevoli ritrovamenti

occasionalmente testimoniavano una forte densità di occupazione, ma purtroppo senza riferimenti topografici e stratigrafici precisi.

Un primo approccio a questi problemi è stato tentato nella zona a sud della città romana, tramite lo scavo di una lunga trincea di circa 425 metri (trincea 75, 7), con il triplice obiettivo di:

- a. verificare l'esistenza in questo settore periferico dell'abitato daunio, di un recinto o di un fossato difensivo;
- b. controllare la natura delle tracce più o meno rettilinee visibili chiaramente dalla fotografia aerea e generalmente interpretate come cammini o canalizzazioni;
- c. studiare la densità dell'occupazione antica.

Per quanto riguarda il primo punto, il risultato sembra essere negativo, visto che non sono state trovate tracce di sistemi difensivi.

Quanto alle tracce rettilinee, è stata intercettata una in tutta la sua larghezza. Si tratta effettivamente di un canale scavato nella roccia che presenta due parti nettamente distinte. Una prima parte presenta pareti molto allargate e misura, immediatamente al di sotto dello strato arativo, 12,50 metri di larghezza, e ad una profondità di 1,52 metri²⁴⁶, la larghezza si riduce a 3 metri. A partire da questo punto le pareti sono praticamente verticali, fino al fondo situato alla quota -2,80 metri. Oltre a questo canale di drenaggio, sono stati ritrovati resti di percorsi stradali.

L'occupazione della zona non fu molto densa, nonostante ci siano tutti gli elementi di un abitato daunio: buche di palo tagliate nella roccia, tombe a fossa, vasche intonacate, cumuli di tegole provenienti da abitazioni, muretti in ciottoli o in mattoni crudi.

Proprio lo scavo di questo settore fornisce a Mertens lo spunto per ribadire le scelte metodologiche operate dall'équipe belga per quanto concerne la forma dello scavo. Mertens sostiene infatti che *“soltanto le lunghe trincee e gli scavi su grandi superfici permettono una ricerca topografica scientificamente affidabile”*²⁴⁷. Con il supporto della fotografia aerea inoltre, questo metodo si conferma indispensabile per lo studio di abitati indigeni simili.

Per quanto riguarda le trincee, il metodo adottato è stato quello dello scavo stratigrafico, e dello scavo per sezioni contigue di 2 metri di larghezza su una lunghezza di 20. Quasi dappertutto si è scavato fino agli strati geologici di roccia.

²⁴⁶ Nel testo scritto da Mertens si legge *niveau -152*. La parola *niveau* indica una quota altimetrica, ma anche il criterio numerico utilizzato da Mertens per orientarsi nella lettura della stratigrafia archeologica e dedurne le fasi storiche.

²⁴⁷ Mertens 1979, p.11.

Le vestigia sono numerose e serrate; le tracce più frequenti sono quelle lasciate dalle buche di palo tagliate nella roccia. Purtroppo però, considerata la grande quantità e la cronologia differente, queste tracce non permettono di intuire la planimetria di alcun edificio. La situazione in questo settore si ricollega a quella della collina meridionale della città romana. Difficile stabilire una cronologia, in mancanza di una ceramica del sito ben caratterizzata; tuttavia alcune buche di palo sono coperte da tombe di VI-V secolo e, pertanto, sono sicuramente anteriori. Quanto alle strutture, la maggior parte presenta muri costruiti in mattoni crudi con zoccolo in ciottoli e le pareti spesso sono ricoperte da un intonaco giallo-biancastro. I tetti dovevano essere ricoperti da tegole.

È stata intercettata anche una strada composta da diversi strati di pietrisco molto compattati, con ancora ben evidenti i solchi dei carri. Questa strada è stata costruita al di sopra di strutture e tombe anteriori, una delle quali datata grazie al corredo alla fine del V secolo.

Sono stati effettuati dei sondaggi a sud della trincea 75,4 per seguire il tracciato di questa strada, ed in effetti sono stati trovati altri segmenti ma con un orientamento del tutto diverso. Bisogna ipotizzare dunque l'esistenza di un tracciato sinuoso che ben si adattava alla disposizione poco regolare dell'abitato.

Numerose vasche intonacate, probabilmente collegate alla lavorazione della lana, e diverse tubature di forni, attestano la vocazione artigianale di questo settore dell'Ortona daunia. Tuttavia, non essendo stato trovato alcun forno, né scarti di produzione, non è possibile precisare la natura della produzione.

Anche le sepolture sono numerose. La maggior parte di esse sono a fossa con delle coperture e alcune contengono corredi molto ricchi.

Gli scavi in questo settore del sito di Ortona illustrano in maniera esaustiva l'aspetto di questi vasti insediamenti dauni durante il VI, il V e il IV secolo della nostra era.

Queste vestigia presentano differenze con quelle ritrovate negli scavi del 1966 e del 1971 sulla collina meridionale della città romana, dove l'impianto urbano appare ben articolato e le tecniche di costruzione più elaborate. Al fine di precisare meglio le differenze fra le due aree dell'abitato, è stata scavata la lunga trincea 75,5, che le collega entrambe e che taglia anche il fossato e la cinta muraria. La sezione di questa trincea ben illustra la maniera in cui il fossato è stato scavato nell'abitato daunio, ricoprendo le strutture della zona extra muros. Questa opera deve essere stata compiuta in un lasso di tempo piuttosto breve, considerato lo spesso strato di tegole che ricopre i resti delle strutture precedenti, che con ogni probabilità sono state intenzionalmente abbattute.

In tutte le altre parti della città romana sono state individuate tracce dell'abitato daunio.

Oltre alle tombe a fossa e a grotticella al di sotto della basilica, ritrovate nelle campagne di scavo precedenti, sono state ritrovate altre nella zona a sud del foro, alle spalle del tempio A. anche in questo caso le tombe sono alternate a capanne in legno di cui restano numerose buche di palo, disposte in maniera irregolare, esattamente come quelle nel settore a sud della città romana.

Stessa situazione nel **settore settentrionale**, fra la porta NE e la collina del castellum, dove lo scavo della trincea 76,5, lunga 260 metri e larga 2, ha permesso di analizzare uno spaccato della topografia antica dall'epoca daunia fino al Medioevo. Anche in questo si presenta l'alternanza fra abitazioni e sepolture. Interessante il caso di un mosaico in ciottoli di fiume tipico della cultura daunia, nettamente in rapporto con un muro di un'abitazione. "*Questo dato*", scrive Mertens, "*permette di dubitare del carattere strettamente funerario di questi pavimenti ammesso fino ad allora*"²⁴⁸. L'analisi dei reperti ceramici in relazione alla stratigrafia conferma la datazione dei mosaici in ciottoli al pieno IV secolo, e cioè al periodo immediatamente precedente alla fondazione della città romana.

Un'ultima considerazione sull'abitato daunio va fatta sulla situazione restituita dallo scavo della trincea 77,2, nei pressi della porta NE. Agli occhi di Mertens appare eclatante che nella fascia ricoperta dall'aggr non siano state ritrovate costruzioni in mattoni crudi o in ciottoli, ma soltanto alcune buche di palo ed una cisterna. Le domande che l'archeologo belga si pone riguardano dunque l'esistenza di un tracciato già nell'abitato daunio, in modo da delimitare l'area più importante dell'insediamento. Quest'area dunque potrebbe essere identificata come l'acropoli dell'abitato daunio, che diventerà più tardi la città romana stessa. Tuttavia la cautela di Mertens invita a riflettere con prudenza sulle sue ipotesi e soprattutto a rimandare interpretazioni più nette soltanto alla luce di ricerche future.

La città romana.

Nella vasta distesa dell'insediamento daunio sarà più tardi ritagliata la zona della città romana. È difficile stabilire se questa sia stata l'opera di un'autorità locale o degli occupanti romani. Inoltre Mertens ammette la totale assenza di informazioni riguardo al passaggio dall'abitato sparso all'urbanizzazione romana avvenuto fra IV e III secolo, e questo vale per tutte le altre città della Daunia antica.

Certo, per quanto la fotografia aerea abbia fornito utilissime informazioni di carattere topografico, nulla o poco si conosceva riguardo alle problematiche di carattere cronologico, messe in luce in tutta la loro complessità dagli scavi di Monte Sannace o di Salapia.

²⁴⁸ Mertens 1979. Ortona VI, p. 17.

Inoltre, scarsissime erano le informazioni sulla cultura materiale daunia.

Negli scavi di Ortona si è tentato un primo approccio a queste problematiche, con le indagini nel settore meridionale della città, dove è emerso che per quanto la costruzione della cinta muraria possa essere stata effettuata in maniera molto drastica e rapida, le trasformazioni urbane non sono affatto avvenute in maniera brusca.

All'interno delle mura l'urbanizzazione si sviluppa in maniera più graduale, sia da un punto di vista planimetrico che tecnico. Le tecniche di costruzione tradizionali in ciottoli e mattoni crudi, lasciano via via il posto a tecniche più "moderne": pavimenti rivestiti, muri in frammenti di tegole o lastre di roccia disposti a spina di pesce. I mosaici dauni in ciottoli di fiume posti di taglio, al contrario, restano di moda.

Sarà soltanto a partire dal II secolo che inizierà una nuova fase urbana con la costruzione di veri e propri monumenti.

Mertens individua tre fasi essenziali nella storia della città romana di Herdonia:

- a. I primi secoli della nuova città;
- b. Il II e il I secolo a.C.;
- c. L'epoca imperiale.

Le origini della città romana.

I sondaggi effettuati fra il foro e l'anfiteatro (trincee 77,6 e 75,2) hanno restituito gli indici cronologici e stratigrafici più considerevoli per quanto riguarda la fondazione della nuova città; ulteriori importanti dati sono stati raccolti nel settore nordorientale (trincee 76,5 e 77,1-2) e nella zona compresa fra il foro e la basilica (trincee 76,1-4).

La **trincea 75,2** tracciata nell'asse di una vasta terrazza anteriore al foro imperiale, presenta nella sua porzione inferiore, ad una profondità di quasi 6 metri, l'aspetto abituale dell'**abitato daunio**. Queste vestigia sono state ricoperte da un quartiere che sembra avere tutte le caratteristiche di una disposizione urbanistica ben definita. Su entrambi i lati di una stradina si dispongono case a pianta rettangolare. I muri sono costruiti con pietre, laterizi e blocchi di crosta rocciosa disposti a spina di pesce e legati da argilla. Inoltre un intonaco argilloso ricopre i paramenti. Dunque la tecnica di costruzione dei muri risulta essere piuttosto curata, così come quella dei pavimenti, che sono qui rivestiti di calce e mattoni pestati.

Le abitazioni sono allineate su una piccola strada composta da un rigolo assiale composto da ciottoli disposti a spiga, che divide due bande di lastre in pietra ben levigate. Anche i marciapiedi sono fatti con piccoli ciottoli disposti di taglio, a formare motivi che ricordano i

tipici mosaici dauni, recuperando dunque una tecnica locale tradizionale, di cui gli ultimi testimoni situati nel villaggio moderno si datano al XVIII e al XIX secolo.

La disposizione ortogonale di questo quartiere è paragonabile a quella riscontrata nella collina meridionale e nei pressi del castellum, ma anche nella zona alle spalle del tempio A, dove al momento della fondazione della città furono costruite abitazioni costruite in pietra e frammenti di tegole legati da argilla.

Nella zona della porta NE (trincee 77,1-2) la situazione risulta meno netta, sebbene siano state trovate le stesse fondazioni in frammenti di tegole, lastre di roccia e pietre. Ciò che qui appare importante è che queste fondazioni poggiano o tagliano uno spesso strato di breccia, che costituiva una difesa urbana, dimostrando che le abitazioni arrivavano fino al recinto della città. Queste abitazioni furono tagliate ancora dal primo muro di controscarpa della cinta muraria.

Questo abitato più o meno regolare ad un certo punto fu abbandonato, se non completamente, in buona parte. Le tracce più nette di questo abbandono sono state riscontrate nella zona situata a sud del foro, dove le sezioni delle trincee 75,2 e 77,6, mostrano, al di sopra delle abitazioni appena descritte, una successione di strati di distruzione, di incendi e di macerie. L'analisi delle forme e delle tipologie ceramiche assieme all'esame al carbonio 14 di alcuni campioni di carbone permettono di collocare questo momento fra III e II secolo a.C. La tentazione di vedere in questo abbandono il riflesso delle difficoltà causate dalle guerre puniche è forte, avverte Mertens²⁴⁹, soprattutto se si considera il sacco della città menzionato da Tito Livio²⁵⁰ e avvenuto nel 210 a.C., con la conseguente deportazione della popolazione a Turi e a Metaponto.

Il II e il I secolo a.C.

I sondaggi effettuati attorno al foro durante le campagne 1975-77 hanno permesso di seguire la lenta monumentalizzazione di questa zona, e Mertens era sempre più convinto che la scelta del sito del foro non fosse stata condizionata tanto dalla presenza di una strada principale, che più tardi diventerà la Via Traiana, quanto da certi elementi tradizionali di cui era difficile stabilire la natura allo stato delle ricerche di allora. La scoperta di una tomba particolare e di un vasto piazzale fornirono interessanti spunti di riflessione.

Le **trincee 75,2 e 77,6** hanno permesso di studiare la planimetria e la stratigrafia della zona a sud del **tempio A**. Le nuove costruzioni impiantate sulle macerie degli edifici precedenti, presentano un orientamento nettamente differente. Questi nuovi elementi consistono essenzialmente in due allineamenti di pilastri in pietra calcarea sulle quali poggiavano delle

²⁴⁹ Mertens 1979. Ortona VI, p.21.

²⁵⁰ Tito Livio, XXVII, 1, 3-15.

colonne probabilmente in legno. Questi due allineamenti fanno pensare alla presenza di un portico.

Tutta questa zona fu ricoperta da uno spesso strato di ghiaia, sabbia, macerie e scarti, e fu costruito il solido muro che delimitava un **vasto piazzale**, che terminava con un'edera di un diametro di 10 metri. Questa terrazza, larga 59 metri, fu tagliata dalla costruzione del foro imperiale. È interessante notare come l'orientamento di questo piazzale sia più o meno quello dell'antico portico e dei magazzini sotterranei nell'angolo settentrionale del foro.

Quasi al centro della terrazza, appena sfiorato dalle botteghe che formano l'angolo orientale del foro, si trova il basamento di un monumento, costruito in pietra di taglio e poggiato su un blocco in muratura largo 6,88 metri e alto 1,55. Per quanto il monumento non si trovi esattamente nell'asse mediano della terrazza, è indubbia una correlazione con quest'ultima, considerato il medesimo orientamento. Il monumento è altresì in relazione con un recinto rettangolare di 8,25 x 3,70 metri, delimitato da un muro spesso 50 cm.

In questo spazio è stata ritrovata una **tomba** (inventario 75 OR 08), che per la sua posizione al centro della città pone non pochi problemi di interpretazione, tanto storici quanto giuridici. La sepoltura è costituita da una fossa di 90 x 70 cm, circondata da tegole piatte poste di taglio; all'interno erano stati posti, protetti da un coppo, i resti inceneriti di un individuo di circa 26-27 anni, alto più o meno 1,65 metri. Tutto intorno alla tomba erano sparpagliati i resti di una pira così come le offerte funerarie purtroppo guastate dal fuoco: una decina di vasi lacrimatori, ceramica comune o a pareti fini, una lucerna e un importante lotto di frammenti di placche in osso decorate con figure umane o animali leggermente in rilievo. Fra le pareti della fossa e la cassa di tegole furono depositati tre **strigili** in ferro uniti da un anello e collegati ad una fiala, sempre in ferro, sospesa ad una catenella. Tra i resti organici combusti sono stati identificati scaglie di pigne, noccioline e qualche frammento di ossa animali (bovini, piccoli mammiferi e volatili).

L'analisi della ceramica permette di datare questa tomba all'*età augustea*, mentre l'analisi al radiocarbonio di un campione di carbone di legno ha restituito come datazione il 30 d.C. ± 75.

Nell'area settentrionale del foro sono state scavate quattro trincee principali:

- Trincea 76,1 – angolo orientale della basilica;
- Trincea 76,2 – portico tra il foro e la basilica;
- Trincea 76,3 – zona che collega il portico ai magazzini sotterranei;
- Trincea 76,4 – ambienti annessi della basilica lungo la Via Traiana.

Inoltre una trincea scavata nel 1977, la **trincea 77,5**, ha permesso di precisare i rapporti fra il criptoportico, i magazzini sotterranei, il portico della basilica e le fognature.

Considerata la posizione stratigrafica, la maggior parte delle strutture sotterranee precedono la basilica, e quindi antecedenti all'inizio della nostra era.

In questo settore, il II secolo a.C. è caratterizzato da una certa tendenza alla monumentalizzazione, come conferma un netto miglioramento delle tecniche edilizie. L'elemento più importante è stata la scoperta lungo il lato meridionale della basilica, laddove più tardi sarà costruito il portico del foro, di una **serie di botteghe** precedute da un altro portico, di cui restano i blocchi di fondazione.

Tra questo portico e i magazzini sotterranei sono stati scoperti due basamenti in muratura, entrambi di 3,50 x 2,05 metri e distanti fra loro 3,40 metri, che lasciano pensare ad una sorta di arco trionfale orientato verso il tempio B.

Sempre in fase con il portico, è stato trovato uno spesso strato di ghiaia ben pressata che può essere paragonato ad una strada.

La sistemazione del foro, del criptoportico, della fognatura e del tempio B hanno completamente stravolto la configurazione primitiva di questo settore.

Nel settore settentrionale della città, la trincea 76,5, lunga circa 260 metri, è stata scavata per collegare la porta NE alla collina del castellum. L'estensione di questo sondaggio con le trincee 77,1-3, ha messo in luce una successione di edifici dall'epoca daunia fino al Medioevo. La cinta urbana, che percorre questa zona ha condizionato la planimetria degli edifici. Per quanto riguarda l'epoca considerata in questo paragrafo possono essere distinte tre fasi.

Prima fase. A questo momento appartengono soltanto le fondazioni e la basi di tre pilastri quadrati, disposti più o meno lungo il recinto urbano.

Seconda fase. Il colonnato di prima fase viene livellato per far posto ad un grande edificio, di cui i muri intaccano parzialmente l'aggere. La tecnica edilizia, comparabile a quella del tempio B, permette di datare questa struttura al II secolo a.C. Agli inizi del I secolo a.C. una nuova cinta muraria viene costruita, e la rampa di accesso è sostenuta da un solido muro in opera incerta, allineato a questo edificio.

Terza fase. Nell'angolo formato dal muro di controscarpa e il muro nord, viene costruito il peristilio di un'importante residenza. Riutilizzando le fondazioni dei muri precedenti, è stato realizzato un vasto spazio rettangolare nell'angolo settentrionale, con al centro un pavimento circondato da sei colonne e delimitato da un piccolo canale, largo 25 cm, con le pareti stuccate

dipinte in rosso e il bordo orizzontale superiore rialzato da un semplice motivo fatto da un allineamento di piccoli cubi di marmo bianco. Delle piccole condutture formate da due coppi posizionati in maniera verticale, permettono lo scolo delle acque. Le colonne circolari, del diametro di 54 cm, presentano una base leggermente profilata, costruite per mezzo di bordi di grandi contenitori. I basamenti sono molto solidi e raggiungono un'altezza di 186 cm.

L'analisi tecnica assieme all'analisi stratigrafica ha permesso di datare questo edificio alla piena età augustea.

L'epoca imperiale.

Nel centro della città, i fatti salienti di quest'epoca sono la costruzione della basilica e la costruzione del foro con gli edifici adiacenti. Gli scavi delle campagne 1975 – 1977 non hanno fatto altro che apportare dettagli supplementari a questi edifici pubblici.

Per quanto riguarda la basilica, la cronologia di questo edificio è stata confermata dallo scavo di una tomba a grotticella dismessa, che ha restituito materiale archeologico piuttosto omogeneo e coerente con le datazioni finora formulate.

Gli scavi effettuati alle spalle del tempio A hanno permesso di constatare che il muro settentrionale del macellum, sul suo paramento settentrionale, fu ricoperto di intonaco bianco, levigato e diviso in pannelli regolari, esattamente come il paramento esterno dell'abside del tempio.

Il tempio A è stato intercettato dalle trincee 75, 1-3 e 77,6. La situazione che emerge può essere scandita in due fasi di costruzione: dapprima un podio rettangolare preceduto da una scala di accesso, ed in seguito l'aggiunta di un blocco centrale che accoglieva una nicchia, di corridoi laterali e di una nuova scala che consentiva l'accesso dal foro. Queste trasformazioni sono da mettere in relazione con il momento della costruzione del mercato, che ha comportato la realizzazione di importanti rifacimenti su tutto il fianco sudest del foro. Sebbene il tempio non sia stato costruito per rimpiazzare un edificio precedente, le sue fondazioni si appoggiano su due serie di blocchi in pietra provenienti da un edificio pubblico dismesso.

Il livellamento della piazza del foro aveva comportato la distruzione parziale dei magazzini sotterranei nella zona settentrionale. Il sondaggio 75,5 ha messo in luce l'estremità settentrionale del portico del foro, una fogna proveniente dal tempio B e una seconda proveniente dal criptoportico, che in realtà non è altro che una sistemazione secondaria del criptoportico stesso.

La lunga trincea 76,5 che ha permesso di indagare tutto il settore settentrionale della città, ha rivelato l'esistenza di un quartiere di epoca imperiale anche in quest'area periferica. Purtroppo

la larghezza di 2 metri della trincea non ha permesso di ricostruire planimetrie intere, ma tuttavia è stato possibile notare come le strutture avessero un orientamento nord-sud, di fatto allineato al tracciato della Via Traiana. In uno degli ambienti di questa abitazioni è stato ritrovato un pavimento a mosaico geometrico multicolore.

Nella parte meridionale di questa lunga trincea, allargata nel 1977 dai saggi 77,1-3, sono emersi gli elementi più interessanti. La casa con peristilio di età augustea fu distrutta e rimpiazzata da un imponente complesso sanitario, articolato in diversi ambienti, corridoi e annessi. Le tecniche murarie appaiono molto curate e composte da pietre tagliate e alternate a filari di mattoni.

Nella parte occidentale una piccola nicchia (A) presenta sul fondo un sedile, alto 61 cm, con un'apertura quadrata comunicante, tramite una tubatura cilindrica, con la fognatura sottostante. Al centro del complesso si apre una grande sala (B) intonacata dove sono stati incisi numerosi graffiti.

La terza componente (C), situata nell'angolo NE del complesso presenta una pianta piuttosto complicata, e comprende un corridoio ad L e qualche annesso. Il pavimento del corridoio è rivestito con lastre di terracotta e una profonda canaletta percorre sia il muro N che quello O. Come avvenuto per lo spazio B, anche in questo caso le pareti intonacate sono ricoperte di graffiti. Questo insieme può essere identificato con le latrine, ampiamente attestate in altre città romane.

Il materiale archeologico proveniente dalle condutture sotterranee, prevalentemente brocche, lucerne e monete, attesta una cronologia che investe interamente il II e il III secolo d.C.

È proprio in questo settore che è stato possibile constatare come ci sia stato un abbandono quasi brutale della città romana. Sui muri crollati si sono accumulati infatti degli spessi strati di distruzione, pieni di frammenti di ceramica, carbone, frammenti di tegole e diverse macerie. Le poche monete ritrovate in questi crolli datano al II secolo d.C., mentre l'analisi al radiocarbonio di un campione di carbone ha fornito come data il 30 ± 75 d.C.

Questo abbandono, o perlomeno questo cambiamento radicale della città ricorda le constatazioni fatte per la basilica e per il macellum. Nonostante la risistemazione della Via Traiana fatta dall'imperatore Costantino, la città non sembra essere altro che una stazione di posta; il centro di gravità tende a delocalizzarsi verso la campagna e soltanto alcune cappelle, sparse nell'antica città, costituiscono l'unico elemento di continuità fra Antichità e Medioevo.

Il villaggio medievale.

L'esistenza di un villaggio medievale ad Ortona era stata già confermata dalle campagne precedenti. Il villaggio si sviluppava lungo un cammino di campagna che seguiva la cresta che

delimitava a NE l'area della città antica. La lunga trincea 76,5 ha tagliato questo abitato in tutta la sua estensione, mentre negli ampliamenti 77, 1-3 sono state messe in luce delle abitazioni dell'epoca.

I saggi aperti alle spalle del tempio A, 77,6 e 75,2, hanno confermato l'esistenza di una necropoli di modeste dimensioni.

L'abitato si sviluppa al di là della porta NE, lungo una strada formata da un solido strato di ghiaia e larga quasi 5 metri.

Le abitazioni si dispongono in maniera regolare lungo la strada e presentano una pianta rettangolare piuttosto allungata. Una di queste è stata scavata completamente e misura 20 metri di lunghezza e 5,50 metri di larghezza. La casa termina verso E con una costruzione circolare che potrebbe essere un forno. Le diverse costruzioni sono separate da stretti corridoi; i muri sono costruiti con materiale di recupero, specialmente ciottoli legati da argilla e i pavimenti sono in terra battuta.

Nella parte settentrionale della trincea 76,5 sono state ritrovate le prime tombe appartenenti ad una necropoli estesa attorno alla chiesa situata all'estremità della collina del castellum. Queste tombe ad inumazione hanno orientamenti vari, sono tagliate nella roccia e ricoperte da grandi tegole piatte. Le sepolture sono rade e poco numerose, attestando di fatto una popolazione poco densa o un'occupazione dell'area di breve durata. In effetti, questo cimitero fu ricoperto al momento della risistemazione del castellum agli inizi del XIII secolo, con un riporto di terra ed un fossato.

Nell'angolo orientale della fortezza è stato ritrovato un forno per la calce a pochi metri dalla chiesa. La datazione fornita dall'analisi C14 di alcuni campioni di carbone è 1470 ± 40 , e coincide perfettamente con i dati storici, poiché la casa fortificata fu smantellata nel 1489, e dunque questo forno è da collegare all'attività di recupero di materiali da costruzione, attività che in un certo senso segna l'abbandono definitivo dell'abitato medievale e dell'antica Herdonia.

IV.6. Ortona 1978 - 1986.

I principali risultati ottenuti dopo il 1978 riguardano la topografia e la stratigrafia archeologica del centro urbano così come le scoperte fatte durante le ricognizioni nelle immediate vicinanze della città antica²⁵¹.

I lavori condotti in questo gruppo di campagne di scavo avevano come obiettivo lo studio dei seguenti elementi:

- la topografia generale del sito;
- lo sviluppo del centro urbano;
- le tombe
- le zone artigianali.

Il metodo di scavo adottato resta quello delle grandi trincee, a volte giustapposte.

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
78.2	1978	Zona intra moenia a Nord di Porta Sud Ovest
78.3	1978	Zona intra moenia a Nord di Porta Sud Ovest
79.1	1979	Mura Est e zona extra moenia
79.2	1979	Campus
79.3	1979	Palestra
79.5	1979	Botteghe foro lato Nord
79.6	1979	Zona extra moenia ad Est delle Mura Est
79.7	1979	Serie di 3 trincee fra Collina Sud e Collina centrale
79.8	1979	Zona fra Via Traiana e Porta Nord Est
80.1	1980	Campus
80.2	1980	Campus
80.3	1980	Campus
80.4	1980	Zona fra Via Traiana e Porta Nord Est
80.5	1980	Zona fra Via Traiana e Porta Nord Est
80.6	1980	Zona fra Via Traiana e Porta Nord Est
81.1	1981	Campus
81.2	1981	Zona a Sud del Macellum
81.3	1981	Zona fra Via Traiana e Porta Nord Est
82.1	1982	Campus
82.2	1982	Zona a Sud del Macellum
82.3	1982	Zona a Sud del Macellum
82.4	1982	Anfiteatro
82.5	1982	Zona fra Campus e Mura
83.1	1983	Campus
83.2	1983	Zona fra Campus e Mura
83.3	1983	Botteghe foro lato Nord
83.4	1983	Botteghe foro lato Nord
83.5	1983	Botteghe foro lato Est (adiacenti a Tempio A)

²⁵¹ Mertens 1988.

84.1	1984	Campus
84.2	1984	Zona fra Campus e Mura
84.3	1984	Campus, lato Nord
84.6	1984	Zona a Sud del Macellum
84.7	1984	Zona a Sud del Macellum
85.1	1985	Zona fra Campus e Palestra
85.2	1985	Zona fra Campus e Palestra
85.3	1985	Zona fra Campus e Palestra
85.4	1985	Zona a Sud del Macellum
85.5	1985	Zona fra Campus e Palestra
85.6	1985	Zona fra Campus e Palestra
85.7	1985	Lunga trincea a Nord dell'Anfiteatro, extra moenia
85.8	1985	Campus
85.10	1985	Palestra
86.1	1986	Botteghe foro lato Nord
86.2	1986	Botteghe foro lato Nord
86.3	1986	Palestra
86.4	1986	Zona fra Campus e Palestra
86.5	1986	Botteghe foro lato Nord
86.6	1986	Foro lato Nord, adiacente a Ninfeo

Topografia generale della città e del suo territorio.

L'attività dell'équipe belga non si è limitata soltanto ai lavori di scavo nella città antica, ma è stata estesa anche ai dintorni della stessa, sia con delle ricognizioni che con degli scavi di emergenza effettuati al momento di ritrovamenti occasionali, sempre più numerosi.

Inoltre nel 1986 e nel 1987 sono state effettuate delle ricognizioni aeree, grazie alle quali è stato possibile acquisire preziose informazioni non solo sulla rete urbana della città romana, ma anche, e soprattutto, sull'occupazione delle campagne e sulla rete stradale.

L'abitato indigeno preromano.

Per quanto l'abitato daunio non fosse l'oggetto del programma di ricerche di queste campagne, le sue vestigia sono emerse in ogni parte della città romana nella posizione stratigrafica più bassa.

L'aspetto dell'abitato non cambia molto: buche di palo tagliate nella roccia, tombe, muri in argilla o in ciottoli di fiume, vasche intonacate, ecc.

Le tracce più antiche consistono in buche di palo e fondi di capanne circolari o rettangolari, tagliate nel suolo vergine. Strutture simili sono state individuate al limite occidentale delle colline sulle quali sorgeva la città antica e sono coperte da tombe a tumulo di VIII secolo a.C.

Tracce simili sono state trovate nel settore orientale della città, all'interno della trincea 82.2, dove la ceramica ritrovata nel riempimento di una capanna permette di attestare frequentazioni dell'area a partire dal IX secolo a.C.

Le analisi palinologiche di alcuni campioni di terra, ha permesso di ricostruire un paesaggio vegetale in quest'epoca poco boscoso, con una predominanza di pascoli e di campi di cereali. A queste prime tracce si sovrappongono i resti di un abitato costruito in mattoni crudi e ciottoli, dove le abitazioni si alternano a tombe databili dal VII al IV secolo a.C. In particolare, nella trincea 80.1, sono state individuate strutture che furono integrate, nel III secolo, alle costruzioni situate all'interno del nuovo circuito difensivo urbano.

Un elemento importante per ricostruire la topografia dell'abitato è stato il ritrovamento nella trincea 85.7 di una cava per l'estrazione delle lastre di crosta calcarea che ricoprivano le tombe dell'epoca. Questo dato dunque, attesta l'esistenza di cave specializzate e che quindi le tombe non erano sempre ricoperte con materiali reperibili nelle immediate vicinanze.

Il recinto urbano.

I lavori di queste campagne di scavo hanno permesso di precisare alcuni dettagli tecnici relative alla già nota successione cronologica della cinta urbana di Herdonia.

La fase primitiva consiste in un riporto di terra largo 7 metri e alto 1,50, impiantato su tombe datate fra la fine del VI e gli inizi del V secolo a.C. L'assenza di un fossato sembra indicare che questo riporto di terra non avesse alcuna funzione difensiva, ma di delimitazione, quasi simbolica, di un settore piuttosto importante nell'organizzazione dell'abitato indigeno. Ma l'elemento più interessante è senz'altro la presenza di scavi in cima a questo riporto di terra. Questi scavi di forma rettangolare o ovale, hanno dimensioni di circa 1,80 x 1,50 metri, e sono profonde circa 65 cm. Presentano pareti verticali e fondo perfettamente orizzontale; nelle pareti sono ancora visibili le impronte dei blocchi di argilla o di ciottoli. Queste cavità distano fra loro circa 4,20 metri, ma questa distanza non sembra essere costante; verso sud la forma di questi scavi appare meno regolare e molto allungata. Da notare che nei paraggi di questi tagli è stata ritrovata una fornace per ceramica daunia.

Tutti questi scavi furono ricoperti al momento della messa in opera della grande cinta con il suo aggere, agli inizi del III secolo a.C. Questo nuovo sistema difensivo è ben conservato nella trincea 78.5, dove raggiunge un'altezza di 3,25 metri. La parte inferiore, alta 1,50 metri, poggia direttamente sulla superficie antica o più spesso sulla roccia, ed è costruita con grossi blocchi sovrapposti quasi sempre a secco; questa fondazione fu costruita interamente in elevato. Al di sopra fu steso uno strato di terra argillosa scura con la funzione di filare di regolarizzazione, sul

quale poggia il muro in mattoni crudi. Contro questo muro si appoggia un aggere fatto di sabbia e breccia proveniente dallo scavo del fossato; la larghezza totale di questo sistema difensivo è di circa 11 metri. Verso l'interno, l'aggere è sostenuto da un muro di controscarpa che mostra numerosi rifacimenti dovuti all'installazione del cammino di ronda.

Un elemento interessante in questa struttura difensiva è la presenza di una galleria scavata al momento di uno degli assedi della città durante la seconda guerra punica (212 o 210 a.C.), che attraversa da parte a parte il muro in mattoni crudi.

Verso la metà del I secolo a.C. una cinta in opera incerta fu costruita come rinforzo. Una trincea scavata nel 1979 (tr. 79.1) ha permesso di indagare il fossato in tutti i suoi 29 metri di larghezza fino al fondo, individuato stratigraficamente a 6 metri di profondità.

La città romana.

Gli scavi effettuati nel 1981 e nel 1984, fra il **macellum** e la cinta muraria, hanno portato alla luce un quartiere artigianale, stretto fra il recinto urbano e resti di edifici di età repubblicana ed augustea. Una situazione identica era stata individuata nelle campagne precedenti nell'area della porta NE, dove delle residenze di età augustea furono soppiantate da un complesso sanitario con latrine.

La costruzione del mercato fece scomparire gli edifici repubblicani. Più tardi il quartiere artigianale fu abbandonato e l'area venne adibita alla conservazione di derrate alimentari, come attestato dalla presenza di numerosi *dolia* incastrati nel terreno. È interessante notare come questi magazzini fossero messi in comunicazione diretta, tramite una porta, con il piano superiore del macellum.

Al di sotto dei magazzini è stata individuata la **fognatura** per lo scolo delle acque del mercato, composta da una lunga galleria scavata nella roccia e fornita di bocche di aerazione. La fognatura è stata seguita nel suo percorso per circa 34 metri, e contrariamente alla pendenza naturale del terreno, essa conduce le acque non verso il foro, ma nel senso opposto, cioè verso il fossato della città.

Nei pressi dell'anfiteatro, è stata scavata parte di un grande edificio, costruito sui crolli degli edifici sottostanti e sicuramente posteriore al foro di età imperiale. I muri in opera reticolata, i pavimenti rivestiti da un mosaico bianco a grandi tessere, permettono di datare la struttura al II secolo d.C.

L'edificio presenta una serie di ambienti che si dispongono attorno ad un vano centrale, nel quale è allocata una cisterna per la raccolta delle acque piovane.

Ad est dell'edificio, verso l'anfiteatro, è stata individuata una serie di pilastri, probabilmente relativi ad un portico, ed una struttura con funzione di latrina.

Nuovi scavi sono stati condotti nella zona della porta NE, con l'obiettivo di aggiornare la mappa della città. Sotto le rovine delle abitazioni medievali, nelle trincee 80.4-6, è stato trovato un altro segmento del lastricato della Via Traiana.

Una seconda strada non lastricata, ma composta da pietrisco, percorreva la porta ma in direzione NO; lungo la strada, un portico permetteva l'accesso a delle botteghe.

Con gli scavi del 1986, e più precisamente della trincea 86.3, ha avuto inizio l'indagine di un complesso situato nell'angolo della Via Traiana e delle botteghe sul fianco settentrionale del foro. Il reimpiego di fusti di colonne sembra indicare che l'edificio fu utilizzato a lungo.

Nel Basso Impero, soprattutto a partire dal IV secolo d.C., quasi tutte le zone scavate nelle ultime campagne, si trasformarono in necropoli. Numerose tombe sono state scoperte attorno al tempio A e attorno ad edifici presenti nel foro che sono stati identificati come cappelle funerarie.

Infine, nella zona della porta NE, *extra muros*, sono stati aperti altri sondaggi nel tentativo di recuperare, come per molte altre città romane, l'area di necropoli extraurbana, che solitamente si sviluppava lungo le vie che permettevano l'accesso e l'uscita dalla città. La strada è stata recuperata facilmente, ma il resto dell'area appare stravolto dall'occupazione medievale. Tuttavia, la trincea 85.7 ha portato alla luce i resti di un acquedotto romano. Si tratta di tre enormi blocchi di muratura, allineati su un asse quasi N-S e distanti due metri l'uno dall'altro. Le solide fondamenta, alte 1,45 metri, e costruite con un conglomerato di pietre e malta grigia molto dura, lasciano supporre l'esistenza di una sovrastruttura piuttosto imponente. Esistono ancora pochi resti dell'elevato, costruito in mattoni triangolari e opera reticolata, la stessa tecnica delle botteghe del foro. Inoltre nella stessa zona sono stati trovati un ipocausto e un bacino semicircolare per la raccolta d'acqua.

L'abitato medievale.

La zona dell'anfiteatro è piuttosto importante per quanto concerne gli ultimi secoli di occupazione del sito. Essa è attraversata da una piccola strada, lungo la quale si allineano numerose abitazioni, e la sua traccia è ben visibile dalle foto aeree. Questa strada però, fa parte già di un'epoca tarda. Il momento del passaggio dalla città romana all'abitato medievale è stato molto complesso. *“Nel Basso Impero”*, scrive Mertens, *“la vita urbana svanisce lentamente”*²⁵². Gli edifici pubblici attorno al foro, come la basilica o il macellum, vengono

²⁵² Mertens 1988, p. 21.

defunzionalizzati e trasformati. Stessa sorte tocca alla maggior parte delle botteghe. Sebbene le vie principali vengano mantenute in funzione, il centro della città è totalmente disintegrato e probabilmente l'abitato civile va cercato in zone più periferiche dell'area urbana.

Nel V secolo, il foro viene occupato da una serie di **cappelle funerarie**, circondate da sepolture. Lo stesso **tempio A** viene adibito al culto cristiano, e Mertens ipotizza che possa essere questo edificio ad accogliere la **chiesa episcopale** di Ordona²⁵³.

Per quanto riguarda le numerose tombe che circondano questi edifici di culto, il loro orientamento risulta piuttosto vario, così come la maniera in cui sono state realizzate. In alcuni casi i defunti sono disposti in casse fatte di tegole disposte di piatto sia orizzontalmente e sia alla cappuccina, mentre in altri casi le inumazioni vengono realizzate in semplici fosse terragne. L'assenza di corredo rende difficili le datazioni, ma i rari elementi ritrovati permettono di identificare una cronologia di massima compresa fra il V e il VII secolo. Le analisi al radiocarbonio di alcune ossa sembrano confermare una certa continuità nelle sepolture durante i secoli successivi al declino della città antica. Il sacco di Ordona, avvenuto per mano delle truppe di Costante II (630 – 668 d.C.) dopo la metà del VII secolo, non sembra essere stato così distruttivo come vuole la tradizione.

Un abbandono molto più netto sembra essersi verificato a partire dall'VIII secolo. Le rovine infatti si accumulano e sono ricoperte dappertutto da uno strato di terra sterile.

Un nuovo abitato si installerà su queste rovine. Esso si sviluppa su entrambi i lati di una stradina individuata nella zona dell'anfiteatro, ed è composto perlopiù da abitazioni di pianta rettangolare, costruite con materiali di recupero legati da terra. Non è stata trovata alcuna traccia di pavimentazione, poiché tutti i fondi di queste abitazioni erano in terra battuta.

Secondo Mertens, il nuovo abitato potrebbe essere messo in relazione con la costruzione della **chiesa sulla collina settentrionale** e con la sua trasformazione in casa fortificata, avvenuta in un'epoca successiva. La ceramica raccolta negli strati relativi a questa fase cronologica, presenta linee e motivi a spirale dipinti in rosso o invetriature monocromatiche verdastre, talvolta decorate con motivi floreali o zoomorfi. Questo abitato sembra dunque essere sorto nell'XI secolo ed ha conosciuto una continuità di vita di almeno due secoli. Questo dato è confermato anche dall'analisi numismatica di pezzi relativi all'età di Federico II e di Carlo II d'Angiò.

Infine sono stati effettuati dei rilievi al di fuori del sito di Ordona, e più precisamente nei tratti dove la Via Traiana attraversava i fiumi del Cervaro e del Carapelle, per mezzo di due ponti di cui sono rimaste pochi resti. Il ponte sul Cervaro, inglobato in una esplotazione agricola, è stato

²⁵³ Mertens 1988, p. 23.

reso praticamente irriconoscibile. Dell'altro ponte, quello sul Carapelle, restano ruderi visibili, soprattutto le rampe di accesso in terra. In entrambi i casi si tratta di ponti tipici dell'epoca di Traiano, con pilastri in mattoni ed archi sormontati da strutture lignee.

Il centro urbano.

Il settore delimitato ad ovest dal foro di età imperiale, ad est dalla cinta muraria e a nord dall'anfiteatro, è stato particolarmente indagato nelle campagne che si sono succedute dal 1978 al 1986.

In quest'area fu impiantato il foro, nel II secolo d.C., e in epoca augustea, fu costruita la basilica, nei pressi di un tempio italico del II secolo a.C. Questo settore dunque, fu quasi predestinato a svolgere la funzione di centro religioso ed amministrativo della città antica.

Per rendere maggiormente comprensibili i risultati degli scavi è opportuno descrivere questa zona in ordine cronologico.

Strutture daunie e preannibaliche.

Resti dell'abitato daunio sono stati trovati un po' dappertutto nel settore centrale della città. Come sempre, l'abitato composto da **abitazioni** costruite in ciottoli e mattoni crudi, è intervallato da **tombe a fossa o a camera**.

Un dato interessante è stato fornito da una costruzione individuata nella trincea 80.1, poiché il suo orientamento è identico a quello di una delle botteghe costruite dopo la distruzione della città avvenuta per mano di Annibale. Questa struttura, livellata intenzionalmente, è composta da muri in ciottoli, placche di crosta rocciosa, frammenti di tegole e di dolia. Il suolo è in terra battuta, ma ad una estremità sono stati trovati i resti di uno dei tipici mosaici in ciottoli disposti a spina di pesce.

Un altro esempio di disposizione relativa all'abitato daunio è stato individuato nella trincea 83.2, dove uno dei muri incastrati nel muro di controscarpa della cinta urbana, fu costruito al di sopra di una tomba, infrangendo la lastra di chiusura e il corredo funerario. Pertanto in questo punto esatto, al di sopra della fondazione, i costruttori posero delle offerte consistenti in tre vasi finemente modellati ma senza decorazioni e delle ossa di pollo.

Tutta la parte settentrionale della zona indagata è attraversata da un fossato rettilineo, orientato in senso SE-NO, che dall'anfiteatro si dirige verso l'angolo della Via Traiana. Il fossato, intercettato dai sondaggi 83.1, 82.1, 85.1, e 86.1, è stato scavato direttamente nella roccia e non sembra aver tagliato strutture precedenti, pertanto potrebbe essere messo in relazione con il primo abitato daunio. Il punto di partenza è stato localizzato ai piedi della cinta muraria nei

pressi dell'anfiteatro, dove la larghezza è di appena 4 metri, mentre nelle porzioni individuate nelle trincee 83.1 e 82.1 raggiunge gli 11 metri. La profondità è di poco superiore ad un metro. Nel segmento al di sotto delle botteghe lungo il lato NO del foro, il fossato è stato riutilizzato per la costruzione dei magazzini sotterranei. Le pareti sono verticali e sono rinforzate da un solido muro, mentre altri muri sono disposti ad intervalli regolari per fare da contrafforto. Difficile stabilire la funzione di questa opera. L'assenza di strati di deposito alluvionale indebolisce l'ipotesi del sistema di drenaggio, ma non quella della raccolta di derrate granarie. Tuttavia sono attestate da un autore antico, Appiano, dei fossati simili scavati a Salapia, dalle fazioni rivali al momento dell'occupazione di Annibale²⁵⁴. Ad ogni modo, il fossato non sembra aver avuto una lunga vita. I materiali archeologici più recenti non oltrepassano il III secolo a.C., e al di sopra del riempimento furono costruite le strutture dell'abitato postannibalico, come un mosaico in ciottoli individuato nella trincea 83.1.

Dopo Annibale: il complesso del primo foro.

La disfatta romana ad Ortona nel 210 a.C. causò la distruzione della città da parte delle truppe di Annibale. Appena un decennio più tardi il sito viene rioccupato. La cinta muraria viene restaurata e le porte rinforzate e munite di bastioni. All'interno delle mura, le strutture dell'antico abitato vengono livellate e la zona centrale viene trasformata in un vasto spazio aperto, che sarà presto circondato da botteghe precedute da un portico. Sembra dunque che questo spazio sia quasi un precursore del foro romano propriamente detto.

Questa piazza era delimitata a NE dal muro di controscarpa della cinta urbana, mentre a N e ad O da una serie di botteghe, venendo a formare così una planimetria trapezoidale lunga 96 metri e larga, ad est 46 e ad ovest quasi 35. Il dislivello di quasi 4 metri fra le due estremità della piazza, lascia supporre l'esistenza di strutture intermedie, come ad esempio delle scalinate, per consentire l'accesso a tutti gli spazi.

Le parti meglio conservate di questo complesso si trovano nella porzione nordorientale. Si tratta di una serie di botteghe precedute da un portico. Le botteghe presentano una pianta quadrata di circa 4,60 metri per lato, ed erano accessibili tramite varchi larghi 3,60 metri. Le fondazioni di questi ambienti, spesse circa 55 cm, sono composte da filari di ciottoli, sormontati nel punto più alto da filari di frammenti di tegole, legati da terra mista a malta friabile.

I muri in elevato erano costruiti con mattoni di argilla ed erano rivestiti da un intonaco grossolano, sempre in argilla, sul quale erano stesi tre strati di malta bianca, malta grigia e di

²⁵⁴ Hannibal. II, 47. Mertens 1987, p. 29.

nuovo malta bianca lisciata. Si conservano anche frammenti dipinti con decorazioni ovali in rosso cerchiato da una banda verde scuro.

Il pavimento di queste botteghe era probabilmente in terra battuta, ma ricoperto qua e là con un fine strato di malta.

Le trincee 80.1 e 83.1 hanno fornito informazioni sul sistema di evacuazione delle acque. Nella bottega 3, un canale formato da coppi e ricoperto da pietre piatte e da tegole, conduceva l'acqua verso una cisterna situata nell'asse del portico. Nella trincea 83.1, il pozzo si trova al centro della bottega 5 e comunicava in una prima fase con un pozzo situato al di sotto del portico.

Il **portico** era poggiato su delle colonne in legno, che a loro volta poggiavano su delle basi quadrate in tufo tenero, di circa 50 cm di lato per un'altezza che oscilla fra 35 e 52 cm, disposte a più di 2 metri l'una dall'altra. Le basi non poggiano su alcuna fondazione, ma sono saldamente impiantate nello strato di terra che ricopre le strutture precedenti. L'ampiezza del portico è di circa 3,50 metri.

Nei sondaggi 79.2, 80.3, 81.1, 82.1 e 84.1 sono apparsi degli importanti rifacimenti pertinenti alle botteghe e ai retrobottega sul fianco settentrionale della piazza e sul muro di fondo orientale. Questi rifacimenti furono realizzati per rimpiazzare alcuni muri in argilla con altri in solida muratura.

Ma dei nuovi cambiamenti modificarono ben presto la conformazione del complesso, soprattutto verso l'estremità occidentale, proprio nel luogo dove più tardi sarà costruito un importante monumento funerario. Le botteghe furono completamente stravolte, gli zoccoli dell'antico portico furono reimpiegati nelle nuove murature e i muri così come i pavimenti furono interamente rifatti. Alcuni bronzetti recuperati nel suolo della bottega 5 sono databili al III secolo a.C., e probabilmente è in questo periodo che vanno collocate queste ristrutturazioni. In particolare, due serie di almeno tre colonne tagliarono tutto il complesso, annunciando la costruzione degli ambienti sotterranei del foro (tr. 82.1 e 84.1); l'orientamento resta identico. Le basi erano tagliate nella roccia calcarea, mentre le colonne erano probabilmente in legno. Questo colonnato sembra aver avuto la funzione di cesura fra la parte orientale e quella occidentale, occupata soprattutto dagli ambienti sotterranei del foro e dalle sue botteghe. Questa interruzione si trova esattamente davanti al monumento funerario, e non è da escludere una certa correlazione.

Un violento incendio distrusse tutto l'angolo NE del complesso. Le botteghe 1 e 2 furono particolarmente danneggiate e, al loro interno, sono stati trovati resti di travi bruciate, blocchi di argilla cotta e crolli di tegole, che dimostrano che questo incendio si sia verificato dopo la seconda sistemazione delle botteghe.

Il lotto di anfore gettate all'interno del pozzo, ora abbandonato, nella bottega 1, fa pensare al commercio di olio e di vino. Prima del suo abbandono, probabilmente avvenuto in seguito all'incendio, il pozzo fu colmato con diversi rifiuti, fra i quali una serie di anfore quasi intatte, che permettono di datare la catastrofe agli inizi del I secolo a.C.

I magazzini sotterranei.

A partire dal momento della costruzione del colonnato che divideva la parte occidentale da quella orientale della piazza, le due parti iniziano a scindere la loro storia evolutiva. Il settore orientale, in gran parte in rovina, viene ricoperto da strati di macerie, mentre quello occidentale viene stravolto da terrazzamenti che cancellano le tracce anteriori, salvo l'antico fossato, che viene di fatto riutilizzato.

La struttura più antica formava un vasto rettangolo lungo quasi 57 metri e largo circa 16. L'edificio, estremamente solido, era costruito in ciottoli molto grandi o in blocchi di calcare, legati da una malta giallo-grigia, molto dura. Questa struttura riprende l'orientamento del doppio colonnato, con una leggera rientranza rispetto alle botteghe, ma la sua funzione è poco chiara. Essendo uno spazio parzialmente sotterraneo, potrebbe essere stato adibito a magazzino per lo stoccaggio di cereali, riprendendo dunque una tradizione più antica.

Di sicuro non ebbe una lunga vita, visto che agli inizi del I secolo a.C. questo spazio fu diviso in una serie di ambienti sormontati da volte. Nell'angolo meridionale si erge un blocco in muratura che probabilmente era il basamento di una scala di accesso.

Più tardi questo complesso sotterraneo fu completamente trasformato: le volte furono appiattite e gli ambienti colmati. Diverse sale furono costruite e alcune di loro presentavano pavimenti rivestiti da piccoli quadrati in terracotta posizionati di fianco e disposti a spina di pesce. La cura apportata nella costruzione di questi edifici e la posizione, che guardava al foro, lasciano pensare ad una funzione pubblica o amministrativa di questo complesso.

La terrazza.

Dai lavori di terrazzamento proveniva la terra che è stata utilizzata per coprire la parte orientale del settore, trasformandola di fatto in un vasto piazzale, con il suolo ben livellato. Dalla lettura stratigrafica è emerso che il riporto di terra è avvenuto in momenti diversi. In uno di questi strati è stata scavata la particolare tomba, davanti alla quale fu costruito un imponente monumento funerario. Ad una quota leggermente più alta rispetto a quella della fondazione del monumento, fu costruito un recinto attorno alla tomba, probabilmente relativo alla seconda fase della

terrazza. L'insieme della tomba e del monumento ricorda gli *heroa* eretti in alcune città in onore di personaggi particolarmente importanti per le comunità locali.

La monumentalizzazione di questo insieme è accentuata al momento di un nuovo rialzamento della piazza, che interra in parte il monumento funerario, di cui la cima è ancora visibile.

La piazza viene circonscritta da un muro in opera incerta con filari di tegole piatte e la sommità a dorso d'asino con malta levigata. Probabilmente le pareti di questo muro erano rivestite di legno. L'angolo SO e il muro occidentale di delimitazione furono in gran parte distrutti al momento della costruzione del foro di età imperiale. In alcuni punti dei paramenti esterni dei muri S e O sono presenti tracce di piccoli contrafforti. Lo spazio delimitato misura 58,35 x 28,57 metri, con un rapporto fra i due lati di 1:2. Il monumento funerario si trova in posizione decentrata rispetto all'asse della piazza, mentre al contrario, la grande esedra del diametro di circa 10 metri, si trova quasi al centro della parete orientale.

Il materiale archeologico proveniente dai riempimenti utilizzati per colmare lo spazio di questo settore e formare il vasto piazzale risulta numeroso e piuttosto eterogeneo. Tuttavia gli elementi più recenti indicano una datazione coerente con gli inizi del regno di Augusto.

La configurazione monumentale di questo settore, sviluppato attorno ad una tomba e ad un monumento funerario, trova confronti con altre città romane, come ad esempio Alba Fucens e Corfinium²⁵⁵.

Le sepolture.

Durante le campagne 1978-1986 sono state scoperte **67 tombe**. Si tratta perlopiù di tombe daunie, la maggior parte delle quali si trova al centro della città, dove furono stravolte dalle notevoli ristrutturazioni urbane. Le tipologie di queste sepolture sono piuttosto variegata.

Nella collina centrale, durante la campagna del 1978, sono state scoperte le uniche **tombe a tumulo**, datate all'VIII secolo a.C.

Numerose **tombe a fossa** sono state scavate in diverse parti dell'area urbana. Queste sono quasi tutte scavate nella roccia, con il defunto posto in posizione rannicchiata e in generale munite di ricchi corredi funerari. Anche la cronologia è ampia. Le tombe a fossa più antiche si datano all'VIII secolo, ma questa tipologia è stata adottata senza soluzione di continuità fino al IV secolo a.C.

Ad Ortona sono state individuate anche delle **tombe a grotticella**, composte da una camera scavata nella roccia e preceduta da un dromos, al quale si accedeva tramite una scala. Queste tombe si datano fra la fine del IV e gli inizi del III secolo.

²⁵⁵ Devijver, Van Wouterghem 1981.

Interessante notare come questa tipologia sia stata il riflesso di tradizioni culturali, perdurate anche dopo la fondazione della città romana. È il caso del complesso funerario proveniente dalla trincea 85.7, situato *extra muros* e datato fra la fine del III e gli inizi del II secolo a.C. Anche in questo caso, un dromos di accesso metteva in comunicazione due camere sotterranee, confermando come, nonostante Herdonia fosse già nell'area di influenza politica di Roma, i costumi funerari furono conservati dalla popolazione locale almeno fino alla loro deportazione a Turi e Metaponto nel 210 a. C.

Per quanto riguarda le tombe romane invece va segnalata quella a fossa rettangolare proveniente dalla trincea 78.2, che presenta la particolarità di essere posizionata sulla collina centrale, *intra muros*. Un unguentario permette di datare la sepoltura al II secolo a.C.

Una seconda tomba è stata scoperta in maniera fortuita ad ovest della città, in una piccola edicola rettangolare, di cui non resta che la fondazione della parte anteriore. La tomba ad incinerazione era scavata nella roccia, e al suo interno, oltre ai resti del defunto era stato posto anche il corredo. Sul coperchio era collocato un grande piatto di terra cotta, sul quale era stata posta una moneta di bronzo raffigurante Sesto Pompeo, datata al 45 a.C. e probabilmente coniata in Sicilia.

Le fornaci.

La presenza di scarti di produzione, vasi deformati, matrici per lucerne o per bolli in terra sigillata, è la conferma dell'esistenza di attività produttive legate al ciclo della ceramica. Durante gli scavi del 1963, fu trovata una fornace nei pressi dell'anfiteatro. Dopo il 1978, invece, tutta una serie di fornaci è stata trovata lungo la cinta urbana. Queste strutture hanno pianta circolare o rettangolare, e sono afferenti a cronologie differenti, preromane o romane, ma non medievali.

Una zona artigianale molto interessante è quella scoperta nelle campagne del 1981 (tr. 81.2) e del 1984 (tr. 84.6-7), fra il macellum e il muro di cinta, munita di otto fornaci per ceramica e altre quattro con una funzione meno chiara.

Questo complesso di età romana sembra essere stato in funzione per tutto il I secolo a.C., e le fornaci erano destinate alla produzione di ceramica comune e di lucerne.

IV.7. Gli ultimi anni delle ricerche belghe. 1987 – 1993.

Il nono volume della serie *Ordon*, è stato pubblicato nel 1997, dopo 8 anni dall'uscita del volume precedente. Questo ritardo, spiega Mertens, è stato dovuto essenzialmente ai tagli alla ricerca perpetrati dal Ministero belga della Ricerca Scientifica, in seguito alle riforme istituzionali adottate dal paese. Tuttavia, come lo stesso archeologo scrive nella prefazione al volume, il rallentamento provocato da questi tagli è stato l'occasione per fare un grande lavoro di sintesi e raggruppare i risultati ottenuti in quaranta anni di scavo.

Una data importante per gli scavi di Herdonia è quella del 1993, anno in cui si affiancò il Dipartimento di Studi classici e cristiani dell'Università di Bari.

Le campagne di scavo pubblicate nel volume sono le seguenti:

- 1987
 - a. 19 maggio – 9 luglio
 - b. 31 agosto – 9 ottobre

- 1988
 - a. 21 agosto – 12 ottobre

- 1989
 - a. 4 giugno – 1 luglio
 - b. 10 settembre – 28 ottobre

- 1990
 - a. 25 – 29 marzo (ricognizione)
 - b. 14 – 18 giugno (ricognizione)
 - c. 14 – 19 settembre (ricognizione)
 - d. 27 – 30 settembre (ricognizione)

- 1991
 - a. 13 maggio – 30 giugno

- 1992
 - a. 2 – 30 novembre

- 1993
 - a. 6 – 19 giugno
 - b. 30 agosto – 14 settembre

Queste campagne di scavo sono state condotte principalmente per indagare tre settori del centro urbano:

- A. Parte NO del foro. Trincee 87.1, 87.3, 87.4, 88.1, 88.2, 88.3, 89.2, 89.3.
- B. “Palestra”, vasto complesso contiguo al fianco settentrionale del foro. Trincee 87.2, 89.1, 89.4, 91.2, 92.1, 92.2, 92.3.
- C. Via Traiana, fra basilica e palestra. Trincee 91.1, 91.2, 91.3.

Oltre a questi tre settori, un sondaggio molto ridotto, il 93.1, è stato effettuato al limite orientale della collina centrale, dove dalle riprese aerofotografiche del 1986 si vedeva chiaramente la traccia di una strada che usciva dalla città.

Durante le campagne del 1989, 1990 e 1992, sono stati realizzati anche i primi lavori di restauro e di sistemazione dell’area archeologica.

TRINCEA	ANNO DI INIZIO SCAVO	LOCALIZZAZIONE
87.1	1987	Botteghe lato nord foro, adiacente a ninfeo
87.2	1987	Palestra
87.3	1987	Botteghe lato nord foro
87.4	1987	Botteghe lato nord foro
88.1	1988	Botteghe lato nord foro
88.2	1988	Botteghe lato nord foro
88.3	1988	Botteghe lato nord foro (Arco trionfale)
89.1	1989	Palestra
89.2	1989	Botteghe lato nord foro
89.3	1989	Botteghe lato nord foro
89.4	1989	Palestra
91.1	1991	Foro
91.2	1991	Via Traiana (ramo Palestra)
91.3	1991	Via Traiana (ramo Basilica)
92.1	1992	Quartiere a Nord di Palestra
92.2	1992	Quartiere a Nord di Palestra
92.3	1992	Quartiere a Nord di Palestra
93.1	1993	Collina Centrale, estremità Est
93.2	1993	Domus fra Anfiteatro e Palestra

Settore A.

Nel settore che copre tutta la parte settentrionale del foro, si possono distinguere due sottosettori:

1. Il primo comprende le botteghe settentrionali del fianco nord del foro e le strutture sottostanti,
2. Il secondo è costituito dall'angolo settentrionale del foro.

Le botteghe settentrionali e le strutture sottostanti.

Nel corso delle campagne 1965 e 1966 questo settore fu scavato fino al livello della piazza del foro, mentre altri scavi furono intrapresi nel 1986 e 1987. I lavori degli ultimi anni di scavo hanno fornito elementi per completare lo studio topografico e la sequenza cronologica delle strutture individuate.

La componente più antica di questo settore è il grande fossato che taglia tutta l'area da est ad ovest, elemento ricorrente negli abitati dauni e generalmente interpretato come silos per grano. Dopo un riempimento parziale del fossato, furono costruite delle strutture provvisorie, così come una prima piazza pubblica. Probabilmente durante la prima metà del II secolo, al momento della rioccupazione della città dopo la seconda guerra punica, fu costruito un grande spazio sotterraneo all'interno del taglio del fossato. Questa solida struttura, di forma rettangolare, è lunga 57 metri e larga 16. Le pareti sono spesse circa 1,30 metri e sono costruite con grosse pietre e blocchi di calcare legati da una malta grigio-gialla molto dura con larghi giunti ben lisciati. L'edificio è stato stravolto dalle strutture posteriori, come il ninfeo, e dalla costruzione della Via Traiana; inoltre è stata ricoperta dalla fogna 61, proveniente dal criptoportico. L'angolo occidentale invece, tocca la fondazione 96, interpretata come il basamento di un arco monumentale che segnava l'ingresso al foro. Il suolo di questa grande sala è ricoperto da un sottile strato di malta biancastra, e la sua quota sembra risalire leggermente verso NO, dove raggiunge quella della superficie antica, e questo implica che in questo punto i magazzini non erano interrati.

Una moneta proveniente dagli strati inferiori del riempimento è datata all'anno 149 a.C.

Questa prima struttura non ha avuto una lunga vita, poiché già fra la fine del II e gli inizi del I secolo a.C. tutto lo spazio fu ristrutturato e diviso in 24 ambienti. La planimetria non è sempre ortogonale, ma risulta inclinata man mano che si prosegue verso O. Questa inclinazione sembra essere dovuta alla presenza di una strada sulla quale in epoca imperiale verrà costruita la Via Traiana.

La dimensione di questi ambienti varia, ma si attesta in media su lati lunghi 4 metri. Questi sono disposti attorno ad una sala più grande di 10 metri quadrati. La tecnica di costruzione adoperata è l'opera incerta. Gli ambienti sono messi in comunicazione tramite passaggi larghi 90 cm, sormontati da archi a tutto sesto, alti alla chiave 1,84 metri. Queste camere erano coperte da volte ribassate, di cui l'altezza minima può essere stimata a 1,70 metri e quella massima a 2,50. La grande sala centrale poteva essere a cielo aperto oppure sormontata da un soffitto ligneo. I suoli sono in terra battuta ricoperta da un sottile strato di malta.

Questi ambienti sembrano essere stati distrutti all'indomani dei lavori di costruzione del foro di epoca imperiali, considerato che porzioni intere dei muri in elevato sono state gettate all'interno di questi spazi.

La localizzazione di questi magazzini all'interno dell'area urbana fa pensare agli *horrea frumentaria*, destinati non soltanto allo stoccaggio del grano, ma anche di altre derrate come olio e vino.

La presenza dell'**arco monumentale** all'ingresso della piazza centrale di Herdonia, doveva far parte di un programma di monumentalizzazione del centro urbano. Le sue fondazioni sono posteriori a questi magazzini, visto che poggiano sui muri dell'angolo occidentale del complesso sotterraneo, ma questo non esclude che al momento della costruzione dell'arco, una parte di essi potesse essere ancora in uso.

I lavori in questo settore però non si fermavano. Mentre il fianco meridionale della piazza pubblica, con il suo tempio restava invariato, tutto il lato meridionale subiva un'altra trasformazione per via della costruzione di quello che sembra essere un complesso termale, dotato di piscina e di una piccola vasca. Le nuove fondazioni poggiavano direttamente sul suolo dei sotterranei e la loro costruzione dunque è anteriore al riempimento degli ambienti dei magazzini. Il livello al di sopra dei sotterranei fu abbassato di circa un metro al fine di adattarlo meglio a quello previsto per la costruzione della futura piazza. Il complesso termale presenta una leggera pendenza verso NO, in modo da raggiungere la quota della basilica, già progettata e probabilmente in costruzione.

Le volte degli ambienti sotterranei furono livellate, e questi furono sventrati e riempiti di terra e macerie in un'unica operazione, come dimostra l'omogeneità stratigrafica. La ceramica ritrovata nei riempimenti permette di datare questi lavori al I secolo a.C. Alcune monete risalenti all'epoca di Augusto, consentono di precisare la datazione e di collocarla all'ultimo quarto del I secolo.

Il nuovo complesso si estendeva su una lunghezza di 50 metri, occupando l'intero fianco settentrionale della piazza e conservando a grandi linee l'orientamento degli ambienti

sotterranei. La sua planimetria non sembra affatto regolare. All'estremità orientale c'era una grande vasca rettangolare di 12,50 x 5,80 metri, collegata alla stanza centrale tramite uno spazio oblungo di 16 x 4,80 metri.

L'imponente ambiente centrale, di 18 x 13 metri, era costruito in parte sull'area che sarà coperta più tardi dalla palestra. Al suo interno trova collocazione una vasca di 8 x 4 metri e profonda 15 centimetri. Il pavimento di questo impluvium è fatto di piccoli mattoni in terra cotta posti di fianco a spina di pesce. Le acque raccolte da questa vasca, così come le acque delle gallerie circostanti, si riversavano tramite un sistema di canalizzazione nella cisterna 25, situata all'esterno e tagliata nelle pareti dell'antico fossato.

Una porta presente nella parete occidentale dell'ambiente centrale permetteva di accedere ad un'altra camera, di 10 x 10 metri.

Risulta difficile seguire il tracciato dei muri della parte orientale del complesso orientale; uno di questi sembra allineato alla parete della piscina e si appoggia ad un muro del complesso precedente, il quale presenta dei rifacimenti effettuati con la stessa tecnica edilizia utilizzata per costruire la piscina. Nella facciata SO del complesso sono presenti dei passaggi che sembrano indicare che alcuni degli ambienti sotterranei fossero ancora in uso durante questa fase. Un secondo muro, parallelo al primo ad una distanza di 4 metri, è stato in gran parte deturpato dalla costruzione del criptoportico e dalla canalizzazione di evacuazione, ma nella parte meridionale, meglio conservata, è possibile osservare l'allineamento con i magazzini sotterranei.

Ancora una volta i progetti urbanistici del centro stravolgono la conformazione degli edifici esistenti. A partire dal I secolo infatti, comincia la costruzione di un nuovo foro, stavolta con una pianta classica, allineato sul tempio B e sulla basilica, costruita seguendo la stessa disposizione delle botteghe progettate da una parte e dall'altra della nuova piazza. Sul fianco meridionale, le botteghe si allineano al tempio, mentre sul lato settentrionale le strutture esistenti vengono livellate per far posto ad una serie di edifici, la cui disposizione ricorda le domus con peristilio o con portico. L'intera parte occidentale di questo complesso è stata tagliata dalle botteghe del foro di età traiana.

L'ambiente A, contiguo al ninfeo, ha conosciuto diversi rifacimenti fra la messa fuori servizio delle terme, la costruzione del primo foro e quella definitiva di epoca traiana. In quest'area sembra che fosse stata progettata una grande sala, ma purtroppo non è possibile effettuare una chiara lettura del contesto poiché i muri sono stati inglobati in strutture successive. Tuttavia è possibile fare alcune considerazioni: le fondazioni dei muri N e O presentano elementi in muratura differenti da quelli utilizzati nelle strutture traiane, inoltre un taglio effettuato al centro dell'ambiente ha messo in luce uno strato di terra battuta e di malta posato al di sopra

dei muri del complesso termale, quindi l'ambiente A è ad esso posteriore. Questo dato è confermato dall'analisi dei resti ceramici di età repubblicana degli strati sottostanti e dal ritrovamento di una moneta di età augustea.

All'interno della piccola sala annessa, l'ambiente B, sussistono tracce di un pavimento anteriore a quello di epoca traiana, fatto in opus spicatum, simile a quello individuato nel complesso termale precedente.

La situazione del centro urbano fu stravolta ancora dalla costruzione del foro di epoca traiana. In una delle botteghe sul lato settentrionale della piazza è stato ritrovato quello che costituisce un ottimo terminus post quem, vale a dire un asse di Traiano, coniato a Roma fra il 98 e il 101 d.C.

In questo progetto fu costruita, all'estremità settentrionale del fianco NE, una serie di tre ambienti che infrangono la disposizione uniforme delle botteghe, sia per la loro dimensione che per la loro conformazione architettonica e per i dettagli decorativi.

La sala A, addossata al ninfeo lungo la Via Traiana, è un locale di 12,80 x 11 metri, aperto sul foro per mezzo di tre accessi separati da due colonne. L'inserzione del ninfeo ha provocato alcuni cambiamenti nella disposizione originale, poiché ha occluso un passaggio aperto sulla Via Traiana. Il pavimento di questo ambiente è rivestito da calcestruzzo liscio fatto da un composto di calce e di mattoni pestati. Davanti alla facciata dell'ambiente si estende un portico largo 4,68 metri, delimitato da un colonnato che può essere considerato il prolungamento di quello già esistente davanti alle botteghe del foro.

L'ambiente B, adiacente alla sala A, fu riutilizzato in età tardoantica come cappella cristiana, presenta la stessa larghezza delle botteghe del foro, ma maggiore profondità, sebbene nel progetto originale fosse previsto un muro di fondo allineato a quello delle botteghe. Questo muro fu rimaneggiato al momento della costruzione della palestra, quando fu costruita una vasca per la raccolta delle acque piovane, dotata di una canaletta di scolo diretta verso la Via Traiana. La quota di questa canaletta è più alta di 75 cm rispetto al pavimento dell'ambiente e questo dato risulta assai strano. Può darsi che il canale sia un residuo del bacino per la raccolta delle acque relativo al complesso termale precedente.

Accanto a questo ambiente, un'altra sala, la sala C, conserva le dimensioni delle botteghe e presenta una particolarità: un podio sopraelevato sul fondo della stanza, alto 1,30 metri, che probabilmente sorreggeva una statua.

Del pavimento restano alcune tracce di lastre quadrate, probabilmente in marmo e lungo le pareti correva una banda larga 33 cm rivestita in marmo. Anche i muri erano rivestiti in marmo, ma non è possibile specificare fino a che altezza.

Questi tre ambienti allineati dovevano avere avuto senz'altro una funzione specifica, probabilmente sale di riunione per i numerosi collegi attestati epigraficamente ad Ortona, o forse, una di queste sale doveva essere la curia della città.

L'angolo nord della piazza del foro.

Questo settore, esteso su una superficie di 175 mq, è stato indagato con lo scavo della trincea 88.3. Dal punto di vista stratigrafico, le differenti epoche si trovano mischiate fra di loro, dalle vestigia di epoca daunia fino alle tracce dell'occupazione medievale.

Anche in questo caso, l'elemento più antico è il fossato daunio, che taglia l'intero settore da nord a sud. Esso fa parte dell'insieme dei fossati riscontrati nel centro urbano, ed ha una larghezza di 13 metri ed una profondità di 4,50. Le pareti verticali sono tagliate nel suolo vergine.

Nel riempimento, molto stratificato, sono presenti strati di terra scura e in successione, strati di ciottoli, di roccia decomposta, di carboni di legno e di terra rubefatta, probabilmente a causa di incendi che hanno devastato alcune strutture.

Il materiale archeologico rinvenuto è abbondante, ma molto mischiato, e comprende ceramiche daunie, a volte decorata con motivi geometrici, e della ceramica invetriata con decorazioni sovradipinte in bianco e in giallo. Inoltre è stato rinvenuto un bronzo di Arpi di III secolo a.C.

Il riempimento sembra essere stato effettuato in un lasso di tempo piuttosto breve. Non sembra dunque impossibile che esso sia il risultato della catastrofe avvenuta ad Ortona nella seconda guerra punica, nel 210 a.C.

Risulta difficile datare invece le numerose buche di palo, disseminate su tutta la superficie dell'area. Queste non presentano alcuna chiara disposizione e dal loro riempimento è emerso materiale ceramico di difficile datazione: ceramica grossolana rugosa, a volte con ingobbio beige, non decorata.

Posteriori alla maggior parte delle buche di palo sono i resti di piccoli muri costruiti con ciottoli, pietre o crosta calcarea e frammenti di tegole. Questi muri, posti direttamente sul suolo vergine, sono da considerare come fondamenta di strutture fortemente danneggiate dai lavori di terrazzamento effettuati in seguito. Contemporanee a questi muri sono delle profonde fosse probabilmente adibite alla conservazione di cereali, caratterizzate da pareti in muratura, con alcune parti in opus spicatum. Fra il materiale archeologico rinvenuto, va segnalata la presenza di ceramica a vernice nera, dolia e ceramica locale fatta al tornio.

La costruzione dei magazzini sotterranei e della fognatura 61 del criptoportico ha seriamente intaccato tutta la parte settentrionale del settore.

Una delle tracce più interessanti è la buca numero 18, una cavità tagliata nel suolo, di forma quasi quadrata e profonda 10/15 cm. Al centro di questo spazio è collocata una buca circolare di 110 cm di diametro, riempita di carboni, aste di ferro e frammenti di osso scolpiti. I bordi argillosi sono arrossati per effetto del fuoco. La documentazione archeologica permette di datare questa fossa all'ultimo decennio del I secolo a.C. o agli inizi del I secolo d.C.

Durante la costruzione della piazza del foro, tutte queste vestigia furono livellate. In cima al riempimento del fossato viene costruita la canalizzazione numero 5, che scolava le acque verso la Via Traiana dopo essersi congiunta con la fogna 61 del criptoportico.

Dopo queste disposizioni, il settore sembra essere abbandonato e trasformato in cimitero. Sono state infatti scavate due tombe, una prima, utilizzata come fossa comune, dove furono sistemati diversi inumati a più riprese, e una tomba a fossa semplice con un inumato. In entrambi i casi il corredo funerario è del tutto assente. Si tratta di sepolture medievali relative ad un momento di ridimensionamento dell'abitato.

Qualche secolo più tardi, la zona è occupata da un nuovo abitato costruito sulle rovine della città antica. Non rimane alcun resto di abitazione, ma soltanto cisterne o fosse granarie.

Il riempimento di queste strutture ha restituito ceramiche invetriate e decorate, lampade a becco, ceramica comune grigia e monete che permettono di datare il contesto al XII e al XIII secolo. Altre fosse presentano riempimenti analoghi, con materiale che non oltrepassa il XIV secolo.

Settore B.

Il secondo settore, situato a NE del foro, è stato esaminato dalle trincee 87.2, 88.2, 89.1,3 e 4, 91.2, e 92.1-3.

L'obiettivo principale della ricerca era uno dei grandi monumenti della città romana, chiamato per comodità la "palestra". Il monumento è situato sul pendio della collina che scende verso la valle in cui è collocato il foro. Tutto il pendio fu strutturato per livelli successivi con intervalli di circa due metri. Per costruire il complesso monumentale è stato necessario interrare le strutture anteriori nella parte nordoccidentale, mentre nella parte nordorientale la superficie antica è stata livellata, fatta eccezione per gli elementi sotterranei.

Il monumento fiancheggia la Via Traiana e comprende un vestibolo di ingresso, che Mertens chiama nartece²⁵⁶, una grande corte interna e una sala annessa. Dappertutto sono state rilevate strutture precedenti. Fra queste vanno segnalate delle tombe a grotticella daunie e una serie di muri perpendicolari appartenenti a strutture che si prolungano fino al centro della palestra. Inoltre, diverse cavità, tombe o fosse, sono state scavate, restituendo materiale archeologico

²⁵⁶ Mertens 1997, p.43

anteriore al I secolo d.C. Si trovano ugualmente interrato fondazioni di abitazioni, pertinenti ad un quartiere preesistente che occupava tutta l'area della palestra fino alla Via Traiana.

Tutte queste vestigia sono state livellate in vista della costruzione del vasto complesso che occupava un'area di circa 1000 mq. La palestra era composta da un nartece-vestibolo, da una grande corte e da una sala annessa.

I muri dell'edificio presentano paramenti in opera reticolata con angoli in laterizi. L'accesso era probabilmente collocato sulla strada principale, dove fra l'altro è stato individuato un blocco in muratura accostato alla facciata del complesso, che però difficilmente può essere considerato come il basamento di una scala.

Dal nartece, tre larghe porte permettevano l'accesso alla corte centrale, ma solo quella settentrionale si è conservata. L'inquadramento è in mattoni, mentre la soglia è composta da grandi lastre in terracotta. dalla parte opposta sono state praticate tre aperture, di cui, quella centrale, marca l'accesso alla sala annessa.

La corte centrale presenta una planimetria quadrata ed è circondata su tre lati da un portico largo circa 3,50 metri. Lo spazio centrale misura 18,50 x 15,80 metri ed è circondato da un colonnato, tranne che sul lato nordoccidentale, dove restano solo due pilastri in mattoni. Sul fianco meridionale sono posate su un muro di catena ben paramentato. Interessante il caso di uno degli zoccoli del lato orientale, dove sono state reimpiegate due semicolonne di marmo cipollino verde.

Non sono state trovate basi e neanche frammenti di colonne, e questo fa pensare che il fusto potesse essere in mattoni, rivestito di stucco e scanalato.

Nell'ala sudoccidentale del portico è stata individuata una parte della canalizzazione 76 proveniente dal foro, che riversava le acque direttamente all'esterno, nel nartece.

I pavimenti del nartece e del portico sono rivestiti da un sottile strato di malta rosastra. La corte centrale, a cielo aperto, era probabilmente circondata da un rigolo per lo scolo delle acque piovane.

La sala annessa è uno spazio quadrangolare di circa 10 x 9 metri, con paramenti identici alle altre murature dell'edificio. Nella parete orientale è allocata una grande nicchia rettangolare posta a 65 cm dal suolo dell'ambiente. Non c'è alcuna traccia di pavimentazione.

La cronologia del monumento può essere dedotta dalla documentazione archeologica: la palestra infatti è stata costruita su edifici precedenti e negli strati sottostanti al suolo del portico è stata ritrovata una moneta dell'imperatore Adriano, elemento che costituisce un buon terminus post quem per la costruzione dell'edificio.

Questo monumento subì profonde modifiche nel Basso Impero. Le ristrutturazioni interessarono soprattutto l'interno dell'edificio e, in particolar modo, la corte centrale. Possono essere distinte tre fasi.

In un primo stadio, il portico sul fianco nordorientale è rimpiazzato da una serie di tre ambienti appoggiati al muro della palestra e separati da muri portanti. Questi spazi sono messi in comunicazione fra loro da alcune porte, mentre una porta centrale si apre sulla corte interna, circondata da un portico con pilastri in muratura, conservato soltanto nella parte settentrionale, poiché sull'altro versante, le strutture furono del tutto livellate. L'entrata di questo nuovo complesso doveva trovarsi nella facciata occidentale, sulla Via Traiana.

La seconda fase di ristrutturazioni comprende l'aggiunta di un ambiente settentrionale alla serie di tre sale sul fianco nordoccidentale della corte della palestra. All'altra estremità, nell'ultimo ambiente viene costruito un ridotto con un muretto in blocchi di argilla. Mertens definisce la tecnica edilizia *“decadente, con una malta terrosa e largo uso di materiale di reimpiego”*²⁵⁷.

Il piano di calpestio attuale arriva a 20 cm sopra quello originale della palestra. Nell'angolo orientale del complesso viene costruita una rampa composta da due muri paralleli, che permettevano l'accesso agli edifici del piano superiore, e presentano soltanto un paramento interno, mentre all'esterno sono appoggiati ad un riempimento di terra. Lo scavo di quest'ultimo ha restituito materiale ceramico di IV e V secolo.

Nella sala settentrionale sono stati ritrovati i resti di un focolare e di un pavimento in lastre di terracotta. Particolare è il ritrovamento di alcune anfore, di cui una di tipo spatheion.

La sala annessa orientale invece, sembra che non abbia subito profonde modifiche, eccezion fatta per dei rifacimenti ai paramenti murari, che confermano l'uso prolungato di questo ambiente anche in questa fase.

Il complesso dell'antica palestra dunque, acquisisce la fisionomia di un mercato o di magazzini pubblici. La documentazione archeologica permette di datare questo cambio di destinazione d'uso al IV e al V secolo, ed attesta attività artigianali e commerciali particolarmente intense. Oltre alla ceramica comune, è attestata la sigillata africana, sia di importazione che di produzione locale, e le numerose ossa e corna di bue, di montone, di capra e di cervo, destinate alla lavorazione e alla fabbricazione di oggetti diversi.

Questa attività tuttavia diminuì progressivamente. Nel foro vengono costruiti piccoli edifici absidati, ed uno di questi, l'ambiente B di epoca traiana, viene trasformato in cappella e viene munito di un'abside che intacca la porzione meridionale del portico della palestra. Come accadde nel centro urbano a partire dal VI secolo, anche quest'area viene trasformata in

²⁵⁷ Mertens 1997, p.56.

necropoli. Una delle tombe situate nella sala annessa della palestra ha restituito un solo elemento di corredo, vale a dire una brocca con ingobbio rossastro applicato a bande orizzontali, una tipologia tipica del VI secolo.

Dagli strati coevi provengono monete di Costante (333 – 350 d.C.) e ceramica comune o a bande, e ancora delle lucerne a becco allungato che annunciano gli esemplari di tipo bizantino. Tutto questo materiale copre un arco cronologico che va dal IV al VI secolo.

Tutto questo settore sembra essere abbandonato fino ai secoli XI e XII, momento in cui compaiono le prime tracce del villaggio medievale. Dal riempimento di alcune fosse situate nel narcece e nella corte centrale proviene materiale ceramico di XIII e XIV secolo.

Sul tutto il suo fianco nordorientale, resti di strutture di epoca romana e medievale sovrastano la palestra. Durante la campagna del 1970 era stata già indagata una vasta area, e perciò, sono stati scavati tre piccoli sondaggi (92.1-3) per collegarla con le trincee della palestra.

La sequenza stratigrafica sembrava essere molto semplice, però l'esiguità dei sondaggi non permetteva una ricostruzione esaustiva delle planimetrie delle strutture scoperte.

L'elemento databile più antico è una tomba daunia, già saccheggiata nell'antichità, ma che può essere datata alla seconda metà del IV secolo a.C.

Alcuni muri e una fossa granaria sono riferibili ad una prima fase romana, anteriore a quella della palestra. Si tratta di abitazioni che attestano una certa agiatezza. Le pareti sono ornate da affreschi, con pannelli rossi inquadrati da bande giallo ocra o blu, mentre i pavimenti sono realizzati in opus signinum con motivi geometrici, losanghe o esagoni, composti da tessere di pietra bianche o da mosaici, sempre con motivi geometrici.

Queste residenze sono evidentemente anteriori alla palestra e possono essere collocate verso gli inizi dell'epoca imperiale.

Come in altre parti di Ortona, questa zona fu trasformata, a partire dall'epoca tarda, in necropoli. Nel sondaggio 92.3 è stata scoperta una sepoltura, costituita da una fossa tagliata in un pavimento mosaicato. All'interno della fossa, i resti di un neonato erano stati posti in un'anfora.

Nel corso dei secoli, uno strato di ghiaia e di macerie ha ricoperto queste vestigia, sulle quali si sarebbe sviluppato in seguito un villaggio medievale, di cui restano alcuni muri e diversi pozzi. Anche in questo caso, la documentazione archeologica copre un periodo largo che va dal XII al XIV secolo.

Settore C.

Questo settore comprende i dintorni della Via Traiana, davanti alla palestra, al ninfeo e alla basilica, così come una zona immediatamente a nord di quest'ultima. Le ricerche in questo settore hanno avuto un carattere preliminare, considerato che si tratta di un quartiere della città ancora inesplorato.

Il sondaggio 91.2, lungo la Via Traiana, di fronte alla palestra, ha permesso di indagare parzialmente delle botteghe allineate alla strada.

Nel sondaggio 91.3, davanti al ninfeo e alla basilica, gli scavi si sono limitati ai dintorni immediati della strada, intercettando anche in questo caso una bottega.

Queste botteghe sono state abbandonate, come del resto l'intero centro urbano, a partire dagli inizi del V secolo.

Dall'altra parte della strada, lungo il marciapiede che fiancheggia la basilica, dei blocchi in opera incerta indicano la presenza di un portico per il passaggio pedonale, che probabilmente comunicava con le botteghe situate su questo allineamento. Un'altra ipotesi è che il colonnato potesse sostenere un tratto di acquedotto²⁵⁸.

Un piccolo sondaggio situato all'ingresso della basilica ha fornito informazioni molto interessanti sulla topografia e sulla stratigrafia del settore. Sia la basilica che la Via Traiana furono costruite in un quartiere già intensamente occupato. Infatti sono state scoperte diverse strutture di epoche differenti, tuttavia allineate ad un tracciato sul quale sarà costruita nel II secolo la via principale.

Un altro sondaggio è stato scavato nell'angolo ovest della basilica, fra la parete di fondo e l'ambiente annesso settentrionale. Le uniche vestigia scoperte sono quelle di uno spazio aperto circondato da un portico.

Degli spessi strati di terra e macerie confermano che anche quest'area è stata abbandonata e utilizzata come necropoli. Infatti è stata ritrovata una tomba di neonato scavata nell'angolo fra il muro nord e l'ambiente annesso, ricoperta da tegole.

Nel corso della campagna del 1993, il sondaggio 93.1, è stato scavato alle pendici della collina centrale con la prospettiva di esaminare se fosse esistita una porta della città romana in quest'area. D'altra parte, le fotografie aeree del 1986 avevano mostrato chiaramente una serie di tracce, fra le quali una piuttosto netta, rivolta verso la cinta urbana.

Già degli scavi nel 1963 e nel 1964 avevano permesso di individuare una sorta di interruzione della muraglia in questo tratto, e, al di fuori del recinto urbano, la presenza di un'area di necropoli, segni che lasciavano supporre l'esistenza di una strada e di una porta urbana.

²⁵⁸ Mertens 1995, p. 215.

Pertanto il sondaggio 93.1, delle dimensioni di 14 x 1,50 metri, è stato scavato in maniera perpendicolare alla traccia che sembra essere quella di una via di accesso alla città. Sono stati individuati diversi muri ed anche uno spesso strato di pietrisco, di datazioni diverse. I muri sono tutti paralleli o perpendicolari alla cinta urbana, alcuni di epoca daunia ed altri risalenti ai primi secoli dell'agglomerazione romana. Sembra infatti che in quest'area sorgesse un quartiere periferico della città romana, posto a breve distanza dalla cinta muraria.

Tutte queste vestigia sono ricoperte da uno spesso strato di ghiaia e pietrisco, che a sua volta copre un altro strato di terra scura mista a frammenti di tegole, di grandi recipienti, a pietre e a frammenti di ceramica comune e dipinta romane. Potrebbe trattarsi dei resti del muro di cinta e dell'agere ormai livellati.

La cinta urbana fu destrutturata nel I secolo d.C. Non è escluso quindi che proprio in quest'epoca sia stata presa la decisione di creare una strada di accesso alla città in quest'area. Questo piccolo sondaggio dunque ha aggiunto un tassello importante alle considerazioni fatte finora sulla viabilità di Herdonia.

Gli scavi del 1993. Una porzione dell'abitato medievale.

A partire dal 1993 alla missione belga si affianca l'équipe di ricerca del Dipartimento di Studi Classici e Cristiani dell'Università di Bari, coordinata dal Prof. Volpe. La collaborazione è nata da un lato per proseguire le ricerche su Herdonia, e dall'altro per associare gli aspetti scientifici della ricerca archeologica agli aspetti didattici e formativi²⁵⁹.

Le indagini si sono concentrate lungo il margine settentrionale di una domus di età imperiale, già scavata nelle campagne del 1984 e del 1985, situata ad ovest dell'anfiteatro e a sud-est della palestra. Quest'area è stata scelta per diverse ragioni: il completamento delle indagini di un quartiere medievale e lo scavo analitico di unità abitative, ma anche il completamento dello scavo della domus romana e di edifici più antichi.

Lo scavo del saggio 93.2, di 6 x 16,50 metri, ha permesso di indagare, seppur parzialmente, due abitazioni medievali conservate solo in parte, e di individuare un'altra casa. Queste tre abitazioni facevano parte di un quartiere disposto lungo una strada sulla dorsale orientale dell'insediamento medievale di Ortona. Questo quartiere presenta una disposizione del tutto differente rispetto a quella delle costruzioni romane di epoca traianea, evidentemente oblite quasi del tutto al momento dell'installazione del nuovo abitato.

Nell'area scavata è stata intercettata subito l'arteria viaria principale, con andamento nord-sud, costituita da un acciottolato, sulla cui superficie sono ancora visibili le tracce del passaggio dei

²⁵⁹ Volpe 1997.

carri. Questo acciottolato tuttavia, risale all'età tardoantica, ma il tracciato fu riutilizzato in epoche successive seppur con un manto in terra battuta.

Una serie di strade minori, perpendicolari alla via principale, si sviluppava fra le varie abitazioni, che erano accessibili proprio da questi vicoli.

Una delle case scavate, sfrutta i muri degli edifici preesistenti, opportunamente rasati, come fondazione per le nuove pareti, costruite con i cubilia dei paramenti romani e con pietre o ciottoli di fiume. Uno dei muri invece, fu costruito interamente in terra, probabilmente con l'impiego di casseformi in legno. I pavimenti erano costituiti da semplici battuti in terra, e all'interno era presente una struttura in pietra, riconducibile ad un focolare.

I materiali archeologici permettono di datare la costruzione di queste unità abitative tra il XII e il XIII secolo. Queste strutture furono abbandonate fra XIV e XV secolo.

L'area indagata fa parte del villaggio medievale che si sviluppò, a partire dal XII secolo, lungo l'arteria che collegava la zona dell'anfiteatro alla collina del castrum.

Probabilmente esisteva già nell'XI secolo un primo nucleo di abitazioni nei pressi della collina settentrionale, dove fu costruita una chiesa. L'edificio di culto, identificato con la chiesa di San Pietro *in castello Dordano*²⁶⁰, fu trasformato da Federico II in casa fortificata²⁶¹, ed è forse a partire da questo momento che l'abitato conobbe una fase di maggiore sviluppo dovuto ad attività legate alla produzione agricola.

Con la destinazione ad ampi pascoli dei campi coltivati, accentuatasi soprattutto alla metà del XV secolo, in seguito all'istituzione della Dogana della Mena delle Pecore, voluta da Alfonso I d'Aragona nel 1447, l'abitato medievale di Ordonà fu definitivamente abbandonato.

²⁶⁰ Martin 1993, VetChr 30, 2, p.359-363

²⁶¹ Mertens 1995.

IV.8. Gli scavi italiani: 1993 – 1998.

Il decimo volume della serie Ordon, è quello in cui sono descritte le campagne di scavo archeologico effettuate negli anni '90 presso l'area della città antica e le sue vicinanze²⁶². Le ricerche sono state condotte dal Departement voor Archeologie, Kunstwetenschap en Musicologie della Katholieke Universiteit Leuven e dal Dipartimento di Studi Classici dell'Università di Bari, sotto la direzione di Frank van Wonterghem e Giuliano Volpe. Come si legge nella premessa²⁶³ di Joseph Mertens, questi cambiamenti non hanno stravolto il programma degli scavi, cominciato con l'indagine del perimetro della città antica, grazie alla quale è stato possibile studiare l'intera sequenza cronologica del sito dall'epoca daunia fino al periodo medievale.

In queste campagne di scavo sono stati indagati i seguenti contesti:

1. Domus A (Saggio I), campagne 1993-1997
2. Domus B (Saggio II), campagne 1996-1997
3. Terme (Saggio III), campagne 1997-1998
4. Ponte sul Carapelle, campagna 1996
5. Necropoli romana lungo la Via Traiana, campagna 1996.

Le ricerche si sono concentrate innanzitutto in zone centrali della città già interessate dagli scavi condotti dagli archeologi belgi, con l'obiettivo di completarne l'indagine stratigrafica.

Una prima area, compresa fra l'anfiteatro, la cd. "palestra" e la Via Traiana, era stata indagata sin dalla prima campagna di scavo, nel 1962, con lo scavo della trincea 3. Gli scavi degli anni '80 (trincee 84.3, 85.5 e 85.6) avevano permesso di intercettare una struttura abitativa chiamata successivamente "**domus A**". Sempre nella stessa zona, era stata individuata un'altra abitazione durante lo scavo dei saggi 92.1-3 nella campagna del 1992, che è stata denominata "**domus B**". Poco più a Nord, verso la porta Nord-Est, una vasta area scavata nel 1970 con il metodo Wheeler (trincea 70.1-18)²⁶⁴, aveva permesso di individuare una serie di strutture abitative. Nonostante le difficoltà tecniche dovute alla ripresa delle indagini su aree scavate con metodi differenti, il settore appena descritto è stato inglobato nei saggi I e II, scavati fra il 1993 e il 1997, per un'estensione totale di circa 1250 mq.

²⁶² Volpe 2000.

²⁶³ Mertens 2000.

²⁶⁴ Mertens 1976.

Un terzo saggio è stato scavato a partire dal 1997, nell'area a Nord della Basilica, dove alcuni sondaggi degli anni '70 avevano permesso di intercettare **le terme** di Herdonia²⁶⁵. Lo scavo di quest'area ha permesso di conoscere non soltanto la configurazione di un importante monumento, ma anche le trasformazioni che hanno interessato la città in epoca tardoantica, quando, nel settore lungo la Via Traiana fu impiantato un quartiere di abitazioni e botteghe, fino alla destrutturazione dell'abitato urbano e al conseguente assetto dell'abitato medievale. Queste indagini hanno permesso di approfondire lo studio delle fasi tardoantica, altomedievale e medievale. Tuttavia, nel programma di ricerca di questi anni non sono mancati interventi volti alla comprensione dei rapporti con la città antica ed il territorio circostante. Per tale ragione, a partire dal 1996, sono stati effettuati dei sondaggi presso il ponte romano sul Carapelle, tramite i quali sono stati acquisiti dei primi importanti dati sugli insediamenti rurali. Le campagne di scavo effettuate fra il 1993 e il 1998 hanno permesso di distribuire la sequenza cronologica di Herdonia su sette periodi principali:

1. Periodo I – Età daunia *IV – III sec. a.C.*
2. Periodo II – Età repubblicana
 - a. Periodo IIA, *III – II sec. a. C.*
 - b. Periodo IIB, *II – I sec. d.C.*
3. Periodo III – Età imperiale
4. Periodo IV – La Tarda Antichità
5. Periodo V – L'Altomedioevo
6. Periodo VI – Il Medioevo
7. Periodo VII – Età moderna e contemporanea

Periodo I - Età daunia.

Gli elementi che attestano la frequentazione daunia in queste aree sono piuttosto esigui. All'interno del saggio III, presso le terme, è stato rinvenuto un lacerto di mosaico a ciottoli, già individuato durante gli scavi belgi del 1972 (trincea 1972.5). Questo pavimento è del tutto simile a numerosi altri mosaici scoperti in altre porzioni dell'abitato e generalmente associati a strutture del IV – III secolo a.C. Un'altra testimonianza è costituita da una massicciata e da un muro intravisto in una fossa granaria di età medievale.

²⁶⁵ In particolare i saggi 72.5.

Periodo II – Età repubblicana.

Anche per questa fase le testimonianze materiali appaiono piuttosto ridotte a causa della consistente attività edilizia delle epoche successive. La struttura più rilevante è un'abitazione situata nell'area successivamente occupata dalla domus B e databile al III secolo a.C. Questa dimora presenta una pianta rettangolare ed è composta da solidi muri in ciottoli, tegole e coppi disposti a spina di pesce. Questa tecnica edilizia è simile ad altre abitazioni individuate sulla collina centrale di Herdonia e a delle fosse presenti nelle botteghe del foro, costruite in seguito alle ristrutturazioni postannibaliche.

Il Periodo IIB invece coincide con un momento piuttosto florido per la città di Herdonia. È in questo lasso di tempo infatti che vengono costruite le prime importanti strutture pubbliche come il tempio B, il campus e la basilica. L'elemento più significativo indagato nel corso delle campagne di scavo dei primi anni '90 è costituito dalla costruzione della domus B, un'abitazione non di grandi dimensioni, organizzata in vari ambienti attorno ad un atrio con impluvium.

Periodo III – Età imperiale.

L'assetto tardorepubblicano fu conservato per tutto il I e buona parte del II secolo d.C. (Periodo IIA). Alla metà del I secolo però, la costruzione dell'anfiteatro cambiò drasticamente il quartiere circostante ed in particolare l'area della domus B. I piani di calpestio furono notevolmente rialzati e numerosi furono gli interventi di ristrutturazione. Inoltre diversi nuovi ambienti furono aggiunti all'impianto planimetrico, quasi a voler delimitare una nuova domus inglobata da quella precedente.

Lo sviluppo di Herdonia fra II e III secolo d.C. (Periodo IIIB) è dovuto in larga parte alle grandi opere di Traiano, ed in particolare alla via che portava il suo nome e che collegava Beneventum a Brundisium. La costruzione della strada modificò anche l'assetto extraurbano di Herdonia, come dimostra la costruzione del ponte sul Carapelle e la configurazione delle aree esterne alla cinta muraria, adibite generalmente a necropoli, anche se non mancano strutture relative ad attività artigianali come vasche per il lavaggio della lana.

L'età traiana rappresenta dunque un momento florido per la città di Herdonia: il centro urbano acquisisce un carattere decisamente monumentale grazie alla costruzione di importanti edifici, come il macellum e il tempio A, e grazie alla ristrutturazione della piazza del foro. Sempre lungo la Via Traiana, nel quartiere a Nord della Basilica, un complesso termale fu costruito nella seconda metà del II secolo. L'assetto planimetrico, piuttosto articolato, delimita uno spazio più esteso rispetto al primo impianto termale individuato nel lato nord della piazza del foro. Questo dato non solo sembra confermare un cambio di abitudini nella vita sociale della

comunità di cittadini herdonitani, ma suggeriscono anche la presenza di un efficiente sistema idrico, testimoniato dalla presenza di impianti in diversi punti dell'area urbana ed extraurbana. In questo stesso periodo fu costruito un grande edificio immediatamente a Nord della serie di botteghe e teabernae poste sul fianco nordorientale del foro: la cosiddetta "palestra". Si tratta in realtà di una schola, sede di uno dei numerosi collegia attivi in questo periodo ad Herdonia. La costruzione di questo edificio comportò degli interventi di ristrutturazione della adiacente domus B.

Sempre nello stesso quartiere fu costruita la domus A, costituita da dieci ambienti disposti attorno ad un atrio centrale munito di cisterna. L'importanza di questa abitazione sta nel fatto che essa indica chiaramente la presenza in città di un ceto borghese medioalto.

Riflessi di un periodo prospero si riflettono anche sulle produzioni artigianali e sugli scambi commerciali che interessarono Herdonia in questa fase. Diverse sono infatti le fornaci individuate nel quartiere artigianale situato fra il macellum e il muro di cinta, per la produzione di ceramiche, vetri e bronzi.

L'età imperiale rappresentò dunque per Herdonia il culmine di un processo di sviluppo cominciato a partire dall'età tardo-repubblicana. La massima espansione fu raggiunta in seguito alla costruzione della Via Traiana. In questo momento la città di Herdonia aveva una popolazione stimata di circa 7000-10000 abitanti ed aveva assunto pienamente il rango di civitas romana.

Periodo IV – La Tarda Antichità.

Agli inizi del IV secolo d.C. Herdonia doveva rivestire una importanza tale da renderla una concorrente per il ruolo di capoluogo della provincia Apulia et Calabria diocleziana. Tuttavia il destino della città sembra essere legato ad un evento traumatico che avviò un inesorabile processo di destrutturazione. Le numerose tracce di restauri rilevate in questa fase, lasciano pensare che la città di Herdonia fu particolarmente colpita da movimenti tellurici, probabilmente da un terremoto verificatosi alla metà del IV secolo. A differenza di altre città colpite dal sisma, come Luceria o Saepinum, i monumenti danneggiati di Herdonia non furono riparati. All'interno della basilica e della palestra furono ricavati nuovi spazi con la funzione di botteghe o magazzini; il macellum fu lasciato in rovina e all'interno dell'anfiteatro, ormai in disuso, si installarono delle abitazioni. Tuttavia quello che sembrava essere l'inizio di un lento processo di degrado non è stato così omogeneo e globale. Nella seconda metà del IV secolo (Periodo IVA) furono intrapresi dei lavori di ristrutturazione che interessarono le terme e alcune parti della palestra, che furono pavimentate con mosaici di buona fattura.

L'intero quartiere attorno alle terme sembra essere stato coinvolto dal programma di restauro, quasi a confermare che siano diventate proprio queste il centro nevralgico della vita urbana. I lavori di ristrutturazione continuarono almeno fino alla prima metà del V secolo (Periodo IVB). Fu in questo periodo che il quartiere residenziale nei pressi dell'anfiteatro cominciò il suo periodo di declino. La domus A fu abbandonata, mentre gli ambienti della domus B continuarono ad essere utilizzati, anche se la struttura doveva apparire in un evidente stato di degrado.

I dati a disposizione consentono di delineare una situazione urbana piuttosto complessa. Herdonia infatti conserva una certa vitalità ed una economia solida sia prima che dopo il sisma che ha distrutto gran parte degli edifici. La ricostruzione fu probabilmente curata dal governo della provincia Apulia et Calabria, e comportò la messa in funzione di alcuni edifici a discapito di altri ritenuti privi di importanza, come la basilica. L'amministrazione della giustizia infatti aveva luogo nella vicina Canusium, diventata in questo periodo capoluogo provinciale.

Non è del tutto corretto parlare di declino di Herdonia, se non in termini molto meno drastici. Lo scavo del foro infatti aveva lasciato supporre un rapido ridimensionamento della città, ma in realtà ciò a cui si assiste sembra essere lo spostamento del baricentro urbano dal foro all'area delle terme, dove invece i numerosi interventi di ristrutturazione presso le terme e la presenza di diverse botteghe sono il segno di una certa vitalità economica e sociale. Ciò che potrebbe apportare dei contributi decisivi per la comprensione di questo periodo storico sarebbe la scoperta di monumenti paleocristiani. Herdonia fu una diocesi e questo è confermato dalla presenza del vescovo Saturninus alla fine del V secolo, ma ancora non è stata individuata una chiesa episcopale. Questo edificio, ubicato in una zona diversa da quella del foro, potrebbe essere stato il fulcro del nuovo assetto urbano.

A partire dalla seconda metà del V secolo fino agli inizi del VI (Periodo IVC) Herdonia conobbe una fase di ridimensionamento. Le terme furono progressivamente abbandonate, e il quartiere circostante fu poco a poco destinato ad altre funzioni, soprattutto quella funeraria. Il numero delle tombe in urbe aumenta e riguarda praticamente tutti i settori centrali della città antica. La presenza del vescovo Saturninus attesterebbe l'esistenza di una diocesi e dunque la persistenza di un ordinamento giuridico-amministrativo, anche se l'abitato di Herdonia in questo momento sembra essere più simile a quello di un vicus rurale²⁶⁶.

Periodo V – L'Altomedioevo.

Il periodo di declino di Herdonia culmina in un periodo compreso fra VII e X secolo, con quello che sembra essere un vero e proprio abbandono dell'abitato. Le tracce archeologiche però non

²⁶⁶ Grelle, Volpe 1994.

sono affatto evidenti e delineano un quadro piuttosto complicato. Il VII secolo è l'unico di cui si disponga di qualche elemento, costituito da una serie di sepolture, ma la situazione per i secoli successivi è molto più problematica. Tramite l'indagine stratigrafica infatti è stata constatata la presenza di strati spessi di terra, privi di materiale archeologico, che sembrano indicare la presenza di aree destinate ad uso agricolo all'interno della città.

L'evidenza più chiara dell'occupazione altomedievale di Herdonia è costituita da vari nuclei di tombe sparsi nell'area dell'antico foro. Queste tombe, inizialmente messe in relazione con le strutture absidate di epoca tarda, sono sicuramente posteriori a queste cd. "cappelle".

Periodo VI – Il Medioevo.

A partire dal X-XI secolo l'abitato di Herdonia sembra essere nuovamente popolato, come attesta la presenza di numerose monete longobarde e bizantine.

Alla prima metà del XI secolo risale la costruzione sulla collina settentrionale di una chiesa, probabilmente identificata con San Pietro in castello Dordano, donata da Roberto il Guiscardo al monastero venosino della Santissima Trinità nel 1060²⁶⁷.

La prima fase di occupazione medievale, datata fra X e XI secolo (Periodo VIA) risulta abbastanza evanescente. Poche sono infatti le tracce che indicano la presenza di un insediamento, e sono composte da muri di abitazioni in pietra e terra e pochi focolari.

Per il periodo successivo, fra XI e XII secolo (Periodo VIB), si dispone di una documentazione di certo non corposa, ma sufficiente a delineare alcuni tratti dell'abitato medievale. Gli strati di crollo degli edifici romani vengono spianati in modo da ricavare superfici edificabili. Viene installata una viabilità che in alcuni casi coincide con i tracciati delle strade antiche, come ad esempio la Via Traiana, ma soprattutto vengono realizzate diverse fosse granarie in settori non connessi con le abitazioni, quasi a voler destinare delle specifiche aree alla conservazione delle derrate cerealicole, confermando ancora una volta quanto importante fosse il grano nella cultura delle comunità che hanno abitato queste terre a prescindere dall'epoca storica.

Lo sviluppo del casale va collocato fra XII e XIII secolo, momento in cui la chiesa sulla collina settentrionale fu trasformata in domus fortificata da Federico II²⁶⁸. Questo abitato si sviluppava lungo una strada acciottolata che collegava la collina settentrionale alla zona anticamente occupata dall'anfiteatro di età imperiale. Oltre a questo nucleo principale sono stati individuati altri attorno all'area del foro, in particolare nei pressi dell'antica basilica. Le abitazioni erano generalmente caratterizzate da una pianta rettangolare di varie lunghezze (da un minimo di 6

²⁶⁷ Mertens 1995.

²⁶⁸ Mertens 1993.

metri ad un massimo di 20). I pavimenti erano costituiti da battuti di terra sui quali spesso erano poggiati dei fornelli di lastre di terracotta. I muri erano realizzati in legno e terra su di uno zoccolo in muratura, solitamente realizzato con elementi delle strutture antiche crollate. La grande presenza di laterizi in crollo lascia pensare che le coperture fossero costituite da tetti con tegole e coppi, ma probabilmente non mancavano coperture in paglia e legno per le dimore più modeste. Le abitazioni erano separate da stretti vicoli probabilmente destinati allo scolo delle acque piovane.

Le fosse granarie, elemento peculiare del villaggio medievale, furono abbandonate fra la seconda metà del XIII e il XIV-XV secolo (Periodo VIC – VID). Fanno la loro comparsa ambienti realizzati con murature piuttosto rozze, probabilmente destinati a funzioni di servizio e spazi coltivati all'interno dell'abitato, segno di un progressivo processo di abbandono.

L'istituzione della Dogana della Mena delle Pecore alla metà del XV secolo, segno della ormai consolidata pratica dell'allevamento transumante nelle regioni centromeridionali, fra le attività economiche principali, fu una delle cause che determinò la fine dei piccoli insediamenti rurali del Tavoliere.

Periodo VII – L'età moderna e contemporanea.

L'area del villaggio medievale non fu mai più occupata. A partire dal XVII secolo, a breve distanza dall'antica Herdonia, fu costruita una tenuta gesuitica, attorno alla quale si sviluppò un villaggio di contadini. Questo abitato costituisce dunque il nucleo dell'attuale comune di Ortona.

IV.9. Alcune considerazioni.

Dopo aver ripercorso la storia delle ricerche è opportuno fare alcune considerazioni. Come si è visto il sito di Ortona è stato indagato sistematicamente a partire dal 1962, anno in cui Joseph Mertens assunse la direzione della missione archeologica per conto dell'Accademia Belgica, fino all'ultima campagna di scavo, nel 2000, sotto la direzione dell'Università di Bari. Dunque trentotto anni di ricerche sul campo che hanno fornito una quantità straordinaria di dati su un sito archeologico complesso e pluristratificato. La traccia di ciascun dato è stata trascritta e conservata in quello che può essere senz'altro definito come il deposito della conoscenza di Herdonia: l'Archivio Mertens.

Se l'archivio costituisce dunque il luogo in cui è possibile consultare la documentazione che descrive il record archeologico, le pubblicazioni scientifiche, nella fattispecie i volumi della serie Ortona, rappresentano l'interfaccia con il pubblico.

Sarebbe stato vano infatti qualunque approccio alla comprensione della documentazione d'archivio senza prima consultare il suo "libretto di istruzioni". Certo non esiste alcun manuale che descriva il *dataset* dell'archivio, però le pubblicazioni curate da Mertens e dalla sua équipe forniscono un'ottima guida per orientarsi non soltanto all'interno della complessa storia insediativa del sito di Ortona, ma anche della documentazione delle ricerche.

La documentazione di qualsiasi progetto di ricerca archeologica è difatti fortemente condizionata dalle metodologie e dalle strategie di indagine adottate in fase di programmazione ed eventualmente modificate in fase di esecuzione dei lavori. Nel caso di Herdonia, lo studio delle pubblicazioni è stato fondamentale proprio per estrarre informazioni sulle modalità secondo le quali sono state condotte le ricerche. Pertanto si è cercato di dare enfasi alle domande archeologiche che hanno ispirato le strategie di intervento sin dall'inizio degli scavi. In questa maniera è stato possibile ripercorrere tutte le tappe del ragionamento archeologico di Mertens, e di creare una mappa completa di Herdonia posizionando tutte le aree indagate stratigraficamente a prescindere dalla metodologia di scavo applicata.

Le fasi di intervento possono essere schematizzate seguendo l'organizzazione stessa dei volumi della serie Ortona e riproponendo i raggruppamenti di campagne di scavo:

Campagne di scavo	Obiettivi di ricerca	Aree indagate	Metodologia di scavo
1962-1964	<ul style="list-style-type: none"> • Topografia generale • Mura urbiche • Necropoli • Cronologia della città 	<ul style="list-style-type: none"> • Anfiteatro • Mura • Porte • Collina N • Collina S • Zona extra moenia E 	Trincee e sondaggi
1964-1966	<ul style="list-style-type: none"> • Topografia generale • Mura urbiche • Cronologia della città 	<ul style="list-style-type: none"> • Foro • Anfiteatro • Collina S • Collina centrale • Mura 	Saggi più ampi. Trincee e sondaggi per le zone ancora inesplorate.
1966-1969	<ul style="list-style-type: none"> • Topografia generale • Necropoli preromana • Scavo completo del foro • Contesto geografico e topografico attorno alla città 	<ul style="list-style-type: none"> • Mura • Foro • Basilica • Castellum • Quartiere domus A • Settore centrosettentrionale • Settore centrale • Via Traiana (extra moenia) 	Saggi Trincee, anche di notevole lunghezza
1970-1974	<ul style="list-style-type: none"> • Studio centro urbano • Occupazione romana Ager Herdonitanus • Rapporto abitato preromano/Occupazione romana • Ordoni medievale 	<ul style="list-style-type: none"> • Quartiere a N di anfiteatro • Foro • Macellum • Terme • Collina S (anche extra moenia) 	Saggi Trincee Metodo Wheeler
1975-1977	<ul style="list-style-type: none"> • Studio centro urbano • Occupazione romana Ager Herdonitanus • Rapporto abitato preromano/Occupazione romana • Ordoni medievale 	<ul style="list-style-type: none"> • Quartiere a N di anfiteatro • Foro • Tempio A • Campus • Collina S (anche extra moenia) 	Saggi Trincee, anche di notevole lunghezza
1978-1986	<ul style="list-style-type: none"> • Topografia generale • Centro urbano • Necropoli • Zone artigianali 	<ul style="list-style-type: none"> • Quartiere a N di anfiteatro • Foro • Campus • Palestra • Quartiere a S del macellum • Zone extraurbane Est 	Saggi Trincee, anche di notevole lunghezza
1987-1993	<ul style="list-style-type: none"> • Topografia generale • Centro urbano 	<ul style="list-style-type: none"> • Porzione NO del Foro • Palestra • Via Traiana 	Saggi Trincee
1993-1998	<ul style="list-style-type: none"> • Completamento indagine quartieri residenziali a N del foro • Indagine area delle terme • Occupazione rurale/elementi del paesaggio • Necropoli Ovest 	<ul style="list-style-type: none"> • Domus A • Domus B • Terme • Ponte sul Carapelle • Necropoli sulla Via Traiana (Porta NO) 	Grandi aree

CAPITOLO V

La collezione di documenti di Herdonia è una sorgente di informazioni di straordinaria importanza. Nell'ambito di questo progetto l'archivio rappresenta il contesto ideale per sperimentare strategie e metodi per il trattamento dei dati, in particolar modo della documentazione grafica di scavo. Sin dalle prime analisi dell'archivio è emerso chiaramente come fosse necessario non solo un lavoro di digitalizzazione dei documenti, ma anche la creazione di un sistema informativo all'interno del quale i dati potessero coesistere ed essere messi in relazione fra loro. Questa necessità unita all'urgenza di avere una mappa completa di Herdonia su base cartografica georeferenziata, per poter collocare tutte le aree scavate a partire dal 1962, ha indotto a considerare il **GIS** come strumento più idoneo.

Mentre una prima parte di attività del progetto è stata dedicata alla realizzazione del GIS, in modo da poter strutturare un percorso di fruizione "tecnico-scientifico", un secondo gruppo è stato indirizzato alla creazione di oggetti digitali tridimensionali, trattati per essere implementati all'interno di **applicazioni divulgative**.

Lo studio della documentazione grafica ha portato ad individuare delle aree campione della città antica di Herdonia che meglio si prestassero a rappresentare le problematiche connesse con la cronologia del sito. Sono stati scelti dei contesti interessanti dal punto di vista stratigrafico e caratterizzati dalla presenza di evidenze monumentali, con l'obiettivo di integrare dati ricavati dalla documentazione cartacea con dati *digital born* ottenuti tramite Structure from Motion.

In questo capitolo saranno descritte le fasi di questi due percorsi e le procedure di trattamento dati adottate.

V. 1. Il GIS Archeologico

Un GIS archeologico non differisce dai GIS di altre categorie dal punto di vista della tecnologia, semmai lo fa per le caratteristiche tematiche e metodologiche. Non esistono infatti software dedicati alle analisi spaziali in archeologia, anche se non mancano sperimentazioni interessanti, neanche in Italia²⁶⁹. Al di là del tipo di software, ciò che sembra mancare ancora oggi è l'adozione di procedure standardizzate per la gestione di tutta la documentazione archeologica. Tuttavia la fase di progettazione di un GIS archeologico può essere schematizzata in modo da rispondere il più possibile alle esigenze di investigatori e utenti. Realizzare un GIS è un'operazione estremamente complessa che richiede sin dalle fasi preliminari di riflettere su una serie di considerazioni. Bisogna infatti tener conto di dover effettuare numerose scelte sia tecnologiche, come ad esempio la scelta del software, dei dati geografici, delle finalità del progetto, che gestionali ed organizzative, come chi si occupa materialmente della realizzazione dell'interfaccia, se è sufficiente il know-how del team di ricerca o è necessario integrare ulteriori competenze specifiche.

Un progetto GIS archeologico è un *“sistema di informazione archeologica georeferenziato dedicato in prima istanza all'archiviazione ragionata e, successivamente, all'elaborazione spaziale e multifattoriale dei dati (in due e tre dimensioni)”*²⁷⁰. In questo senso l'organizzazione e la qualità dei dati determinano la buona riuscita dell'intero progetto, inteso come il modello concettuale della ricerca. Appare utile elencare quali sono le valutazioni da fare in fase di progettazione e di realizzazione di un GIS archeologico:

1. **Individuare i presupposti.** Di solito si decide di creare un GIS per due ragioni, quella di archiviare e gestire quantità di dati anche ingenti, e quella di poter produrre nuove informazioni a partire da esse. È la possibilità di creare informazioni nuove a rendere interessante e proficuo l'uso del GIS.
2. **Organizzare i dati.** Lo studio preliminare sui dati in possesso e sulle modalità di organizzazione risulta essere fondamentale per tutta le attività successive, soprattutto per la formulazione di ipotesi interpretative. In un progetto GIS, e in archeologia in generale, i dati non sono costituiti da una sola entità, ma molteplici. In un unico sistema

²⁶⁹ Un esempio è costituito da *pyArchInit*, sviluppato da un team di archeologi italiani a partire dal 2005. Si tratta di un plug-in free e open-source per QGIS che comprende una suite di moduli pensati per la gestione dei dati archeologici, sia alfanumerici che spaziali. PyArchInit: <https://sites.google.com/site/pyarchinit/home> [ultimo accesso: 03/03/2016]

²⁷⁰ Forte 2002, p.48

infatti coesistono dati spaziali, rilievi topografici, basi cartografiche vettoriali, fotografie aeree, dati alfanumerici.

3. **Porre domande.** La pratica dell'archiviazione e quella dell'acquisizione di nuovi dati si alternano e possono influenzarsi reciprocamente. Da questa continua dialettica possono nascere nuovi quesiti di ricerca, scaturiti dalle analisi effettuate sui dati in possesso.
4. **Scegliere gli strumenti adeguati.** Una scelta strategica molto importante è quella sulle risorse software da utilizzare per il progetto. Non esiste il software migliore in assoluto, ma quello che meglio si adatta alle esigenze della ricerca, esigenze che possono essere di vario tipo: economiche, di facilità di impiego, di potenza di calcolo, e così via. Oggi nel mondo del GIS esistono numerose soluzioni sia proprietarie che libere ed open-source: mentre le prime possono risultare più performanti e di impiego immediato, le seconde offrono la possibilità di lavorare su codici e formati aperti, e dunque meglio in sintonia con le esigenze di accessibilità.
5. **Calcolare i costi.** La valutazione sulle spese da sostenere per la realizzazione del progetto comprende la previsione non solo dei costi di realizzazione del GIS, ma anche dell'eventuale aggiornamento e della sua manutenzione. Bisogna considerare dunque la forza lavoro, e altri costi, come ad esempio quello dei dati geografici ai quali agganciare i nuovi dati e gli eventuali costi di licenza dei software.
6. **Archiviare ed analizzare dati.** Per ottimizzare le fasi del lavoro è necessario mettere a punto o seguire procedure efficienti, meglio se ispirate da criteri di standardizzazione. I dati vanno elaborati prima ancora di essere inseriti in un database o di essere posizionati su una mappa in modo da verificarne la correttezza e la presenza di eventuali errori. Inoltre bisogna considerare le caratteristiche dei dati stessi per poter strutturare la loro organizzazione e rendere notevolmente più rapido ed efficiente l'accesso ai dati.
7. **Comunicare le informazioni.** Archiviare dati, effettuare analisi, produrre informazioni per poter formulare ipotesi interpretative è un lavoro complesso che merita di produrre un output, una interfaccia fra chi fa la ricerca e chi vuole essere informato sui risultati della stessa. La tecnologia di oggi non solo consente di percorrere diverse strade (pubblicazione dei risultati in formati elettronici, via Internet, tramite applicazioni di realtà virtuale o multimediali), ma anche di poter integrare soluzioni diverse in contenitori unici.

Anche in questo caso però è necessario porsi il problema dell'accessibilità da parte di tipologie diverse di utenti, con le relative necessità, siano esse attinenti alle modalità di fruizione dei contenuti o alla compatibilità di dati e software.

In definitiva, dopo aver esaminato le considerazioni preliminari e ragionato sulle scelte da fare, si può procedere con la suddivisione del lavoro per fasi²⁷¹:

Fase 1. Progettare e classificare il GIS, costruendo il workflow in base alla natura dei dati.

Fase 2. Data-entry e georeferenziazione.

Fase 3. Interrogazione, analisi spaziali e predittive.

Fase 4. Comunicazione delle informazioni verso il pubblico specializzato e non.

Tenendo a mente dunque questo elenco di considerazioni preliminari sono state definite le fasi di lavoro sulla progettazione del GIS su Herdonia, anche se si tratta di una prima, provvisoria versione.

L'esigenza prioritaria nell'ambito di questo progetto era infatti quella di dare inizio ad un'operazione di digitalizzazione dei dati contenuti nell'archivio Mertens, a partire dalla documentazione grafica e topografica, considerato che, allo stato attuale, non esiste alcuna cartografia digitale che rappresenti l'evoluzione delle tante aree sottoposte ad indagini archeologiche stratigrafiche.

Come dunque indicato nella schematizzazione per fasi, il primo momento della ricerca in archivio è stato dedicato allo studio della documentazione e dei dati in esso contenuti, giacché soltanto dopo aver effettuato un'accurata analisi del materiale disponibile si è proceduto a strutturare gli interventi necessari per dare inizio a quella che sarà una lunga stagione di digitalizzazione dell'archivio.

²⁷¹ Forte 2002

V.1.1. La composizione dell'archivio

Nel Capitolo precedente è stata esaminata l'intera vicenda degli scavi archeologici nel sito di Herdonia, seguendo come guida le sintesi interpretative pubblicate nei vari volumi della serie Ortona. Questa operazione, fondamentale sia per descrivere le caratteristiche e la storia del sito stesso e sia per cogliere l'impostazione metodologica delle indagini archeologiche, è stata affiancata da un costante lavoro di ricerca di dati, documenti ed informazioni nell'archivio. Si è reso infatti obbligatorio analizzare la composizione di tutto il materiale per operare delle distinzioni in categorie, stabilire quali fossero le azioni necessarie per digitalizzare l'intero archivio e con quale ordine di priorità.

I documenti presenti nell'archivio sono di varia natura. Esistono infatti documenti testuali, disegni di planimetrie, sezioni stratigrafiche, inquadramento topografico, ma anche reperti, elementi architettonici e schizzi di ricostruzioni. Numerose sono le fotografie, le diapositive e i negativi (va ricordato che la stragrande maggioranza, per non dire la quasi totalità della documentazione è stata redatta in epoca pre-digitale), e sono presenti anche pellicole che compongono un set di scarti di metraggi girati durante le campagne di scavo di Herdonia²⁷².

I documenti testuali possono essere divisi per due grandi categorie: da un lato quelli che compongono la documentazione tecnica di scavo, e quindi giornali, relazioni di sintesi e rapporti redatti per la Soprintendenza, dall'altro gli inventari dei reperti.

Tutti i documenti sono conservati in faldoni divisi per blocchi cronologici, che contengono raccoglitori divisi per anni e per campagna di scavo. È importante sottolineare che la maggior parte di questi documenti sono scritti a mano, in lingua francese, anche se non mancano testi in lingua fiamminga, aspetto da non sottovalutare in fase di studio, sia per la comprensione dell'idioma che della grafia.

I cataloghi dei reperti costituiscono la parte più cospicua di questa documentazione e anch'essi sono conservati in faldoni divisi per anno. Si tratta di elenchi in cui sono stati annotati, numerati e catalogati tutti i reperti rinvenuti in fase di scavo, con relativa descrizione, eventuale riferimento fotografico e provenienza stratigrafica.

Oltre agli inventari di reperti e ai raccoglitori dei *legacy-data* di scavo, ci sono dei faldoni dedicati alla raccolta di documentazione particolare, come ad esempio le cartografie usate per

²⁷² Queste pellicole sono stato oggetto di restituzione digitale nel 2008, grazie al rigoroso lavoro di Fabio Iascone, responsabile del Centro Multimediale di Ateneo dell'Università di Foggia. Si tratta probabilmente di scarti di un documentario girato ad Herdonia nel 1963 per l'emittente radiotelevisiva RTB (oggi RTBF). Il video è stato acquisito e pubblicato su YouTube da Giuliano De Felice, responsabile del Laboratorio di Archeologia Digitale dell'Università di Foggia, ed è disponibile a questo indirizzo: <https://youtu.be/e3t27U-JJPQ> [ultimo accesso: 04/03/2016].

l'inquadramento topografico, il progetto esecutivo di restauro effettuato a partire dal 1990 o fotografie di determinati contesti.

La documentazione grafica di scavo, invece, pone un ulteriore grado di difficoltà. È composta principalmente da planimetrie e sezioni stratigrafiche disegnate su fogli di carta millimetrata di formato variabile, dal semplice A4 a fogli molto ingombranti, conservati in appositi raccoglitori impermeabili o in una cassettera metallica piuttosto capiente. Di questi sono state realizzate diverse copie in china su lucido. Tuttavia all'interno dei faldoni contenenti i giornali di scavo e nei giornali stessi, sono presenti numerosi disegni, spesso schizzi, con annotazioni e misurazioni di distanze lineari e angolari per impostare nuovi saggi. Questa dispersione della documentazione grafica in realtà è solo apparente. La sistemazione infatti ha seguito dei criteri logici più che corretti, però, in assenza di una sorta di libretto di istruzioni per l'uso dell'intero archivio, l'operazione di recupero di tutti i documenti grafici è stata piuttosto lunga.

L'ultima categoria comprende il materiale video e fotografico. All'interno di un raccoglitore metallico diviso in cassette sono conservate tutte le diapositive di scavo, numerate e catalogate. I negativi e le pellicole invece, non sembrano essere stati catalogati in alcun modo, visto che erano considerati con molte probabilità alla stregua di materiale di scorta.

È interessante notare come in archivio siano presenti strumenti di ricerca per facilitare il reperimento di alcuni dati. Il caso di un registro con all'interno delle chiavi di ricerca è emblematico. Sfogliando questa rubrica ci si è resi conto che si tratta di una sorta di rubrica per reperire facilmente una parte dei reperti in base a degli attributi, come ad esempio il materiale, o per trovare la relativa documentazione fotografica in base al numero identificativo dell'oggetto stesso. In definitiva questo registro può essere considerato una *query ante litteram*, ossia un'interrogazione che può essere posta ad un sistema digitale di archiviazione dati.

Analizzata dunque la natura dei dati in archivio, sono state stabilite delle priorità nell'elaborazione di un flusso di lavoro volto alla loro digitalizzazione. Le tecnologie digitali e informatiche di oggi offrono la possibilità di avvalersi di numerosi strumenti per archiviare e gestire quantità di dati anche notevoli. L'esigenza più grande di un archeologo però consiste nel poter disporre di banche dati elettroniche che siano correlate a dati spaziali e a basi cartografiche georeferenziate. Per questo la scelta del sistema da adottare è ricaduta su un GIS che potesse fungere da base per agganciare tutti i dati che si prevede di digitalizzare e eventuali dati archeologici acquisiti in eventuali ricerche future. Dunque per costruire la base di dati spaziali, in modo da georeferenziare tutte le aree scavate e le unità stratigrafiche individuate si

è resa prioritaria l'acquisizione di tutta la documentazione grafica di scavo, trasferendo così le informazioni spaziali e topografiche dal formato cartaceo a quello raster digitale.

V.1.2. Acquisizione digitale della documentazione grafica di scavo.

La prima attività svolta all'interno dell'archivio Mertens è stata dunque l'acquisizione digitale di tutta la documentazione grafica di scavo²⁷³. Numerose tavole disegnate su carta millimetrata sono state esaminate, acquisite tramite scanner digitale e sistemate in appositi raccoglitori in base al numero identificativo dato in fase di archiviazione dalla stessa équipe belga.



Fig. 24- Archivio Mertens. Planimetria su foglio millimetrato.

Questa parte del lavoro, svolta a più riprese, ha comportato tempi piuttosto lunghi, sia per recuperare tutto il materiale che per effettuare le scansioni digitali. Non è stato seguito alcun ordine di scansione poiché gran parte del materiale non aveva alcuna disposizione ordinata nei

²⁷³ Numerosi studenti dell'Università di Foggia hanno preso parte attiva al lavoro di acquisizione digitale durante il periodo di tirocinio effettuato presso il LAD. È stato importante poter condividere con loro riflessioni metodologiche e procedure operative, in un rapporto dialettico che, si spera possa aver avuto ricadute positive sul proprio percorso formativo, andando ad aggiungere know-how e nuove vedute alla regolare didattica. A loro va il sincero ringraziamento da parte di chi scrive.

raccoglitori, pertanto si è proceduto prima con la scansione delle tavole e dopo con la loro collocazione corretta.

Il dispositivo utilizzato per l'acquisizione è uno scanner digitale *Epson GT-15000*, con superficie massima di scansione pari al formato internazionale ISO A3 (420 x 297 mm). I limiti di capacità del dispositivo hanno dunque costretto a moltiplicare il numero di scansioni per tutte le tavole di dimensioni superiori al formato A3.

In fase di scansione le tavole sono state acquisite in diversi formati raster: jpeg, tiff non compresso e psd, il formato proprietario di Adobe Photoshop.

Sono state utilizzate risoluzioni di 300 o 600 dpi, indicate per una qualità di stampa ottimale e soprattutto per garantire un buon grado di definizione delle immagini.

In totale sono stati prodotti 1412 file raster, divisi in 223 cartelle, per un peso complessivo di circa 65 Gigabyte. L'archiviazione digitale è stata impostata riproducendo l'ordine di archiviazione dei documenti cartacei anche nella nomenclatura delle cartelle. Le cartelle sono state divise in due gruppi: il primo, composto da tavole di vario formato, generalmente di grandi dimensioni, e il secondo che comprende tutte le tavole, generalmente di formato A4, presenti nei raccoglitori della documentazione scritta di scavo, divisi per anni.

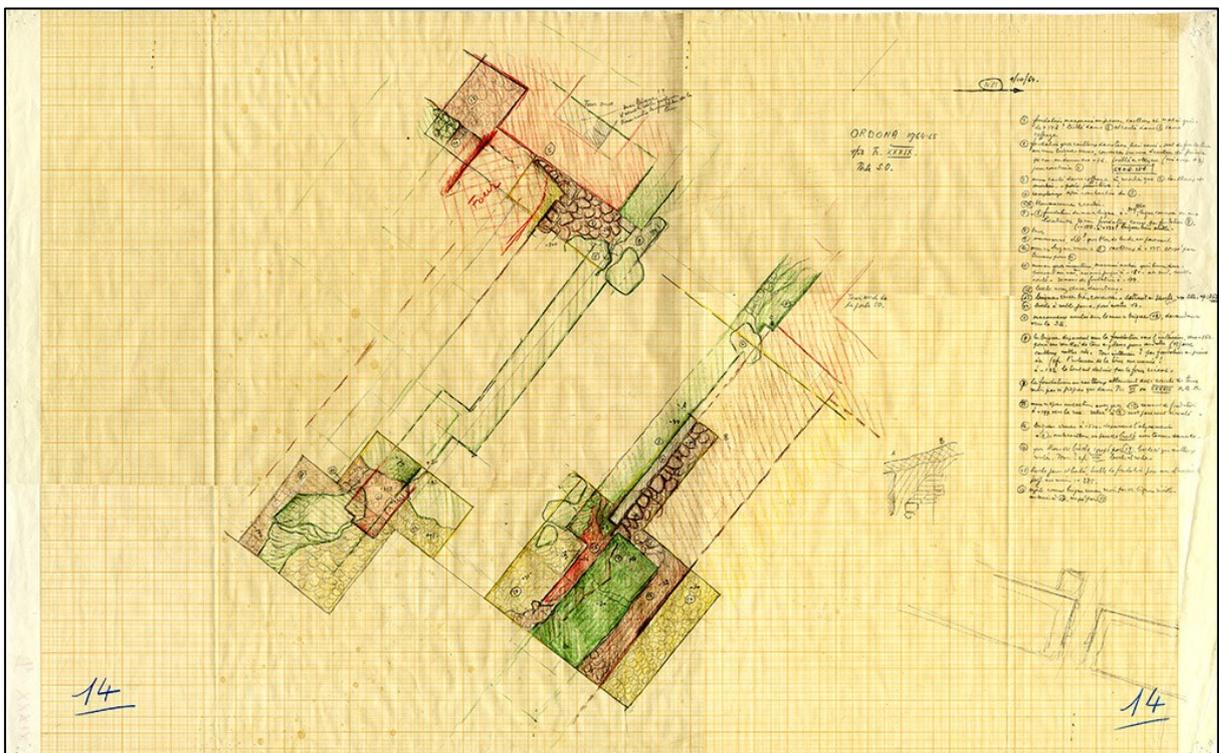


Fig. 2 - Planimetria della trincea XXXIX con numero identificativo 14.

Per il primo gruppo sono state create 50 cartelle, nominate con lo stesso numero identificativo annotato sulle tavole, probabilmente in fase di catalogazione. Ogni tavola infatti è stata contrassegnata dai curatori della collezione con un numero che non sta ad indicare l'identificativo della tavola in sé, ma, a quanto pare, il contesto topografico di riferimento o in alcuni casi, un raggruppamento di sondaggi effettuati nelle stesse campagne di scavo. Il secondo gruppo invece è stato suddiviso in 21 cartelle nominate con le quattro cifre dell'anno di redazione.

Tornando al primo gruppo, si è tentato di ricostruire la numerazione degli identificativi e di metterla in relazione al contesto esatto, così come esplicito nella tabella:

Id.	Trincee	Campagne di scavo	Contesto topografico
6	I, II, V, IX, X, XIX	1962, 1963	Anfiteatro (area Sud), Campus, Mura
7	III	1962, 1963, 1964	Anfiteatro (ingresso N) – Quartiere N foro
8	VI, XXXVIII	1963, 1964	Mura settore E
9	VIII, XIII, XVII, XXVI	1963, 1964	Porta NE
10	XII, XIV, XV, XVI, XX	1963, 1968	Mura settore N, Castellum
11	XVIII, XXII	1963	Anfiteatro (settore centrorientale)
12	VII ²⁷⁴ , XXI, XXX	1963, 1968	Porta NO
13	XXV, XXXI, LIV, LV, LVI	1963, 1965	Anfiteatro, ingressi principali
14	XXVII, XXXIX,	1963, 1964, 1965	Porta SO
15	XXXIII, XXXIV, XXXVI, XXXIX	1963, 1964	Settore quartiere N, Mura settore O/Porta SO
16	XXXVII	1969	Extra-moenia settore E
17	XLI	1964	Angolo Via Traiana – Foro lato N
18	V, XLV, XLVI, XLVIII, LXVI	1964, 1965, 1966, 1969	Foro area Tempio A
19	XLVII	1964, 1965	Tempio B
20	L	1965, 1966	Foro lato O
21	LI, LII	1965	Settore intra moenia, Porta SO
22	LIII, 69-I,	1965, 1966, 1969	Foro lato SE

²⁷⁴ La tavola è contrassegnata come Trincea 71

23	LVII	1965, 1966	Basilica
24	LVIII	1966	Intra moenia settore S
25	LIX, LX	1966	Intra moenia settore S
26	LXI	1966	Mura settore N
27	Tomba 114	1966	Basilica
28	LXV	1966	Macellum
29	LXVII	1967	Basilica
30	LXVIII	1967	Basilica - Castellum
31	LXVIII	1967	Basilica - Castellum
32	LXX, LXXII, LXIII	1967	Castellum
33	70, 72, 73, 74, 75	1968	Castellum
34	69-IV	1969	Foro lato NE
36	69-VII	1969, 1970	Basilica
38	Macellum, sondaggi	1973, 1974	Macellum
39	74-III, 75-V,	1974, 1975	Mura settore S, extra moenia S
40	Casa Cacciaguerra		
49	I, II, III, V, VI, X, XVIII, XIX, XXII	1962, 1963	Area Anfiteatro, mura settore E, Campus
55	69.4, 69.7, 75.2, 77.6, 78.5, 78.6, 79.2, 79.4, 80.1, 80.2, 81.1, 81.2, 82.1, 82.5,	1969, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982	Foro settore NE, pianta di fase
58	75	1968	Settore centrale, lunga trincea N-S
59	75	1968	Settore centrale, lunga trincea N-S
61	70 ²⁷⁵	1970	Quartiere fra porta NE e Via Traiana
62	70	1970	Pianta di fase
63	71 (I – XXIX) ²⁷⁶	1970	Settore collina S
64	72-V	1972	Area Terme
67	Posta Crusta	1974	Posta Crusta, contesto extra-urbano

²⁷⁵ La trincea è stata scavata con il metodo Wheeler per un totale di 18 saggi quadrati.

²⁷⁶ Anche questa trincea è stata scavata con il metodo Wheeler, con l'indagine stratigrafica di 29 sondaggi quadrati.

69	XVI, LIX, LXX, LXXIII, LXXIV	1963 - 1974	Castellum
70	75-II, 75-III	1975	Foro settore NE, Zona NE macellum
71	75-IV, 75-VI	1975	Settore S extra-moenia
76	76-I	1976	Basilica
90	77-VII, 78-II	1977	Collina SO, a N della Porta SO
122	77-VII, 78-II, 78-III	1977	Collina SO, a N della Porta SO
123	Piante di fase	1977	Quartiere porta NE
129	83-I, piante di fase		Anfiteatro/Campus angolo N

Il secondo gruppo è composto da tavole conservate nei faldoni della documentazione di scavo. Poiché i fogli risultano spesso privi del numero identificativo, si è preferito ordinarli in base all'anno di scavo:

Anno	Trincee	Contesto topografico
1963	IV, XXXV	
1971	71 (I – XXIX), 71.1, XXX	Settore collina S, Foro
1972	72-V	Terme
1974	74-I, 74-II, 76-V	
1975	78.1	Tempio A
1977	76-5, 77-1, 77-2, 77-3, 77-VI	Zona fra Tempio A e mura
1978	78.IV, 78.V, 78.VI,	
1979	79.1, 79.2, 79.3, 79.4, 79.6, 79.7, 79.8	Campus, Zona extra moenia Est, Porta NE, Palestra
1980	80.1, 80.2, 80.3, 80.4, 80.5, 80.6,	Campus, Via Traiana
1981	81.1, 81.2, 81.3	Campus, Zona ad Est di Macellum, Via Traiana (porta NE)
1982	82.1, 82.2, 82.3, 82.4, 82.5	Campus, Anfiteatro, Zona fra macello e mura
1983	83.1, 83.2, 83.4, 83.6,	Campus,
1984	84.1, 84.2, 84.3, 84.4, 84.6, 84.7,	Zona a Ovest di Anfiteatro,
1985	85.1, 85.2, 85.3, 85.4, 85.5, 85.6, 85.7, 85.8, 85.9	A Sud di Macellum, a NE di Anfiteatro, Campus

1986	86.1, 86.2, 86.3, 86.4, 86.5, 86.6	Tombe extra muros, Palestra, Campus, Quartiere a N di Foro
1987	87.1, 87.2, 87.3, 87.4	Quartiere tra Foro e Via Traiana
1988	88.1, 88.2, 88.3	Angolo N Foro, Palestra
1989	89.1, 89.2, 89.3, 89.4,	Lato N Foro
1991	91.1, 91.2, 91.3	Via Traiana, Basilica
1992	92.1, 92.2, 92.3	A N di Palestra
1993	93.1	Porta SE

La fase di acquisizione della documentazione grafica di scavo ha permesso di creare copie digitali delle tavole cartacee disegnate tramite rilievo diretto, scongiurando il rischio di perdita di queste informazioni. Inoltre ha permesso di effettuare una sorta di censimento di tutta la documentazione grafica presente nell'archivio, fornendo dunque un primo strumento di ricerca.

V.1.3. Georeferenziazione, vettorizzazione e composizione del GIS.

Il passaggio successivo comprende tutte le operazioni effettuate per la composizione della mappa generale di Herdonia a partire dalle tavole raster acquisite.

In questa fase le piante sono state vettorizzate in ambiente CAD, ridisegnando le entità rappresentate su carte tramite l'impiego di primitive geometriche. Per quanto possa sembrare una operazione alquanto meccanica, questa attività ha permesso di ripercorrere l'impostazione topografica delle aree di scavo, riproducendo su schermo le misurazioni lineari e angolari effettuate sul campo dall'équipe di Mertens.

Prima di procedere con la vettorizzazione, le tavole sono state opportunamente rototraslate su una base geografica ufficiale, la Carta Tecnica Regionale della Regione Puglia. Il SIT regionale infatti permette di scaricare liberamente dati geografici in diversi formati, anche vettoriali come il formato shape per GIS. Questa carta si basa sulla serie 50 prodotta dall'Istituto Geografico Militare, e comprende 652 fogli del territorio nazionale in scala 1:50000, che definiscono un rettangolo di 20' x 12' di longitudine e latitudine. I fogli sono suddivisi in 16 sezioni in scala 1:10000 che rappresentano aree di 5' x 3' allineate con meridiani e paralleli, e queste sono ulteriormente suddivise in 4 elementi di 2'30" x 1'30", in scala 1:5000 che definiscono aree di circa 3,4 x 2,8 chilometri. Per l'area geografica di Ortona sono stati utilizzati due elementi del foglio 421 di Ascoli Satriano, numerati rispettivamente 421082 e 421083.

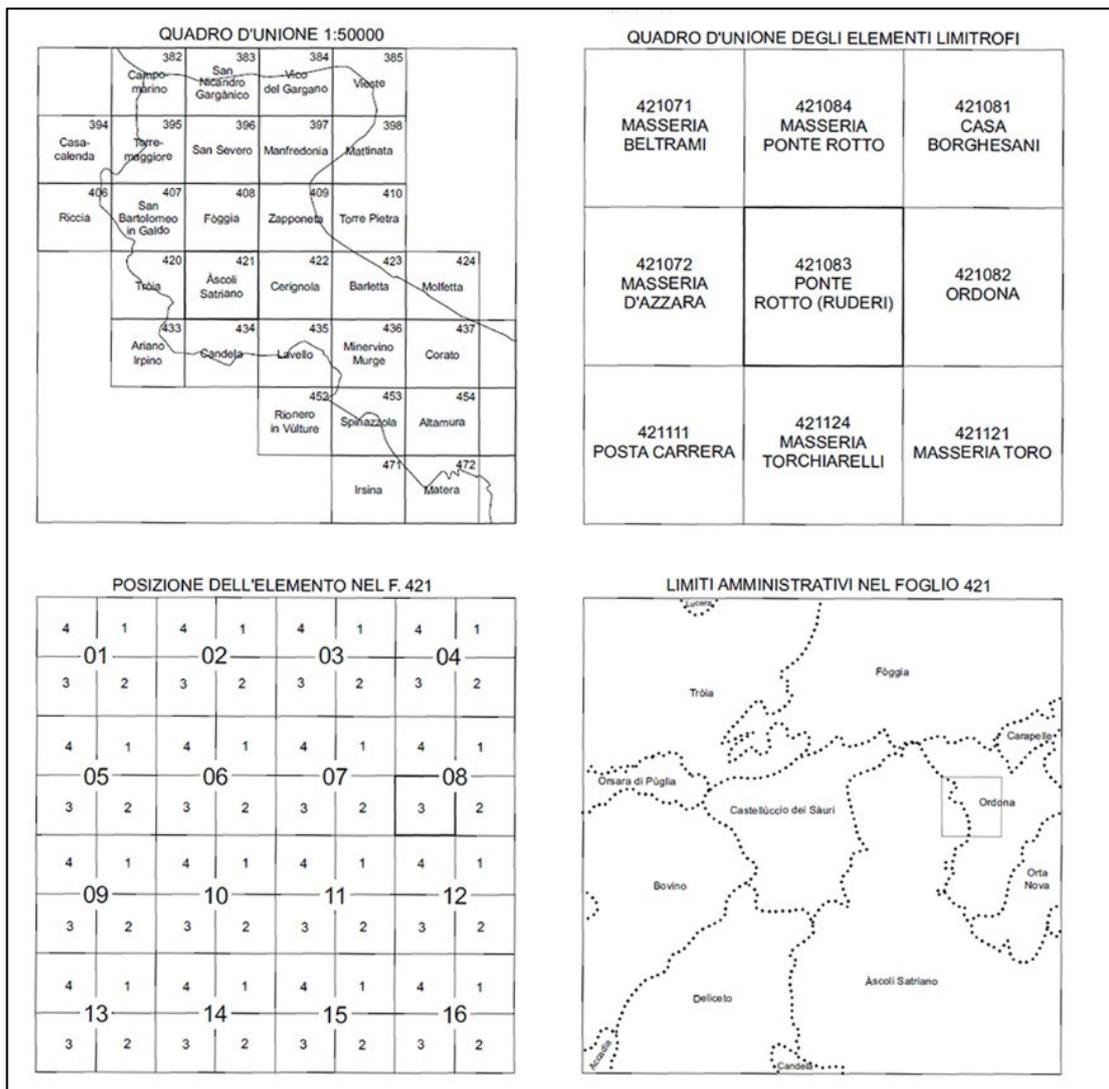


Fig. 3 - Inquadramento del sito di Herdonia nella Carta Tecnica Regionale.

I file vettoriali della CTR sono stati importati in ambiente CAD e hanno costituito la base per l'allineamento delle tavole raster. Il posizionamento all'interno del sistema di coordinate odierno è stato effettuato integrando le georeferenziazioni realizzate in passato su carta aerofotogrammetrica e le misurazioni lineari ed angolari fatte per impostare i saggi di scavo con le geometrie della CTR.



Fig. 4 - Posizionamento manuale dei saggi su carta aerofotogrammetrica.

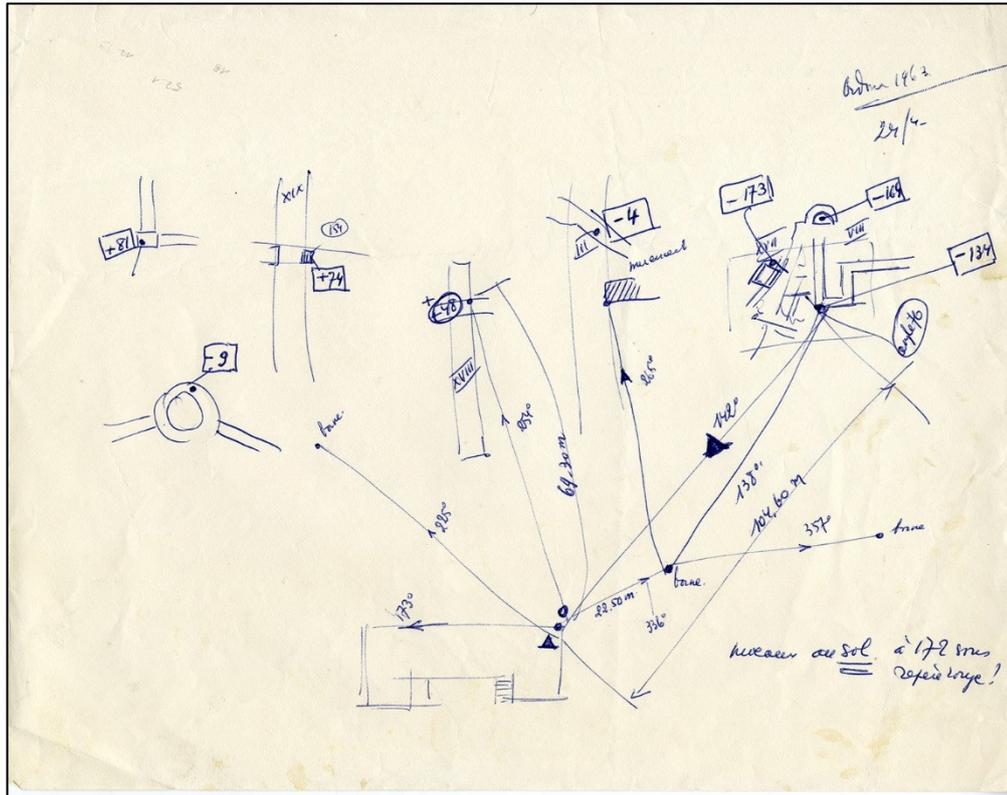


Fig. 5 - impostazione aree di scavo con metodo tradizionale.

Le tavole sono state ridimensionate in base ai rapporti di scala indicati sul foglio millimetrato ed allineati alla base cartografica riportando in CAD le distanze angolari e lineari appuntate dagli archeologi. L'operazione di allineamento ha presentato delle criticità. Come ci si attendeva, basi cartografiche aerofotogrammetriche degli anni '60 e la CTR attuale presentano diversi punti di incongruenza, dovuti a tecnologie differenti. Inoltre l'impostazione delle aree di scavo effettuata dagli archeologi belgi con strumentazione ottica non può essere considerata precisa come le misurazioni tramite l'utilizzo della moderna strumentazione elettronica.

Dei problemi di incongruenza fra cartografia tecnica e rilievi archeologici devono esser sorti già all'epoca delle indagini sul campo, come dimostra la mappa generale pubblicata nel primo volume della serie Ordon, dove risulta evidente che alcuni elementi comuni fra i due livelli cartografici non coincidono.

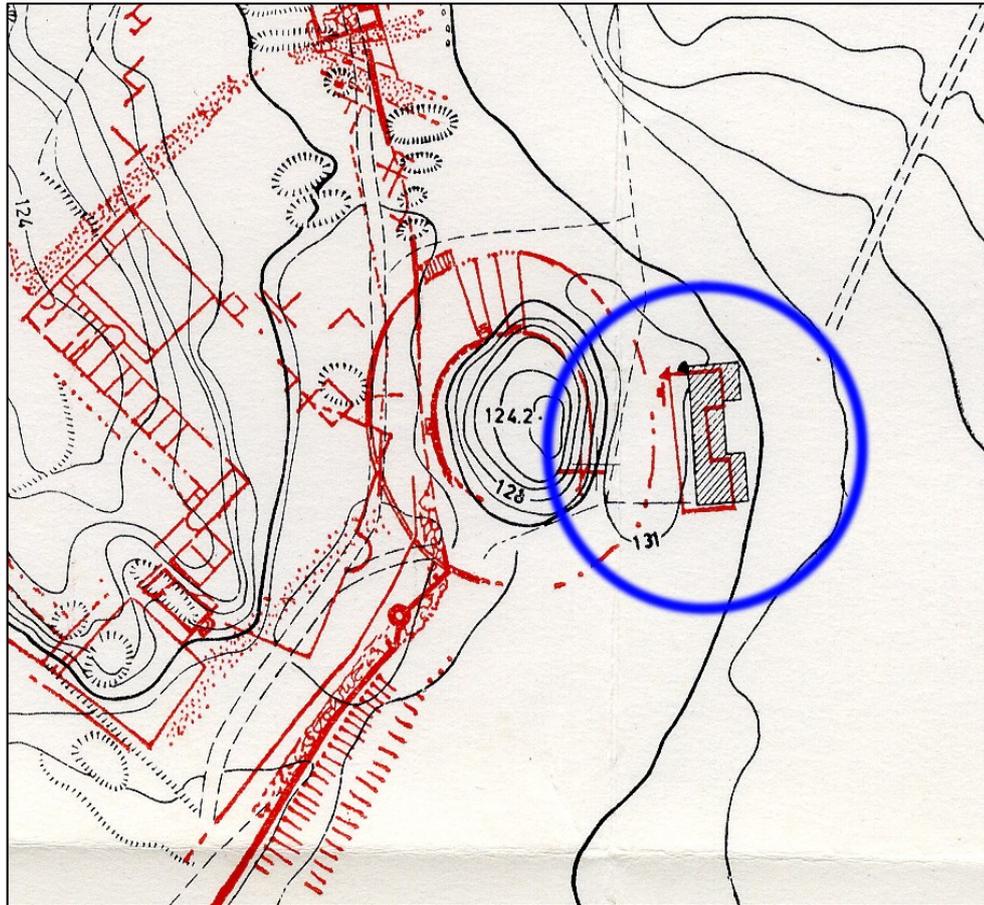


Fig. 6 - Incongruenze fra rilievi di Mertens e cartografia tecnica.

Grazie ad un controllo di misure effettuato con stazione totale nell'area del foro è stato possibile verificare la validità della base cartografica attuale. Per le trincee ed i saggi scavati in aree marginali della città antica invece non è stato possibile effettuare alcun controllo a causa della mancanza di evidenze visibili sul campo e dunque rappresentate su carta. Per queste aree, che sono state interamente ricoperte e che ricadono in terreni tuttora coltivati, si è ricorso esclusivamente alla georeferenziazione originaria.

Una volta allineate alla CTR le tavole sono state sottoposte al processo di vettorizzazione. Tutte le entità sono state pertanto ridisegnate con delle polilinee, fino ad ottenere forme che hanno il vantaggio di poter essere misurate e gestite come oggetti indipendenti.

I limiti di scavo e quelli delle unità stratigrafiche rappresentate sono stati predisposti per ricevere anche la loro quota altimetrica. Tuttavia non è stato sempre possibile assegnare questo valore in quanto l'operazione di quotatura non seguiva i criteri più rigorosi di oggi, con la conseguenza che di molte unità stratigrafiche si riscontra nel migliore dei casi una sola quota.



Fig. 7 - Integrazione dei saggi di scavo nella cartografia ufficiale.

In fase di disegno è stata effettuata una prima distinzione delle entità geometriche in layer suddivisi per trincea, in modo da conferire maggiore ordine e semplicità di utilizzo del progetto CAD.

Terminata la vettorizzazione, i differenti livelli sono stati esportati in formato *dxf* ed importati nel GIS di Herdonia. Il progetto è stato realizzato con **Quantum GIS**, un software open source caratterizzato da un'interfaccia grafica piuttosto intuitiva e *user friendly*, ma che consente di effettuare numerose operazioni come calcoli complessi e particolari visualizzazioni dei dati.

Proprio questa funzione è stata particolarmente utile per produrre una serie di mappe tematiche di Herdonia sfruttando alcune caratteristiche dei dati vettoriali inseriti.

Una delle proprietà dei sistemi informativi geografici infatti consiste nel poter assegnare a ciascun elemento rappresentato graficamente delle informazioni che prendono il nome di attributi e possono essere sia numeriche che testuali.

Sono state previste due tipi di tabelle differenziate in base allo shape file di pertinenza. La prima tabella comprende gli attributi a livello di area di scavo, e presenta la seguente ripartizione:

LAYER	ANNO DI SCAVO	TRINCEA	ETICHETTA	TAVOLA	RIF. BIBLIOGRAFICO
-------	---------------	---------	-----------	--------	--------------------

La colonna LAYER riguarda la natura dell'oggetto selezionato, e quindi indica se una geometria è una trincea di scavo, una traccia di viabilità o se definisce particolari strutture come resti della cinta muraria o di acquedotto.

Come anno di scavo è stato inserito quello letto sulla tavola cartacea, mentre le colonne TRINCEA ed ETICHETTA si equivalgono, con la differenza che la seconda è stata pensata per contenere più testo in modo da visualizzare sulla mappa eventuali commenti in aggiunto al numero identificativo del saggio di scavo.

Le ultime due colonne riguardano il riferimento al numero della tavola cartacea e al volume in cui è possibile reperire lo studio della trincea selezionata.

Per quanto riguarda gli shape file delle singole trincee è stata invece adottata la seguente suddivisione degli attributi:

TRINCEA	ANNO DI SCAVO	US	USM	QUOTA	CRONOLOGIA	TAVOLA	SEZIONE
---------	---------------	----	-----	-------	------------	--------	---------

In questa tabella sono presenti i numeri di unità stratigrafica, eventuali cronologie e i riferimenti alle tavole cartacee, sia planimetrie che sezioni.

Si tratta di una prima caratterizzazione dei dati che può essere via via modificata qualora dovessero emergere nuove necessità in fase di studio della documentazione. Ad esempio sarebbe molto interessante trascrivere le descrizioni delle singole unità stratigrafiche presenti nei giornali di scavo o sulle tavole stesse, tenendo presenti le difficoltà dovute in primo luogo alla lingua utilizzata²⁷⁷, ma anche alla comprensione della grafia di chi ha redatto i documenti. Inoltre, gli strumenti di calcolo implementati all'interno del sistema permettono di aggiungere alla tabella attributi delle colonne con particolari proprietà geometriche, come ad esempio perimetro ed aree delle forme vettoriali.

Il grande vantaggio delle tabelle di attributi consiste nella possibilità di visualizzare i dati contenuti negli shape file, per categorie, in base alla colonna di attributi desiderata. In questo modo è stato possibile produrre una serie di carte con tematismi differenti²⁷⁸.

²⁷⁷ La lingua "ufficiale" dell'équipe belga, adottata per la redazione della letteratura grigia, delle tavole grafiche e delle pubblicazioni era il francese. Tuttavia non mancano descrizioni in lingua fiamminga.

²⁷⁸ Si veda la sezione Tavole in fondo al volume.

V.2. Applicazioni di realtà virtuale.

La documentazione grafica di scavo costituisce un'importante componente della ricerca archeologica, in quanto strumento tecnico a supporto dello studio scientifico di un determinato contesto stratigrafico. I dati spaziali acquisiti a prescindere dalla tecnica di rilevamento, sono un veicolo di informazioni che possono essere indirizzate verso finalità che esulano in parte da quelle scientifiche per assumere caratteristiche maggiormente divulgative. Uno dei canali che si è rivelato particolarmente idoneo per l'elevato impatto comunicativo sul pubblico è la grafica 3D ed in particolar modo il suo impiego in applicazioni di realtà virtuale. Questa tecnologia permette infatti di costruire degli scenari in cui l'utente può interagire con diversi contenuti digitali che prendono il nome di assets. Anche i dati di archivio possono diventare assets, purché siano stabiliti i criteri opportuni.

Nell'ambito di questo progetto sono state sperimentate delle procedure per implementare dati spaziali e topografici all'interno di scenari di realtà virtuale intesi come strumento per la conoscenza e la valorizzazione del sito di Herdonia.

Una volta scelto il contesto applicativo, sono state sperimentate procedure per il trattamento di dati digital born, acquisiti tramite rilievo fotogrammetrico e per la conversione di unità stratigrafiche rappresentate su carta in oggetti digitali tridimensionali.

V.2.1. Due contesti significativi.

La possibilità di integrare dati topografici *digital born* con dati acquisiti tramite rilievo diretto dall'équipe guidata da Mertens, rientra fra gli obiettivi di questo lavoro.

Come già accennato, i dati topografici, opportunamente elaborati, possono coesistere in un unico ambiente virtuale in cui l'utente possa interagire con la ricostruzione della stratificazione archeologica e la relativa sequenza cronologica.

Nel caso di Herdonia sono stati scelti due contesti campione, uno nel centro monumentale e l'altro nei pressi di uno degli accessi alla città, la porta sudoccidentale. I due contesti sono stati selezionati sia per lo stato di conservazione degli elevati, che raggiungono anche 5 metri di altezza, sia per la complessa stratificazione archeologica individuata nel corso degli scavi.

L'area della basilica rappresenta in maniera molto efficace l'intera evoluzione dell'abitato di Herdonia, da centro indigeno munito di fossati difensivi, abitazioni e tombe a camera, a settore nevralgico per le attività civiche della città romana²⁷⁹. Posta sul versante occidentale del foro, fra il Tempio B e la Via Traiana, la basilica, costruita in età augustea, divenne il fulcro

²⁷⁹ Mertens 1971, Mertens 1986, Mertens 1993.

dell'amministrazione giudiziaria di Herdonia, e restò in funzione fino alla metà del IV secolo d.C., quando fu distrutta probabilmente in seguito ad un forte sisma. L'edificio non fu mai più ricostruito, segno della perdita di importanza della città sul piano politico. Sugli strati di macerie fecero la loro comparsa nuove strutture, fra cui un'ambiente absidato di dimensioni ridotte, considerato come piccola cappella, probabilmente con una funzione funeraria.

Una nuova occupazione dell'area è stata attestata a partire dall'XI secolo, con la costruzione di strutture pertinenti all'abitato medievale di Herdonia, ormai quasi completamente sconnesso con l'impianto urbano romano.

Questa articolata situazione è stata ben analizzata da Mertens, che ha isolato differenti stadi di tutta l'area del foro e realizzato delle piante che sono state utilizzate come guida in fase di realizzazione dei modelli tridimensionali.

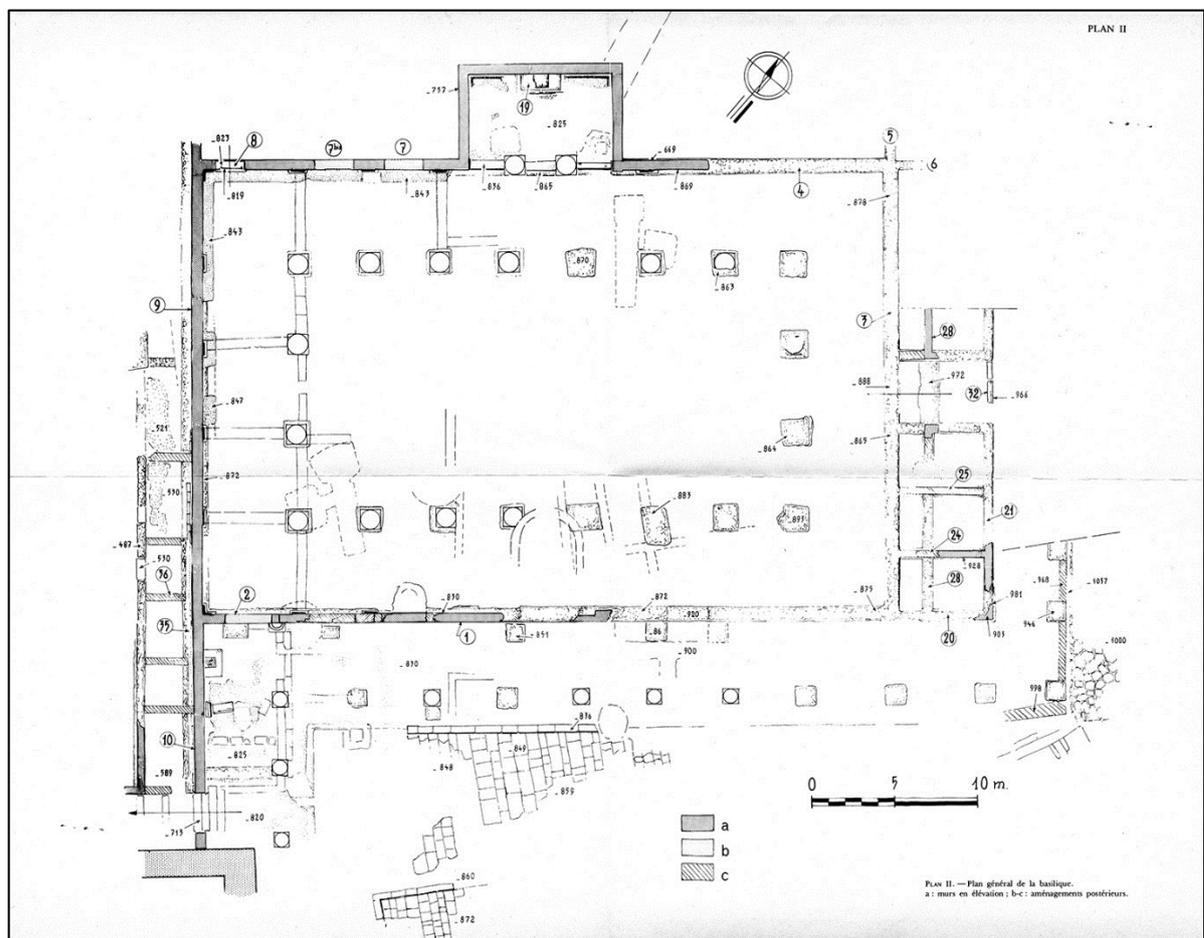


Fig. 8 - Basilica di Herdonia. Planimetria.

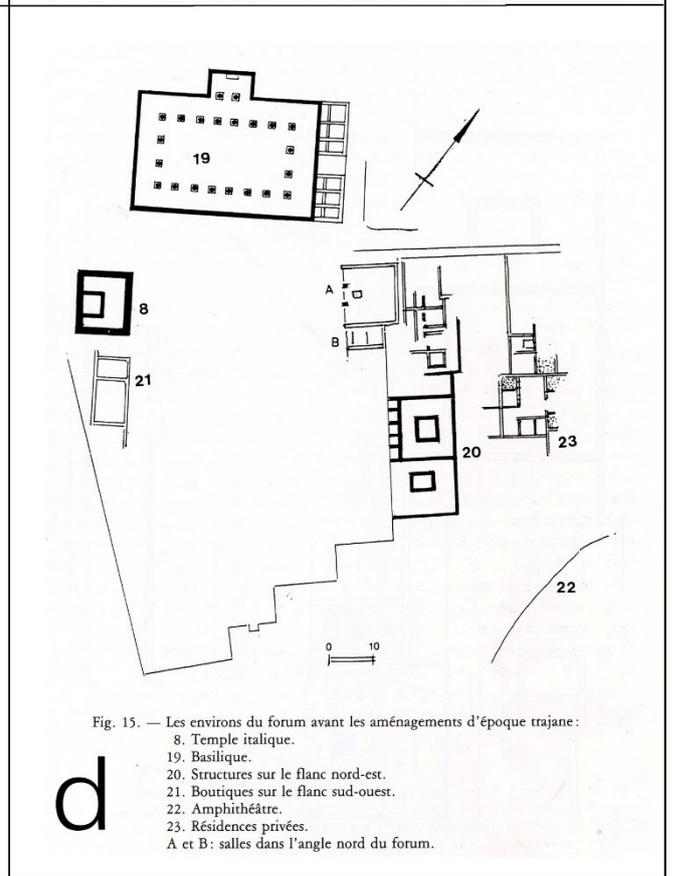
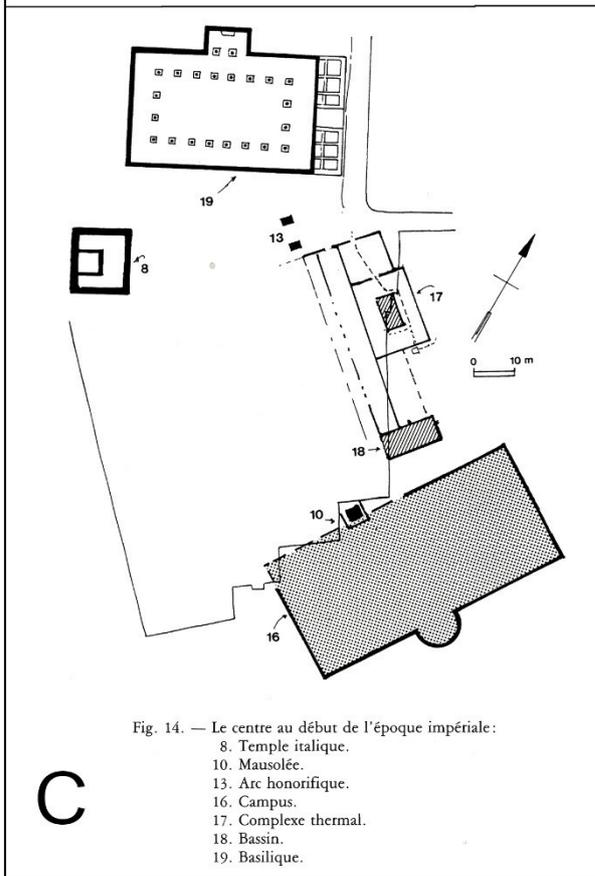
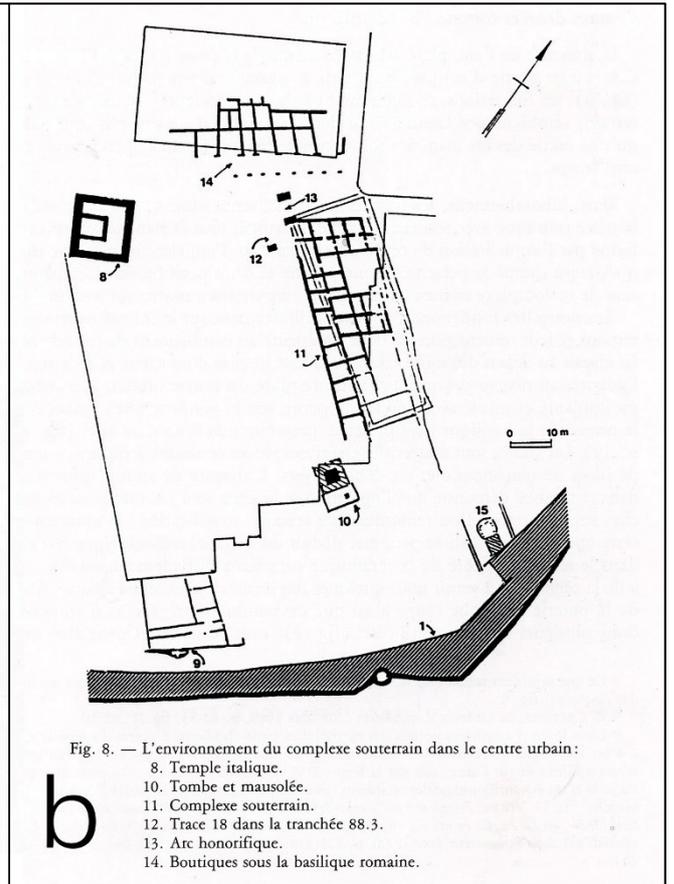
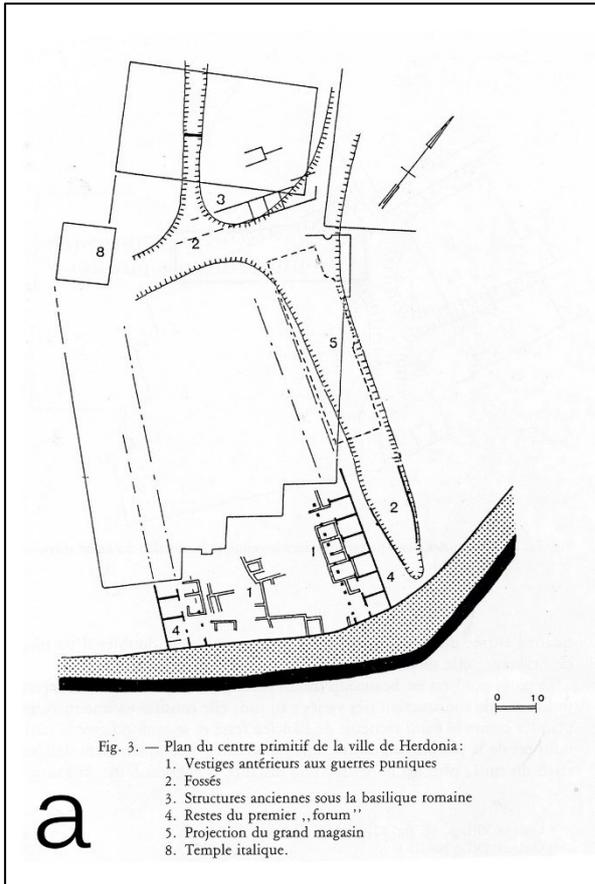


Fig. 9 - Evoluzione dell'area del foro. A) Abitato daunio. B) Età repubblicana. C) Età augustea. D) Epoca pre-traianea.

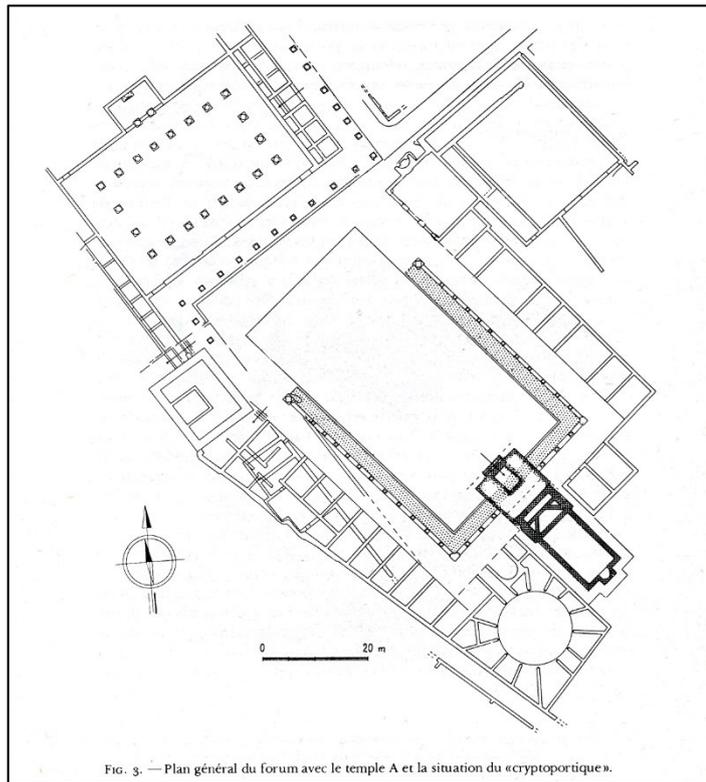
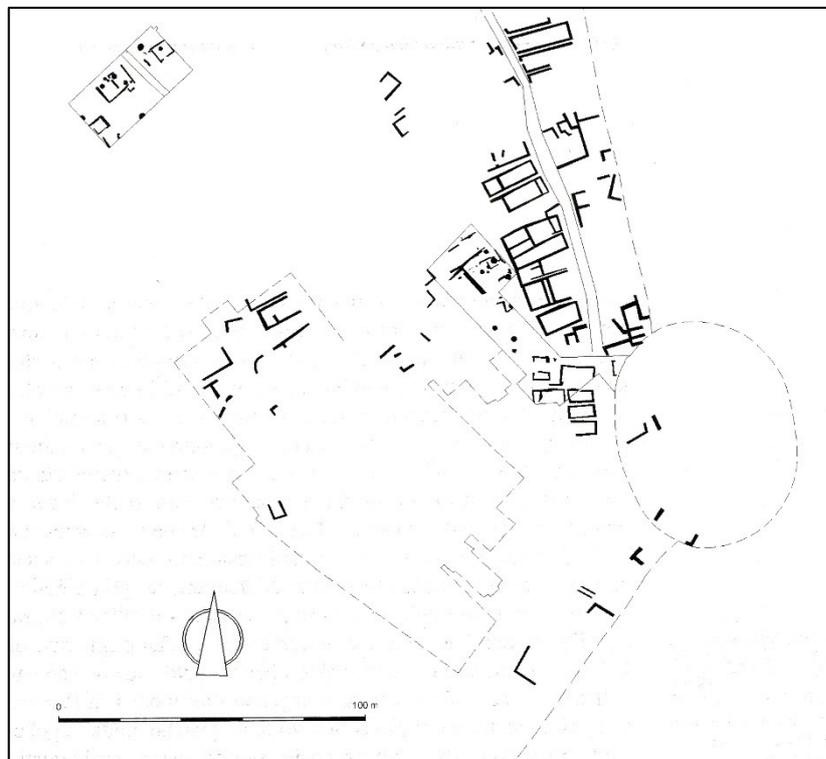


Fig. 10 - Età traianea.



Fig. 11 - Pianta sincronica del Foro di Herdonia.



La sequenza stratigrafica di questo settore è indicativa della complessa vicenda insediativa del sito di Herdonia, interessato dall'avvicinarsi di assetti topografici differenti che hanno apportato notevoli cambiamenti nel corso del tempo.

Mentre il contesto della basilica può restituire un quadro esaustivo della ricostruzione della storia di Herdonia nella sua porzione centrale, la seconda area campione riguarda un settore marginale, ma estremamente importante: la Porta Sud Occidentale.

L'analisi stratigrafica della Porta SO ha invece costituito un testimone particolarmente importante per Mertens, in quanto ha permesso di fornire un notevole contributo alla scansione della sequenza cronologica dell'intera cinta muraria di Herdonia²⁸⁰. Fra tutte le porte urbane, quella sudoccidentale è senza dubbio quella conservata meglio, in quanto gli elevati raggiungono tuttora altezze considerevoli (quasi 5 metri nei punti più alti).

La Porta SO è stata oggetto di studio sin dalle prime campagne di scavo degli anni '60 ed ha permesso di individuare 3 fasi cronologiche della cinta muraria di Herdonia.

La prima, databile fra IV e III secolo a.C., è attestata da resti di una spessa muratura in mattoni crudi legati da argilla, con fondazioni composte da diversi strati di ciottoli di fiume. La seconda fase distinta in questo monumento è databile fra II e I secolo a.C. ed è rappresentata da una prima versione della porta in opera incerta. L'ultima fase è quella che conferisce alla porta un aspetto decisamente monumentale. Il passaggio centrale viene fiancheggiato da due torri quadrate di 6x6 metri, costruite in opera incerta ma con facciate in opera reticolata. Le fondazioni, poggiate sulle murature precedenti, sono in pietra. A circa 32 metri a sud della porta viene costruita una torre circolare.

²⁸⁰ Mertens 1965.

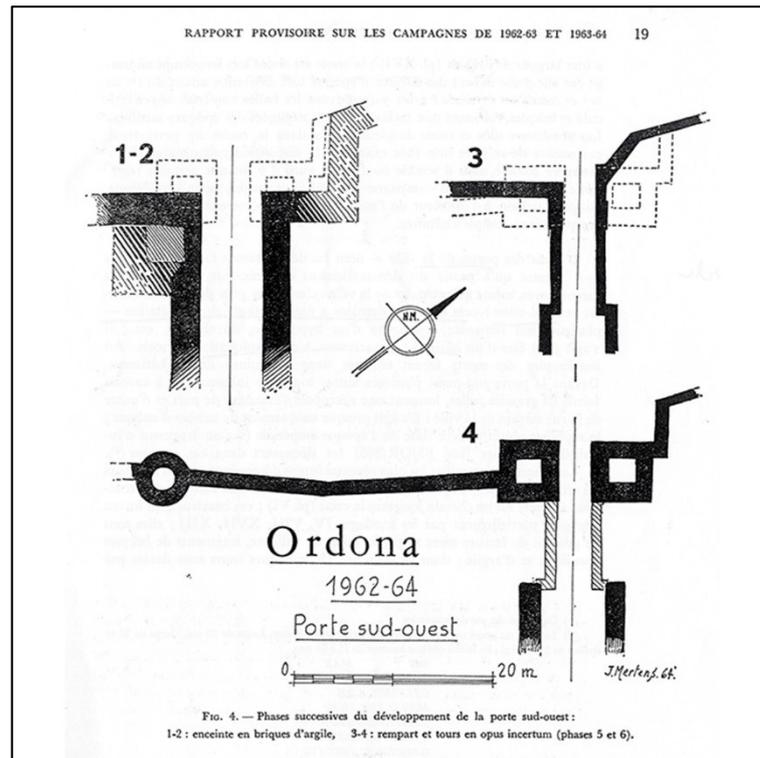


Fig. 13 - Piante di fase della Porta SO (Ordonna I).

La prima operazione effettuata per la restituzione tridimensionale dei due contesti è stata l'acquisizione di dati sul campo tramite rilievo topografico e fotogrammetrico.

V.2.2. Il rilievo fotogrammetrico.

Per il rilievo della basilica e della porta SW di Herdonia è stata adottata la structure from motion, tecnica fotogrammetrica basata sui principi del *range imaging*, ossia quella famiglia di tecniche che consente di generare immagini bidimensionali in cui siano presenti le distanze fra i punti di una scena e un punto specifico.

Acquisizione dei dati

Il lavoro è stato suddiviso in diverse fasi. La prima riguarda il lavoro sul campo, e rappresenta forse il momento più critico poiché dalla qualità delle fotografie dipende l'esito di tutte le elaborazioni successive che portano alla realizzazione del modello finale.

La camera utilizzata per le acquisizioni fotografiche ad Herdonia è una Canon EOS 1100D. Nella tabella seguente sono state riportate le impostazioni utilizzate durante le riprese:

Produttore	Canon
-------------------	-------

Modello	Canon EOS 1100D
F-stop	f/8
Tempo di esposizione	1/200 sec.
Sensibilità ISO	ISO-100
Distanza focale	18 mm

Come è stato riportato nel Capitolo II, non esistono rigorose regole da applicare durante l'acquisizione delle immagini, se non quella di ricordare che ci sia sufficiente sovrapposibilità fra un fotogramma e quello successivo. Tuttavia le condizioni di luce, le caratteristiche orografiche e le dimensioni degli oggetti da acquisire incidono sulle riprese, ed è pertanto necessario che l'operatore si muova nella maniera più adeguata, adattandosi, caso per caso, alla scena da fotografare.

Il numero di fotogrammi non deve seguire precisi schemi: sta all'esperienza dell'operatore infatti valutare quali siano le porzioni di scena su cui insistere aumentando gli scatti e quali invece possano essere rese con un numero minimo di immagini. È utile però ricordare che la produzione di immagini raster richiede l'uso di supporti per l'archiviazione anche ad alta capacità, soprattutto se si considera che un singolo file jpeg, acquisito con la camera descritta sopra, ha un peso medio di circa 7 megabytes.

Se per la resa finale del modello tridimensionale non è necessario stabilire al numero di fotogrammi, tuttavia in alcuni software di elaborazione sfm (structure from motion), dei limiti ci sono. È il caso di Autodesk 123DCatch, in cui non è possibile caricare più di 70 immagini alla volta nella versione desktop per sistemi operativi Windows. In realtà non si tratta della sola limitazione presente in questo programma. Le fotografie infatti vengono scalate provocando una grossa perdita di dettaglio e l'utente non ha alcuna possibilità di controllare parametri importanti come ad esempio le dimensioni delle texture. Va detto che questi limiti rientrano nella concezione della Autodesk di fornire un tool gratuito, intuitivo e facilmente utilizzabile da tutti più che una soluzione professionale per elaborazioni fotogrammetriche.

Nel caso di Herdonia sono stati acquisiti 97 fotogrammi per il rilievo della porta SW e 289 per la basilica. Un numero di fotogrammi che dunque supera di gran lunga quello consentito da Autodesk 123DCatch. Pertanto si è scelto, in accordo anche con la filosofia dell'intera ricerca, di cercare soluzioni alternative che rispondessero sia all'esigenza di maggiore professionalità che di sostenibilità per quanto riguarda costi e licenze del software. Il risultato è stato quello di

adottare un programma gratuito, in parte open source²⁸¹, di elaborazione structure from motion chiamato Visual SFM²⁸².

Questo software, curato da Changchang Wu, programmatore di Google, è stato utilizzato con successo in diversi casi²⁸³, anche con un numero ingente di fotografie, e già solo questo fattore risulta un motivo piuttosto incoraggiante per utilizzarlo nei rilievi di Herdonia.

Nella procedura di Visual SFM non si riscontrano particolari difficoltà per gli utenti, anche se alle prime armi con applicazioni fotogrammetriche, e la sua interfaccia grafica si presenta semplice ma piuttosto comprensibile.

Dopo aver importato il set di immagini della scena da rendere, bisogna effettuare tre operazioni essenziali. La prima di queste, avviabile tramite il comando *Compute Missing Matches*, consiste nella ricerca da parte del programma di coppie di punti in comune fra un fotogramma ed un altro. Non vi è alcun limite sul numero di fotogrammi da importare e l'operazione può essere ripetuta anche dopo aver aggiunto altre immagini al set iniziale. I tempi di calcolo non sembrano essere eccessivamente lunghi, e sono direttamente connessi con la quantità di file raster da sottoporre alla procedura.

L'operazione successiva consente di avviare una prima ricostruzione tridimensionale che consiste di generare una nuvola di punti piuttosto rada tramite il comando *Compute 3D Reconstruction*. Il programma visualizza a schermo la composizione dei punti che definiscono gli oggetti della scena reale e la posizione delle camere per ciascun fotogramma.

Per ottenere un dettaglio maggiore, e dunque una ricostruzione più accurata è necessario passare alla terza operazione, grazie alla quale il software genera una nuvola di punti maggiormente densa. La nuova nuvola di punti viene dunque salvata in un apposito file in formato ply, e contiene sia la coordinate x,y,z che le informazioni cromatiche di ciascun vertice.

Il risultato dell'intera procedura di Visual SFM produce dunque due file principali:

- Un file *bundle* in formato *.out* in cui, oltre alla nuvola di punti rada è archiviata la posizione della camera di ciascun fotogramma all'interno della scena virtuale;
- Un file *.ply* con la ricostruzione più densa della scena reale.

La seconda parte della procedura comprende tutte quelle operazioni necessarie per effettuare il passaggio da nuvola di punti a oggetto tridimensionale definito tramite mesh triangolare. Per le

²⁸¹ La GUI e alcune funzioni sono closed-sourced. Tuttavia alcuni algoritmi implementati nel software hanno il codice sorgente aperto. VisualSFM può implementare eventuali modifiche al codice di questi ultimi.

²⁸² Visual SFM website: <http://ccwu.me/vsfm/> [ultimo accesso: 20/01/2016]

²⁸³ <http://ccwu.me/vsfm/vsfm.pdf> [ultimo accesso: 21/01/2016]

elaborazioni che riguardano il meshing è stato adoperato Meshlab, software libero di cui si è ampiamente discusso nel Capitolo II.

Meshlab consente infatti di importare il file bundle in formato *.out* creato da VisualSFM, assieme ad un file testuale in formato *.txt*, in cui viene descritta la lista delle immagini utilizzate con la relativa posizione della fotocamera. Nella schermata del programma viene visualizzata la prima nuvola di punti, mentre nella finestra sulla destra compare l'elenco delle immagini elaborate in precedenza. È possibile sostituire la nuvola di punti importata con quella maggiormente definita ed effettuare il meshing a partire da quest'ultima in modo da creare una mesh decisamente più accurata e fedele alla scena reale.

Per generare la mesh è stato utilizzato il comando *Surface reconstruction: Poisson*, con valori di profondità Octree 12 e di Solver divide 10. Questi valori possono essere aumentati per ottenere mesh più definite, tenendo sempre conto delle capacità di elaborazione della configurazione hardware in uso.

Una volta generata, la mesh è stata sottoposta ad una verifica delle sue componenti geometriche e della sua morfologia. In particolare sono state individuate ed eliminate le geometrie non coerenti o *non-manifold*, come ad esempio facce triangolari degeneri o intersecanti, o ancora piccole porzioni di mesh distaccate dal corpo principale, frutto di una dispersione di punti, soprattutto in zone periferiche della nuvola originale. Eventuali lacune nella tessitura della superficie 3D sono state colmate tramite il comando *Fill holes*, che appunto crea nuove facce in quelle porzioni in cui sono state eliminate delle primitive geometriche.

Dopo aver conferito una struttura ottimale alle mesh si è passati allo step successivo, il texturing.

Il vantaggio più grande di questa procedura sta nella possibilità di proiettare l'informazione cromatica direttamente dal set di fotografie opportunamente posizionate, o registrate, all'interno della scena. Meshlab infatti consente di trasferire il colore sull'oggetto tridimensionale sfruttando le informazioni del file bundle.out creato precedentemente in VisualSFM. Il comando *Parameterization + texturing from registered rasters* crea prima una UV map, che consiste in una rappresentazione bidimensionale sulla quale vengono proiettate tutte le facce triangolari della mesh e, successivamente viene proiettata automaticamente la porzione di fotogramma corrispondente sulle singole facce. La UV map e la proiezione delle informazioni cromatiche vengono confezionate in un file raster bidimensionale che prende appunto il nome di texture. Inoltre il programma lascia all'utente la possibilità di stabilire la grandezza in pixel dell'immagine finale, permettendo dunque di creare texture con un livello di dettaglio piuttosto elevato.



Fig. 14 - Texture creata in Meshlab

Una volta descritta la prima parte del workflow utilizzato per elaborare i dati fotogrammetrici acquisiti durante la campagna di rilievo ad Herdonia, è opportuno analizzare nel dettaglio la procedura adottata per i due casi campione considerati nell'ambito di questa ricerca: la porta SW e la basilica.

Porta Sud Ovest.

Di questo monumento si conservano gli imponenti resti delle due torri che delimitavano uno degli accessi. Nonostante la folta vegetazione e il pendio piuttosto ripido sul quale è praticamente addossata la torre settentrionale, è stato possibile effettuare un rilievo fotogrammetrico in condizioni abbastanza ottimali, riuscendo dunque a ruotare attorno ad entrambe le strutture.

Sono state scattate 97 fotografie, che, elaborate in VisualSFM, hanno permesso di restituire una nuvola densa composta da quasi 2 milioni di vertici.



Fig. 15 - Nuvola di punti della porta SW con posizionamento delle camere

Per ottimizzare il meshing delle due torri, la nuvola è stata separata in due parti, in modo da ottenere due oggetti 3D distinti, ma posizionati correttamente all'interno dello stesso sistema di coordinate.

Nella tabella seguente sono riportati i file prodotti per ciascun oggetto, assieme ad alcune proprietà:

OGGETTO	NOME FILE	PESO	VERTICI	FACCE	COLORE
Torre N	portaSWsx_cloud.ply	27 MB	1015605	-	Vertex color
	portaSWsx_mesh.ply	114 MB	1204855	2409708	Texture
Torre S	portaSWdx_cloud.ply	20 MB	753415	-	Vertex color
	portaSWdx_mesh.ply	89 MB	938651	1877290	Texture

Si può notare come i file prodotti con queste applicazioni siano piuttosto pesanti, in particolar modo le mesh, in quanto possiedono una componente geometrica in più rispetto alle nuvole di punti (le facce) e la parametrizzazione per la disposizione dell'informazione cromatica codificata nella texture. Inoltre non deve sorprendere se il numero dei vertici aumenta nelle mesh. Questo fenomeno è dovuto al fatto che durante l'operazione di meshing, il software tende

a creare nuova geometria in modo da rendere “chiusa” la superficie finale. In altre parole, la ricostruzione della superficie con l’algoritmo di Poisson, che è quella utilizzata in questo caso, tende a definire oggetti a tutto tondo. Queste porzioni aggiuntive possono in ogni caso essere rimosse dall’utente.

I modelli realizzati sono dunque utilizzabili per essere sottoposti ad eventuali analisi o comunque per essere osservati tramite un qualunque visualizzatore interattivo, anche tramite browser che supportano specifiche librerie grafiche per il rendering di contenuti tridimensionali come WebGL.

Di per sé costituiscono, dunque, documentazione grafica archeologica, visualizzabile su qualsiasi computer tramite appositi software come Meshlab, che è oltretutto liberamente e gratuitamente scaricabile dalla rete. Vantaggio non di poco conto se si considerano le risorse sempre più esigue destinate ad enti pubblici di ricerca e tutela del patrimonio culturale, come ad esempio le Soprintendenze ministeriali.

Tuttavia, lo scopo principale di questo lavoro consiste nella ricerca di percorsi e soluzioni che possano ampliare le modalità di erogazione di questa tipologia di dati a prescindere dal tipo di applicazione interattiva e dall’hardware necessario per visualizzarli. In altre parole, sono state verificate procedure di trattamento delle mesh in vista della loro implementazione in qualsiasi ambiente interattivo per qualsiasi dispositivo fisso o portatile, mobile devices inclusi.

Decimazione delle mesh e baking texture

Proprietà come accuratezza, precisione, livello di dettaglio, che fanno delle tecniche fotogrammetriche una soluzione particolarmente efficace in fase di acquisizione dei dati, hanno come inconveniente più grande il fatto che le mesh finali abbiano caratteristiche topologiche piuttosto complesse, a partire dall’elevato numero di vertici e facce.

Se all’interno dei software di grafica tridimensionale il numero di primitive geometriche è ininfluente ai fini della visualizzazione interattiva e dell’esecuzione di determinate operazioni analitiche, non si può affermare lo stesso qualora si volesse importare un oggetto 3D in un ambiente in cui è necessario ridurre le operazioni di calcolo di processori e schede video, come ad esempio i game engine, o in applicazioni per il web, dove bisogna considerare i tempi di download dei contenuti.

Programmi come Meshlab dispongono di diversi tool per la decimazione delle mesh, che consiste di fatto in una riduzione del numero di triangoli ed in una ridistribuzione della maglia di facce in modo da preservare la topologia definita dalla mesh iniziale. Per decimare le mesh della porta SW di Herdonia è stato utilizzato il comando *Quadric edge collapse decimation*,

che consente all'utente di impostare valori come il numero di facce triangolari. Il criterio scelto per la decimazione è strettamente connesso ai limiti imposti dai game engine più diffusi, in particolare Unity²⁸⁴. Questo motore grafico multiplatforma per la realizzazione di videogame 3D e in generale di applicazioni interattive, impone infatti un limite al numero di vertici per singolo oggetto pari a 65534 unità.

Dunque si è deciso di ridurre il numero di triangoli in modo da rientrare perfettamente in questo parametro, ma con la medesima percentuale per entrambe le mesh. La decimazione avviene impostando il numero di facce triangolari desiderate, non i vertici. Ma il numero delle facce di solito corrisponde quasi al doppio del numero dei vertici, perciò, una volta calcolato un valore al di sotto della quota limite di 65mila vertici, sono state realizzate repliche decimate al 5% dell'originale secondo quanto riportato dalla seguente tabella:

OGGETTO	MESH	VERTICI	FACCE
Torre N	Hi-poly	1204855	2409708
	Low-poly	59965	119928
Torre S	Hi-poly	938651	1877290
	Low-poly	47002	93996

Le mesh low-poly possono dunque essere implementate in qualsiasi game engine, poiché risolvono il problema di eccesso di vertici delle mesh hi-poly, ma non conservano né il livello di dettaglio geometrico, né la parametrizzazione necessaria a disporre la texture lungo la sua superficie. La decimazione infatti fa perdere alla mesh la UV map e dunque è necessario assegnare nuovamente la texture creando una nuova parametrizzazione.

Tuttavia è possibile preservare il livello di dettaglio della mesh iniziale e la qualità fotografica della texture, trasferendo alcune proprietà da una mesh all'altra, tramite le procedure di *baking*²⁸⁵. Il baking è generalmente l'azione di pre-calcolo di alcune componenti, in modo da velocizzare le operazioni di rendering successive. Questa operazione permette di creare immagini bidimensionali in cui sono mappate alcune proprietà di una mesh.

Le operazioni di baking sono state effettuate in Blender²⁸⁶, un software libero e gratuito di modellazione 3D, che permette anche di attingere informazioni da un oggetto e attribuirle ad un altro.

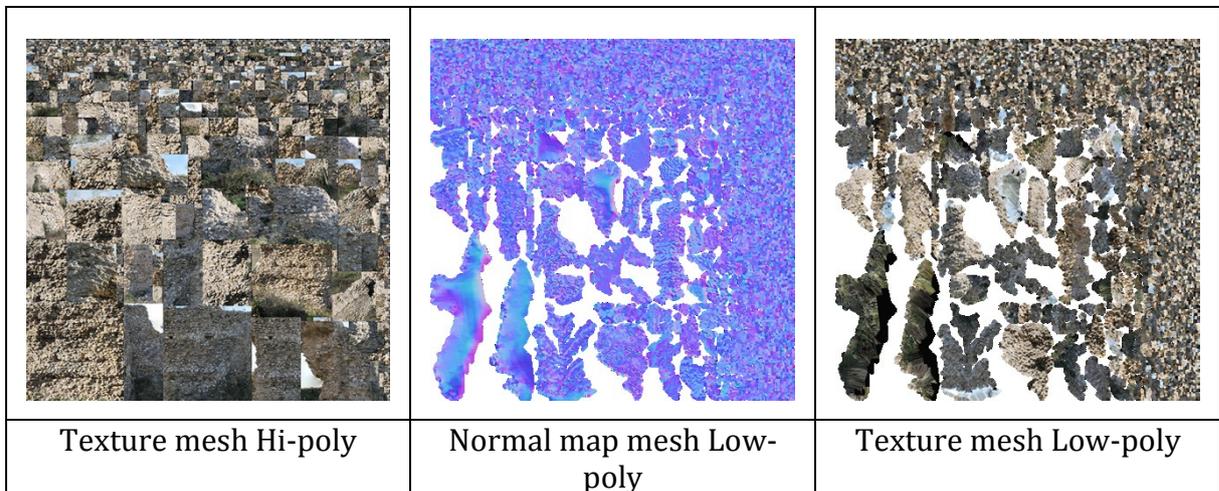
Prima di procedere con il baking è necessario creare la UV map alla mesh decimata. Questa operazione presuppone che vengano individuate sulla mesh delle "linee di taglio" chiamate

²⁸⁴ Unity website. <http://unity3d.com/> [ultimo accesso: 22/01/2016]

²⁸⁵ Blender Wiki. <http://wiki.blender.org/index.php/Doc:2.4/Manual/Render/Bake> [ultimo accesso: 22/01/2016]

²⁸⁶ Blender website. <http://www.blender.org> [ultimo accesso: 22/01/2016]

seams, tramite le quali poter effettuare l'*unwrap*, ossia poter aprire la superficie dell'oggetto per poi proiettarla su un piano bidimensionale. Tuttavia le mesh realizzate con set di dati acquisiti tramite *structure from motion*, risultano avere una maglia di triangoli piuttosto irregolare, e pertanto risulta piuttosto complicato individuare i *seams* più opportuni. In Blender però è possibile effettuare l'*unwrap* in maniera automatica tramite il comando *Smart UV Project*, attivabile dalla modalità *Edit mode*. In questa maniera la superficie dell'oggetto viene scomposta in diverse parti che vengono a loro volta proiettate su un piano bidimensionale andando dunque a comporre la UV map. Le informazioni che sono state attribuite alla nuova mesh sono essenzialmente le normali e il colore, rappresentati rispettivamente tramite una normal map e una texture.



Il risultato finale di questo workflow è stato dunque quello di aver ottenuto modelli 3D delle due torri della porta SW di Herdonia caratterizzate da una geometria più leggera, ma senza grosse perdite di dettaglio. La seguente immagine mostra infatti le due mesh della torre settentrionale riprese dallo stesso punto di vista. Nonostante la prima mesh presenti una maglia di poligoni decisamente ridimensionata, non sembrano esserci notevoli differenze nel loro aspetto.

Basilica.

Con la sua pianta rettangolare di 41 x 27 metri, questo imponente edificio occupava il lato nordoccidentale della piazza del foro. Come è stato già detto, si è scelto di effettuare un rilievo fotogrammetrico di dettaglio delle sue strutture poiché la sequenza stratigrafica di quest'area rispecchia in maniera esaustiva la complessa e lunga evoluzione del sito di Ortona, da abitato daunio a città, con un assetto urbano in continuo cambiamento, dal primo impianto di età repubblicana al momento di massimo splendore in età traianea, dalla nuova configurazione come sede episcopale alla netta destrutturazione in epoca medievale.

Al momento del rilievo la situazione della basilica risultava eterogenea. Nella porzione occidentale, protette da un riporto di terra piuttosto consistente, le strutture murarie si conservano in elevato, fino a raggiungere altezze anche di 3 metri. Via via che si procede verso nord est, le strutture sono sempre meno conservate, talvolta rase fino al livello di fondazione. Anche in questo caso la folta vegetazione ha costituito un problema non secondario, soprattutto nelle aree prive di elevati.

Acquisizione

Considerate le notevoli dimensioni dell'edificio, le condizioni di visibilità e i diversi stati di conservazione delle strutture, si è deciso di fotografare singolarmente ciascuna componente della basilica, badando però che ci fossero sufficienti zone di sovrapposizione fra i diversi set di fotografie. In totale sono state acquisite 289 fotografie ripartite secondo il seguente schema:

Oggetto	Numero di fotogrammi
Muro SO	44
Muro NO	45
Ambiente laterale NO	52
Ambienti annessi NE	23
Muro S (solo resti visibili)	20
Ambiente absidato SO	35
Vedute generali	70
Totale	289

Le zone di sovrapposizione hanno consentito di poter elaborare le fotografie tutte insieme, in modo da poter collocare ciascun oggetto nella posizione corretta all'interno di un unico sistema di coordinate.

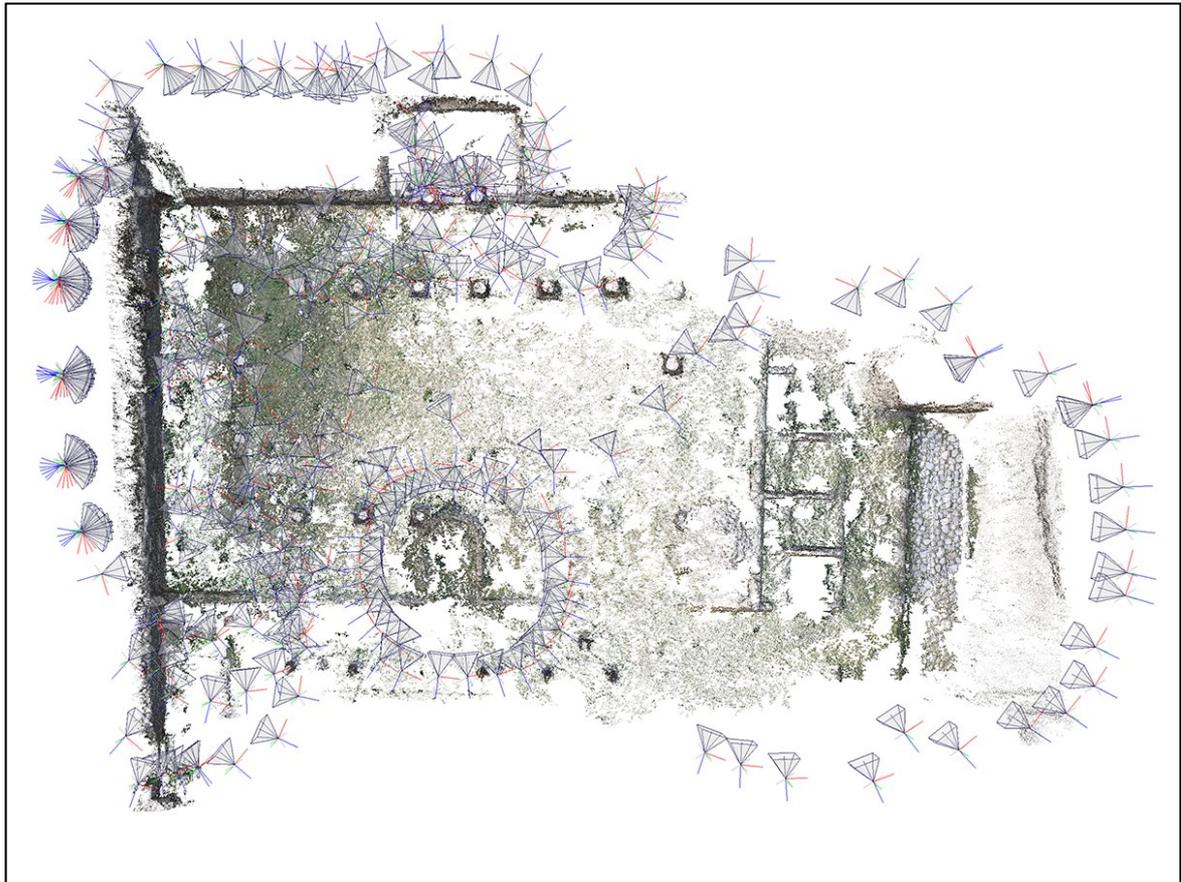


Fig. 16 - Basilica di Herdonia. Nuvola di punti con posizionamento delle camere.

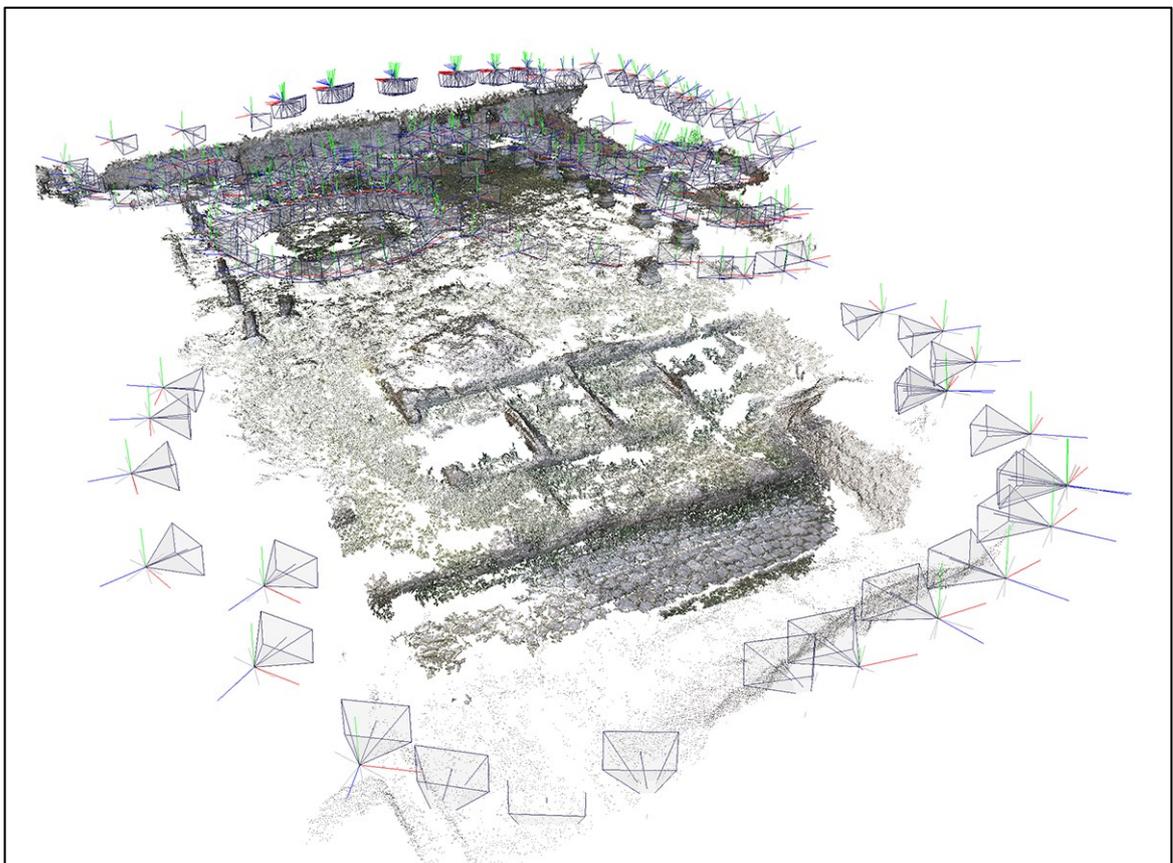


Fig. 17 - Nuvola di punti della Basilica vista da Est.

Meshing

Il risultato dell'elaborazione dei fotogrammi in VisualSFM, è stato, come nel caso della porta SO di Herdonia, una nuvola di punti densi in formato ply, scomposta in più file, e un file bundle in formato .out con la lista delle fotografie registrate.

La nuvola di punti è stata unificata e sottoposta ad un'attenta analisi volta a rimuovere parti periferiche o ridondanti. Soltanto dopo queste operazioni si è provveduto al meshing vero e proprio.

Anche in questo caso è stato utilizzato il comando *Surface reconstruction: Poisson* con valori di *Octree* pari a 12 e di *Solver divide* pari a 10, con il risultato di aver ottenuto una mesh generale di quasi 5 milioni di facce.

OGGETTO	NOME FILE	PESO	VERTICI	FACCE	COLORE
Basilica	basilica_cloud2.ply	162 MB	6411097	-	Vertex color
	basilica_mesh2.ply	116 MB	2450646	4896871	-

Come si vede dalla tabella, la mesh appare più leggera in termini di megabyte poiché la nuvola di punti è stata notevolmente ridotta.

L'elaborazione di questa mesh ha richiesto un trattamento molto più complesso rispetto a quelle della Porta SO, per una serie di differenze dovute alla natura stessa dei monumenti rilevati, a partire dalle dimensioni.

L'area occupata dalla basilica è piuttosto estesa (circa 1650 mq), e lo stato di conservazione delle strutture è alquanto disomogeneo. Un consistente interro nel versante meridionale ha protetto le murature, che in questo punto raggiungono oltre 2 metri di altezza, mentre man mano che si procede verso la Via Traiana i muri sono sempre più bassi, fino ad essere visibili soltanto in cresta. Inoltre, lo stato di abbandono quasi totale dell'area archeologica fa sì che la vegetazione cresca in maniera rigogliosa, coprendo in molti casi le strutture e dunque provocando un forte disturbo, in alcuni casi tanto eccessivo da indurre a scartare intere porzioni della mesh.

Pertanto la mesh globale è stata suddivisa in componenti più piccole in modo da poter essere meglio gestite nelle fasi successive. Dopo le operazioni di pulitura e correzione di geometrie, sono state create le texture delle singole componenti, e si è proceduto a creare delle copie low-poly per ciascuna di esse.

In questo caso la riduzione delle mesh è stata effettuata in Blender, sfruttando le migliori apportate dalla comunità di sviluppatori ai *modifiers* topologici, in particolare quello di *remesh*,

particolarmente indicato per decimare il numero di facce delle superfici preservando in maniera efficace la topologia di partenza.

OGGETTO	NOME FILE	PESO	VERTICI	FACCE
Ambiente absidato	01_abside.ply	19,6 MB	206914	412591
Muro SO	02_muroSO.ply	40,6 MB	427752	852870
Muro SO - B	02_muroSOB.ply	6,65 MB	139829	278399
Muro NO	03_muroNO.ply	14,6 MB	306947	612696
Ambiente N	04_laterale.ply	7,66 MB	160869	321160
Annessi	05_annessi.ply	13,7 MB	289492	576601
Muro SE	06_muroSE.ply	1,18 MB	24970	49446



Fig. 25 - Mesh del Muro SO realizzata tramite SfM.

V.2.3. Metodi di modellazione 3D applicati alla documentazione grafica d'archivio.

Rispetto all'acquisizione di dati *digital born* tramite Structure from Motion, la produzione di oggetti tridimensionali a partire dalla documentazione grafica di scavo richiede procedure del tutto diverse. Se la tecnica di rilevamento si adatta al contesto, documentando lo stato di fatto degli oggetti fotografati, nel secondo caso le procedure di modellazione 3D devono adattarsi al documento, ottimizzando tutte le informazioni geometriche che si possono ricavare da esso.

Uno degli obiettivi di questa ricerca è quello di cercare soluzioni per rappresentare la complessità stratigrafica attraverso modelli tridimensionali che possano successivamente essere integrati con le mesh realizzate con Structure from Motion.

Un primo metodo, sperimentato per la modellazione della sequenza stratigrafica, si basa sull'approccio volumetrico ed in particolare sull'impiego di una particolare categoria di entità digitale: il **voxel**.

Questo termine, nato da una fusione fra le parole *volumetric* e *pixel*, costituisce l'unità base di particolari rappresentazioni grafiche chiamate *raster 3D*. Se una mappa raster bidimensionale è definita da una maglia di piccoli elementi quadrati chiamati appunto pixel, una mappa raster 3D è definita dalla giustapposizione di elementi cubici che comporranno il volume di un determinato oggetto.

Il principio di funzionamento della modellazione per voxel ben si adatta alla modellazione di una sequenza stratigrafica. Per definire la volumetria di un oggetto con questa tecnica bisogna conoscere la posizione delle superfici che lo delimitano, come ad esempio l'interfaccia superiore e quella inferiore di uno strato di terra.

Proprio questo principio è stato utilizzato per modellare unità stratigrafiche ricostruendo la loro volumetria. Il software utilizzato fa parte della famiglia dei GIS open source e si chiama **GRASS**. GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)²⁸⁷ è un software libero utilizzato per la gestione e l'analisi di dati geospaziali, image processing, produzione di mappe e grafici, modellazione spaziale e visualizzazione. Ampiamente utilizzato in tutto il mondo in ambito sia accademico che commerciale, GRASS è un progetto ufficiale della fondazione OSGeo (Open Source Geospatial Foundation). Tramite GRASS è possibile creare delle mappe raster a partire dai punti di quota degli strati, in modo da definire i modelli digitali di elevazione, DEM, dell'interfaccia superiore e di quella inferiore dell'unità stratigrafica²⁸⁸. Queste due particolari mappe raster possono essere utilizzate per ricreare la volumetria dello strato in formato vtk.

²⁸⁷ GRASS GIS: <https://grass.osgeo.org/> [ultimo accesso: 18/01/2016].

²⁸⁸ Bezzi et alii 2006.

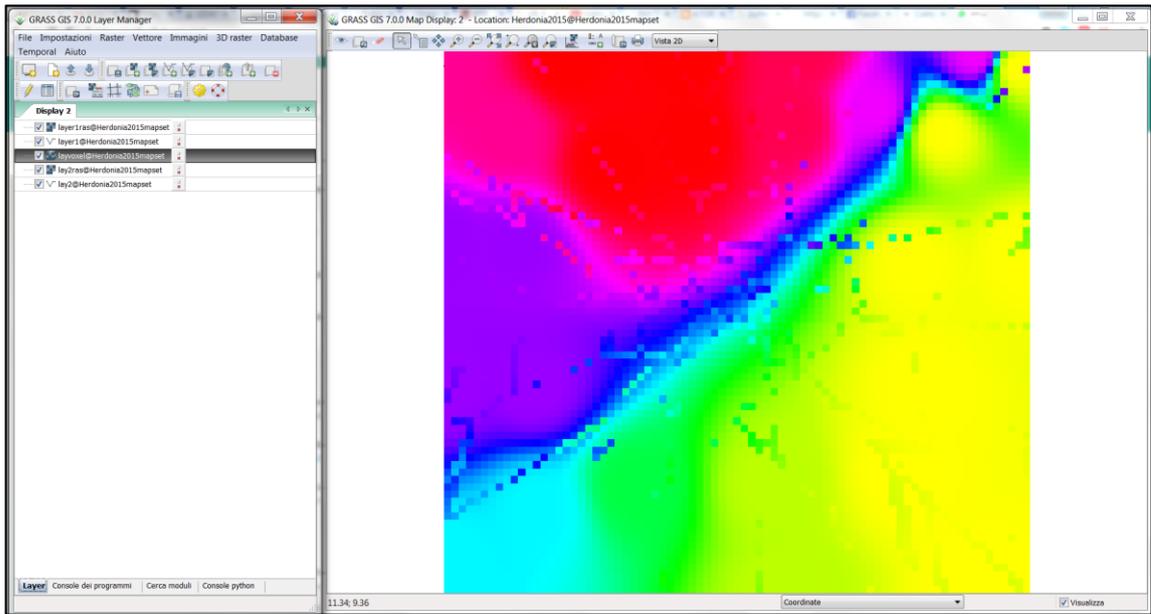


Fig. 18 - GRASS. Visualizzazione di un DEM.

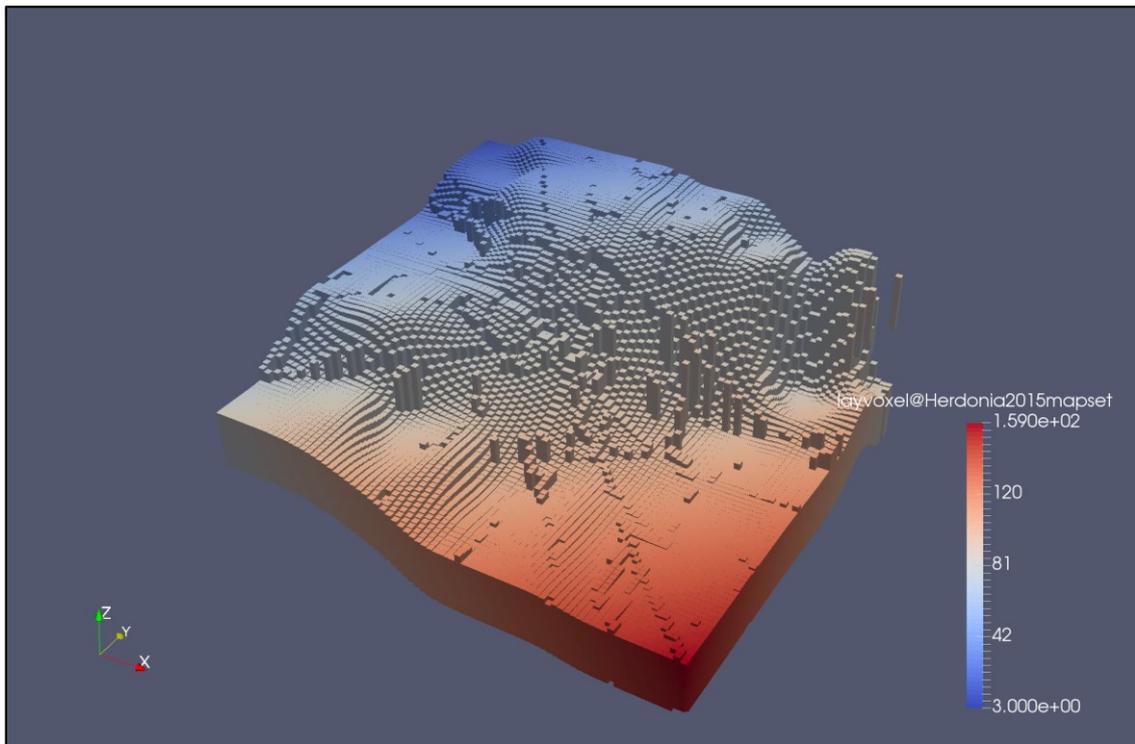


Fig. 19 - Modellazione con voxel di unità stratigrafiche.

Tuttavia, la modellazione voxel per la ricostruzione di stratigrafie di Herdonia ha posto sin dagli inizi dinanzi ad ostacoli che hanno indotto ad adottare strategie differenti. I limiti non riguardano la tecnica in sé, ma la documentazione grafica di archivio. L'assenza di overlay non permette di conoscere i limiti di tutte le unità stratigrafiche non disegnate sulla pianta delle trincee, rendendo inefficace qualsiasi tentativo di ricostruzione tridimensionale. Una situazione

analoga riguarda le informazioni altimetriche degli strati. Ad eccezione degli strati rappresentati in sezione, per altre unità stratigrafiche si dispone nel migliore dei casi di un valore di quota. La documentazione grafica di Herdonia, presente in archivio, è stata pertanto ritenuta non idonea ad una conversione integrale tridimensionale.

Abbandonato pertanto questo percorso, si è passati ad una strategia differente. Se la documentazione grafica non fornisce sufficienti dati geometrici per una riproduzione digitale 3D, basata su elaborazioni numeriche, le descrizioni e le ricostruzioni di Joseph Mertens hanno restituito una notevole quantità di informazioni che possono essere sfruttate per modellare, se non le intere sequenze stratigrafiche, almeno delle componenti significative.

Questa situazione risulta particolarmente evidente per i due contesti presi in esame. Nel caso della Porta SO sono state redatte piante di fase piuttosto chiare, che permettono di ricavare alcune informazioni geometriche, mentre la descrizione delle fasi cronologiche della cinta muraria di Herdonia forniscono puntuali informazioni sulle tecniche edilizie adoperate nelle varie epoche.

Anche per la Basilica si dispone di importanti elementi, come ad esempio la descrizione del fossato daunio e il rilievo di dettaglio delle tombe a grotticella pertinenti all'occupazione preromana oppure le planimetrie in cui le unità stratigrafiche murarie sono state divise per fasi.

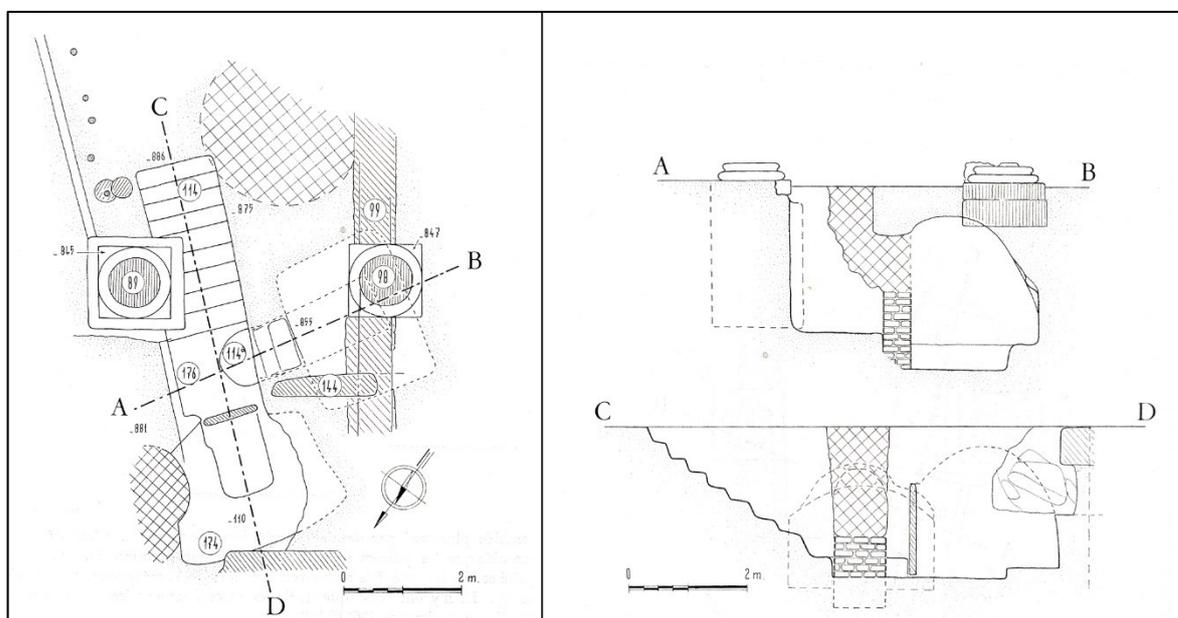


Fig. 20 - Tomba 114. Planimetria e sezioni.

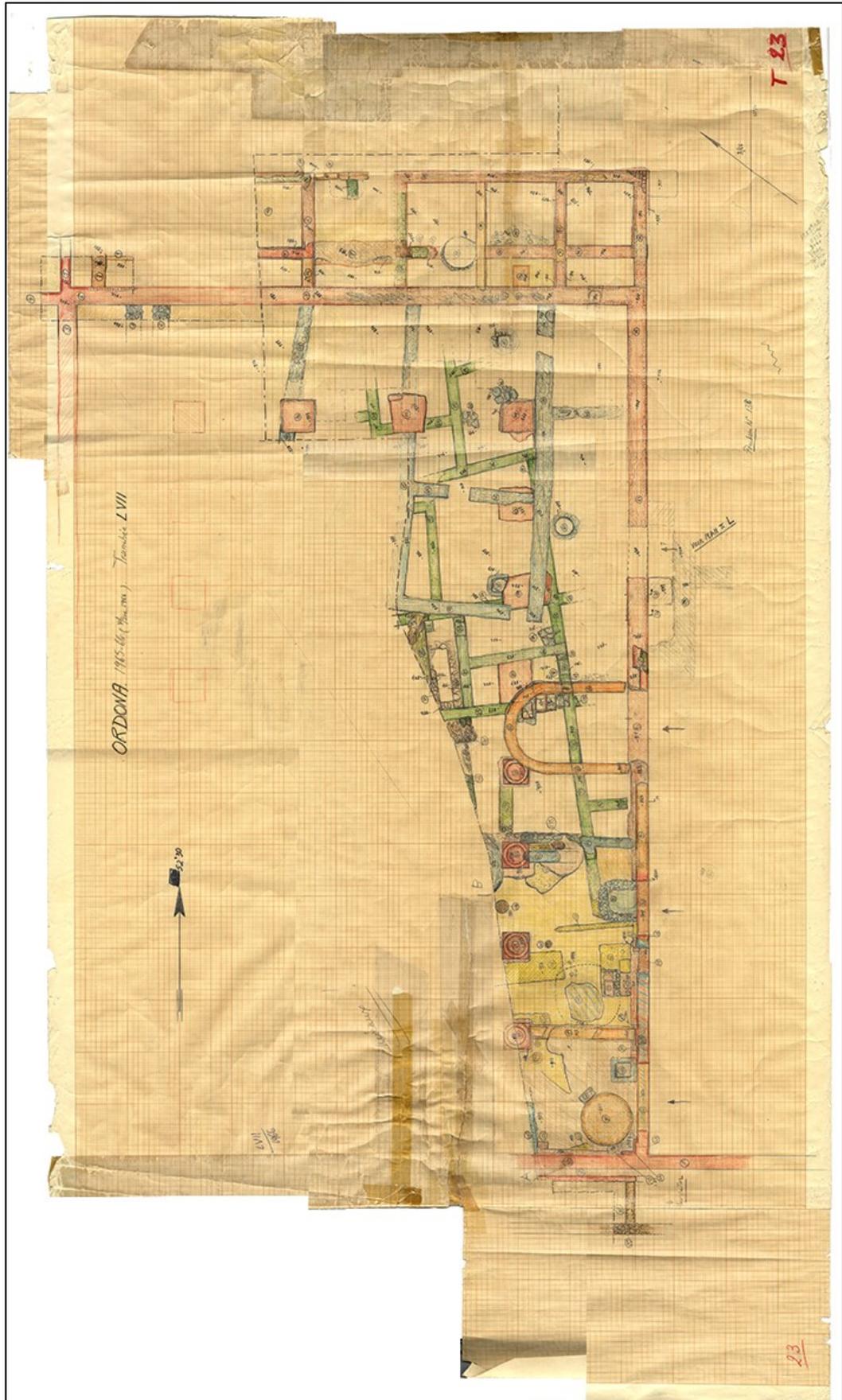


Fig. 21 - Planimetria della Trincea LVII con distinzione delle fasi. Giallo: epoca daunia, Verde: età repubblicana, Rosso: età augustea, Arancione: tarda antichità, Blu: Medioevo.

La realizzazione dei modelli tridimensionali delle unità stratigrafiche selezionate in base all'analisi della documentazione e allo studio scientifico dei contesti è avvenuta tramite modellazione tradizionale. Anche in questo caso si è scelto di utilizzare un software open source, lo stesso

I dati archeologici, in questo caso geometrie rappresentate su carta e dimensioni estrapolate dalle pubblicazioni sono stati pertanto inseriti all'interno di un unico sistema di coordinate e sulla base delle tavole acquisite in formato raster sono state disegnati dei segmenti vettoriali per delimitare i contorni planimetrici. Le geometrie così ottenute sono state estruse in maniera da definire le forme tridimensionali degli oggetti da rappresentare.

CAPITOLO VI - CONDIVISIONE IN RETE

VI.1. Condivisione di dati d'archivio tramite piattaforme per il web.

Quello della condivisione dei dati per la diffusione della conoscenza archeologica di Herdonia è il tema che rappresenta la finalizzazione delle procedure operative messe a punto in questa ricerca.

Sono stati percorsi due itinerari differenziati in base a due modalità di fruizione, la prima, più tecnica, relativa alla pubblicazione della cartografia di Herdonia e la seconda, orientata su modalità di condivisione della documentazione digitale tridimensionale. Per entrambi i percorsi sono stati esaminati aspetti e criticità di diverse soluzioni software che permettono di pubblicare le categorie di dati elaborati su piattaforme per il web.

Pubblicare mappe.

La prima modalità di fruizione permette di esaminare soluzioni per la pubblicazione su web della nuova cartografia di Herdonia, risultato del lavoro di analisi dell'archivio Mertens.

Le caratteristiche del web di oggi permettono di sfruttare l'interfaccia di un browser per visualizzare contenuti di diverso tipo, grafici, sonori, video.

Questa particolare proprietà è ormai ampiamente sfruttata anche nel panorama del software geografico per la pubblicazione su web di mappe interattive. All'interno di Q-Gis ad esempio, sono state implementate delle *utilities* proprio con la funzione di esportare i propri dati spaziali in una pagina HTML. Questa soluzione è stata adottata anche per il GIS di Herdonia, con il risultato di aver creato un primo rapido strumento di fruizione delle mappe.

Sono stati utilizzati tre plug-in diversi per l'esportazione delle cartografie in pagine HTML. I primi due, chiamati *QGis2leaf* e *QGis2web*, consentono di creare mappe per il web dal set di dati vettoriali e raster presenti all'interno del progetto GIS, replicando alcune caratteristiche come la lista dei layer, gli stili e l'estensione geografica. Inoltre è possibile implementare alcuni strumenti di particolare utilità, come legende e motori di ricerca.

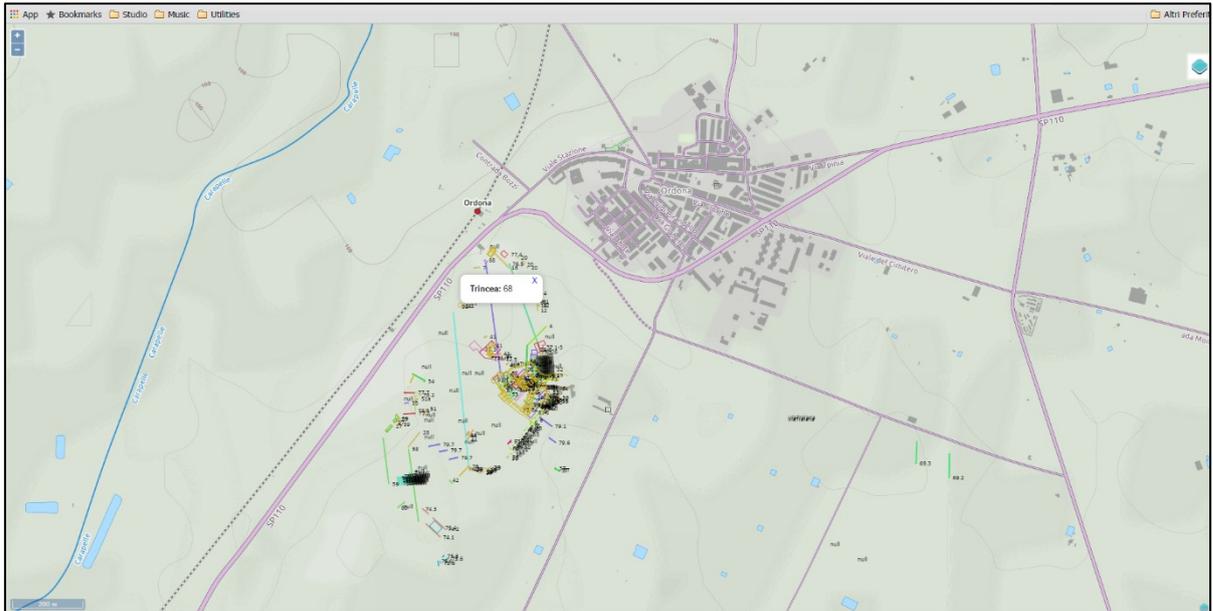


Fig. 26 - QGIS2web. Esportazione di layer vettoriali del GIS di Herdonia in pagina HTML.

Il terzo plug-in utilizzato consente di esportare dati vettoriali e raster, ma con la possibilità di visualizzarli in tre dimensioni. *Qgis2threejs* infatti ha un'architettura più articolata che utilizza *three.js*, una libreria Java 3D che sfrutta le proprietà dei browser di ultima generazione per visualizzare contenuti caratterizzati dall'elevata qualità grafica²⁸⁹.

La particolarità di questo software consiste nella capacità di lettura delle informazioni geometriche tridimensionali e dunque nella possibilità di resa di elementi come i DEM, ovvero modelli digitali di elevazione.

²⁸⁹ Sul concetto di libreria si veda più avanti. *Three.js* è una libreria scritta in JavaScript, open-source, scaricabile liberamente da <http://threejs.org/> [ultimo accesso: 29/03/2016]. *Three.js* può essere implementato soltanto in browser che supportano pienamente le librerie grafiche WebGL.

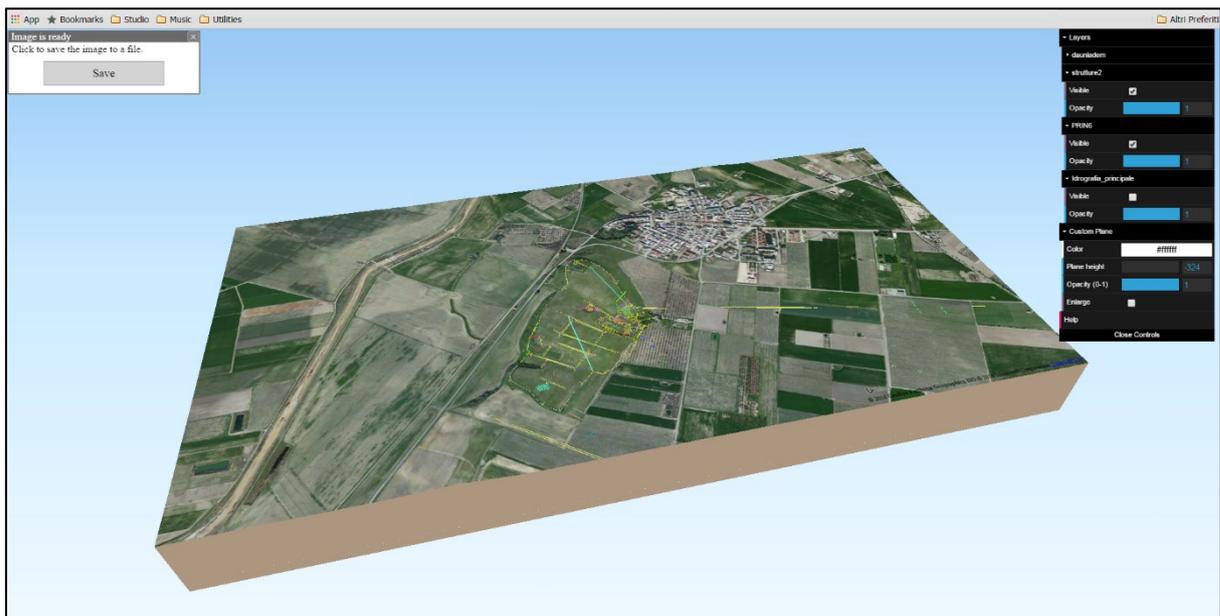


Fig. 27 - Qgis2threejs. Esportazione della cartografia di Herdonia su DEM.

In fase di esportazione è possibile utilizzare come base raster diverse cartografie disponibili in rete, sia open che proprietarie, come OpenStreetMap, Google Maps e Bing, in modo da fornire una visualizzazione che integri i propri dati geografici con mappe di larga diffusione.

I plug-in di export per il web di Q-Gis costituiscono degli ottimi strumenti per la condivisione di dati spaziali, ma soltanto per quanto riguarda gli aspetti grafici. Il contenuto delle pagine HTML generate infatti è uno strumento di visualizzazione, e sono poche le possibilità di estrarre informazioni dal dataset. Eppure il grande vantaggio di un sistema informativo geografico sta proprio nella possibilità di produrre nuove informazioni, interrogando i dati, mettendoli in relazione, effettuando analisi spaziali.

Per questa ragione la pubblicazione di dati spaziali andrebbe effettuata tramite piattaforme che in un certo senso possano riprodurre in un browser gran parte delle funzionalità di un software desktop GIS, vale a dire i **WebGIS**.

Un WebGIS è di fatto una traduzione web oriented del GIS. Ciò vuol dire che come il software stand-alone, esso integra una parte di gestione di dati territoriali e un'altra di gestione di database, con l'aggiunta di una terza parte che riguarda il lato web e che costituisce un livello di complessità non indifferente.

Realizzare un WebGIS significa di fatto creare un nuovo software caratterizzato da una serie di requisiti tecnici compatibili sia con il lato server, e dunque hardware, che con le specifiche dei linguaggi implementati nelle pagine web. Questa complessità giustifica la scelta alla base di numerosi progetti di realizzazione di WebGIS archeologici, di promuovere la collaborazione fra esperti di dominio differenti, sia per il ramo tecnologico che per quello umanistico.

Piattaforme WebGIS richiedono infatti il lavoro integrato di informatici professionisti (sistemisti, programmatori, sviluppatori web, esperti di database, ecc.) e di figure, in questo caso archeologi, che possano curare l'intero ciclo produttivo dei dati.

Esistono diverse risorse per creare WebGIS efficienti, soprattutto nel panorama del software libero ed open-source. Le soluzioni professionali sono caratterizzate da architetture software complesse, e richiedono delle buone conoscenze informatiche di base sia sulle tecnologie integrate in un sistema geografico che su quelle necessarie per strutturare un ambiente web.

Non è certo un obiettivo di questo progetto realizzare un sistema informativo da zero, sia perché sarebbe poco attinente con il tema della ricerca, sia perché è opinione di chi scrive rispettare il dominio scientifico di pertinenza, senza avere la pretesa di potersi sostituire, anche se in minima parte, alle professionalità competenti.

Integrare competenze fra domini differenti non può dunque che azionare un circolo virtuoso tramite il quale esplorare nuovi scenari. È ciò che è accaduto anche in ambito culturale ed archeologico, con la realizzazione di alcuni importanti progetti per la gestione di dati come *Arches*²⁹⁰ e *ARK*²⁹¹.

Si tratta di piattaforme per il Cultural Resource Management open-source, che consentono di archiviare e gestire dati archeologici, compresi i dati spaziali. *Arches*, sviluppato da *Getty Conservation Institute*²⁹² e *World Monuments Fund*²⁹³, è una piattaforma software per l'archiviazione e la gestione di dati relativi pensata per istituzioni culturali.

Il sistema *ARK* (Archaeological Recording Kit) invece, sviluppato dalla compagnia inglese *L-P Archaeology*, è un kit web-based per l'archiviazione e la diffusione di dati archeologici, munito di strumenti di modifica, di visualizzazione e di condivisione dei dati. Si presenta come piattaforma piuttosto flessibile sia per la caratteristica di essere totalmente open-source, e dunque liberamente modificabile, sia per la varietà di informazioni digitali che può gestire (database, fotografie, dati GIS, modelli 3D, contenuti multimediali).

Nonostante le difficoltà di realizzazione di piattaforme WebGIS efficienti, il web 2.0 ha aperto le porte ad una numerosa serie di soluzioni per la condivisione di dati geografici e, dal momento che questo progetto intende riflettere su dei metodi di trattamento di dati archeologici spaziali, sono stati sperimentati alcuni di questi software.

Mapbox.

²⁹⁰ Arches Project: <http://archesproject.org/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

²⁹¹ ARK: <http://ark.lparcology.com/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

²⁹² The Getty Conservation Institute: <http://www.getty.edu/conservation/> [30/03/2016].

²⁹³ World Monuments Fund: <https://www.wmf.org/> [30/03/2016].

Si tratta di un provider che permette di creare e modificare mappe da condividere su siti web. Nato nel 2010 come progetto sperimentale, Mapbox è diventato in breve tempo un modello efficiente di condivisione di dati geografici, in un panorama fino ad allora povero di soluzioni. I dati spaziali utilizzati da Mapbox sono attinti da risorse aperte, come *OpenStreetMap* e *NASA*, ma anche proprietarie come *DigitalGlobe*.

Tramite un editor user-friendly, Mapbox Studio, è possibile creare mappe definendo tutti gli aspetti grafici e selezionando dati e proprietà da visualizzare.

Il provider consente l'upload di propri dataset in diversi formati: MBTiles, KML, GPX, GeoJSON, Shapefile e CSV per la conversione in elementi vettoriali, GeoTIFF per i formati raster.

Inoltre Mapbox mette a disposizione una libreria Java per lo sviluppo di web-app e kit di sviluppo per sistemi operativi di dispositivi mobili come Android e iOS, in modo da permettere agli utenti più esperti di creare le proprie interazioni con le mappe da pubblicare.

uMap.

Si tratta di un software open-source che permette di creare mappe da incorporare all'interno di siti web. Come per il caso precedente, anche uMap offre una serie di strumenti per definire lo stile della mappa e aggiungere elementi vettoriali in forma di linee, poligoni o POI (Points of Interest). Possono essere importati dati personali in formato GeoJSON, GPX, KML o CSV.

Una volta creata la mappa, viene fornito il codice HTML per incorporarla in pagine web, con all'interno tutti gli script necessari per consentire le interazioni di movimento.

Le cartografie di base utilizzate da uMap sono attinte esclusivamente da OpenStreetMap.

CartoDB.

Questo software è una vera e propria piattaforma SaaS (Software as a Service) che fornisce strumenti GIS per la creazione di mappe e applicazioni web-oriented. Essendo appunto un servizio, CartoDB prevede una serie di profili utente, gratuiti per uso non commerciale e a pagamento per uso professionale.

CartoDB è una piattaforma OpenSource che integra una serie di tecnologie come librerie Java e numerose interfacce di programmazione, come ad esempio l'API SQL per gestire database.

L'editor delle mappe è piuttosto intuitivo e permette di effettuare numerose operazioni, anche complesse come ad esempio l'impostazione di interrogazioni per database, riproducendo in parte alcune funzionalità dei GIS desktop.

I dati spaziali possono essere importati in diversi formati, ed il sistema può leggere anche le tabelle attributi, in modo da poter impostare visualizzazioni categorizzate in base ai valori delle singole colonne.

Una funzione interessante di CartoDB è quella di sincronizzare l'account utente con servizi personali di data storage come Google Drive e Dropbox, sfruttando dunque le proprietà delle piattaforme cloud.



Fig. 28 - Mapbox. Interfaccia di editing.

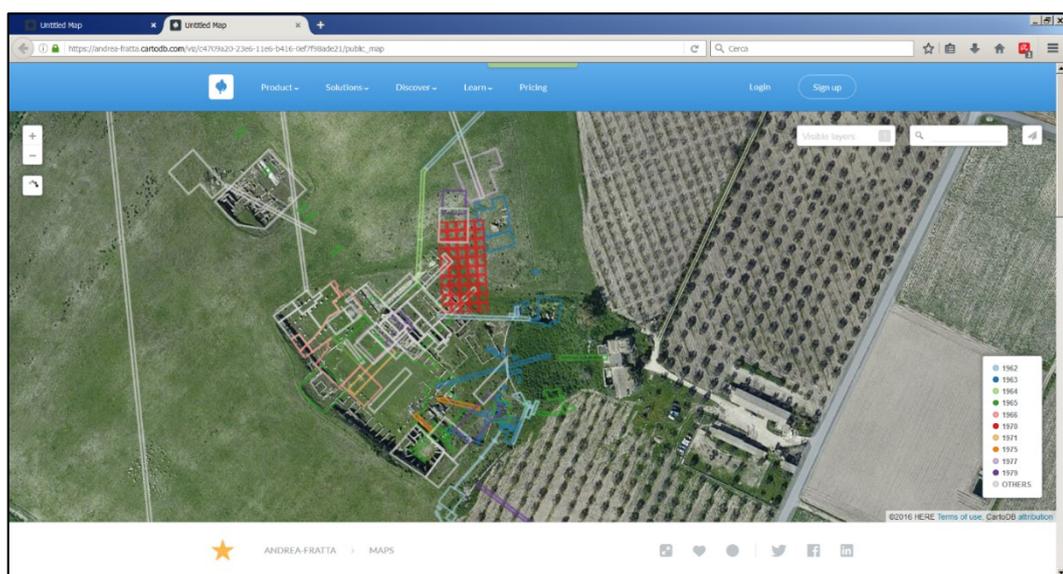


Fig. 29 - CartoDB. Visualizzazione categorizzate delle trincee di Herdonia in base all'anno di scavo.

VI.2. Servizi online per la visualizzazione interattiva di modelli 3D

I modelli 3D realizzati con tecniche fotogrammetriche sono stati pensati ed elaborati per essere condivisi in rete, tramite visualizzatori predefiniti.

Dopo essere stati elaborati in Blender in modo da ridurre in maniera piuttosto sensibile la quantità di facce triangolari delle mesh originali senza perdere informazioni cromatiche e di dettaglio, i modelli sono stati esportati in formati compatibili con le moderne piattaforme per lo sharing di contenuti tridimensionali.

Ormai è ben noto come la caratteristica predominante del web di ultima generazione sia quella di essere *social*, e ciò è pienamente dimostrato dalla nascita di numerosi network, alcuni dei quali dedicati alla condivisione di particolari contenuti, come ad esempio Instagram o Tumblr per la condivisione di fotografie o Spreaker per la condivisione di podcast audio. Da qualche anno sono presenti in rete social network che permettono di visualizzare e di scaricare modelli tridimensionali. È il caso di piattaforme come p3d.in e Sketchfab.com, nate in seguito alla diffusione di HTML5 e delle librerie grafiche WebGL, che consentono di visualizzare scenari tridimensionali direttamente nei browser compatibili.

Come per qualsiasi social network, il funzionamento di queste piattaforme è piuttosto semplice. Una volta effettuato l'accesso, l'utente può sfogliare le gallerie di modelli tridimensionali di altri utenti e, previa autorizzazione del proprietario, procedere con il download. Anche allestire la propria dashboard è un'operazione molto intuitiva. Possono essere caricati diversi formati di file, fra cui vanno ricordate estensioni per i comuni software di modellazione come *.3ds per 3DStudio Max, *.blend per Blender, o ancora i formati aperti *.ply o *.obj; inoltre è possibile aggiungere texture e materiali in un unico file compresso zip o rar.

Estensioni supportate in Sketchfab
3DC point cloud (.3dc)
3DS (.3ds)
ac3d (.ac)
ASCII (.asc)
Biovision Hierarchy (.bvh)
Blender (.blend)
Carbon Graphics Inc (.geo)
Collada (.dae)
Design Web Format (.dwf)
Designer Workbench (.dw)
DirectX (.x)
FBX (.fbx)
Generic Tagged Arrays (.gta)
Kerbal Space Program (.mu)
Keyhole Markup Language (.kmz)
Lightwave (.lwo .lws)
Open Flight (.flt)
Open Inventor (.iv)
OpenSceneGraph (.osg .osgt .osgb .ive)
Polygon File Format (.ply)
Shape (.shp)
Standard Tessellation Language (.stl)
Valve (.vpk)
Virtual Reality Modeling Language - VRML (.wrl, .wrz)
Wavefront (.obj)

È interessante notare come negli ultimi tempi diversi musei si siano dotati di strumenti per la condivisione di modelli tridimensionali di parte delle proprie collezioni realizzati con laser scanner o tecniche fotogrammetriche.

Le modalità di erogazione si sono via via conformate in base alla tecnologia dominante nel web in un determinato momento storico, perché, come è noto, per quanto Internet abbia solo pochi decenni di vita, ha già conosciuto numerose rivoluzioni. Il web 2.0 ha di fatto cambiato la concezione della rete globale, creando servizi e piattaforme comuni e accessibili per tutti gli utenti. È interessante notare come in ambito economico sia stato messo in evidenza come proprio attorno al tema dell'accesso ruotino i cambiamenti più importanti. Già nel 2000, Jeremy Rifkin scriveva che i mercati avrebbero ceduto il passo alle reti e la proprietà sarebbe stata progressivamente sostituita dall'accesso. Per lo studioso statunitense infatti la produzione

industriale avrebbe ceduto il passo a quella culturale, forgiando un nuovo capitalismo fondato sull'accesso alle informazioni ed alle esperienze culturali²⁹⁴.

La nuova frontiera del marketing sarebbe dunque legata alla commercializzazione di esperienze più che di prodotti, e l'intrattenimento elettronico rientra pienamente in questa visione.

Una simile intuizione in ambito culturale, sembra sia stata avuta da tutti quei musei che hanno cercato di fare promozione aprendo le proprie collezioni alla comunità virtuale mondiale.

È esattamente ciò che è successo con la creazione dei musei virtuali. Dai primi esperimenti in cui venivano adoperate particolari applicazioni per web, come Flash, molti musei oggi hanno un account su piattaforme come *Sketchfab* per condividere le proprie gallerie virtuali.

I musei virtuali di “prima generazione” risultano piuttosto chiusi, nel senso che non consentono di modificare contenuti se non intervenendo sul codice del programma utilizzato, solitamente Flash, e di fatto costringendo gli utenti a scaricare lo stesso software per accedere ai contenuti. Tuttavia, come nel caso dell'Hampson Museum, sono evidenti i primi segnali di apertura più concreta verso un largo pubblico²⁹⁵. La possibilità di scaricare modelli 3D o pdf interattivi infatti, dimostrano che nell'idea originaria dei curatori c'era la volontà di condividere nella maniera più efficace e completa possibile i propri contenuti con gli utenti²⁹⁶. Oggi, nell'era del web 2.0, ad un museo basta creare un account su Sketchfab per poter rapidamente condividere con milioni di utenti la propria collezione digitale. È il caso di musei importanti come il Museu de Arqueologia de Catalunya, che mostra una parte della collezione archeologica dalla preistoria alla storia antica della regione catalana, o il British Museum, che non solo ha autorizzato il download dei propri modelli 3D sotto licenza CC-BY-NC, ma offre la possibilità di ordinare online una replica 3D del reperto cercando così di aprirsi al mercato con questa ultima tendenza di merchandising.

Un altro caso interessante è rappresentato dallo Smithsonian Museum, pioniere di iniziative simili, che propone una gallery di reperti 3D scaricabili gratuitamente in formato stl. Il viewer, realizzato da AutoDesk, dispone di un set di utilissimi tool, come ad esempio lo strumento di misura o ancora lo strumento di sezionamento degli oggetti. La modalità tour è un elemento di spicco nell'architettura di questo museo virtuale, perché consente di seguire le fasi della storia di alcuni reperti e, quindi di entrare un po' più nel vivo della loro contestualizzazione tramite una sequenza di testi e immagini che ne descrivono le caratteristiche principali.

²⁹⁴ Rifkin 2000.

²⁹⁵ Smallwood et alii 2009.

²⁹⁶ Simon et alii 2009.

Anche in ambito universitario la condivisione di modelli 3D di reperti archeologici è stata adottata come pratica di diffusione di conoscenza. Nel progetto Archeo3D²⁹⁷ del Laboratorio di Archeologia Digitale dell'Università di Foggia costituisce un esempio di come ci sia già da qualche anno una maggiore attenzione nella costruzione di rapporti con un pubblico. Nel sito del LAD infatti è possibile sfogliare una serie di oggetti metallici di età altomedievale provenienti da un ambiente della Villa di Faragola utilizzato come magazzino per derrate alimentari²⁹⁸. Gli oggetti sono stati scansati con un sistema laser low cost, il David Laser Scanner, e inseriti in una galleria virtuale su Sketchfab e p3d.in. Ciascun oggetto è stato corredato di informazioni crono-tipologiche e di sezioni bidimensionali vettoriali ed è importante sottolineare che questo set di strumenti da lavoro sia stato oggetto di studio di una tesi di Dottorato di Ricerca su metalli medievali in Capitanata²⁹⁹.

Che si tratti di un museo o di un dipartimento universitario, la condivisione di modelli tridimensionali di reperti archeologici è un chiaro segno della necessità di apertura da parte di queste istituzioni. La facilità con cui oggi è possibile effettuare rilievi 3D e diffonderli grazie a network dedicati, incrementa la visibilità dei musei, che riescono a coinvolgere così fette di pubblico maggiori. Inoltre questi sistemi consentono di fornire dati e strumenti di conoscenza inimmaginabili fino a poco tempo fa. Il caso di Archeo3D è emblematico: modelli 3D di reperti metallici ancora custoditi nei laboratori dell'Università di Foggia e pertanto non ancora esposti fisicamente ad un pubblico, sono però visibili online per un pubblico misto di appassionati e di studiosi, che possono quindi attingere informazioni addirittura sugli studi in corso da parte dell'équipe di ricerca.

Sketchfab è stato utilizzato anche nell'ambito di questo progetto come tool per la condivisione via web sia per la sua interfaccia decisamente intuitiva e sia per il set di regolazioni che possono essere effettuate sui propri modelli.

²⁹⁷ De Felice et alii 2013.

²⁹⁸ Volpe, Turchiano 2010.

²⁹⁹ Maruotti 2012.



Fig. 30 - Sketchfab. Modalità di editing.

Una soluzione open-source: 3DHOP

Se le piattaforme online proprietarie per la condivisione di oggetti digitali 3D hanno trovato ampia diffusione, anche nel mondo delle *Digital Humanities* e dell'archeologia in particolare, non mancano progetti importanti sul versante del software libero ed open-source.

Il caso sicuramente più emblematico è quello di *3DHOP*³⁰⁰, sviluppato dal *Visual Computing Lab* dell'ISTI-CNR³⁰¹ di Pisa. Si tratta di un pacchetto software open-source per la creazione di presentazioni interattive per il web di modelli tridimensionali ad alta risoluzione, particolarmente indicato per il mondo dei Beni Culturali. 3DHOP è l'acronimo di *3D Heritage Online Presenter*³⁰² e permette di incorporare visualizzatori di modelli 3D direttamente all'interno di pagine web standard, con la semplice aggiunta di componenti HTML e JavaScript. Dal punto di vista tecnologico, la vera novità di questa piattaforma consiste nella efficienza di gestione di modelli 3D multi-risoluzione, anche su larghezze di banda modeste. Come per gli altri servizi di visualizzazione di modelli 3D, 3DHOP funziona direttamente all'interno dei moderni browser, senza l'impiego di particolari plug-in o di componenti aggiuntive, purché siano supportate particolari condizioni come la compatibilità con le librerie grafiche WebGL³⁰³. Fondamentalmente il viewer di 3DHOP è composto da un set di "web file" che comprende:

³⁰⁰ 3D HOP: <http://3dhop.net/>

³⁰¹ ISTI-CNR: <http://www.isti.cnr.it/>

³⁰² Potenziani et alii 2015

³⁰³ In realtà 3DHOP utilizza come librerie grafiche SpiderGL, una sorta di sottocategoria di WebGL.

1. *file html*, in cui è descritto il contenuto dell'intera pagina e in cui sono dichiarate le componenti del viewer;
2. *file js*, ossia i file JavaScript, che compongono il cervello dell'applicazione;
3. *file css*, che descrivono il layout della pagina web;
4. *file multimediali*, vale a dire tutti i file audio e video che si vogliono incorporare alla pagina, inclusi i modelli 3D.

Come è stato riportato sopra, ciò che rende davvero interessante 3DHOP è la possibilità di gestire tre tipi di geometrie:

1. *Modelli 3D a risoluzione singola*: si tratta di mesh triangolari particolarmente “leggere”, in formato ply. Queste mesh vengono scaricate interamente da remoto e renderizzate in un'unica operazione.
2. *Modelli 3D Multirisoluzione*: mesh triangolari che possono avere anche una grande quantità di facce (fino a 100 milioni), convertite precedentemente nel formato NXS. Il download avviene in streaming e il rendering viene effettuato in maniera progressiva.
3. *Nuvole di punti*: set di punti non strutturati, anche essi erogabili se convertiti preventivamente nel formato NXS. Le modalità di download e di rendering sono identiche alle mesh multirisoluzione.

Gli oggetti 3D da visualizzare devono essere confezionati seguendo determinate caratteristiche. I modelli 3D a risoluzione singola, ad esempio, non dovrebbero superare la grandezza di 1MB, per consentire l'erogazione del contenuto a prescindere dalle prestazioni del dispositivo e della connessione in uso. Inoltre, l'unica codifica cromatica leggibile da 3DHOP è costituita dal vertex color, allo stato attuale non è ancora possibile associare texture.

Per modelli ad alta risoluzione è dunque consigliabile convertire i modelli nel formato NXS. Anche in questo caso, è supportato soltanto il colore per-vertex. Le nuvole di punti devono essere trattate come le mesh multirisoluzione.

Altre caratteristiche interessanti di questo viewer sono costituite dalla possibilità di poter popolare la scena con diversi oggetti 3D, anche copie dello stesso oggetto, e quella di utilizzare porzioni di mesh o interi oggetti come *hotspot*, elementi a cui poter associare dei particolari eventi, come ad esempio la comparsa di finestre di dialogo popolate da informazioni alfanumeriche.

L'utente può eseguire ulteriori operazioni, come ad esempio impostare delle animazioni o modificare l'illuminazione della scena in modo da ispezionare gli oggetti tridimensionali per cogliere maggiori dettagli. Inoltre, per evitare il rischio di non comprendere appieno scala e misure delle entità presenti nella scena, 3DHOP fornisce un utile strumento di misurazione delle mesh. Quella di misurare un oggetto è una funzione particolarmente importante soprattutto per la visualizzazione scientifica di oggetti di interesse culturale. Lo strumento fornito da 3DHOP consente di conoscere la distanza fra due punti selezionati dall'utente.

Diversi progetti internazionali hanno adottato 3DHOP come strumento di visualizzazione e di condivisione dei propri modelli con il pubblico mondiale. La ragione principale di questa scelta va cercata nella adattabilità di questo software alle esigenze dei team di ricerca. Essendo un programma dal codice sorgente aperto, 3DHOP offre numerose possibilità di personalizzazione che meglio si accostano alle caratteristiche delle pagine web all'interno delle quali si vuole implementare il viewer, e alla natura degli oggetti e delle informazioni da erogare. Ne sono un esempio le sperimentazioni che sono state fatte per visualizzare l'elmo di Sigliano o un gruppo scultoreo proveniente dal Grande Tempio di Luni. Nel primo caso, oltre a guidare l'utente nell'osservazione dei dettagli decorativi, il viewer è stato impostato per offrire una visualizzazione comparata della riproduzione dell'oggetto nel suo stato attuale e della sua ricostruzione topologica. Per il gruppo scultoreo di Luni invece, è stata messa in risalto la possibilità di attivare o disattivare la visualizzazione di alcune figure, o di isolare le parti originali dalle integrazioni collocate in fase di restauro, riproducendo di fatto quella che è la visualizzazione per layer comune alle interfacce utente di quasi tutti i programmi di Computer Graphics.

VI.3. Realtà virtuale per la divulgazione.

La condivisione di modelli tridimensionali sul web offre spunti di riflessione interessanti, soprattutto in materia di fruizione dei dati e di accessibilità a contenuti di carattere culturale. Tuttavia le possibilità di

Il secondo percorso di comunicazione della documentazione grafica di Herdonia riguarda la condivisione di modelli 3D tramite applicazioni di realtà virtuale e visualizzatori interattivi per il web. Questo tipo di fruizione delle informazioni archeologiche è stato pensato per un pubblico ampio, composto da età differenti e sempre più abituato ad interagire con piattaforme di carattere videoludico.

La grafica tridimensionale non è e non deve essere necessariamente il fine ultimo di un percorso volto alla divulgazione culturale, ma è uno strumento, ed in quanto tale, va sottoposta ad una riflessione che ne certifichi l' idoneità in base alle caratteristiche dell'idea che si vuole realizzare e agli obiettivi da raggiungere.

Soltanto dopo questa valutazione è stata individuata la soluzione comunicativa più efficace, che in qualche modo potesse conciliare le esigenze degli utenti con le caratteristiche dei dati archeologici acquisiti. Dal punto di vista della comunicazione infatti non conta tanto la tecnologia in sé, quanto il modo in cui l'idea di chi cura il progetto riesce ad incidere sull'esperienza di interazione, favorendo l'apprendimento dell'utente.

L'idea di partenza è fondata sulla possibilità di sfruttare i dati topografici di Herdonia per comunicare l'evoluzione di questo sito attraverso le diverse epoche in cui è stato abitato. Il primo passo è stato quello di acquisire dati spaziali dalla documentazione cartacea e tramite rilievo sul campo, ed elaborarli per creare degli oggetti tridimensionali digitali che potessero essere implementati in viewer interattivi per diverse piattaforme, sia per desktop che per web.

Il secondo step ha comportato la realizzazione di un' applicazione interattiva tramite la quale gli utenti possono interagire con i contenuti 3D, realizzata grazie ad una particolare categoria di software, i **game engine**.

Un motore grafico è una struttura software progettata per la creazione e lo sviluppo di videogame, o comunque di applicazioni interattive, per tutte le categorie di dispositivi digitali quali computer, console, smartphone, tablet, e dunque per sistemi operativi differenti. Un engine grafico è un software caratterizzato da una particolare architettura modulare che consente di implementare e gestire tipologie differenti di contenuti, sia grafici che sonori, ma anche di definire azioni e comportamenti volti ad emulare dinamiche e fenomeni della vita reale, che sono appunto riprodotti all'interno dello scenario virtuale.

I moduli di un game engine sono di fatto dei software nidificati all'interno della struttura generale del motore e sono dedicati a diversi aspetti della produzione di un videogame³⁰⁴:

- **Rendering 2D e 3D**: cura il processo di "resa" ovvero di generazione di un'immagine a partire da una descrizione matematica di una scena tridimensionale interpretata da algoritmi che definiscono il colore di ogni punto dell'immagine. La descrizione è data in un linguaggio o in una struttura dati e deve contenere la geometria, il punto di vista, le informazioni sulle caratteristiche ottiche delle superfici visibili e sull'illuminazione.
- **Emulazione della fisica e rilevazione delle collisioni**: sono algoritmi che, utilizzando i principi del modello fisico newtoniano come ad esempio la massa, la velocità e la frizione alla resistenza del vento, simulano il comportamento degli oggetti sottoposti alle forze del mondo (reale o immaginario).
- **Emulazione del suono**: gestisce gli eventi sonori.
- **Scripting**: permette di programmare gli eventi e le caratteristiche degli oggetti.
- **Animazioni**: consente l'ottimizzazione di animazioni create dalla CG 3D o di svilupparne delle nuove in ambiente nativo, traducendo visivamente quanto fatto.
- **Emulazione dell'intelligenza artificiale**: ricrea specifici aspetti comportamentali della natura umana, animale e vegetale, riproponendoli come attributo agli oggetti del mondo virtuale.
- **Networking**: consente la comunicazione dell'applicazione con altre macchine in locale o in rete.
- **Scene-graph**: permette la rappresentazione gerarchica di oggetti grafici all'interno di una scena, un livello o in una finestra per lo scripting.

Una grande proprietà di questi sistemi è quella di poter essere integrati con altri moduli specializzati per assolvere a determinate funzioni, che possono riguardare particolari simulazioni fisiche o necessità di rendere i prodotti finali compatibili con sistemi operativi specifici. I motori dotati di queste caratteristiche possono prendere il nome di *middleware*, ad indicare appunto un software che possa svolgere la funzione di connettore fra la situazione iniziale, e dunque il set di dati, i contenuti, eventuali comportamenti determinati tramite scripting, e le esigenze di output finale.

I game engine possono essere suddivisi in diverse categorie, in base alla configurazione della licenza d'uso o alla piattaforma di destinazione:

³⁰⁴ Baldassarro 2009.

- **Free e Open Source.** Generalmente adottano la licenza GPL e hanno il codice sorgente libero. Questa caratteristica permette di apportare modifiche direttamente al linguaggio del programma per renderlo maggiormente performante, o adattabile a particolari configurazioni hardware. Due esempi sono *OGRE* e *Open Scene Graph*.
- **Freeware.** Non prevedono costi di licenza, ma un vincolo per la distribuzione gratuita delle applicazioni create.
- **Commerciali.** Possono essere utilizzati sotto licenze d'uso proprietarie che riguardano, seppure con modalità differenti, anche i diritti di distribuzione. Fra i motori più diffusi si segnalano Virtools e Unity.

Il software scelto per lo sviluppo dell'applicazione di realtà virtuale, ultimo step del workflow metodologico seguito per questa ricerca è proprio Unity.

Si tratta di un game engine sviluppato dalla Unity Technologies che ha la caratteristica di essere cross-platform, ossia programmato per essere compatibile sia con strutture hardware che con sistemi operativi differenti.

All'interno di questo programma sono state create le scene virtuali e successivamente sono stati importati i contenuti, chiamati più propriamente *assets*.

L'idea principale di queste applicazioni è quella di fornire delle piante di fase 3D dei due contesti selezionati per Herdonia, tramite le quali visualizzare in maniera simultanea lo stato di fatto dei monumenti, definito dai modelli fotogrammetrici, e le fasi archeologiche, rappresentate dai modelli delle unità stratigrafiche, ricavati dalla documentazione cartacea di Herdonia.

L'architettura modulare del motore grafico fornisce gli strumenti per poter definire ed impostare i comportamenti che possono essere assegnati agli assets e le azioni che l'utente finale può compiere. Le modalità di interazione previste per questo progetto sono piuttosto semplici ed intuitive. Il programma finale è costituito infatti da un viewer 3D e da una plancia tramite la quale l'utente può cambiare visualizzazione e quindi osservare lo stesso monumento alla luce di fasi differenti.

L'impostazione di tali comportamenti, chiamati tecnicamente *events*, avviene tramite l'implementazione di *script*, piccoli programmi scritti con appositi linguaggi di programmazione, che forniscono appunto le istruzioni che l'applicazione finale deve eseguire per completare l'azione richiesta dall'utente³⁰⁵.

³⁰⁵ La realizzazione di un'applicazione di realtà virtuale tramite motore grafico richiede un complesso lavoro di programmazione. Non sarebbe stato possibile realizzare il viewer di Herdonia senza la collaborazione del team di

L'ultimo passaggio della realizzazione del programma finale riguarda la fase di export. Unity è un motore grafico particolarmente efficace in questo senso poiché consente di creare applicazioni per numerosi dispositivi e per sistemi operativi differenti. All'interno della grande quantità di soluzioni presenti nel mercato attuale, si è scelto di rendere l'applicazione fruibile tramite web su qualsiasi tipologia di postazione desktop.

Questa scelta è stata motivata per diverse ragioni. Per prima cosa Internet è lo strumento di comunicazione di massa più utilizzato al mondo, pertanto pubblicare in un sito web consente di raggiungere il massimo numero di utenti possibile, soddisfacendo così uno dei requisiti di partenza del progetto. In secondo luogo questa scelta non prevede l'installazione dell'applicazione sul proprio dispositivo, ma soltanto di un particolare plug-in gratuito che consente al browser³⁰⁶ utilizzato per la navigazione ordinaria di visualizzare i contenuti, il *Web Player* di Unity.

Il player costituisce una sorta di interfaccia fra il motore grafico ed il browser. Questo programma permette di tradurre tutto ciò che è stato programmato ed implementato in Unity in elementi "comprensibili" per il software di lettura delle pagine web, tramite il ricorso a particolari insiemi di funzioni e strutture dati, come ad esempio le librerie grafiche. Le librerie vanno intese come una sorta di "dizionario", all'interno del quale sono contenute delle entità comuni a più software che evitano di dover scrivere di volta in volta pagine di codice di programmazione ad hoc.

La particolare duttilità dei game engine consente di strutturare la fase operativa di produzione delle applicazioni in maniera sempre reversibile. Una volta montato il framework di sviluppo del programma infatti è sempre possibile apportare modifiche a qualsiasi componente della scena, sia assets che script. Inoltre anche l'output di esportazione può essere modificato in funzione della piattaforma di destinazione dell'applicazione.

sviluppo di Hericool Digttools, vincitore del bando Principi Attivi 2012 della Regione Puglia, che ha curato la realizzazione del motore grafico. A Fabio Gagliardi e Lorenzo Baldassarro va pertanto il più sincero ringraziamento.

³⁰⁶ Attualmente il Web Player di Unity risulta compatibile con Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera e Safari.

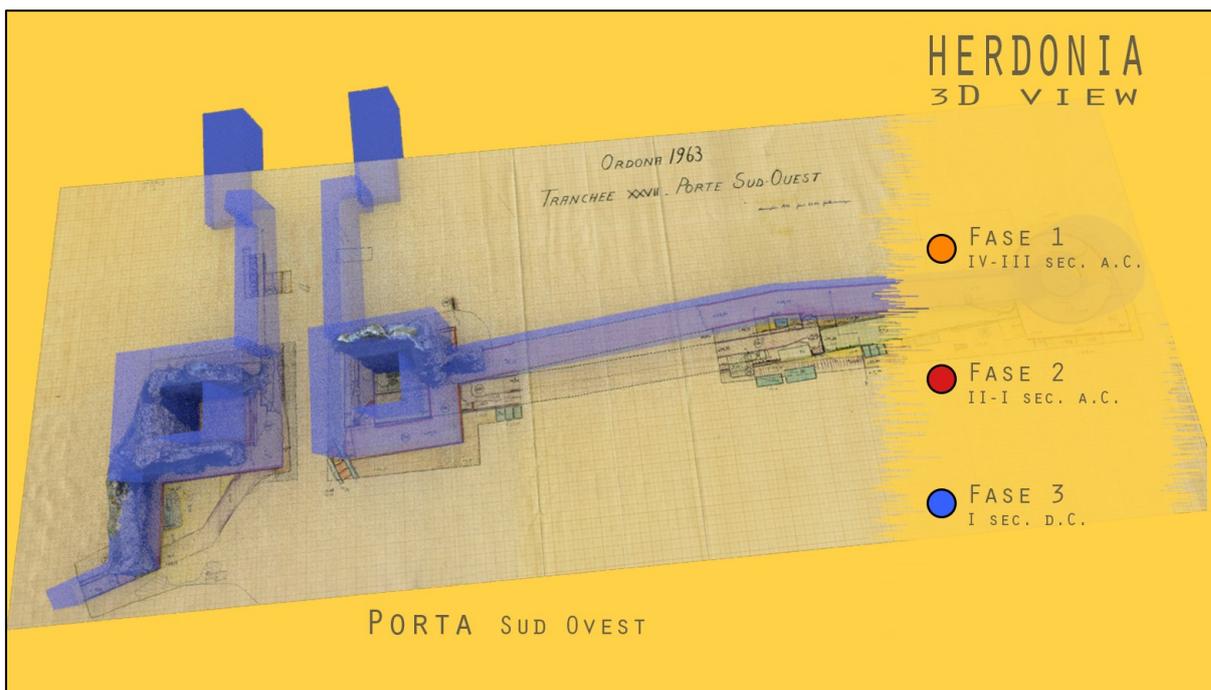


Fig. 31 - Unity 3D. Schermata dell'applicazione.

Considerazioni finali.

Il lavoro svolto per realizzare le applicazioni di divulgazione della conoscenza di Herdonia, ha avuto un obiettivo preciso, ossia quello di finalizzare un processo costruito attorno al dato archeologico. Nell'ambito di questa ricerca i dati presi in considerazione riguardano fondamentalmente la categoria dei dati topografici, siano essi nati in formato digitale o acquisiti da documentazione cartacea di archivio.

Sono state elaborate delle procedure per l'ottimizzazione di dati in vista di quello che dovrebbe essere l'esito finale di un lavoro di ricerca archeologica, ossia la pubblicazione. Le caratteristiche di questi dati sono state di impulso per strutturare due percorsi di fruizione, uno più *istituzionale*, destinato ad una comunità di esperti e da utenti che in qualche maniera necessitano di informazioni tecniche, ed un altro dall'aspetto decisamente più *social*, rivolto ad un pubblico generico con finalità di divulgazione culturale.

Sono state studiate diverse esperienze del panorama italiano ed internazionale, così come sono state analizzate numerose soluzioni tecnologiche per avere un quadro di riferimento abbastanza completo sulle metodologie e sui concetti sui quali si fonda l'impostazione di progetti di comunicazione e sulle possibilità concrete offerte dalle tecnologie disponibili.

Il primo percorso è quello più direttamente connesso con la problematica dell'apertura delle banche di dati archeologici. Il dibattito su questo tema è sempre più presente nel panorama

scientifico sia nazionale che internazionale, e sono sempre più frequenti le riflessioni in merito alla mission della Public Archaeology. Una di queste riguarda espressamente i dati d'archivio, la cui accessibilità è considerata di pari importanza con quella delle stesse aree archeologiche. In Italia sono numerosi i progetti che abbracciando queste tematiche hanno lanciato delle proposte interessanti per la gestione e la condivisione dei dati archeologici. Anche se i contesti di applicazione, le tematiche di ricerca e le soluzioni tecnologiche adottate sembrano delineare un quadro molto frammentario della situazione, in realtà potrebbe già essere inaugurata una stagione di confronto di tutte queste esperienze per tracciare dei percorsi comuni, magari da adottare a diverse scale di ripartizione territoriale, che prevedano l'adozione di criteri e, perché no software, condivisi per l'archiviazione e la pubblicazione dei dati.

CONCLUSIONI

Nessun progetto di ricerca può dirsi definitivamente concluso, ma può senz'altro aggiungere un segmento ad una fitta rete di percorsi tematici e collegamenti afferenti ad uno o a più ambiti della conoscenza umana.

Questo lavoro rientra nel contesto di ricerca che accomuna il mondo dell'archeologia a quello delle tecnologie digitali informatiche, e dunque nell'ambito disciplinare dell'Archeologia Digitale. Nel primo capitolo della tesi è stato detto, riprendendo le parole di Sabatino Moscati, che l'incontro fra le due facce della ricerca scientifica, ossia quella umanistica e quella tecnologica, sono un segno del nostro tempo, e che l'archeologia riveste in questo senso un ruolo di disciplina di frontiera. Una delle proprietà dell'archeologia è infatti quella di aver sempre mantenuto vivo il confronto con altre discipline, assimilando ed adattando al proprio campo di indagine concetti e metodi di altri saperi. L'archeologia digitale è nata proprio con questa premessa e consiste nell'applicazione del metodo informatico alla ricerca archeologica. Rispetto alla disciplina "madre", l'archeologia digitale è caratterizzata da un ulteriore elemento di dinamicità, costituito dal costante confronto con le nuove tecnologie, in particolar modo quelle digitali, con l'obiettivo finale di espandere la portata delle possibili applicazioni. I campi della ricerca archeologica in cui l'apporto delle tecnologie digitali e del metodo informatico è stato decisivo comprendono diverse attività come il rilievo topografico e l'acquisizione di dati sul campo, l'archiviazione e la gestione, la possibilità di effettuare analisi quantitative e spaziali in modo da ottenere informazioni che possono supportare la formulazione di nuove ipotesi. I dati acquisiti costituiscono pertanto un materiale importantissimo perché è sulla loro base che si fonda lo studio dei contesti indagati, e di conseguenza si produce conoscenza archeologica. La trasmissione di questa conoscenza è l'operazione che rende l'archeologia una *scienza sociale*, non solo perché indaga sulle caratteristiche e sulle dinamiche delle comunità del passato, ma anche perché fornisce alle comunità di oggi degli strumenti di comprensione del proprio patrimonio archeologico, componente fondamentale del loro fattore identitario. In questo senso la comunicazione verso l'esterno, e quindi verso il pubblico, rappresenta un campo di applicazione dell'archeologia digitale che ha restituito, e continua a restituire, risultati piuttosto interessanti tramite la realizzazione di progetti che sfruttano il potenziale informativo dei dati archeologici per creare contenuti interattivi indirizzati verso utenti di categorie differenti. Per raggiungere questo scopo è importante dunque che i dati siano acquisiti e trattati secondo modalità e procedure appropriate.

Obiettivo primario del progetto è stato quello di strutturare un **workflow** per il trattamento di dati archeologici spaziali e topografici tridimensionali che comprenda tutte le fasi operative dall'acquisizione sul campo all'esportazione verso un pubblico composto sia da esperti di settore che da utenti ordinari.

Pertanto la prima parte delle attività è stata dedicata alla sperimentazione di tecniche di rilievo strumentale di precisione per l'acquisizione di dati 3D. Sono stati effettuati numerosi test distinti in base alla tecnologia utilizzata e all'oggetto del rilievo, con lo scopo di valutare in primo luogo quale fosse la tecnica di rilievo più indicata e successivamente l'effettiva validità di questa categoria di dati sia per lo studio che per la divulgazione tramite applicazioni interattive. Lo sviluppo di questa prima parte del progetto ha permesso di formulare riflessioni importanti sul primo tema della ricerca, vale a dire sulle pratiche di documentazione archeologica 3D, componente che caratterizza, e caratterizzerà sempre più, il lavoro dell'archeologo sul campo.

1. Pratiche di documentazione archeologica 3D

Negli ultimi decenni le tecnologie di rilievo tridimensionale sono state oggetto di ricerche e sperimentazioni in diversi campi, dall'edilizia industriale al settore dei beni culturali e dei beni archeologici³⁰⁷. Si tratta di tecnologie complesse che comprendono una parte hardware legata alle caratteristiche della strumentazione utilizzata, e una parte software che riguarda dunque programmi ad hoc per la gestione dei dati.

Le scansioni tridimensionali sono sempre più presenti in ambito archeologico e, più in generale, nel mondo dei beni culturali. Esse consentono di realizzare **repliche digitali** di oggetti della realtà caratterizzate da un elevatissimo dettaglio non solo geometrico e morfologico, ma anche grafico, grazie all'attribuzione di informazioni cromatiche di qualità fotografica.

Il primo gruppo di attività del progetto è consistito nella sperimentazione di tecniche di rilievo tridimensionale con l'obiettivo di verificare sia la sostenibilità che l'utilità in campo archeologico, mettendo a punto delle procedure operative adeguate ad esigenze che comprendono sia lo studio e l'analisi scientifica che la divulgazione degli oggetti rilevati in ambienti digitali interattivi.

Sono state adoperate due tecniche che differiscono per la tecnologia su cui si basano: la **Structure From Motion** (SfM), una tecnica fotogrammetrica che consente di restituire la posizione di punti che definiscono un oggetto nello spazio a partire da un set di fotogrammi, e

³⁰⁷ Campana 2006.

il **laser scanning**, che consente di acquisire notevoli quantità di punti tramite sofisticati dispositivi laser.

Per quanto riguarda i software di acquisizione ed elaborazione dei dati, è stato scelto, laddove possibile, di utilizzare programmi a **costo zero** ed **open source**, in modo da strutturare il flusso di lavoro in base ad una maggiore sostenibilità sia dal punto di vista economico, evitando l'acquisto di costose licenze, che da un punto di vista etico, legato alla trasparenza dei dati ed alla leggibilità dei formati. I software proprietari infatti sono molto performanti però spesso impongono il loro uso esclusivo per l'apertura dei file e la modifica dei contenuti, creando quindi dei forti vincoli che potrebbero costituire problemi molto complessi per le generazioni future di utenti, con il rischio di perdita di informazioni e dunque di conoscenza.

Il primo gruppo di test è servito ad indagare le problematiche delle **tecniche fotogrammetriche** applicate a contesti archeologici. Sono state descritte le procedure di acquisizione di due categorie differenti di oggetti archeologici: **strutture** e **reperti**. In questa maniera è stato possibile applicare la tecnica di restituzione fotogrammetrica alle attività di documentazione archeologica sia in fase di scavo che in laboratorio.

A prescindere dai software utilizzati, la SfM si è rivelata decisamente speditiva e dunque particolarmente adatta al lavoro sul campo dell'archeologo, soprattutto se costretto ad operare nei tempi ristretti imposti dagli interventi di scavo di emergenza.

Nei contesti di scavo archeologico questa tecnica consente non solo di ottenere abbastanza rapidamente dei modelli digitali di componenti stratigrafiche, ma anche di fotografare lo stato di conservazione al momento dell'acquisizione dei dati. Si tratta di un vantaggio non di poco conto, soprattutto se si considerano quei casi in cui la staticità delle strutture risulta precaria o le evidenze individuate dovranno essere ricoperte o addirittura rimosse.

Inoltre le possibilità di studio ed analisi di questi modelli sono molteplici. Oltre ad essere geometrie digitali perfettamente misurabili, la qualità fotografica delle texture costituisce senz'altro un valore aggiunto. A conferma di tutto ciò è stato presentato il caso dell'elmo di Lucera. Il modello fotogrammetrico ha infatti permesso di cogliere un importante dettaglio che non era stato notato durante una prima ispezione diretta, e cioè le tracce di una probabile decorazione geometrica sulla superficie ferrosa ossidata. Questa piccola scoperta descrive bene quelle che possono essere le potenzialità della documentazione digitale tridimensionale, vale a dire la possibilità di analisi e studio virtuale, ossia offerta a tutti quelli utenti, anche a quanti non hanno la possibilità di interagire direttamente con gli oggetti.

Il secondo gruppo di test comprende i rilievi topografici effettuati con **laser scanner**. Dopo una prima fase di forti aspettative, oggi l'uso di questo strumento in ambito archeologico è

considerato con un crescente scetticismo per via del carattere poco speditivo e dei notevoli costi. L'aspetto economico in effetti non costituisce affatto un incentivo all'acquisto di questi dispositivi, al quale vanno aggiunte le spese di manutenzione e di licenze software³⁰⁸. Questo elemento di svantaggio, associato ad una apparente difficoltà di utilizzo hanno spesso indotto diversi archeologi a preferire le tecniche fotogrammetriche. In realtà prima di effettuare un rilievo tridimensionale è necessario valutare non tanto quale sia la tecnica *migliore*, ma piuttosto quale sia la tecnica *adatta*. È infatti il contesto l'elemento da analizzare attentamente, e soltanto dopo è possibile scegliere la strategia adeguata³⁰⁹. Nell'ambito di questo lavoro il laser scanner è stato applicato per il rilievo di grandi strutture caratterizzate da planimetrie e volumetrie complesse. I casi presi in considerazione sono stati alcuni degli insediamenti rupestri scelti fra gli eremi di Pulsano, situati nei valloni rocciosi del Gargano, nel territorio di Monte Sant'Angelo (FG) e gli ambienti interni della torre del Parasinno, estremità orientale del Castello di Deliceto (FG).

In questi due casi è stata scelta la tecnica del laser scanning per due ragioni principali. In primo luogo la **conformazione degli spazi**, irregolari e spesso piuttosto angusti, ha indotto a scartare il rilievo fotogrammetrico per le possibilità di movimento dell'operatore estremamente ridotte e per la vicinanza eccessiva fra l'obiettivo della fotocamera e le porzioni di superficie da acquisire. Inoltre l'allineamento delle scansioni laser risulta più agevole grazie al riconoscimento automatico di target topografici da parte dei software di acquisizione e gestione dei dati.

Una riflessione va fatta sull'attrezzatura utilizzata, poiché incide particolarmente sull'esito del lavoro. Per rilevare la torre del Castello di Deliceto è stato utilizzato uno scanner *Leica HDS3000*, del 2005, con un tempo medio di scansione pari a circa 20 minuti, mentre per gli eremi di Pulsano è stato usato uno scanner *Faro Focus 3D*, di nuova generazione, grazie al quale è stato possibile effettuare delle acquisizioni della durata media di circa 6 minuti con una elevatissima densità di punti. Se fino a pochi anni fa i tempi di scansione potevano sembrare decisamente lunghi, la tecnologia di oggi ha reso i laser scanner estremamente rapidi.

In definitiva se le due tecniche di rilievo 3D differiscono nettamente nella fase di acquisizione e nelle prime elaborazioni dei dati, mostrando vantaggi e svantaggi che le rendono più o meno idonee al contesto in cui si opera, l'output digitale in entrambi i casi sarà sempre un oggetto composto da una **mesh**. Con questo termine si indica una superficie generata dall'unione dei vertici della nuvola di punti tramite facce triangolari. L'elevata densità di punti acquisiti tramite

³⁰⁸ Una soluzione, seppur parziale, sarebbe quella del nolo dell'attrezzatura limitatamente alla durata del progetto.

³⁰⁹ Medri 2003.

le tecniche di rilievo 3D rende la mesh una copia quasi perfetta dell'oggetto reale, riproducendo in maniera dettagliata la sua morfologia. Questa proprietà fa sì che le mesh possano essere degli ottimi strumenti di analisi e di studio dell'oggetto, ma pone anche dei problemi di fruibilità dei dati. Modelli complessi infatti richiedono che l'utente disponga di risorse hardware performanti e possono essere gestiti soltanto in ambienti di lavoro tramite software dedicati. Questa condizione sembra limitare in maniera eccessiva le possibilità di condivisione di questa tipologia di dati, con il risultato che troppo spesso di modelli tridimensionali realizzati con queste tecniche sono stati pubblicati soltanto elaborati grafici bidimensionali. Se dunque non è possibile sfruttare l'elevato potenziale informativo di questi dati, allora le tecnologie di scansione 3D e di SfM risultano essere poco interessanti. Pertanto questa prima parte di attività è stata finalizzata con la ricerca di soluzioni per la condivisione con un pubblico ampio di modelli tridimensionali complessi tramite applicazioni interattive per la comunicazione della conoscenza archeologica.

Le mesh della torre del Parasinno realizzate con laser scanner e quelle di una collezione di ceramiche medievali acquisite con SfM sono state implementate in due applicazioni per la fruizione del Castello di Deliceto, una costituita da uno scenario di realtà virtuale per desktop e l'altra da una avventura grafica popolata da elementi 3D distribuita su dispositivi mobile.

Per raggiungere questo risultato è stato necessario ridurre il numero di componenti geometriche delle mesh tramite degli appositi modificatori che consentono di preservare la topologia del modello originario. In tal modo si viene a creare una mesh *low-poly*, caratterizzata cioè da un basso numero di facce poligonali, sulla quale possono essere trasferite le informazioni cromatiche della mesh *hi-poly*, ossia quella iniziale, assieme ad altre particolari informazioni come la mappatura delle normali delle facce triangolari, utilizzate per simulare fenomeni come la rifrazione della luce. Le procedure adottate consentono di ridurre drasticamente il numero di vertici, permettendo alle mesh di rientrare abbondantemente al di sotto della soglia di 65000 unità previste dai più comuni motori grafici. Si tratta di una tecnica mutuata dal mondo dei videogame di ultima generazione, ormai caratterizzati da uno straordinario realismo, che potrà essere applicata efficacemente anche a progetti per la comunicazione multimediale del patrimonio archeologico.

2. L'archivio Mertens

I processi di trattamento dati da laser scanner e SfM, messi a punto grazie alla prima serie di sperimentazioni, riguardano esclusivamente la documentazione di nuova acquisizione, nata già in formato digitale. Tuttavia la maggior parte della documentazione grafica archeologica

disponibile, soprattutto per i contesti scavati in epoca predigitale, risulta essere su formato cartaceo e acquisita tramite rilievo diretto. Questa caratteristica rende i documenti redatti forse meno accurati, ma di certo non meno importanti per le informazioni che contengono. La documentazione 3D digital born è il risultato di un procedimento di *reverse engineering* che permette di acquisire informazioni spaziali dalla realtà e replicarle su schermo. In archeologia questo principio viene impiegato per rappresentare lo stato di fatto di un oggetto e dunque fornire uno strumento di analisi, ma può essere applicato in modo da veicolare il potenziale informativo tramite applicazioni informatiche per la divulgazione sia scientifica che didattica. È possibile applicare un metodo simile anche alla documentazione grafica redatta in epoca predigitale e relativa ad evidenze non direttamente osservabili sul campo? Attorno a questa domanda ruota il secondo tema di questa ricerca. Una impostazione metodologica corretta non può infatti tenere conto solo di una tipologia di dati, ignorando la documentazione di scavo pregressa.

Per tale ragione è stato scelto un caso campione che potesse permettere di articolare in maniera piuttosto completa la problematica della gestione dei dati: l'archivio Mertens degli scavi di Ortona.

Quello di Ortona costituisce infatti un caso unico.

Il sito di Ortona è stato oggetto di scavi sistematici a partire dal 1962, anno in cui Joseph Mertens, archeologo dell'Università Cattolica di Leuven, assunse la direzione di una missione archeologica durata quasi quaranta anni. L'archivio acquisito dall'Università di Foggia nel 2004 è il luogo in cui è stata conservata tutta la documentazione relativa alle indagini sul campo, composta da notevoli quantità di giornali di scavo, rilievi e disegni, fotografie, inventari di materiali e pellicole video. Pur se regolarmente consultato per una serie di ricerche, l'archivio non è mai stato oggetto di studio per una digitalizzazione sistematica, e questo costituisce un primo grado di complessità connesso con la problematica dell'accessibilità alle informazioni, che risulta dunque limitata soltanto alla consultazione diretta.

La tipologia di dati presi in esame ai fini di questo lavoro è stata la documentazione grafica di scavo. Pertanto la prima operazione condotta in archivio è stata la ricerca di tutte le tavole cartacee disegnate dall'équipe belga. Una volta reperito questo materiale e consultata la letteratura grigia e le pubblicazioni scientifiche, è emerso che allo stato attuale non esiste una cartografia completa del sito di Ortona. L'operazione più urgente dunque è stata quella di realizzare un sistema informativo geografico in cui fossero collocate in un unico sistema di coordinate tutte le aree scavate a partire dal 1962. Soltanto dopo aver fatto ordine nella documentazione e conoscendo la collocazione esatta delle entità archeologiche sarebbe stato

infatti possibile procedere con la conversione delle unità stratigrafiche da linee disegnate su carta ad oggetti tridimensionali digitali.

L'attività iniziale è consistita in una lunga fase di acquisizione in formato raster digitale delle tavole cartacee, in vista della successiva vettorizzazione delle evidenze rilevate. In questa maniera è stato possibile effettuare un censimento del materiale a disposizione e procedere con la georeferenziazione delle tavole su base digitale aerofotogrammetrica. Questa operazione è stata condotta con non poche difficoltà, per diverse ragioni. In primo luogo l'impostazione dei saggi sul campo è stata effettuata con metodi tradizionali, integrando misure lineari e misure angolari calcolate con bussola e metri. Successivamente le aree di scavo venivano riportate sulla cartografia aerofotogrammetrica coeva, e dunque diversa da quella attuale. È inevitabile che le divergenze fra le basi cartografiche e la diversità di metodi di rilievo generino degli errori di posizionamento, ma nonostante tutto è stato possibile produrre una carta generale di Herdonia. Fatta eccezione per le aree dell'area archeologica oggi visibili, non è stato possibile effettuare riscontri sul campo e correggere con strumentazione elettronica il posizionamento di gran parte delle trincee e dei saggi scavati da Mertens in quanto sono attualmente ricoperti.

Sono state create delle tabelle di attributi in modo da poter visualizzare i dati secondo precise domande di ricerche, come ad esempio l'anno di scavo, la cronologia di un determinato contesto o ancora il riferimento bibliografico di una determinata area.

Un primo importante risultato di questo lavoro consiste proprio nella redazione della **nuova cartografia**, intesa come strumento valido sia per analisi spaziali che per la tutela dell'area archeologica in vista delle future pianificazioni territoriali e paesaggistiche. Inoltre il GIS di Herdonia costituisce la piattaforma alla quale poter collegare le altre tipologie di dati.

In seguito alla messa a punto della base cartografica di riferimento, sono state analizzate le **strategie di documentazione** adottate dall'équipe di archeologi. Questa operazione è stata fondamentale per verificare se i dati in possesso fossero adatti o meno ad una conversione in oggetti digitali tridimensionali.

La documentazione grafica archeologica è fortemente condizionata dalla metodologia di scavo adottata. La strategia di Mertens consisteva nello scavo per trincee larghe solitamente 2 metri, in modo da ottenere informazioni sulla stratificazione su distanze anche piuttosto elevate e, successivamente, aprire saggi più ampi per indagare aree ritenute maggiormente interessanti. Nei primi anni '70 l'archeologo belga non si sottrae alla sperimentazione del metodo Wheeler, impostando dunque reti di saggi quadrangolari di 5 metri, ritenendo però questa pratica piuttosto problematica. L'attenzione di Mertens e dei suoi collaboratori alla stratigrafia è meticolosa. Per ogni trincea e per ogni saggio sono state disegnate più sezioni verticali, mentre dal punto di

vista planimetrico la situazione cambia. Risulta evidente come **le unità stratigrafiche** non fossero rappresentate singolarmente, tramite overlay, ma in un'unica pianta di fine scavo, con la conseguenza che **di gran parte di esse si conosce soltanto la quota altimetrica**, ma non i suoi reali limiti. In alcuni casi sono state redatte planimetrie di diversi *niveaux*, o livelli, in cui sono state raggruppate unità stratigrafiche contenute all'interno di determinati intervalli altimetrici, ma che fossero in qualche modo messe in relazione in base ad alcuni aspetti funzionali.

Malgrado l'assenza di informazioni spaziali complete sulle unità stratigrafiche sono stati effettuati dei test per ricostruire la stratificazione tramite procedure semiautomatiche basate sulla modellazione per *voxel*. Questa tecnica permette di ricostruire la volumetria di un oggetto assegnando dei valori altimetrici a due piani che rappresentano in questo caso l'interfaccia superiore e quella inferiore di un'unità stratigrafica. Come ci si aspettava, l'elaborazione ha restituito un esito negativo a causa dell'insufficienza di dati.

Questo **limite della documentazione grafica** non ha impedito però di applicare delle procedure di resa tridimensionale ad elaborati cartacei. Nell'ambito di questo studio è emersa l'impossibilità di ricostruire intere sequenze stratigrafiche, ma non di alcune sue componenti che invece risultano ampiamente dettagliate. L'integrazione di documentazione grafica di scavo, di planimetrie e sezioni di ambienti particolari e delle piante di fase elaborate da Mertens ha restituito un set di dati decisamente completo per poter creare oggetti digitali tridimensionali tramite modellazione manuale.

Il passaggio successivo di questo lavoro è stato quello di verificare la possibilità di integrazione delle informazioni ottenute dall'analisi stratigrafica, confezionate in una nuova tipologia di formato 3D con dati *digital born*, acquisiti tramite rilievo fotogrammetrico. L'idea era quella di **creare un'applicazione interattiva** popolata da contenuti digitali tridimensionali che potesse costituire uno strumento efficace per la comunicazione della complessa evoluzione cronologica di alcuni settori della città di Herdonia. Sulla base della documentazione disponibile e considerato lo stato di conservazione ottimale delle strutture presenti sul sito, **sono stati selezionati due contesti**: la porta Sud-Ovest e la basilica.

Il primo contesto, all'estremità occidentali di Herdonia, costituiva uno degli accessi principali alla città. Lo studio della cinta urbana è stato, sin dagli inizi delle ricerche, uno dei punti principali del programma di Mertens sia per comprendere l'estensione della città che per comprenderne le fasi storiche. Ed infatti lo scavo della porta Sud-Ovest e lo studio degli elevati hanno restituito importanti informazioni che hanno permesso di isolare più fasi costruttive. Grazie anche alle piante disegnate da Mertens è stato possibile estrarre delle geometrie solide

che rappresentano queste fasi e che possono essere visualizzate assieme al modello fotogrammetrico in modo da rendere l'utente perfettamente consapevole di questa evoluzione. A differenza della porta Sud-Ovest, l'altro contesto si trova nel cuore della città, ovvero sul lato nordoccidentale della piazza del foro. Se per il caso della porta le ricostruzioni delle fasi sono state fatte sulla base dell'analisi stratigrafica degli elevati, la sequenza stratigrafica individuata durante lo scavo della basilica ha restituito uno spaccato perfetto della storia insediativa del sito di Herdonia, nel quale sono presenti elementi riferibili a tutte le fasi cronologiche individuate, da quella daunia a quella medievale.

Gran parte di questa ricerca si è concentrata su quello che può essere definito **un vero e proprio scavo in archivio**. Sin dalle prime battute è apparso chiaro come sia assolutamente necessario un grande lavoro di digitalizzazione di tutti i documenti contenuti in questo prezioso scrigno, per almeno due ragioni. La prima riguarda il rischio di scomparsa dei dati. La digitalizzazione scongiurerebbe infatti la perdita totale delle informazioni archeologiche a causa di smarrimento o danneggiamento dei documenti analogici.

Ma c'è dell'altro. **Scavare in archivio** è stato un modo per ripercorrere la vicenda degli scavi reali, rivedere le impostazioni della ricerca, le metodologie usate, cogliere nuovi dettagli. In altre parole la revisione della documentazione di archivio può essere essa stessa un'azione che crea nuove informazioni.

Appare evidente dunque come sia fondamentale **condividere i risultati** di questo lavoro, e permettere ad altri utenti di accedere ai dati, acquisire informazioni e sviluppare proprie riflessioni, innescando così un circolo virtuoso sulla conoscenza di Herdonia. Questo splendido sito archeologico appare oggi in uno stato di abbandono ed è noto il rammarico di Joseph Mertens, che avrebbe preferito ricoprire le aree scavate piuttosto che lasciarle esposte al logorio del tempo³¹⁰. Pubblicare la documentazione d'archivio rappresenta dunque una grande opportunità. Non coglierla significherebbe dimenticare Herdonia una seconda volta.

3. La comunicazione

Quello della comunicazione costituisce il terzo tema sviluppato nell'ambito di questa ricerca. Un lavoro che intende affrontare la problematica dell'accessibilità di banche dati relative al patrimonio archeologico può essere finalizzato soltanto con la ricerca di soluzioni che permettano la fruizione dei contenuti da parte della comunità di utenti.

³¹⁰ Volpe, Leone 2011.

Nell'ambito di questa ricerca sono stati presi in considerazione due percorsi, un primo, indicato maggiormente per un pubblico esperto, che riguarda i dati spaziali e la cartografia ed un secondo, che presenta caratteristiche divulgative e videoludiche, pensato per un pubblico generico.

Sono state esaminate le potenzialità delle attuali soluzioni tecnologiche *web-based* a basso costo, sia per cercare di raggiungere il più ampio numero possibile di utenti e sia per verificare la validità dei trattamenti effettuati sui dati spaziali in funzione della loro visualizzazione tramite comuni browser per il web.

Nelle fasi di sviluppo del primo percorso sono state messe in luce le criticità della progettazione di un WebGIS. Trasferire un sistema informativo geografico dallo stato di applicazione desktop a quello di piattaforma dinamica per il web è infatti un'operazione complessa, che richiede innanzitutto un'organizzazione delle attività e delle fasi di sviluppo ben strutturata. La realizzazione di un WebGIS efficiente non può essere pensata se non come risultato di progetti più ampi, che prevedano la collaborazione degli enti predisposti alla tutela e delle istituzioni di ricerca, oltre a tempistiche adeguate e soprattutto all'integrazione di soggetti che possano occuparsi specificatamente delle infrastrutture tecniche e tecnologiche.

I software di ultima generazione nati con lo scopo di fornire dei sistemi per l'archiviazione e la gestione di dati archeologici permettono di accedere al *core* delle piattaforme web in maniera agevole e consentono di ottenere degli ottimi risultati dal punto di vista della condivisione dei dati.

Nell'ambito di questo progetto sono stati utilizzati anche strumenti molto meno complessi, ma di grande efficacia, che hanno permesso di pubblicare su web in maniera più agevole le entità spaziali del progetto GIS, integrandole su cartografie open. La pubblicazione di mappe tramite questi plug-in o tramite piattaforme social dedicate alla condivisione di mappe e cartografie varie, non comporta particolari conoscenze tecniche, e gli elaborati grafici prodotti possono essere considerati dei primi utili strumenti per la conoscenza del sito di Herdonia.

Tuttavia per realizzare un prodotto veramente professionale è assolutamente necessaria la consulenza di esperti nelle varie fasi di sviluppo dell'applicazione GIS.

Il primo grande ostacolo, di natura tecnologica, è costituito dalla creazione di sistemi di gestione e di interfacce *web-oriented*, che richiedono la conoscenza dettagliata di linguaggi di programmazione e di *scripting*, in assenza dei quali non sarebbe possibile implementare alcuna funzione, neanche le più basilari.

L'altro ordine di problemi riguarda l'**organizzazione delle banche dati**, non soltanto per gli aspetti prettamente tecnologici, e quindi relativi alla realizzazione in sé, ma anche per la

struttura da attribuire al set di dati. L'efficienza di un sistema dipende dalla qualità dei dati, ossia dal grado di definizione dei requisiti minimi dei dati, rispetto ad un modello di riferimento. In informatica un *data model* è un modello astratto che sta alla base dello sviluppo di qualsiasi sistema informativo, con lo scopo di fornire definizioni e formati dei dati³¹¹. La modellazione dei dati è un processo complesso che necessita di competenze specifiche e di figure professionali in grado, in un certo senso, di “tradurre” i dati archeologici in entità compatibili con un le caratteristiche di un sistema informativo. Anche se lo studio della teoria informatica e la conoscenza di linguaggi di programmazione e di organizzazione dei database non rientrano negli obblighi della sua formazione, è in questo processo che **la figura dell'archeologo riveste un ruolo chiave**, in quanto ha il compito di definire il dataset. Dal momento che ne è il curatore, l'archeologo conosce i dati archiviati, le informazioni che si possono ricavare da essi e di conseguenza le domande che possono essere poste al sistema informativo. L'archeologo può dunque fornire le indicazioni per indirizzare le successive attività di un eventuale progetto di pubblicazione tramite piattaforme web.

Il secondo percorso di fruizione è stato progettato sulla base di presupposti differenti rispetto al primo. Mentre la pubblicazione della cartografia aggiornata di Herdonia risponde ad esigenze di carattere tecnico, e quindi è indirizzata agli addetti ai lavori o comunque ad utenti esperti, la realizzazione di scenari interattivi in cui poter visualizzare vere e proprie **piante di fase 3D** è stata ispirata da finalità prettamente divulgative, e dunque per un pubblico ampio.

La produzione di queste applicazioni ha messo in luce l'intero paradigma metodologico che ha caratterizzato questa ricerca, **dall'acquisizione dei dati alla comunicazione delle informazioni**. Il record archeologico è un sistema caratterizzato da un elevato potenziale informativo, codificato nel set di dati che compone la documentazione archeologica. Quest'ultima può essere quindi considerata come un materiale prezioso che può essere sottoposto ad un ciclo di lavorazione finalizzato alla produzione di conoscenza. Nel caso di Herdonia è stata utilizzata soltanto una “qualità” di questo materiale, e cioè la documentazione grafica, acquisita secondo modalità diverse. La prima di queste comprende i dati spaziali 3D *digital born*, ed è consistita nella fase di rilievo sul campo tramite tecniche fotogrammetriche, in particolare *Structure from Motion*. L'altra modalità di acquisizione è stata effettuata grazie allo scavo in archivio e alla conversione delle entità spaziali disegnate su tavole cartacee in oggetti digitali tridimensionali. Tutti gli output ottenuti tramite i trattamenti che sono stati presentati, sono stati integrati ed implementati in scenari interattivi, in modo da veicolare in

³¹¹ West, Fowler 1999.

maniera diretta ed intuitiva le interpretazioni sulla scansione cronologica della storia insediativa di Herdonia, frutto del lungo ed intenso studio stratigrafico di Joseph Mertens.

Lungi dal voler essere un prodotto finito per la comunicazione, magari da installare in un percorso museale o in un sito web su Herdonia³¹², queste applicazioni costituiscono l'ultimo step di un percorso finalizzato alla pubblicazione di dati archeologici spaziali e topografici, opportunamente trattati per ottimizzare il loro potenziale informativo. L'archeologo può acquisire, trattare ed organizzare i contenuti in modo da trasferire la conoscenza dei contesti che indaga ad un pubblico, purché scelga i linguaggi e le tecnologie più adeguate.

Nel caso di Herdonia e dell'archivio Mertens sono stati scelti due percorsi con finalità diverse, ma soprattutto con due target di pubblico diversi, cercando di adeguare i contenuti alle possibili esigenze degli utenti. Mentre la pubblicazione del WebGIS per la ricerca di informazioni tecniche non implica l'adozione di particolari strategie comunicative, se non quella di organizzare i dati in maniera chiara, la realizzazione di applicazioni divulgative richiede un lavoro di preparazione dei contenuti più complesso. Nel primo caso infatti, chi cura i contenuti sa che gli utenti a cui si rivolge sono perfettamente consapevoli, se non del contesto in sé, del "lessico" archeologico e tecnico, e dunque non avranno particolari difficoltà di comprensione. In altre parole, la cartografia esportata è come un testo di narrativa: il lettore può non conoscere il contenuto, ma ha una conoscenza della lingua in cui esso è scritto pari a quella di un madrelingua.

Discorso diametralmente opposto va fatto per la divulgazione verso un pubblico generico. In questo caso **la maggior parte degli utenti non ha familiarità né con il contesto, né con il linguaggio dell'archeologo**. Ciò implica che l'archeologo riduca il più possibile la complessità delle informazioni scientifiche in modo da proporre concetti che siano chiari e di immediata comprensione. Questo approccio va applicato a tutte le categorie di contenuti, sia visivi che testuali, ed oltre alle esigenze dell'utenza deve considerare le caratteristiche del contenitore digitale. Per questo si è cercato di organizzare i contenuti in modo che essi rientrassero perfettamente all'interno dello spazio definito da una schermata di monitor, in modo da evitare che l'esperienza di fruizione potesse risultare eccessivamente dispersiva.

³¹² La versatilità della tecnologia utilizzata consente di implementare il visualizzatore 3D in una molteplicità di contenitori digitali, siano essi app per dispositivi mobile o pagine html per il web.

4. Considerazioni finali

Il lavoro di digitalizzazione dell'archivio Mertens è appena agli inizi. **Sono ancora tante infatti le pagine da scrivere** per poter rendere efficacemente fruibili le informazioni contenute in questo vero e proprio scrigno della memoria di quell'originale Periodo VIII della storia insediativa del sito di Ortona, ossia la vicenda delle indagini archeologiche dal 1962 ad oggi³¹³. Lo scavo in archivio ha permesso di studiare il corpus dei dati, comprenderne le proprietà e segnare l'inizio di un processo che si spera possa condurre alla pubblicazione completa della documentazione di Herdonia. La sistemazione della documentazione grafica di scavo ha costituito un primo tassello, portando come risultato la realizzazione della prima cartografia in cui sono posizionate tutte le aree scavate. I prossimi interventi in archivio dovranno prevedere l'acquisizione digitale della documentazione fotografica, la trascrizione dei giornali di scavo e la registrazione degli inventari di reperti, in modo da collegare queste tipologie di documenti alla base cartografica e metterle in relazione all'interno del GIS di Herdonia. Certo, queste azioni potranno essere portate a termine soltanto nell'ambito di un progetto di ampio respiro, volto a creare un sistema informativo *web-based* efficiente, magari promosso da un'intesa fra università e soprintendenze, tramite il quale **rilasciare contenuti digitalizzati dell'archivio Mertens sotto forma di open data**. L'adesione ad un protocollo per la libera pubblicazione di dati in formati aperti sarebbe un notevole passo in avanti per la tutela e la valorizzazione del patrimonio archeologico e per la promozione della ricerca in Italia. Un percorso in tal senso è stato già tracciato e messo per iscritto nel Manifesto Open Data Archeologici³¹⁴, promosso in seguito all'esperienza della *Open School of Archaeological Data*, tenutasi a Pisa nel luglio 2014. Il **MODA** rivendica la libertà di pubblicazione dei dati che descrivono i beni archeologici in quanto beni pubblici, e quindi appartenenti a tutti i cittadini. L'adozione di formati aperti risponderebbe dunque ad esigenze etiche di trasparenza, di accessibilità e anche di ottimizzazione dei costi. Nell'ambito di questo progetto si è scelto di aderire il più possibile a questi principi, proponendo delle procedure operative che illustrassero le tappe necessarie per la produzione di open data.

Fra le ricadute virtuose di questo approccio emerge innanzitutto la sostenibilità della ricerca, sia dal punto di vista economico, dunque evitando i costi delle licenze di software proprietario, che dal punto di vista tecnologico, grazie all'adozione di formati aperti che possono essere letti e modificati a prescindere dalla configurazione hardware e software in possesso dall'utente.

³¹³ Volpe 2000.

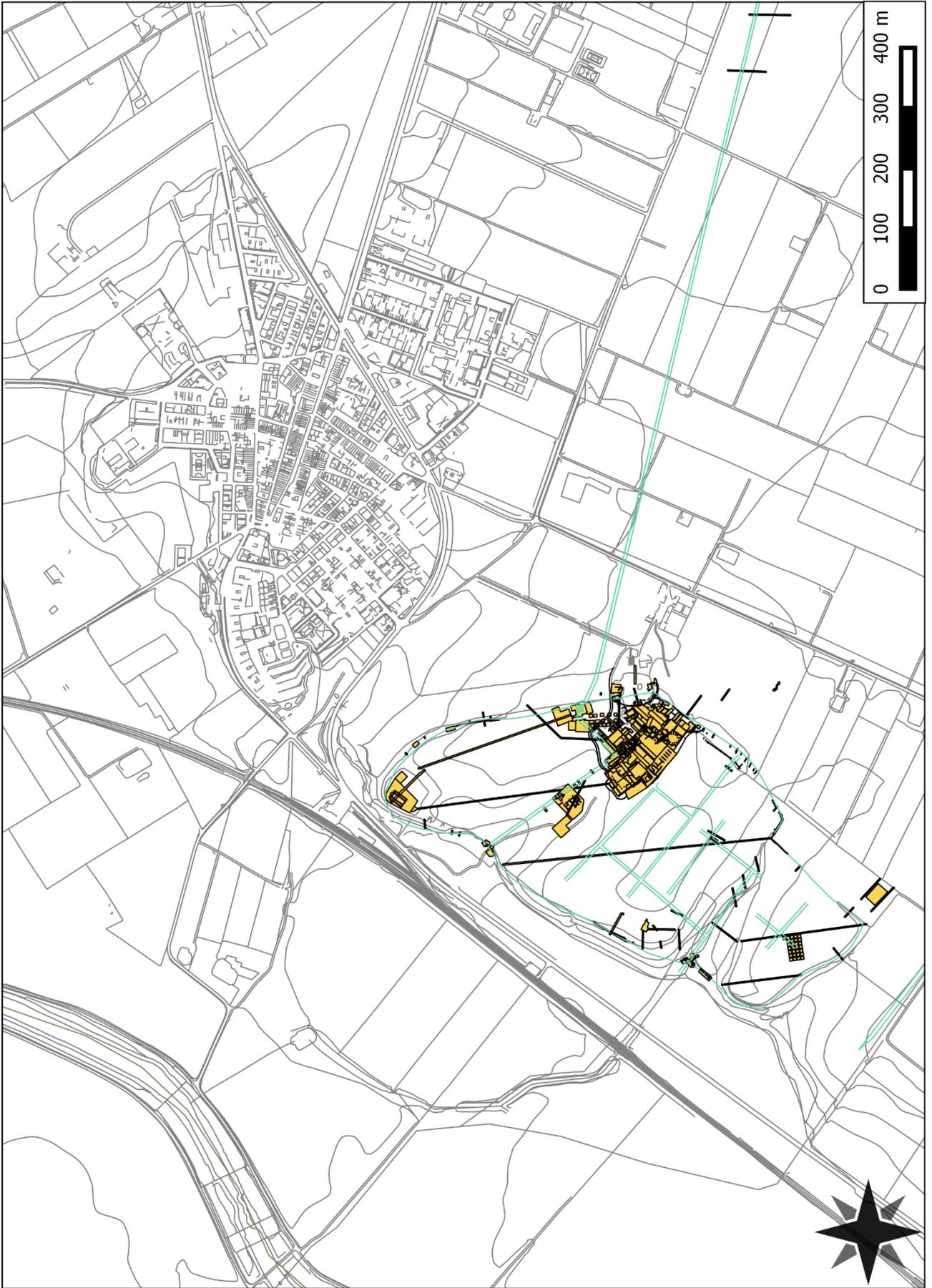
³¹⁴ MODA, Manifesto Open Data Archeologici: <http://www.modarc.org/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

Gli altri vantaggi riguardano gli aspetti strettamente metodologici. Questo lavoro ha permesso di effettuare una serie di sperimentazioni su diverse modalità di acquisizione e di trattamento dei dati spaziali e topografici, con l'obiettivo di strutturare delle procedure operative efficienti ed aggiornate in base alle tecnologie attuali.

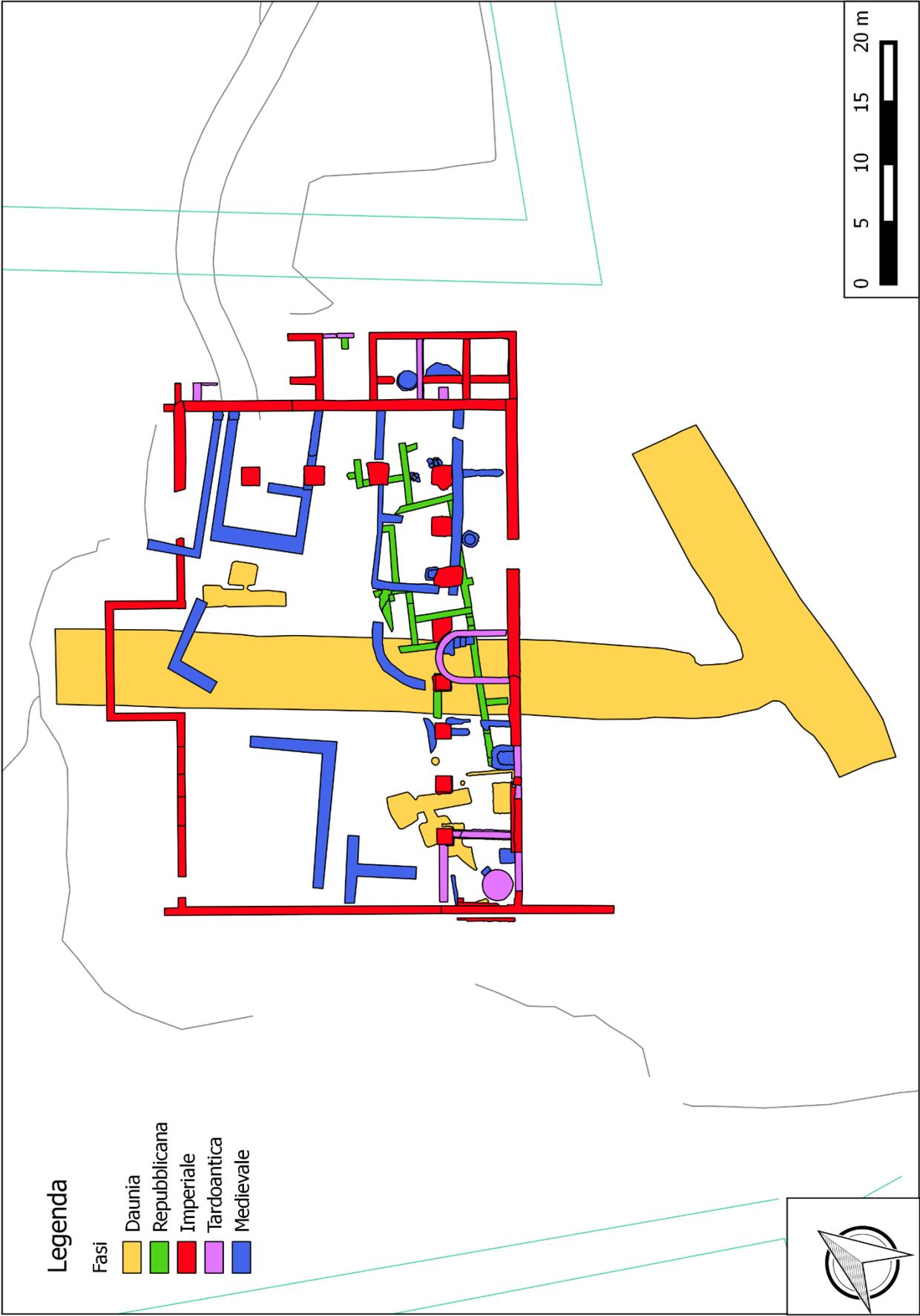
Durante le attività di laboratorio è stato dato ampio spazio alle **ricadute metodologiche sulla didattica**. In particolare, la messa a punto di un workflow per il trattamento della documentazione grafica d'archivio è stata oggetto di studio da parte di un gruppo di studenti che hanno potuto arricchire la loro esperienza formativa apprendendo tecniche di acquisizione e gestione dei dati.

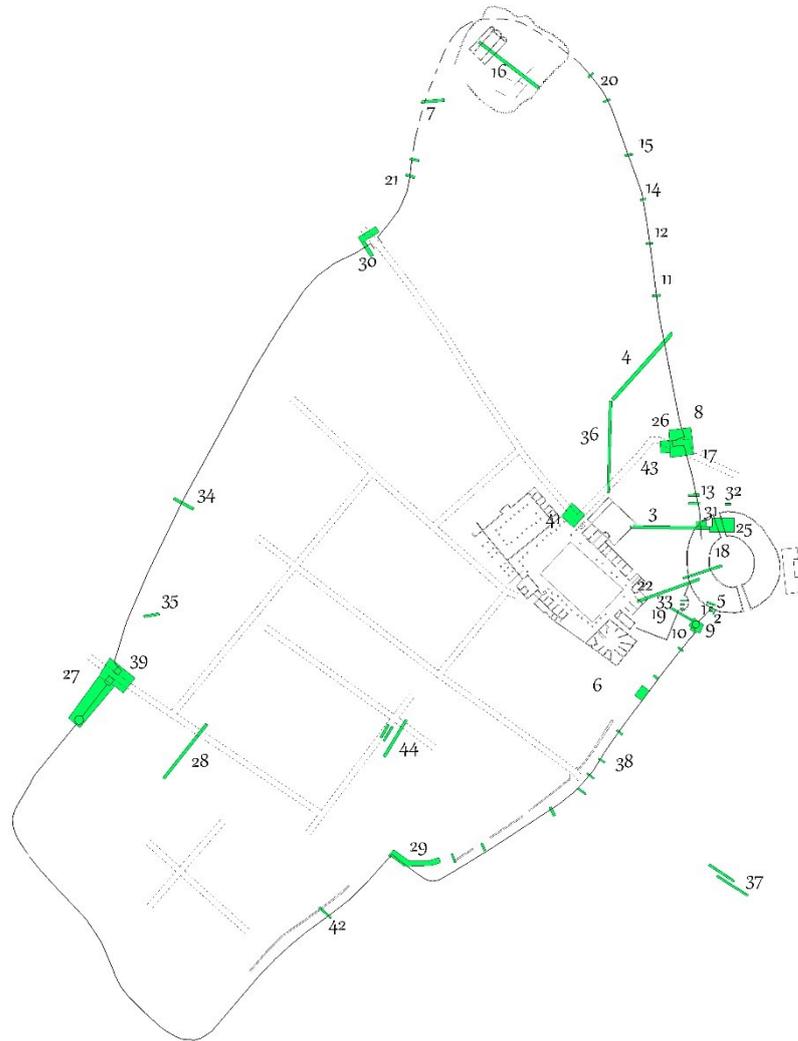
Un ultimo elemento caratterizzante di questo studio riguarda le riflessioni sugli **aspetti comunicativi** nell'impostazione metodologica della ricerca archeologica. La comunicazione non può avere un ruolo marginale, ma deve essere parte integrante dei progetti di ricerca, in quanto rappresenta il momento nel quale si concretizza la funzione civile e sociale dell'archeologia stessa. Ciò che deve cambiare è la considerazione del pubblico. Una buona comunicazione richiede innanzitutto che la figura dell'utente sia portata al centro dell'impostazione del lavoro e che gli strumenti di erogazione dei contenuti scientifici siano pensati per adattarsi alle sue esigenze. In quest'ottica l'archeologia digitale può dare un contributo decisivo, costituendo di fatto una finestra aperta sul mondo delle tecnologie informatiche, che ben si prestano alla realizzazione di applicazioni divulgative che possano coniugare la qualità dei contenuti con le esigenze degli utenti. Le tecnologie però non sono il fine da perseguire, ma il mezzo tramite il quale veicolare informazioni. L'approccio con le novità informatiche e tecnologiche è stato spesso animato più da sensazionalismo che da una reale efficacia. Basti pensare a tutte quelle applicazioni di potenti laser scanner che hanno però prodotto soltanto elaborati grafici bidimensionali come unico output pubblicato. Le tecnologie forniscono strumenti. Spetta all'archeologo utilizzarli per dare una forma ed un senso a ciò che vuole comunicare. Per ottenere questo risultato non è necessario che l'archeologo diventi un modellatore 3D o un programmatore, anzi questa visione andrebbe cancellata, non fosse altro per una questione di rispetto verso le varie professionalità del settore informatico. Il ruolo dell'archeologo, ed in particolare dell'archeologo digitale, deve essere riservato alla cura e al trattamento dei dati, all'estrazione di informazioni e all'organizzazione dei contenuti da pubblicare.

TAVOLE









Herdonia 1962/64

0 100 mt



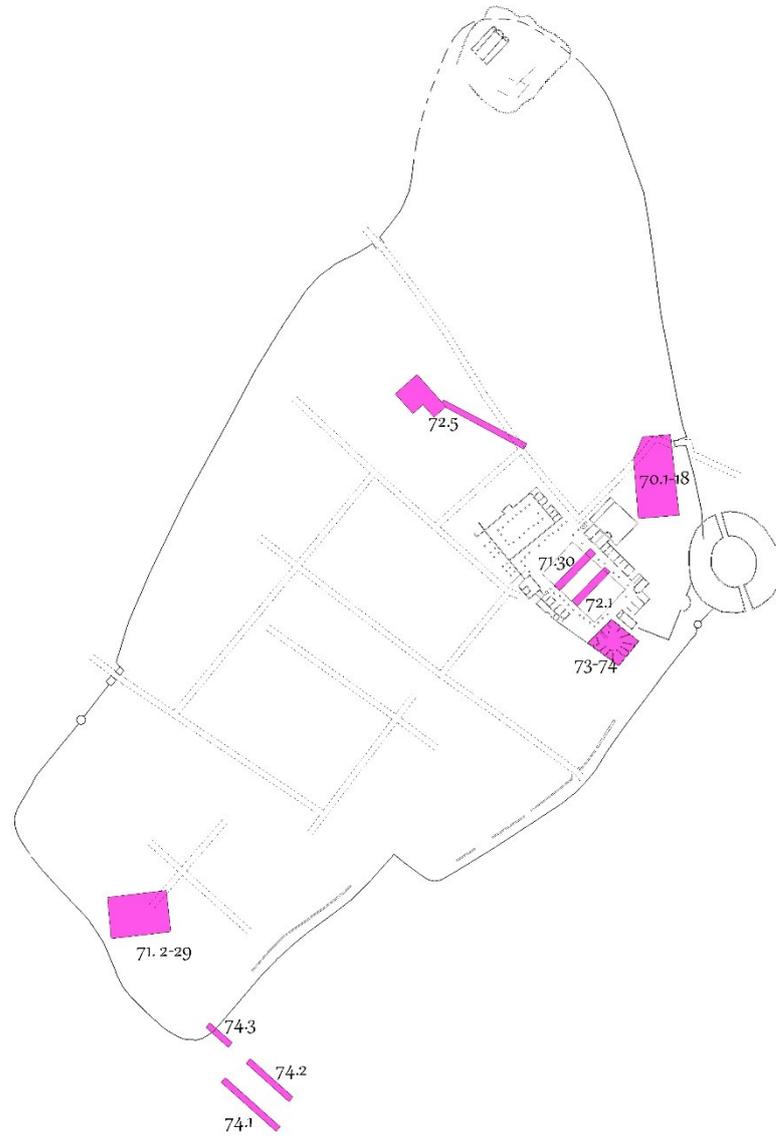
Herdonia 1964/66

0 100 mt



Herdonia 1966/69





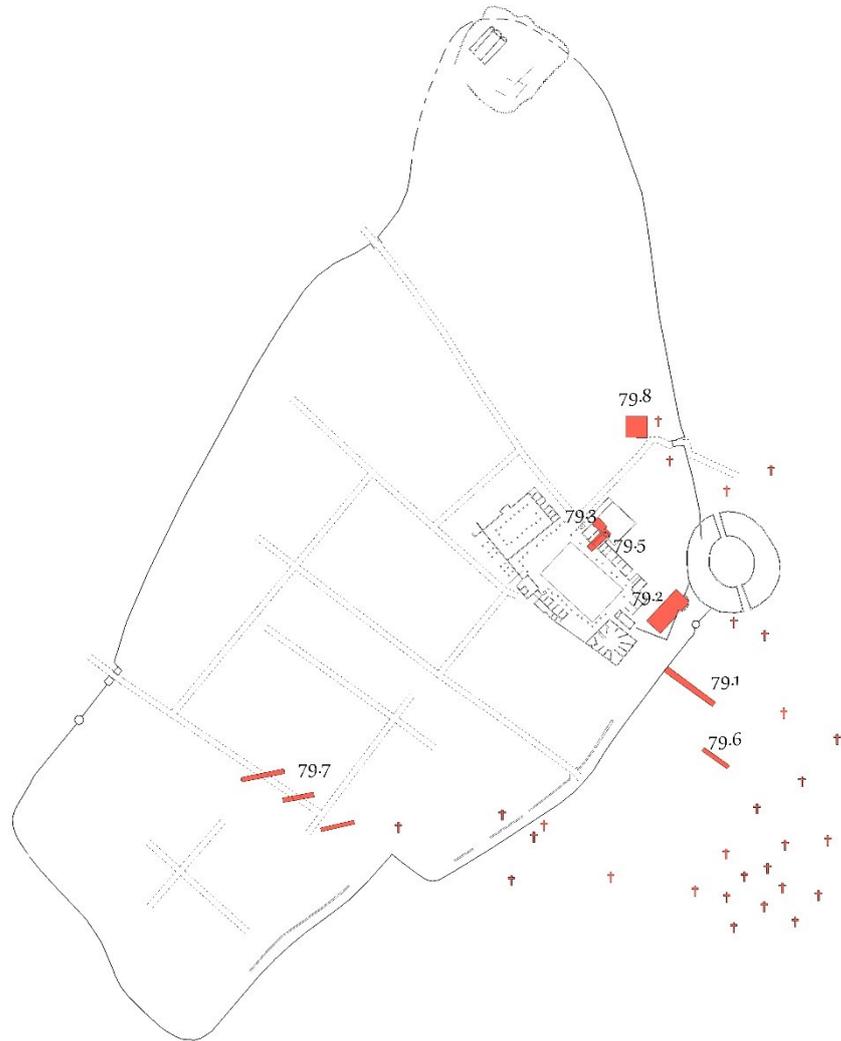
Herdonia 1970/74

0 100 mt



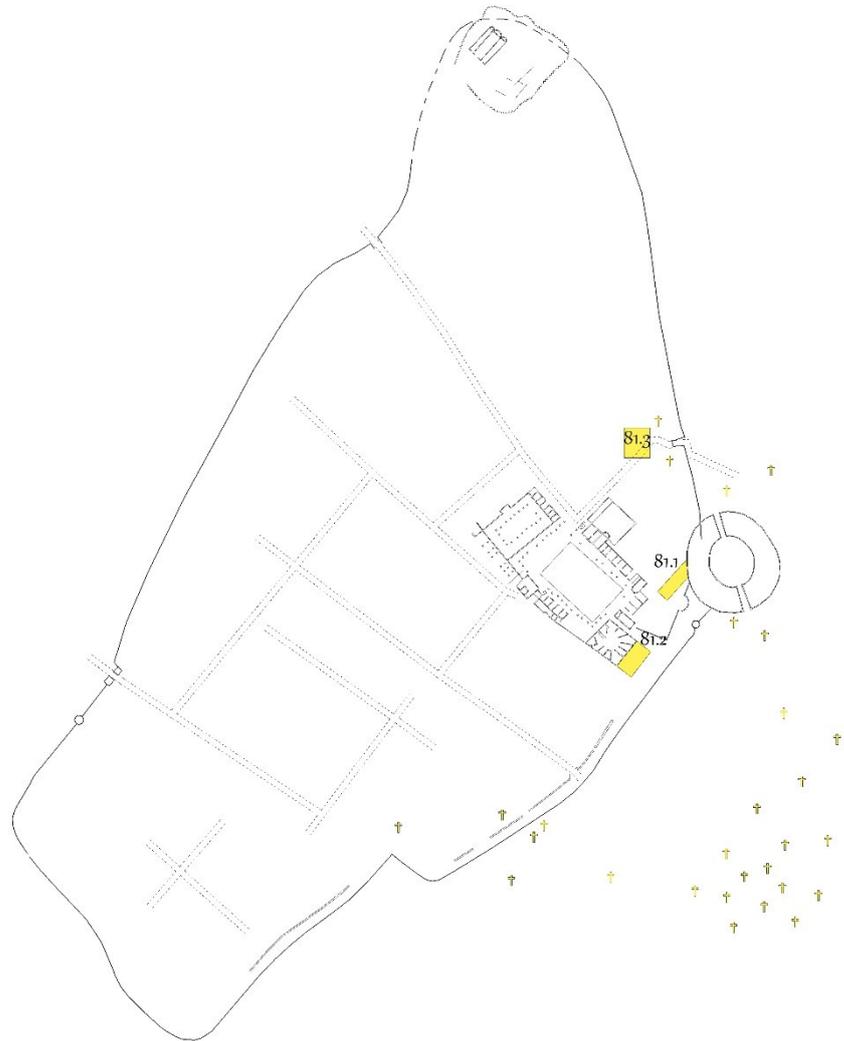
Herdonia 1975/77

0 100 mt



Herdonia 1979

0 100 mt



Herdonia 1987

0 100 mt

BIBLIOGRAFIA

- Abergel et alii 2015 – Abergel, V., Saleri, R., Lequay, H., De Livio, L., *KIVI: Bring virtual reality to online 3D objects databases*, in Pescarin, S., Cano, P., Grande, A., (eds.), *International Congress on Digital Heritage – EXPO*, 2015, IEEE.
- Acker et alii 2015 – Acker, O., Gröne, F., Lefort, T., Kropiunigg, L., *The digital future of creative Europe. The impact of digitization and the Internet on the creative industries in Europe*, PWC, 2015: <http://www.strategyand.pwc.com/reports/the-digital-future-creative-europe> [Ultimo accesso: 30/03/2016].
- Anderson 2004 – Anderson, M.A., *Digital spaces: Pompeii, the Internet, and beyond*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 449-464.
- Angelillis 1953 – Angelillis, C., *Pulsano e l'ordine monastico pulsanese*, in *Archivio Storico Pugliese*, VI, 421-463.
- Angelini et alii 2009 – Angelini, A., Colosi, F., Gabrielli, R., Fentress, E., Filippone, C., *Tecniche speditive per la ricostruzione tridimensionale dell'area archeologica di Villa Magna*, in *Archeologia e Calcolatori*, 18, 2007, 141-158.
- Angelini et alii 2013 – Angelini, A., Gabrielli, R., *Laser scanning e photo scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici*, in *Archeologia e Calcolatori*, 24, 2013, 379-394.
- Anichini et alii 2011 – Anichini F., Bini D., Bini M., Dubbini N., Fabiani F., Gattiglia G., Giacomelli S., Gualandi M.L., Pappalardo M., Paribeni E., Sarti G., Steffè S., *Progetto MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico*, in *MapPapers 1-I*, 2011, 1-22.
- Anichini et alii 2012 – Anichini F., Fabiani F., Gattiglia G., Gualandi M.L., *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico, vol.1*, 2012, Roma.

- Anichini et alii 2013 – Anichini F., Dubbini N., Fabiani F., Gattiglia G., Gualandi M.L., *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico*, vol.2, 2013, Roma.
- Auer et alii 2015 – Auer, M., Richards-Rissetto, H., von Schwerin, J., Billen, N., Loos, L., Zipf, A., *MayaArch3D: Web based 3D Visibility Analyses in Ancient Cityscapes – the role of visible structures at the Maya Site of Copán, Honduras*, in *43rd Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Annual Conference*, 2015, Siena.
- Aukstakalnis, Blatner 1995 – Aukstakalnis, S., Blatner, D., *Miraggi Elettronici, Arte, scienze e tecniche di realtà virtuali*, Milano 1995.
- Azpitarte et alii 2015 – Azpitarte, M.P., San Bruno, C., De la Barrera Montenegro, L., Martinez, A., Alcalá Zamora, J., Alfaro Ballesteros, S., Egea, V.M., Lupiañez Lopez, P., De Sobre, S., *Living the Oppidum Vivir en el Opida*, in Pescarin, S., Cano, P., Grande, A., (eds.), *International Congress on Digital Heritage – EXPO*, 2015, IEEE.
- Baldassarro 2009 – Baldassarro, L., *La time machine. Un'applicazione di real-time per il sito di Faragola*, Tesi di Laurea in Beni Culturali, A.A.2008/09, Università degli Studi di Foggia.
- Baldassarro 2012 – Baldassarro, L., *Il Level Design*, in De Felice, G., (ed.) 2012, (ved.).
- Baldi 1998 – Baldi, P., *Calcolo delle probabilità e statistica*, 1998, Milano.
- Balty 2012 – Balty, J.-C., (ed.), *Belgica et Italica. Joseph Mertens: une vie pour l'archéologie, Atti del Convegno in memoria di Joseph Mertens. Academia Belgica, 4-6 dicembre 2008*, Bruxelles-Roma 2012.
- Barbanente et alii 2010 – Barbanente, A., Volpe, G., Annese, C., Buglione, A., Di Zanni, A., Goffredo, R., Romano, A. V., *The Cultural Heritage Map of Apulia Project*, in *Archeologia e Calcolatori*, 21, 2010, 75-92.

- Barberini 2006 – Barberini, C., *AutoCad e il rilievo archeologico digitale*, 2006, Perugia.
- Barcelò et alii 2000 – Barcelò, J.A., Forte, M., Sanders, D., (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*, BAR International Series 843, 2000, Oxford.
- Barcelò 2001 – Barcelò, J.A., *Virtual reality for archaeological explanation. Beyond "picturesque" reconstruction*, in *Archeologia e Calcolatori*, 12, 2001, 221-244.
- Barcelò et alii 2004 – Barcelò, J.A., Bogdanovic, I., Piqué, R., *Tele-archaeology*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 467-481.
- Barchesi et alii 2003 – Barchesi, C., Moscati, P., Santoro, P., Scarpati, D., *Ricerche archeologiche sul campo e archivi digitali: il manoscritto di Ercole Nardi*, in *Archeologia e Calcolatori*, 14, 2003, 295-325.
- Bender 1993 – Bender, B., (ed.), *Landscape. Politics and Perspectives*, 1993, Oxford.
- Bertoldi et alii 2015 – Bertoldi, S., Fronza, V., Valenti, M., *Sistemi digitali di documentazione e analisi archeologica. Verso quale direzione?*, in *Archeologia e Calcolatori*, 26, 2015, 233-243.
- Bertolotti 2000 – Bertolotti, M., *Storia del laser*, 2000, Torino.
- Bezzi et alii 2006 – Bezzi, A., Bezzi, L., Francisci, D., Gietl, R., *L'utilizzo di voxel in campo archeologico*, in *Conference: 7th Italian Grassmeeting, At Genova, Volume: Geomatic Workbooks*, 2006.
- Biallo 2005 – Biallo, G., *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*, 2005, Roma.
- Bitelli 2005 – Bitelli, G., *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali*, 2005, Bologna.

- Boi et alii 2015 – Boi, V., Marras, A.M., Santagati, C., *Open Access and archaeology in Italy: an overview and a proposal*, in *Archäologische Informationen* 38, 2015, 137-147.
- Boi et alii 2015a – Boi, V., Jovine, I., Stacca, M., Serlorenzi, M., *SITAR, the Geographic Archaeological Information System of Rome: some challenging issues in opening archaeological data*, in *Archäologische Informationen* 38, 2015, 149-155.
- Boni 2005 – Boni, M., *Informatica*, 2005, Milano.
- Bradford 1956 – Bradford, J., *La spedizione archeologica inglese in Apulia: relazione preliminare*, trad. di Franchin Radcliffe, F., in Radcliffe Franchin, F., (ed), *Paesaggi sepolti in Daunia. John Bradford e la ricerca archeologica dal cielo*, Foggia, 2006.
- Britton 1996 – Britton, B., *LASCAUX Virtual Reality Project*, 1996.
- Brown 2015 – Brown, D.H., *Selecting Archaeological Archives in England*, in *Archäologische Informationen* 38, 2015, 247-254.
- Burattini, Cordeschi 2001 – Burattini, E., Cordeschi, R., *Intelligenza Artificiale, Manuale per le discipline della comunicazione*, Roma 2001.
- Calò Mariani, Cassano 1995 – Calò Mariani, M.S., Cassano, R., (eds.), *Federico II. Immagine e potere*, 1995, Venezia.
- Cambi 2009 – Cambi, F., *Archeologia (globale) dei paesaggi (antichi): metodologie, procedure, tecnologie*, in Macchi Jànica, G., (ed.), *Geografie del Popolamento, casi di studio, metodi e teorie*, Siena, 2009.
- Cambi 2011 – Cambi, F., (ed.), *Manuale di archeologia dei paesaggi*, 2011, Roma.

- Campana, Francovich 2006 - Campana S., Francovich R. (eds.), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali 1, I Workshop (Grosseto, 4 marzo 2005)*, Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti - Sezione Archeologia - Università di Siena, 2006, Firenze.
- Campana et alii 2016 – Campana, S., Scopigno, R., Carpentiero, G., Cirillo, M., (eds.), *CAA 2015, Keep the revolution going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Oxford, 2016.
- Campbell 1989 – Campbell, J., *Introduzione alla cartografia*, 1989, Bologna.
- Campeol, Pizzinato 2007 – Campeol, G., Pizzinato, C., *Metodologia per la valutazione dell'impatto archeologico*, in *Archeologia e Calcolatori*, 18, 2007, 273-292.
- Cannarozzo et alii 2012 – Cannarozzo, R., Cucchiari, L., Meschieri, W., *Misure, rilievo, progetto*, 2012, Bologna.
- Canny 2015 – Canny, N., *Opening Access to Archaeology*, in *Archäologische Informationen* 38, 2015, 21-29.
- Cantone 2007 – Cantone, F., *Archeobits*, Napoli, 2007.
- Cantone 2011 – Cantone, F., (ed.) *ARCHEOFOSS, Open source, Free software e Open Format nei processi di ricerca archeologica*, Atti del VI Workshop, (Napoli, 9-10 giugno 2011), Napoli, 2012.
- Cantone 2012 – Cantone, F., (ed.), *Ambienti multimediali per i Beni Culturali*, 2012, Napoli.
- Carandini 1996 – Carandini A., *Storie dalla terra: manuale di scavo archeologico*, 1996, Torino.
- Carandini 2012 – Carandini, A., *Il nuovo dell'Italia è nel passato*, 2012, Roma-Bari.

- Caravale, Piergrossi 2012 – Caravale, A., Piergrossi, A., *Archeologia in rete. Le riviste open access: risorse e prospettive*, in *Archeologia e Calcolatori*, 23, 2012, 187-207.
- Casagrande et alii 2012 – Casagrande, L., Cavallini, P., Frigeri, A., Furieri A., Marchesini, I., Neteler, M., *GIS Open Source. Grass, Quantum GIS e SpatiaLite. Elementi di software libero applicato al territorio*, 2012, Palermo.
- Cassano 1992 – Cassano, R., (ed.), *Principi, imperatori, vescovi. Duemila anni di storia a Canosa*, 1992, Venezia.
- Casteels 1976 – Casteels, E., *La Basilique d'Ordon*, in Mertens 1976 (vd).
- Ch'ng et alii 2013 – Ch'ng, E., Gaffney, V., Chapman, H., *Visual Heritage in the Digital Age*, 2013, Londra.
- Chaumet 2008 – Chaumet, A., *Webmapping, archéologie et Géoportail*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 79-86.
- Cinquanta et alii 2015 – Cinquanta, E., Iaia, F., Marsicano, L., *Tecnologie integrate per la gestione e la visualizzazione del paesaggio 3D. Il caso della necropoli della Banditaccia*, in *Archeomatica*, giugno 2015.
- Clack, Britain 2007 – Clack, T., Britain, M., (eds.), *Archaeology and the Media*, 2007, Walnut Creek.
- Clarke 1968 – Clarke, D., *Analytical Archaeology*, 1968, Londra.
- Clarke 1972 – Clarke, D., *Models in Archaeology*, 1972, Londra.
- Condon et alii 1999 – Condon, F., Richards, J., Robinson, D., Wise, A., *Strategies for Digital Data – Findings and Recommendations from Figital Data in Archaeology: a Survey on User Needs*, in *Archaeology Data Service*, 1999, York.

- Cowgill 1968 – Cowgill, G.L., *Archaeological Applications of Factor, Cluster, and Proximity Analysis*, in *American Antiquity*, 33, 3, 1968, 367-375
- Craig et alii 2009 – Craig, A.B., Sherman, W.R., Will, J.D., *Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design*, 2009, Burlington.
- D’Andrea, Niccolucci 2000 – D’Andrea, A., Niccolucci, F., *L’archeologia computazionale in Italia: orientamenti, metodi e prospettive*, in *Archeologia e Calcolatori*, 11, 2000, 13-31.
- D’Andrea, Niccolucci 2001 – D’Andrea, A., Niccolucci, F., *L’informatica dell’archeologo: alcune istruzioni per l’uso*, in *Archeologia e Calcolatori*, 12, 2001, 199-220.
- D’Andrea 2006 – D’Andrea, A., *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*, Budapest 2006.
- D’Andrea 2011 – D’Andrea, A., *Il rilievo archeologico con il laser scanner: luci e ombre*, in *Vesuviana, An International journal of archaeological and historical studies on Pompeii and Herculaneum*, 2011, 3, 193-218.
- D’Andria 1987 – D’Andria, F., *Informatica e archeologia classica*, in *Atti del Convegno Internazionale. Lecce 12-12 Maggio 1986*, 1987, Galatina.
- Dattolo et alii 2012 – Dattolo, A., De Felice, G., Di Zanni, A., Introna, A., Santacesarea, V., *La nuova esposizione della Collezione archeologica della Fondazione Banco di Sicilia: il progetto di fruizione multimediale*, in *Volpe, Spatafora* 2012, 29-35.
- De Felice et alii 2008 – De Felice, G., Sibilano, M.G., Volpe, G., *Ripensare la documentazione archeologica: nuovi percorsi per la ricerca e la comunicazione*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 271-291.
- De Felice 2012 – De Felice, G., (ed.), *Una Macchina del Tempo per l’Archeologia, Metodologie e tecnologie per la ricerca e la fruizione virtuale del sito di Faragola*, 2012, Bari.

- De Felice et alii 2012 – De Felice G., Fratta A., Gagliardi F., Ricciardi A., Dotoli G., *Herdonia, il contributo dell'archeologia digitale*, in Balty 2012 (ved.).
- De Felice 2013 – De Felice, G., *Il nuovo allestimento della collezione archeologica della Fondazione Sicilia fra tecnologie e creatività*, in *Archeologia e Calcolatori*, 24, 2013, 249-263.
- De Felice et alii 2013 – De Felice, G., Fratta, A., Moscaritolo, C., *Il progetto ArcheO3D per una gestione tridimensionale dei dati archeologici. Una prospettiva open?*, in *Archeologia e Calcolatori*, supplemento 4, 2013, 194-201.
- De Felice 2014 – De Felice, G., *Racconti dalla terra. L'archeologia fra linguaggi, creatività e tecnologie*, in *MapPapers*, 1-IV, 2014, 27-30.
- De Felice, Fratta 2016 – De Felice, G., Fratta, A., *A dig in the archive. The Mertens archive of Herdonia excavations: from digitisation to communication*, in Campana, S., Scopigno, R., Carpentiero, G., Cirillo, M., (eds.), 2016 (ved.).
- De Felice, Sibilano, Volpe 2008 – De Felice G., Sibilano M.G., Volpe G. (eds.), *L'informatica e il metodo della stratigrafia, Atti del Workshop, (Foggia, 6-7 Giugno 2008)*, Bari, 2008.
- De Guio 2015 – De Guio, A., *Nuove linee di ricerca fra archeologia pre-dittiva e post-dittiva*, in *Archeologia e Calcolatori*, 26, 2015, 301-313.
- Der Manuelian 2013 – Der Manuelian, P., *Giza 3D: Digital Archaeology and Scholarly Access to the Giza Pyramids. The Giza Project at Harvard University*, in *Digital Heritage, International Congress (28 ottobre – 1 novembre)*, Marsiglia.
- Devijver, Van Wonterghem 1981 – Devijver, H., Van Wonterghem, F., *Il campus nell'impianto urbanistico delle città romane: testimonianze epigrafiche e resti archeologici*, in *Acta Arch. Lovan.* 20, 1981, p. 33-68.

- Diarte Blasco, Sebastian Lopez 2011 – Diarte Blasco, P., Sebastian Lopez, M., *Gestión de la información arqueológica y realidad virtual: VisArq. 1.0.*, in *Archeologia e Calcolatori*, 22, 2011, 261-282.
- Di Giacomo, Scardozi 2014 – Di Giacomo, G., Scardozi, G., *GIS cloud per l'archeologia. Strumenti open source per la gestione e condivisione dei dati*, in *Archeologia e Calcolatori*, 24, 2014, 93-112.
- Djindjian 1990 – Djindjian, F., *Nouvelles tendances méthodologiques dans le traitement de l'information en archeology*, in *Archeologia e Calcolatori*, 1, 1990, 9-13.
- Djindjian 2008 – Djindjian, F., *Webmapping in the historical and archaeological sciences. An introduction*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 9-16.
- Djindjian 2009 – Djindjian, F., *The golden years for mathematics and computers in archaeology (1965-1985)*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 61-73.
- Evans, Daly 2006 – Evans, T.L., Daly, P., (eds.), *Digital Archaeology, Bridging method and theory*, 2006, Londra-New York.
- Farjas, Garcia Làazaro 2008 – Farjas, M., Garcia Làazaro, F.J., *Modelizaciòn tridimensional y sistemas làser scàner 3D aplicados al Patrimonio Històrico*, 2008, Madrid.
- Favia et alii 2010 – Favia, P., Matheus, M., Russo, S., *Arthur Haseloff e Martin Wackernagel alla ricerca della Capitanata medievale: fotografie dall'Archivio dell'Università di Kiel*, 2010, Foggia.
- Favia, De Venuto 2011 – Favia, P., De Venuto, G., (eds.), *La Capitanata e l'Italia meridionale nel sec. XI: da Bisanzio ai Normanni, Atti delle II Giornate medievali di Capitanata (Apricena, 16-17 aprile 2005)*, 2011, Bari.
- Fernie, Richards 2003 – Fernie, K., Richards, J.D., *Creating and using Virtual Reality: A guide for the Arts and the Humanities*, Oxford 2003.

- Fiorini 2008 – Fiorini A., *Esperienze di fotomodellazione e stereofotogrammetria archeologica*, in De Felice G., Sibilano M.G., Volpe G. (eds.) 2008 (vedi).
- Fiorini 2013 – Fiorini, A., *Nuove possibilità della fotogrammetria. La documentazione archeologica del nuraghe di Tanca Manna (Nuoro)*, in *Archeologia e Calcolatori*, 24, 2013, 341-354.
- Forte, Beltrami 2000 – Forte, M., Beltrami, R., *A proposito di Virtual Archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità*, in *Archeologia e Calcolatori*, 11, 2000, 273-300.
- Forte 2000 – Forte, M., *Comunicazione archeologica*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 75-80.
- Forte 2002 – Forte, M., *I sistemi informativi geografici in archeologia*, 2002, Roma.
- Forte 2004 – Forte, M., *Realtà virtuale, beni culturali e cibernetica: un approccio ecosistemico*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 423-448.
- Forte 2007 – Forte, M., (ed.), *La villa di Livia: un percorso di ricerca di archeologia virtuale*, 2007, Roma.
- Francovich 1990 – Francovich, R., *Dalla teoria alla ricerca sul campo: il contributo dell'informatica all'archeologia medievale*, in *Archeologia e Calcolatori*, 1, 1990, 15-26.
- Frassine, Naponiello 2012 – Frassine, M., Naponiello, G., *RAPTOR: archeologia e tutela. Verso la pubblica amministrazione digitale*, in *Archeologia e Calcolatori*, 23, 2012, 81-99.
- Frassine et alii 2014 – Frassine, M., Rigoni, A.N., Bezzi, A., Bezzi, L., Naponiello, G., *Un prototipo di Augmented Reality per la valorizzazione della villa romana di Torre di Pordenone (Friuli Venezia Giulia)*, in *Archeologia e Calcolatori*, 25, 2014, 189-206.

- Gabucci 2005 – Gabucci, A., *Informatica applicata all'archeologia*, 2005, Roma.
- Garrish 2011 – Garrish M., *What is EPub3?*, 2011.
- Gattiglia 2015 – Gattiglia, G., *Think big about data: Archaeology and the Big Data challenge*, in *Archäologische Informationen* 38, 2015, 113-124.
- Gianolio 2012 – Gianolio, S., (ed.), *Archeologia Virtuale: la metodologia prima del software, Atti del II seminario, Roma, 5-6 aprile 2011*, 2012, Roma.
- Giardino 2012 – Giardino, M., *Analisi archeologica di un elmo conservato al Museo di Lucera*, Tesi di Laurea in Beni Culturali, A.A. 2012/2013, Dipartimento di Studi Umanistici, Università di Foggia.
- Girelli 2007 – Girelli, V.A., *Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali*, Tesi di Dottorato in Scienze Geodetiche e Topografiche, Ciclo XIX, Università di Bologna.
- Given 2009 – Given, M., *Archaeology and storytelling: encounters with the past in Scotland and Cyprus*, in *Historic Argyll* 14, 2009, 33-41.
- Grelle, Volpe 1994 – Grelle, F., Volpe, G., *La geografia amministrativa ed economica della Puglia tardoantica*, in Carletti, C., Otranto, G., (eds.), *Culto e Insediamenti micaelici nell'Italia meridionale fra tarda antichità e medioevo*, Atti del Convegno Internazionale (Monte Sant'Angelo 1992), 1994, Bari, 15-81.
- Gregory 2003 – Gregory, I.N., *A place in history: a guide to using GIS in Historical Research*, Oxford, 2003.
- Gruen, Baltsavias 1988 – Gruen A., Baltsavias E., *Geometrically constrained multiphoto matching*, *PE&RS*, Vol. 54(5), 1988, 633-641.

- Gualandi 2014 – Gualandi, M.L., *Comunicare l'archeologia*, in MapPapers, 1-IV, 2014, 39-46.
- Gubitosa 2007 – Gubitosa, C., *Hacker, scienziati e pionieri*, Viterbo, 2006.
- Guermanti 2003 – Guermanti, M.P., *Internet e multimedia*, in Archeologia e Calcolatori, 14, 2003, 336-339.
- Guermanti 2004 – Guermanti, M.P., *Nuovi linguaggi e "vecchie tecnologie": comunicare la conoscenza archeologica attraverso la rete*, in Archeologia e Calcolatori, 15, 2004, 483-496.
- Guermanti 2009 – Guermanti, M.P., *Provando e riprovando: un quarto di secolo di applicazioni*, in Archeologia e Calcolatori, 20, 2009, 155-168.
- Guermanti 2011 – Guermanti, M.P., *La sfida della complessità*, in Archeologia e Calcolatori, 22, 2011, 441-445.
- Guidazzoli 2007 – Guidazzoli, A., *L'esperienza del CINECA nel campo della Virtual Archaeology*, in Coralini, A., Corlàita Scagliarini, D., (eds.) *Ut Natura Ars. Virtual Reality e archeologia. Atti della Giornata di Studi, Bologna, 22 aprile 2002*, 2007, Imola.
- Guidi et alii 2010 - Guidi G., Russo M., Beraldin J-A., *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, Milano, 2010.
- Guidi 2015 – Guidi, A., *Quantitative methods in Italian archaeology: a review*, in Archeologia e Calcolatori, 26, 2015, 45-58.
- Hammer et alii 2001 – Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*, in Palaeontologia Electronica 4(1), 2001: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm [Ultimo accesso: 30/03/2016].

- Heckbert 1989 - Heckbert P., *Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping*, Berkeley 1989.
- Hodder 2000 – Hodder, I., *Towards Reflexive Method in Archaeology: The Example of Catalhöyük*, 2000, Oxford.
- Hodder, Hutson 2003 – Hodder, I., Hutson, S., *Reading the Past. Current approaches to interpretation in archaeology*, 2003, Cambridge.
- Huggett 2004 – Huggett, J., *Archaeology and the new technological fetishism*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 81-92.
- Jamet, Guillame 2008 – Jamet, C., Guillaume, H.L., *Le webmapping sous licence libre*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 215-222.
- Johnson 2008 – Johnson, I., *Mapping the fourth dimension: a ten year retrospective*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 31-43.
- Kaplan, Haenlein 2010 – Kaplan Andreas M., Haenlein Michael, *Users of the world, unite! The challenges and opportunities of social media*, 2010, Business Horizons, Vol. 53, Issue 1.
- Kansa et alii 2011 – Kansa, E.C., Kansa, S.W., Watrall, E., *Archaeology 2.0: New Approaches to Communication and Collaboration*, 2011, Berkeley, *Cotsen Digital Archaeology series*: <https://escholarship.org/uc/item/1r6137tb> [Ultimo accesso: 30/03/2016].
- Kay, Witcher 2005 – Kay, S.J., Witcher, R.E., *The Tiber Valley Project. The role of GIS and databases in field survey data integration and analysis*, in *Archeologia e Calcolatori*, 16, 2005, 113-127.
- Kazhdan et alii 2006 – Kazhdan, M., Bolitho, M., Hoppe, H., *Poisson Surface Reconstruction*, in Polthier, K., Sheffer, A., (eds.), *Eurographics Symposium on Geometry Processing*, 26-28 giugno 2006, Cagliari.

- King 2002 – King, T.F., *Thinking About Cultural Resource Management: Essays from the Edge*, 2002, Walnut Creek.
- Kvamme 1990 – Kvamme, K. L., *GIS algorithms and their effects on regional archaeological analysis*, in Allen, K.M.S., Green, S. W., and Zubrow, E.B.W., (eds.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, 1990, Londra, 112-126.
- Lanier 1988 – Lanier, J., *Virtual Instrumentation*, in *The Whole Earth Review*, 1988.
<http://www.jaronlanier.com/vrint.html> [Ultimo accesso: 30/03/2016].
- Lauzikas 2005 – Lauzikas, R., *Digitization of cultural heritage: model of an integral, three-dimensional spatio-temporal thesaurus*, in *Archeologia e Calcolatori*, 16, 2005, 93-112.
- Lauzikas 2009 – Lauzikas, R., *Digitization as a science*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 247-259.
- Lieberwirth 2007 – Lieberwirth, U., *3D GIS Voxel-Based Model Building in Archaeology*, in Posluschny, A., Lambers, K., Herzog, I., (eds.), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Berlin, Germany, April 2–6, 2007.
- Limoncelli 2012 – Limoncelli, M., *Il restauro virtuale in archeologia*, 2012, Roma.
- Lock 2000 – Lock, G., *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, 2000.
- Lock 2003 – Lock, G., *Using computers in archaeology. Towards virtual pasts*, 2003, Londra-New York.
- Lock, Harris 2006 – Lock, G., Harris, T., *Enhancing predictive archaeological modelling: integrating location, landscape and culture*, in Meher, M and Westcott, K.

(eds.), *GIS and Archaeological Predictive Modelling: large-scale approaches to establish a baseline for site location models*, 41-61, 2006, Londra.

Lock 2009 – Lock, G., *Archaeological computing then and now: theory and practice, intentions and tensions*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 75-84.

Longo, Vecchione 2007 – Longo, L., Vecchione, V., (eds.), *Sistemi locali e sviluppo. Lineamenti per un piano strategico*, 2007, Foggia.

Lorho 2008 – Lorho, T., *SIGUR: un SIG pour la pratique de l'archéologie en milieu urbain*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 61-72.

Macchi Jànica 2009 – Macchi Jànica, G. (ed.), *Geografie del popolamento: casi di studio, metodi e teorie*, 2009, Siena.

Magnaghi 2000 – Magnaghi, A., *Lo sviluppo locale*, Torino.

Manacorda 2003 – Manacorda, D., *Prefazione*, in Medri, M., 2003 (ved.).

Manacorda 2007 – Manacorda, D., *Il sito archeologico: fra ricerca e valorizzazione*, 2007, Roma.

Mancinelli 2004 – Mancinelli, M.L., *Sistema Informativo Generale del Catalogo: nuovi strumenti per la gestione integrata delle conoscenze sui beni archeologici*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 115-128.

Marini Clarelli 2011 – Marini Clarelli, M.V., *Il Museo nel mondo contemporaneo*, 2011, Roma.

Mariotti 2001 – Mariotti, S., *Progetto Caere: proposta di un modello per il trattamento e la codifica di documenti archeologici editi*, in *Archeologia e Calcolatori*, 12, 2001, 91-103.

Mascione 2006 – Mascione, C., *Il rilievo strumentale in archeologia*, 2006, Roma.

- Mazzei 1994 – Mazzei, M., *Nuovi elementi sulle forme abitative della Daunia antica. Ordona, Arpi, Ascoli: gli scavi della Soprintendenza archeologica*, in *Profili della Daunia antica*, Quaderni del CRSEC FG/32, 24, 1994, Foggia.
- Medri 2003 – Medri, M., *Manuale di rilievo archeologico*, 2003, Roma-Bari.
- Mertens 1965 – Mertens, J., (ed.), *Ordona I*, 1965, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1967 – Mertens, J., (ed.), *Ordona II*, 1967, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1971 – Mertens, J., (ed.), *Ordona III*, 1971, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1974 – Mertens, J., (ed.), *Ordona IV*, 1974, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1976 – Mertens, J., (ed.), *Ordona V*, 1976, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1977 – Mertens, J., *Foiulles belges à Ordona. Quelques aspects méthodologiques*, in *Centenaire de la société archéologique de Nivelles. Actes du Colloque*, 1977.
- Mertens 1979 – Mertens, J., (ed.), *Ordona VI*, 1979, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1980 – Mertens, J., *18 anni di ricerca archeologica della missione belga*, *Magna Grecia XV*, 9-10, 1980.
- Mertens 1981 – Mertens, J., *Scavi e scoperte: Ordona (Foggia)*, *Studi Etruschi XLIX*, 1981.
- Mertens 1982a – Mertens, J., *Ordona 1981*, *Magna Grecia XVII*, 1982.
- Mertens 1982b – Mertens, J., *Herdonia. Vent'anni di ricerca archeologica. Venti secoli di storia*, 1982, Foggia.
- Mertens 1984a – Mertens, J., *Ordona. Campagna del 1978*, in *Atti del XVIII Convegno di Studi sulla Magna Grecia 1978*, 1984, Taranto.

- Mertens 1984b – Mertens, J., *Ordona (Apulia). Abitato daunio e città romana. Risultati dei recenti scavi belgi*, in *La civiltà dei Dauni nel quadro del mondo italico (Atti XIII Convegno di Studi Etruschi e Italici, Manfredonia, 1980, 1984, Firenze.*
- Mertens 1985a – Mertens, J., *À la recherche du premier “forum” d’Ordona*, *Taras III*, 1-2, 1985.
- Mertens 1985b – Mertens, J., *Ordona 1982-1985. Attività della missione archeologica belga*, in *Magna Grecia XX*, 7-8, 1985.
- Mertens 1985c – Mertens, J., *Ordona: four à ceramique d’époque romaine (four 68/178)*, *Rivista di archeologia IX*, 1985.
- Mertens 1985d – Mertens, J., *Gli scavi di Herdoniae: i nuovi ritrovamenti*, in *Profili della Daunia antica, I ciclo*, 1985, Foggia.
- Mertens 1986 – Mertens, J., (ed.), *Ordona VII*, 1986, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1986a – Mertens, J., *Scavi e scoperte: Ordona (Foggia)*, in *Studi Etruschi LII*, 1986.
- Mertens 1986b – Mertens, J., *Notizie su Herdoniae alla luce della campagna di scavo 1985*, in *Profili della Daunia antica, II ciclo*, 1986, Foggia.
- Mertens 1987 – Mertens, J., (ed.), *Ordona VIII*, 1988, Bruxelles-Roma.
- Mertens 1991a – Mertens, J., *Quarante années de fouilles belges en Italie: Alba Fucens, Herdonia, Artena*, in Mertens, Lambrechts, (eds.) 1991.
- Mertens 1991b – Mertens, J., *Ordona: le trasformazioni del centro urbano in epoca tardo romana ed altomedievale. Risultati delle ricerche 1989-1991*, in *Atti 13° Convegno*, 1991, San Severo.

- Mertens 1992 – Mertens, J., *Sulle tracce di Annibale negli scavi di Ortona*, in *Atti del Convegno di Studi sulla Puglia romana. L'età annibalica e la Puglia (Mesagne 1988)*, 1992, Fasano.
- Mertens 1992a – Mertens, J., *L'esempio di Ortona: Ortona dal IV sec. a.C.*, in Cassano 1992.
- Mertens 1993 – Mertens, J., *Ortona tra Tarda Antichità e Alto Medioevo*, *VeteraChr*, 30, 1993, 133-183.
- Mertens 1994 – Mertens, J., *Civitas Herdoniae: trente années de fouilles dans une ville antique*, in *Herdoniae. Atti del Colloquio internazionale, 1993, Roma*, 1994, San Severo.
- Mertens 1995 – Mertens, J., *Il "castellum" di Ortona*, in Calò Mariani, Cassano, 1995.
- Mertens 1997 – Mertens, J., (ed.), *Ortona IX, 1997*, Bruxelles-Roma.
- Mertens, Lambrechts 1991 – Mertens, J., Lambrechts, R., *Atti del Colloquio internazionale: Comunità indigene e problem della romanizzazione nell'Italia centro-meridionale (IV-III sec. a.C.)*, 1991, Bruxelles-Roma.
- Mertens, Volpe 1999 – Mertens, J., Volpe, G., *Herdonia. Un itinerario storico-archeologico*, 1999, Bari.
- Migliari 2001 – Migliari, R., (ed.), *Frontiere del rilievo. Dalla matita alle scansioni 3D*, 2001, Roma.
- Mirulla 2012 – Mirulla, F., *La fotografia archeologica digitale. Dallo scatto all'elaborazione*, 2012, Bari.
- Moscatti 1987 – Moscatti, P., *Archeologia e Calcolatori*, 1987, Firenze.
- Moscatti 2004 – Moscatti, P., *Languages, Communication, Information Technology: an introduction*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 11-22.

- Moscato 2008 – Moscato, P., *Webmapping in the Etruscan landscape*, in *Archeologia e Calcolatori*, 19, 2008, 17-30.
- Moscato 2009 – Moscato, P., *"Archeologia e Calcolatori": le ragioni di una scelta*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 145-154.
- Moulon, Bezzi 2012 – Moulon, P., Bezzi, A., *Python Photogrammetry Toolbox: A free solution for Three-Dimensional Documentation*, in Cantone, F., (ed.) *ARCHEOFOSS, Open source, Free software e Open Format nei processi di ricerca archeologica*, Atti del VI Workshop, (Napoli, 9-10 giugno 2011), Napoli, 2012, 153-170.
- Natale, Saccoccio 2010 – Natale, M.T., Saccoccio, R., *Museo and Web: un kit pratico per le istituzioni culturali che vogliono realizzare un sito web di qualità*, in *Archeologia e Calcolatori*, 21, 2010, 27-47.
- Nelson 1980 – Nelson, T., *Interactive Systems and the Design of Virtuality*, in *Creative Computing magazine*, Novembre-Dicembre 1980.
- Opitz, Nowlin 2012 – Opitz, R., Nowlin, J., *Photogrammetric Modeling + GIS. Better methods for working with mesh data*, in *ArcUser* Spring 2012, 46-49.
- Orlandi, Mordenti 2003 – Orlandi, T., Mordenti, R., *Lo status accademico dell'Informatica umanistica*, in *Archeologia e Calcolatori*, 14, 2003, 7-32.
- Orlandi 2004 – Orlandi, T., *Archeologia teorica e informatica archeologica. Un rapporto difficile*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 41-50.
- Orlandi 2009 – Orlandi, T., *Informatica archeologica e non archeologica*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 17-26.
- Orlando, Villa 2011 – Orlando, P., Villa, B., *Remote Sensing applications in archaeology*, in *Archeologia e Calcolatori*, 22, 2011, 147-168.

- Orton 2010 – Orton, C., *Fit for purpose? Archaeological data in the 21st century*, in *Archeologia e Calcolatori*, 21, 2010, 249-260.
- Pecere 2006 – Pecere, B., *Viewshed e Cost Surface Analyses per uno studio dei sistemi insediativi antichi: il caso della Daunia tra X e VI sec. a.C.*, in *Archeologia e Calcolatori*, 17, 2006, 177-213.
- Peloso 2005 – Peloso, D., *Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali*, in *Archeologia e Calcolatori*, 16, 2005, 199-224.
- Peripimeno 2006 - Peripimeno M., *Sperimentazione di tecniche 3D laser scanning in archeologia: l'esperienza senese*, in Campana S., Francovich R. 2006 (vedi), 143-157.
- Pescarin 2006 – Pescarin, S., *Open source in archeologia. Nuove prospettive per la ricerca*, in *Archeologia e Calcolatori*, 17, 2006, 137-155.
- Potenziani et alii 2015 – Potenziani, M., Callieri, M., Dellepiane, M., Corsini, M., Ponchio, F., Scopigno, R., *3DHOP: 3D Heritage Online Presenter*, in *Computers & Graphics*, 52, Novembre 2015, 129-141.
- Radcliffe Franchin 2006 - Radcliffe Franchin, F., (ed), *Paesaggi sepolti in Daunia. John Bradford e la ricerca archeologica dal cielo*, Foggia, 2006.
- Reilly 1991 – Reilly, P., *Towards a Virtual Archaeology*, in: Rahtz, S. and K. Lockyear (eds.), *CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990* (BAR International Series 565), 1991, Oxford, 132-139.
- Richards, Robinson 2000 – Richards, J., Robinson, D., (eds), *Digital Archives from excavation and fieldwork: A guide to good practice*, Oxford, 2000.
- Richards 2009 – Richards, J.D., *From anarchy to good practice: the evolution of standards in archaeological computing*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 27-35.

- Richards 2012 – Richards, J.D., *Digital Infrastructures for Archaeological Research: A European Perspective*, in CSA Newsletter XXV (2), September 2012.
- Rifkin 2000 – Rifkin, J., *The Age Of Access: The New Culture of Hypercapitalism, Where All of Life Is a Paid-For Experience*, New York, 2000.
- Rocks-Macqueen 2015 – Rocks-Macqueen, D., *May you live in interesting times – Publishing and Open Access in Archaeology*, in Archäologische Informationen 38, 2015, 41-52.
- Russo et alii 2011 – Russo, M., Remondino, F., Guidi, G., *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in Archeologia e Calcolatori, 22, 2011, 169-198.
- Ryan 2002 – Ryan N., RYAN N. 2002, *Documenting and Validating Virtual Archaeology*, in CAA 2002, The Digital Heritage of Archaeology, Proceedings of the 30th Conference (2-6 April, Heraklion, Crete), (BAR International Series), Oxford 2002.
- Sacco 2012 – Sacco, P.L., *Culture and the Structural Funds in Italy*, in : E.E.N.C. Paper, 2012, Milano.
- Sarti, Forte 1995 – Sarti, A., Forte, M., *Tra archeologia e realtà virtuale: verso l'archeologia virtuale*, in Archeologia e Calcolatori, 6, 1995.
- Scateni et alii 2005 – Scateni R., Cignoni P., Montani C., Scopigno R., *Fondamenti di grafica tridimensionale interattiva*, Milano, 2005.
- Scopigno 2006 – Scopigno R., *Gestione efficiente dei dati prodotti dai sistemi di scansione tridimensionale*, in Campana, S., Francovich, R., (eds.) 2006 (ved.).

- Semeraro 2007 – Semeraro, G., *LandLab Project and archaeology on-line. Web-based systems for the study of settlement patterns and excavation data in classical archaeology*, in *Archeologia e Calcolatori*, 18, 2007, 243-254.
- Semeraro 2009 - Semeraro G., *Strumenti “tradizionali” e nuove tecnologie per la comunicazione in archeologia*, *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 85-94.
- Semeraro 2011 – Semeraro, G., *Banche dati, GIS e WebGIS: Breve storia delle tecnologie applicate ai Beni Archeologici nel Laboratorio di Informatica per l’Archeologia dell’Università del Salento*, in *SCIRES-IT, SCientific RESearch and Information Technology, Ricerca Scientifica e Tecnologie dell’Informazione*, 1, 1, 2011, 125-144.
- Serlorenci et alii 2012 – Serlorenci, M. - Lamonaca, F. - Picciola, C. - Cordone, C., *Il Sistema Informativo Territoriale Archeologico di Roma: SITAR*, in *Archeologia e Calcolatori*, 23, 2012, 31-50.
- Schenk 2005 – Schenk, T., *Introduction to Photogrammetry*, 2005, Columbus.
- Schulman 1995 – Schulman, A., *Windows 95: dentro il sistema*, 1995, Milano.
- Sherman, Craig 2003 – Sherman, W.R., Craig, A.B., *Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design*, 2003, San Francisco.
- Sibilano 2008 – Sibilano, M.G., *Il quartiere tardoantico nell’area delle terme: una Banca Dati per la gestione informatizzata dei dati di scavo*, in *Volpe, Leone*, 2008.
- Signore et alii 2005 – Signore, O., Missikoff, O., Moscati, P., *La gestione della conoscenza in archeologia: modelli, linguaggi e strumenti di modellazione concettuale dall’XML al semantic Web*, in *Archeologia e Calcolatori*, 16, 2005, 291-319.
- Signore 2009 – Signore, O., *Representing knowledge in archaeology: from cataloguing cards to Semantic Web*, in *Archeologia e Calcolatori*, 20, 2009, 111-128.

- Simon et alii 2009 - Simon K.M., Payne, A., Cole K., Smallwood C., Goodmaster C., Limp F., *Close-Range 3D Laser Scanning and Virtual Museums: Beyond Wonder Chambers and Cabinets of Curiosity?*, CAA 2009, Williamsburg.
- Slingsby, Raper 2008 – Slingsby, A., Raper, J., *Navigable Space in 3D City Models for Pedestrians*, in VanOosterom, P., Zlatanova, S., Penninga, F., Fendel, E., (Eds.), *Advances in 3D Geoinformation Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 49 – 64, 2006, Londra.
- Smallwood et alii, 2009 - Smallwood C., Payne A., Simon K., Goodmaster C., Limp F., Cothren J., *Lighting Systems in Three Dimensional Non-Contact Digitizing: A View from the Virtual Hampson Museum Project*, CAA 2009, Williamsburg
- Smith et alii 2013 – Smith, N. G.; Knabb, K.; DeFanti, C.; Weber, P. P.; Schulze, J. P.; Prudhomme, A.; Kuester, F.; Levy, T. E. & DeFanti, T. A., *ArtifactVis2: Managing real-time archaeological data in immersive 3D environments*, in *Digital Heritage* (1), IEEE, 2013, 363-370.
- Sokal, Rohlf 1981 – Sokal, R.R., Rohlf, F.J., *Biometry*, 1981. San Francisco.
- Stefan, Sirbu 2010 – Stefan, D., Sirbu, V., *Statistical tools in Landscape Archaeology*, in *Archeologia e Calcolatori*, 21, 2010, 339-356.
- Terras et alii 2013 – Terras, M., Nyhan, J., Vanhoutte, E., (eds), *Defining Digital Humanities: A Reader*, 2013, Surrey.
- Terrenato 2000 – Terrenato, N., *Cartografia archeologica*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 49-53.
- Terrenato 2000a – Terrenato, N., *Archeologia marxista*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 184-186.
- Terrenato 2000b – Terrenato, N., *New Archaeology*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 204-206.

- Terrenato 2000c – Terrenato, N., *Archeologia Postprocessuale*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 220-222.
- Terrenato 2000d – Terrenato, N., *Archeologia quantitativa*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 237-240.
- Terrenato 2000e – Terrenato, N., *Archeologia teorica*, in Francovich, R., Manacorda, D., (eds.), *Dizionario di Archeologia*, 2000, Bari, 336-339.
- Torelli 1992 – Torelli, M., *Aspetti materiali e ideologici della romanizzazione della Daunia*, DialArch, ser.3, 1992.
- Tsipidis et alii 2005 – Tsipidis, S., Koussoulakou, A., Kostakis, K., *3D GIS Visualization of archaeological excavation data*, in ICC 2005, IEEE International Conference on Communications, 16-20 maggio 2005, Seul.
- Ulisse 2004 – Ulisse, F., *Considerazioni sulla reale “usabilità” di mappe, GIS e cartografia a contenuto archeologico su Web*, in Archeologia e Calcolatori, 15, 2004, 521-529.
- Valenti, Nardini 2004 – Valenti, M., Nardini, A., *Modello dei dati e trattamento del dato sul GIS di scavo*, in Archeologia e Calcolatori, 15, 2004, 341-358.
- Vannini 2000 – Vannini, G., *Informatica per l'archeologia o archeologia per l'informatica?*, in Archeologia e Calcolatori, 11, 2000, 311-315.
- Van Pool, Leonard 2011 – Van Pool, T.L., Leonard, R.D., *Quantitative Analysis in archaeology*, Oxford, 2011.
- Volpe 1990 – Volpe, G., *La Daunia nell'età della romanizzazione*, 1990, Bari.

- Volpe et alii 1995 – Volpe, G., Mertens, J., De Santis, P., Pietropaolo, L., Tedeschi, L., *Ordona: un quartiere dell'abitato medievale. Scavi 1993-1994: relazione preliminare*, in *Vetera Christianorum* 32, 1995.
- Volpe 2000 – Volpe, G., (ed.) *Ordona X*, 2000, Bari.
- Volpe 2006 – Volpe, G., *Archeologia aerea, archeologia dei paesaggi e archeologia globale della Daunia*, in Radcliffe Franchin, F., (ed), *Paesaggi sepolti in Daunia. John Bradford e la ricerca archeologica dal cielo*, Foggia, 2006.
- Volpe et alii 2007 – Volpe, G., Goffredo, R., Di Zanni, A., *Herdonia e l'archeologia dei paesaggi della Valle del Carapelle. Per un museo archeologico diffuso*, in Longo, L., Vecchione, V., (eds.), *Sistemi locali e sviluppo. Lineamenti per un piano strategico*, 2007, Foggia, 109-124.
- Volpe 2008 – Volpe G., *Per una "archeologia globale dei paesaggi" della Daunia. Tra archeologia, metodologia e politica dei beni culturali*, in Volpe G., Strazzulla, M.J., Leone, D., (eds.), *Storia e archeologia della Daunia. In ricordo di Marina Mazzei. Atti delle Giornate di Studio (Foggia 2005)*, 208, Bari, 447-462.
- Volpe et alii 2008 – Volpe G., Di Zanni A., Laurenza S., *La Carta dei Beni Culturali della Regione Puglia: dalla lettura del paesaggio alla progettazione dell'infrastruttura informatica*, in G. Volpe, G. De Felice, M.G. Sibilano (eds.) 2008, (ved.), 75-90.
- Volpe, Leone 2008 – Volpe, G., Leone, D., *Ordona XI*, 2008, Bari.
- Volpe, Turchiano 2010 – Volpe, G., Turchiano, M., *Faragola I. Un insediamento rurale nella Valle del Carapelle. Ricerche e studi*, 2010, Bari.
- Volpe 2012 – Volpe, G., *Joseph Mertens e l'archeologia della Daunia nella seconda metà del Novecento*, in Balty, J.-C., (ed.), *Belgica et Italica. Joseph Mertens: une vie pour l'archéologie, Atti del Convegno in memoria di Joseph Mertens. Academia Belgica, 4-6 dicembre 2008*, Bruxelles-Roma 2012.

- Volpe, Spatafora 2012 – Volpe, G., Spatafora, *Le collezioni della Fondazione Banco di Sicilia. L'archeologia*, 2012, Milano.
- Volpe 2013 – Volpe, G., *Le vie maestre*, 2013, Bari.
- Von Schwerin et alii 2015 – von Schwerin, J., Auer, M., Billen, N., Loos, L., Richards-Rissetto, H., Reindel, M., Zipf, A., Remondino, F., Fernández-Palacios, B.J. (2015): *A 4DWebGIS for the Documentation and Analysis of Complex Archaeological Sites* in: 43rd Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Annual Conference Book of Abstracts (CAA 2015), 2015, Siena.
- Vozikis et alii 2004 – Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E., Kraus, K., *Laser Scanning: A New Method for Recording and Documentation in Archaeology*, in *FIG Working Week 22-27 maggio 2004*, Atene.
- West, Fowler 1999 – West, M., Fowler, J., *Developing High Quality Data Models*, in *The European Process Industries STEP Technical Liaison Executive (EPISTLE)*, 1999, 1-56.
- Wolley 1993 – Wolley, B., *Mondi virtuali*, Torino, 1993.
- Wu 2013 – Wu, C., *Towards Linear-time Incremental Structure from Motion*, in *3DV2013, International Conference on 3D vision*, 29-30 giugno 2013, Seattle.
- Zanini 2004 – Zanini, E., *Scrivere per il multimediale: alcune riflessioni di un non-specialista, a partire da un'esperienza recente*, in *Archeologia e Calcolatori*, 15, 2004, 63-80.
- Zanini, Costa 2006 – Zanini, E., Costa, S., *Organizzare il processo conoscitivo nell'indagine archeologica: riflessioni metodologiche ed esperimenti digitali*, in *Archeologia e Calcolatori*, 17, 2006, 241-264.

Zanini, Ripanti 2012 – Zanini, E., Ripanti, F., *Pubblicare uno scavo all'epoca di YouTube: comunicazione archeologica, narrativa e video*, in *Archeologia e Calcolatori*, 22, 2012, 7-30.

Zöldföldi et alii 2010 – Zöldföldi, J., Leno, V., Székely, B., Szilágyi, V., Biró, K.T., Hegedus, P., *CeraMIS: interactive Internet-based information system on Neolithic pottery*, In *Archeologia e Calcolatori*, 21, 2010, 301-314.

WEBGRAFIA

ArcheoLogica S.r.L.: <http://www.archeologicasrl.com> [ultimo accesso: 30/03/2016].

ArcheoVirtual: <http://www.archeovirtual.it/> [Ultimo Accesso: 30/03/2016].

Bollenti Spiriti – Principi Attivi 2012 della Regione Puglia per le Politiche Giovanili.
<http://bollentispiriti.regione.puglia.it/> [ultimo accesso: 18/01/2016].

Berlin Declaration - *Berlin declaration on Open Access to knowledge in the Sciences and Humanities*, <http://openaccess.mpg.de/Berlin-Declaration> [Ultimo accesso: 09/02/2016]

British Academy Film and Television Arts: <http://www.bafta.org> [Ultimo accesso: 15/03/2016]

CAA International: <http://caa-international.org> [Ultimo accesso: 11/02/2016]

Center for Photogrammetric Training – *History of Photogrammetry*, 2008:
<http://www.xnatmap.org/adnm/docs/2013/pgramty.pdf> [Ultimo accesso: 30/03/2016].

Giza 3D: <http://giza3d.3ds.com/#discover> [ultimo accesso: 24/02/2016].

ISTI-CNR: <http://www.isti.cnr.it/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

Laboratorio Archeologia Digitale: <http://archeologiadigitale.it> [ultimo accesso: 30/03/2016].

L-P Archaeology: <http://www.lparchaeology.com> [ultimo accesso: 21/03/2016]

Mediamente RAI – <http://www.raiscuola.rai.it/articoli/archeologia-digitale/5540/default.aspx> [ultimo accesso: 02/02/2016]. Intervista integrale a Sabatino Moscati: <http://www.mediamente.rai.it/biblioteca/biblio.asp?id=243&tab=int> [ultimo accesso: 03/02/2016]

MODA, Manifesto Open Data Archeologici: <http://www.modarc.org/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

Palazzo Branciforte: <http://www.palazzobranciforte.it/> [Ultimo accesso: 30/03/2016]

Payne A. *Laser Scanning for Archaeology: A Guide to Good Practice* - http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_Toc [Ultimo accesso: 30/03/2016].

Presidenza del Consiglio dei Ministri – *Strategie per la crescita digitale 2014-2020*, Roma, 3 marzo 2015: http://www.agid.gov.it/sites/default/files/documenti_indirizzo/crescita_digitale_nov_2014.pdf [Ultimo accesso: 30/03/2016]

Poznansk 2016 - <http://www.theastronauts.com/2014/03/visual-revolution-vanishing-ethan-carter> [Ultimo accesso: 15/03/2016]

SIT Puglia: <http://www.sit.puglia.it/> [ultimo accesso: 30/03/2016].

The Astronauts: <http://www.theastronauts.com> [Ultimo accesso: 15/03/2016]

The Getty Conservation Institute: <http://www.getty.edu/conservation/> [30/03/2016].

The Zamani Project: <http://zamaniproject.org/index.php/home.html> [ultimo accesso: 05/03/2016]

World Monuments Fund: <https://www.wmf.org/> [30/03/2016].

Zamboni, Spektor 2010 – Zamboni, L., Spektor, X., *Il problem solving*, in Treccani.it: http://www.treccani.it/scuola/archivio/life_long_learning/Cammarano_7/Zambotti [Ultimo accesso: 30/06/2016].

Archiviazione:

AIAC: <http://www.aiac.org/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

ARACHNE: <http://arachne.uni-koeln.de/drupal/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

ARIADNE: <http://www.ariadne-infrastructure.eu> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

Archaeology Data Service: <http://archaeologydataservice.ac.uk/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

EDNA: <http://www.dans.knaw.nl/en/about/services/archiving-and-reusing-data/easy/edna>
[Ultimo accesso: 20/03/2016].

Europae Consilium Archaeologiae: <http://european-archaeological-council.org/> [Ultimo
accesso: 30/12/2015]

FASTI Online: <http://www.fastionline.org/index.php> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

IANUS: <http://www.ianus-fdz.de/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

ICCD: <http://www.iccd.beniculturali.it/> [Ultimo accesso: 30/03/2016].

SEAD: <http://www.sead.se/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

SNDS: <https://snd.gu.se/> [Ultimo accesso: 20/03/2016].

Software:

3DHOP: <http://3dhop.net/index.php> [ultimo accesso: 30/03/2016]

Agisoft: *Photoscan User Manual, Professional Edition, Version 1.2*, 2016:
http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf [Ultimo accesso:
30/03/2016].

ARC3D: <http://www.arc3d.be/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

ARCHES Project: <http://archesproject.org/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

ARK: <http://ark.lparchaeology.com/> [ultimo accesso: 21/03/2016]

Autodesk 123D Catch: <http://www.123dapp.com/catch> [ultimo accesso: 30/03/2016]

Blender: <http://www.blender.org> [ultimo accesso 30/03/2016]

CartoDB: <https://cartodb.com/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

GRASS GIS: <https://grass.osgeo.org/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

Leaflet - Leaflet is the leading open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps: <http://leafletjs.com/> [Ultimo accesso: 30/03/2016].

MapBox: <https://www.mapbox.com/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

MeshLab: <http://meshlab.sourceforge.net/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

PyArchInit: <https://sites.google.com/site/pyarchinit/home> [ultimo accesso: 03/03/2016]

Quantum GIS: <http://www.qgis.org/it/site/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

OGRE website: www.ogre3d.org [ultimo accesso: 17/03/2016].

R-project: <https://www.r-project.org/> [ultimo accesso: 17/03/2016].

Sketchfab: <https://sketchfab.com/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

ThreeJs: <http://threejs.org/> [ultimo accesso: 29/03/2016]

Unity website: <http://unity3d.com/unity/> [ultimo accesso: 17/03/2016].

uMap: <http://umap.openstreetmap.fr/it/> [ultimo accesso: 30/03/2016]

VisualSfM: <http://ccwu.me/vsfm/> [ultimo accesso: 30/03/2016].