



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
DIPARTIMENTO DI STORIA, SCIENZE DELL'UOMO E DELLA
FORMAZIONE

**SCUOLA DI DOTTORATO IN STORIA, LETTERATURE E CULTURE
DEL MEDITERRANEO
INDIRIZZO: ARCHEOLOGICO
Ciclo XXVIII**

Direttore: Prof. Attilio Mastino

RIVOLUZIONE DIGITALE E PATRIMONIO CULTURALE SUBACQUEO.
APPROCCI, METODOLOGIE E RIFLESSIONI TEORICHE SUL RILIEVO
FOTOGRAMMETRICO E LA VISUALIZZAZIONE TRIDIMENSIONALE IN
ARCHEOLOGIA SUBACQUEA

TUTOR

Prof. Pier Giorgio Spanu

DOTTORANDO

Massimiliano Secci

Ad Angela, Aldo e Roberto

RINGRAZIAMENTI

Tre anni di ricerca rappresentano un ampio lasso di tempo. Molte delle persone incontrate in questo periodo, sia in ambito scientifico che nella vita di tutti i giorni hanno, ciascuno a suo modo contribuito a ch  l'equilibrio psico-fisico rimanesse integro quel tanto che basta per concludere la stesura. Ovviamente, in primis, devo ringraziare i membri della mia famiglia ai quali questa tesi   dedicata. Il loro supporto   preziosissimo nella vita lavorativa e, soprattutto, nella vita di tutti i giorni. A loro va il mio sconfinato debito di gratitudine e un amore profondo. Ringrazio il mio Tutor, Prof. Pier Giorgio Spanu, per il supporto e l'orientamento durante tutte le fasi della ricerca. Per i suoi consigli e suggerimenti che sono stati preziosi non solo per la stesura di questo elaborato. Un grazie al Prof. Sebastiano Tusa, e alla Soprintendenza del Mare della Regione Siciliana, per il supporto durante i test a Lipari e per il sostegno e la stima professionale dimostratami in pi  di un'occasione. La stima   decisamente reciproca. Ringrazio la dott.ssa Barbara Davide per la cortesia dimostrata nell'ospitarmi a Baia all'interno del progetto "Restaurare sott'acqua" e per aver supportato e perorato la mia presenza in Campania. Ringrazio anche lei per la stima professionale dimostratami in pi  occasioni,   decisamente ricambiata. Per questo progetto resta ancora tanto da fare. Ringrazio il dott. Paolo Caputo e la Soprintendenza Archeologica della Campania, per avermi gentilmente permesso di partecipare al progetto di Baia. Grazie al dott. Gabriele Gomez de Ayala per il suo supporto e per la sua disponibilit , anche con lui la collaborazione   da portare a termine.

Ringrazio i miei colleghi presso il Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione dell'Universit  degli Studi di Sassari per il loro supporto sia professionale che emotivo. Grazie alla dott. Barbara Panico per aver tollerato molte delle mie divagazioni sulle tematiche trattate in questo lavoro e per aver letto parte del lavoro. Ringrazio la dott. Giulia Nieddu per le produttive chiacchierate sull'applicazione del rilievo congiunto fotogrammetria e GPS, a lei va il merito dell'intuizione originale, grazie inoltre per il supporto durante i test di Lipari. Un grazie va al dott. Luca Sanna per l'enorme supporto fornitomi durante i test a Baia e per le numerose conversazioni sulle applicazioni fotogrammetriche. Ringrazio il dott. Gabriele Galletta, per il supporto prima

e durante i test di Lipari. Il progetto della zattera è anche farina del suo sacco. Ringrazio inoltre il collega dott. Andrea Coffa, a lui va attribuita parte della progettazione del sistema zattera-cima zavorrata e la realizzazione pratica della zattera stessa. Il supporto del dott. Salvo Emma è stato fondamentale per la realizzazione pratica dei rilievi fotogrammetrici a Lipari e per la documentazione delle attività di cantiere oltre che importantissime sono state le numerose, lunghe e interessanti chiacchierate relative all'applicazione della fotogrammetria.

Ringrazio enormemente i colleghi Kotaro Yamafune, Thomas Van Damme, Massimiliano Ditta, Kevin Edwards, Bruno Parés e Rodrigo De Oliveira Torres per le innumerevoli e ispiranti conversazioni sull'applicazione della fotogrammetria in ambiente acquatico. Grazie in particolare a Kotaro Yamafune, Kevin Edwards e Madeline McAllister per aver acconsentito ad inserire informazioni sui loro interessantissimi progetti all'interno di questo lavoro e Kotaro Yamafune per aver acconsentito all'utilizzo di una immagine. Ringrazio inoltre la dott.ssa Lucy Blue, del Centre for Maritime Archaeology (CMA) presso l'University of Southampton per aver accettato di ospitarmi durante un periodo di tre mesi nei quali la sua cortesia, il suo supporto e consigli sono stati preziosi. Devo ringraziare anche il dott. Graeme Earl, la partecipazione al corso *3D Recording, Modelling and Interpretation* da lui tenuto presso la *Faculty of Humanities* della *University of Southampton* è stato illuminante per molti aspetti trattati in questo lavoro. Infine, grazie ai miei amici Desirée, Francesco, Andrea, Marco e Luca, il tempo passato con loro non è mai noioso. Ho, con tutte le persone nominate, un debito di gratitudine poiché mi hanno insegnato molto, spero di aver ricambiato in qualche modo.

INDICE

1.	INTRODUZIONE	p. 1
2.	DIGITALE E TRIDIMENSIONALE IN ARCHEOLOGIA. LE BASI TEORICHE	p. 7
2.1	“L’UOMO È ANCORA IL PIÙ STRAORDINARIO DEI COMPUTERS”. BREVE STORIA DELLO SVILUPPO DEL CALCOLATORE ELETTRONICO	p. 8
2.2	LA PERDITA DELL’INNOCENZA E L’INFORMATICA DELL’ARCHEOLOGO. ARCHEOLOGIA, TEORIA E INFORMATICA SOPRA E SOTTO LA SUPERFICIE DEL MARE	p. 14
2.2.1	IL PERCORSO SPECULATIVO: RIFLESSIONI TEORICHE IN ARCHEOLOGIA	p. 16
2.2.2	ARCHEOLOGIA SUBACQUEA ALL’ALBA DEL XXI SECOLO	p. 36
2.3	INFORMATICA PER L’ARCHEOLOGIA. ASPETTI TEORICI, METODOLOGICI E PRATICI	p. 57
3.	“PER ME LA MACCHINA FOTOGRAFICA È COME UN BLOCCO DA DISEGNO”. DALLA FOTOGRAMMETRIA ALLA COMPUTER VISION IN ARCHEOLOGIA SUBACQUEA	p. 72
3.1	L’IMPORTANZA DI CHIAMARSI DATO: RILIEVO E GESTIONE DELLA DOCUMENTAZIONE ARCHEOLOGICA SUBACQUEA	p. 73

3.2	L'EVOLUZIONE DELLA FOTOGRAMMETRIA: DALL'IMMAGINE SINGOLA ALLA COMPUTER VISION	p. 95
3.3	LE APPLICAZIONI FOTOGRAMMETRICHE IN ARCHEOLOGIA SUBACQUEA: DALLE ORIGINI ALLA COMPUTER VISION PHOTOGRAMMETRY (CVP)	p. 104
4.	SPERIMENTAZIONI SUL CAMPO: APPROCCIO, METODOLOGIA, PRATICA	p. 119
4.1	GLI ASPETTI TECNICI DELLA COMPUTER VISION PHOTOGRAMMETRY (CVP): CONCETTI, HARDWARE E SOFTWARE	p. 121
4.2	AGISOFT PHOTOSCAN: ASPETTI TECNICI E WORKFLOW	p. 130
4.3	CASI STUDIO	p. 137
	4.3.1 PORTO ANTICO DI MARINA LUNGA - SOTTOMONASTERO (LIPARI, SICILIA)	p. 137
	4.3.4 BAIA SOMMERSA (BACOLI, CAMPANIA)	p. 157
5.	LA COMPUTER VISION PHOTOGRAMMETRY (CVP) NEL PROCESSO DI RICERCA ARCHEOLOGICA SUBACQUEA. L'EFFETTO DELLA TECNOLOGIA: TRA SCIENZA DELLA PERCEZIONE, SCIENZA DELLA COGNIZIONE E RETORICA DELLA RAPPRESENTAZIONE	p. 171
5.1	ALCUNE ANNOTAZIONI SU PERCEZIONE E COGNIZIONE	p. 175

5.2	IL RUOLO DELL'IMMAGINE E DELLA RAPPRESENTAZIONE NEL PROCESSO DI RICERCA ARCHEOLOGICA	p. 190
5.3	LE TECNICHE DI RILIEVO CVP COME <i>MEDIA</i> NEL PROCESSO ARCHEOLOGICO	p. 199
5.3.1	MARSHALL MCLUHAN, IL CONCETTO DI MEDIA E GLI EFFETTI PROTESICI E NARCOTICI DELLA TECNOLOGIA.	p. 199
5.4	IL RILIEVO CVP NEL PROCESSO ERMENEUTICO ARCHEOLOGICO	p. 206
6.	CONCLUSIONI	p. 222
7.	BIBLIOGRAFIA	p. 224

FIGURE

- Fig. 1 - Diagramma esplicativo dell'evoluzione - processo di formazione - di un relitto (MUCKELROY 1978, p. 158).
- Fig. 2 - Schematica rappresentazione dello sviluppo dell'archeologia informatica e la relazione tra sviluppi tecnologici e teorici (LOCK 2003, p. 8).
- Fig. 3 - Rappresentazione schematica della storia del computer e della teoria archeologica (ZUBROW 2006, p. 14).
- Fig. 4 - «L'integrazione dei computer nella spirale ermeneutica mostra le aree di mediazione tra passato e presente. I = Interpretazione», come proposto da Gary Lock (LOCK 2003, p. 7).
- Fig. 5 - Localizzazione Geografica del sito di Marina Lunga - Sottomonastero (Immagini: Google Earth; Foto: Massimiliano Secci).
- Fig. 6 - Sito sommerso di Marina Lunga - Sottomonastero (Lipari), al termine dello scavo del 2015. Sono visibili le basi di colonna, i blocchi di delimitazione dell'area e il piano in *opus signinum* (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 7 - Modello 3D prodotto con PPT, precedentemente allo scavo del 2014 (elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 8 - Vista delle colonne occlusa dalla sezione (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 9 - Una delle immagini della serie, scattate con la Nikon D90, utilizzata per l'elaborazione con PPT (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 10 - Modello tridimensionale prodotto con PPT (Elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 11 - Il sistema Differential Global Positioning System (DGPS) (Foto: Massimiliano Secci).
- Fig. 12 - La zattera costruita per permettere l'utilizzo del sistema DGPS (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 13 - Montaggio del sistema di rilievo DGPS con zattera e cima zavorrata (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 14 - L'operatore subacqueo posiziona i *coded targets* intorno al sito (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 15 - Posizionamento della base del sistema DGPS (A-B) e presa dei punti di controllo a terra (C-D) (Foto: Salvo Emma; Rilievo punti: Giulia Nieddu).
- Fig. 16 - Operatore in immersione rileva il punto/coded target con il sistema zattera-cima zavorrata. Si noti la sagola gialla per la comunicazione con la superficie (Foto: Salvo Emma).
- Fig. 17 - Esempio di immagine modificata: in alto l'immagine fotografica originale, in basso la stessa immagine a seguito dell'applicazione di tono, contrasto e colore automatici (Foto e elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 18 - Modello 3D con texture del sito sommerso presso Marina Lunga - Sottomonastero, Lipari (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 19 - Ortofoto prodotta con Photoscan del sito sommerso di Marina Lunga - Sottomonastero, Lipari (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).

- Fig. 20 - Topografia di Baia sommersa (SCOGNAMIGLIO 2002).
- Fig. 21 - Attività di restauro e rilievo con laser scanner subacqueo Naumacos 1, nelle attività del NIAS (Foto: Massimiliano Secci; Modello 3D: DAVIDDE PETRIAGGI, GOMEZ DE AYALA 2015).
- Fig. 22 - Planimetria del Portu Iulius (GIANFROTTA 2012).
- Fig. 23 - Il sistema di rilievo DGPS utilizzato a Baia sommersa. Il subacqueo pronto all'immersione e i due operatori in superficie sulla piccola barca di supporto (Foto: Luca Sanna).
- Fig. 24 - Immagini fotografiche: in alto l'originale, in basso l'immagine modificata (Foto e elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 25 - Modello 3D con texture di Baia sommersa (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 26 - Ortofoto di Baia sommersa (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 27 - Workflow sviluppato da Kotaro Yamafune e Rodrigo De Oliveira Torres dello ShipLab per l'utilizzo della fotogrammetria all'interno del processo di studio dei relitti (Cortesia: Kotaro Yamafune).
- Fig. 28 - Esempi delle leggi di formazione delle unità fenomeniche gestaltiane: a) legge della vicinanza; b) della somiglianza; c) della continuità di direzione o del destino comune; d) della chiusura.
- Fig. 29 - Il Vaso di Rubin, anche noto come volto Rubin o figura-sfondo vaso è stata ideata intorno al 1915 dallo psicologo danese Edgar Rubin, è spesso utilizzata per esemplificare il concetto di figura/sfondo.
- Fig. 30 - Dimostrazione visiva del completamento amodale, secondo Kanizsa (A) e secondo Petter (B) (GORDON 2004, p. 42).
- Fig. 31 - Dettaglio dell'ortofoto di Baia sommersa con in primo piano la porzione di muro in *opus reticulatum* crollato (Elaborazione: Massimiliano Secci).
- Fig. 32 - Dettaglio dell'ortofoto di Marina Lunga - Sottomonastero, con l'allineamento di blocchi ai piedi della sezione (Elaborazione: Massimiliano Secci).

1. INTRODUZIONE

Albert Einstein sosteneva che «un giorno le macchine riusciranno a risolvere tutti i problemi, ma mai nessuna di esse potrà porne uno» e ancora che «i computer sono incredibilmente veloci, accurati e stupidi. Gli uomini sono incredibilmente lenti, inaccurati e intelligenti. L'insieme dei due costituisce una forza incalcolabile». Per quanto questa convinzione del fisico tedesco stia perdendo vigore negli ultimi anni a seguito dei progressi nel campo dell'Intelligenza Artificiale (AI) - applicata a vari ambiti dello scibile umano, e non da ultimo all'archeologia - l'affermazione sottolinea una giusta disposizione critica nei confronti della tecnologia. L'essere umano ha da sempre cercato di colmare i suoi limiti biologici attraverso l'invenzione di apparecchi, *strumenti*, tecnologici. Dall'invenzione dei primi utensili per l'approvvigionamento di cibo o per la difesa dai predatori, da parte delle società di cacciatori-raccoglitori, all'invenzione della ruota nella terra tra i due fiumi (Mesopotamia), all'invenzione di strumenti per la gestione della conoscenza, basti pensare alle tavolette cuneiformi Babilonesi datanti a circa 5000 anni fa, fino a giungere allo sviluppo del calcolatore elettronico (computer). Gli ultimi secoli, con particolare intensità negli ultimi 150 anni, hanno visto un tasso di crescita tecnologica senza precedenti, tanto che ormai la tecnologia pervade la quotidianità della maggioranza della popolazione mondiale. In questo progresso un ruolo centrale, come si cercherà di analizzare in questo elaborato, è stato giocato dalle tecnologie volte alla produzione, gestione, trasferimento e comunicazione dell'informazione spesso basate sul computer e dispositivi associati, tanto che da alcuni decenni si parla con sempre maggiore insistenza di *Information and Communication Technologies* (ICTs). L'importanza delle ICTs risulta inoltre fondamentale in quelle che vengono ormai definite *Information o Knowledge Societies*, le società dell'informazione o della conoscenza¹, nelle quali dovrà aver luogo un:

cambiamento di paradigma. Da una parte, educazione ed apprendimento non possono più venir confinate in un insieme rigido e definito nel tempo e nello spazio, ma devono svilupparsi lungo tutto l'arco della vita. D'altra parte, l'attore umano deve essere posto

¹ UNITED NATIONS 2005; UNESCO 2005; UNESCO 2013; YUDIN 2006.

nel cuore stesso di un processo continuo di acquisizione e comunicazione della conoscenza²

L'archeologia nell'età contemporanea si trova a confrontarsi con numerosi aspetti spesso ritenuti esterni alla disciplina. L'archeologo del ventesimo e, ancor più, del ventunesimo secolo si trova a misurarsi con aspetti legati alla ricostruzione del passato, alla tutela del patrimonio culturale, al valore del patrimonio nei processi di formulazione identitaria e relativamente alle questioni di genere, alle politiche di rimpatrio delle opere d'arte o archeologiche, agli aspetti sociali della ricostruzione del passato e della stessa pratica archeologica³. In questo quadro, la tecnologia risulta una tematica rilevante sia dal punto di vista della comprensione del passato e della relazione tra uomo e strumenti tecnologici, sia dal punto di vista dell'impatto che la tecnologia ha sulla disciplina archeologica contemporanea. La spiccata influenza della tecnologia - particolarmente quella digitale - nella vita di tutti i giorni è sotto gli occhi di tutti, così pure l'ascendente di questa nel campo delle scienze. Le ICT caratterizzano significativamente il modo in cui l'essere umano si raffronta al mondo che lo circonda, creando nuovi orizzonti d'analisi per le scienze umane⁴. D'altro canto, nel rapporto tra modernità o post-modernità e tecnologie digitali ci si interroga - da un punto di vista sociologico - su quale sia l'influenza della tecnologia e più in generale della circolazione dell'informazione che quest'ultima dovrebbe agevolare, quale sia la relazione delle ICT con la crisi a cui si sta assistendo nelle società post-moderne, in che modo esse si rapportino alla crescente globalizzazione, alla perdita d'identità individuale e collettiva, e all'incapacità di trovare un posizionamento in un mondo globale in continua evoluzione.

In un mondo ed in una società fortemente strutturata, altamente specializzata, necessariamente disorientata, in che modo la disciplina archeologica può partecipare a rendere meno traumatica e meno drammatica la ricerca dell'individuo di una posizione nella società e nel mondo? In che modo la tecnologia influenza questa ricerca? Pur non essendo la tematica specifica di questa tesi, queste domande risultano alla base dell'approccio che questo lavoro intende mantenere. Sono queste domande, secondo

² UNESCO 2005, p. 60.

³ Per una panoramica sugli aspetti che caratterizzano l'archeologia nell'età contemporanea, si veda BINTLIFF ET AL. 2006.

⁴ ENSMINGER 2012; per un punto di vista sociologico, si veda BIJKER ET AL. 2012; HOLMES 2005; per un punto di vista filosofico, si veda FLORIDI 2004;

questo approccio, che richiedono ad una disciplina come l'archeologia di divenire se e quanto possibile più riflessiva, partecipativa, e conscia del suo ruolo e del suo posizionamento all'interno delle dinamiche della «modernità liquida»⁵. Partendo dal presupposto che la disciplina archeologica e la gestione del patrimonio culturale risultano ancorate a due cardini fondamentali e consequenziali ossia, lo studio e la tutela dei resti del passato e l'utilizzo della conoscenza acquisita come base fondante di uno sforzo pedagogico utile all'essere umano per districarsi nel vivere presente e futuro; si sostiene che l'apporto delle tecnologie digitali, soprattutto vista la loro capacità di fungere da interfaccia privilegiata per il contatto con l'esterno della disciplina, debba essere pienamente compreso sia nei suoi effetti interni alla disciplina, sia nella sua funzione di collegamento con il mondo esterno, come strumento che possa estendere la portata pedagogica dell'archeologia e dello studio del passato.

Max Weber nella sua analisi delle scienze storico sociali e dei loro metodi, affermava come, «dal momento che, nella grande maggioranza dei casi, ogni scopo al quale si tende «costa» oppure può costare qualcosa, l'auto-riflessione di uomini che agiscano in modo responsabile non può prescindere dalla reciproca commisurazione dello scopo e delle conseguenze dell'agire»⁶. Questa affermazione può esser letta, alla luce del fine di questa tesi - l'analisi della fotogrammetria come strumento nell'indagine archeologica -, come un richiamo ad una più attenta e approfondita analisi di queste tecniche, del loro scopo e delle loro conseguenze.

Anche l'archeologia, come la quotidianità in generale, risulta pervasa dalla tecnologia. Nuovi strumenti hardware e software entrano ogni anno nel panorama disciplinare. La stessa proposta di esistenza di uno specifico indirizzo disciplinare che va sotto il nome di «archeologia digitale», l'esistenza di specifiche sedi di confronto centrate sull'utilizzo dell'informatica, come vedremo, testimoniano di questo diffuso utilizzo della tecnologia nella ricerca archeologica. D'altronde, l'utilizzo sempre più marcato delle ICT in ambito archeologico, una sempre più ampia attenzione verso gli aspetti legati alla valorizzazione e fruizione del patrimonio archeologico, insieme agli sviluppi socio-culturali ed economici di cui si è accennato ci portano ad affermare, ampliando un'intuizione di Paul

⁵ BAUMAN 2011.

⁶ WEBER 1922 [2003], p. 11.

Reilly e Sebastian Rahtz⁷, che esistono, in archeologia, quattro «aspetti del materiale intellettuale associato» alle ICT: «i ‘dati’, le ‘tecniche’ e la ‘conoscenza’», ai quali dovrebbe aggiungersi la comunicazione. Tali aspetti non possono essere approfonditi se non attraverso un’approccio strutturalista che permetta di analizzare le entità che compongono il “problema” della tecnologia applicata all’archeologia - nella specifica analisi della presente tesi la fotogrammetria - e di evidenziare le relazioni di mutua dipendenza che intercorrono tra di esse⁸.

A questo scopo, i capitoli che seguono tenteranno di fornire un quadro delle questioni che condizionano il connubio informatica-archeologia subacquea, particolarmente per quanto concerne l’applicazione delle tecniche di rilievo fotogrammetrico. In questo impegno, si procederà dal generale al particolare e dall’impianto teorico della disciplina, passando per un’analisi di carattere metodologico, fino a giungere a riflessioni sui modelli tridimensionali visti nell’ottica del processo di ricerca archeologica⁹. Per concludere, le questioni cardine di questo elaborato possono essere schematicamente poste nel seguente ordine: in che modo la tecnologia digitale influenza l’archeologia? Come si rapportano al processo archeologico l’ambiente digitale, il computer e in particolare la fotogrammetria? In che modo tali strumenti influenzano le scelte del gruppo di ricerca o del singolo archeologo? In che modo si rapportano alla creazione e trasmissione della conoscenza archeologica? E alla sua gestione? In definitiva, qual è l’effetto del digitale e in particolare della fotogrammetria tridimensionale in archeologia subacquea?

Nel prossimo capitolo (il secondo) si cercherà di fornire un quadro il più possibile chiaro e completo del connubio tra computer, teoria archeologica e archeologia subacquea, e dell’applicazione metodologica degli strumenti informatici, nell’evoluzione storica degli uni e degli altri. In questa analisi si cercherà di evidenziare quali rapporti siano intercorsi tra le varie correnti teoriche e le applicazioni informatiche che sono andate sviluppandosi durante la seconda metà del XX secolo. In definitiva il capitolo mira

⁷ REILLY, RAHTZ 1992, p. 10.

⁸ PREUCEL 2006, p. 93.

⁹ Cfr. Levy 1992, citato in FORTE, BELTRAMI 2000, p. 273; «...Non basta parlare del principio su cui una tecnica si costituisce e si sviluppa, occorre parlare del modo in cui questo principio si articola concretamente e dinamicamente, nel rapporto tra gli attori umani e gli attori macchinici, nel rapporto tra segni ed interpretazione, nel rapporto tra ambiente in cui si costituisce l’attività di cognizione e di linguaggio e di creazione, e la produzione di senso, la proiezione sociale del mondo».

a contestualizzare l'oggetto dell'analisi di questa tesi all'interno delle evoluzioni dal punto di vista tecno-teorico-pratico nel campo dell'archeologia subacquea. Va specificato che in questa tesi si sostiene un approccio alla supposta differenza tra archeologia e archeologia subacquea in linea con quanto affermato da George F. Bass ormai cinquant'anni fa, ossia che l'archeologia subacquea debba essere intesa semplicemente come archeologia, e che utilizzare l'autorespiratore non rende il fine, gli obiettivi e gli approcci intellettuali dell'archeologia subacquea differenti da quelli dell'archeologia *tout court*¹⁰.

Nel terzo capitolo, si tenterà di restringere il campo con l'esame delle tecniche fotogrammetriche dal punto di vista storico e delle specifiche applicazioni in ambito archeologico subacqueo. Tale approfondimento sarà preceduto da una serie di valutazioni sulle questioni relative al dato, visto nella sua doppia valenza di dato archeologico e dato informatico. Verrà data particolare attenzione al rapporto che l'archeologia, e l'archeologia subacquea intrattengono con il trattamento informatico dei dati e che tipo di relazione intercorra tra il dato archeologico e quello informatico. Verranno evidenziate alcune problematiche insite nella gestione e comunicazione dei dati in ambiente digitale.

Il quarto capitolo sarà invece dedicato alla presentazione dell'impianto metodologico relativo all'applicazione della fotogrammetria (tridimensionale) in ambiente subacqueo, con l'analisi dei concetti, degli approcci, della pratica e degli strumenti utilizzati nel rilievo fotogrammetrico in due siti archeologici sommersi presentati come casi studio. Si tenterà di analizzare il metodo fotogrammetrico da un punto di vista prettamente metodologico senza deviare in inutili tecnicismi. Si è d'altronde convinti che nel trattare ed esaminare strumenti tecnologici quali la fotogrammetria in un campo come l'archeologia, risulti più importante comprendere i fondamenti logici e gli aspetti più propriamente epistemologici ed ermeneutici piuttosto che tecnicismi che potrebbero risultare velocemente obsoleti una volta che il singolo applicativo dovesse essere sostituito da uno nuovo.

Il quinto capitolo cercherà invece di produrre alcune riflessioni utili a tentare una riconciliazione, una convergenza, tra aspetti teorici e pratici nell'applicazione della

¹⁰ BASS 1966 [1974], p. 5.

fotogrammetria. Verranno forniti degli strumenti utili ad inquadrare la fotogrammetria e in generale il tridimensionale - prodotto diretto della fotogrammetria - nel processo di interpretazione archeologica. A questo scopo si analizzerà l'influenza della percezione visuale e della cognizione nella produzione del rilievo fotogrammetrico e nella lettura e comprensione delle immagini e, nella fattispecie, di quelle tridimensionali. Per concludere, attraverso la lente di Marshall McLuhan e della sua teoria dei media, si tenterà di analizzare l'effetto proprio della fotogrammetria nel processo di rilievo archeologico in ambiente acquatico e, in un quadro più ampio, nella ricerca archeologica subacquea.

2. IL DIGITALE IN ARCHEOLOGIA: LE BASI TEORICHE

Secondo quanto si è detto nell'introduzione, la volontà di analizzare la fotogrammetria e il suo ascendente nel processo archeologico, secondo un'approccio strutturalista non può limitare l'approfondimento ai soli aspetti tecnici, così da evitare una "controproduttiva tecno-dipendenza", ma deve piuttosto includere i quattro aspetti del materiale intellettuale associato alle ICT - dati, tecniche, informazione e comunicazione - letti dal punto di vista delle loro implicazioni e ascendenze teoriche e metodologiche. La decisione di analizzare la storia del computer, gli sviluppi teorici in archeologia e in archeologia subacquea, e l'applicazione delle tecniche che si basano sul computer nel processo di ricerca archeologica, trova fondamento nella necessità di inquadrare le problematiche - relative alla acquisizione e gestione dei dati - che giocano un ruolo fondamentale nel comprendere quali siano gli effetti del rilievo tridimensionale in archeologia subacquea. Questo capitolo risulterà dunque propedeutico alla comprensione degli aspetti legati al rilievo fotogrammetrico. Nel quadro di un'analisi ampia e sistematica, questi aspetti apparentemente slegati appaiono invece parti di un'insieme più complesso che può essere compreso da un punto di vista unitario, attraverso un'analisi dei nessi che collegano computer, archeologia e comprensione del passato.

2.1 “L’UOMO È ANCORA IL PIÙ STRAORDINARIO DEI COMPUTERS”¹¹. BREVE STORIA DELLO SVILUPPO DEL CALCOLATORE ELETTRONICO

Lo sviluppo delle società umane si è, da sempre, dovuto confrontare con problematiche legate alla creazione, gestione e comunicazione della conoscenza¹². L’essere umano ha cercato di colmare i suoi limiti biologici attraverso l’invenzione di apparecchi (*strumenti*) tecnologici, che potessero completare le sue mancanze o ampliare alcune sue capacità. Dall’invenzione dei primi utensili per l’approvvigionamento di cibo o per la difesa dai predatori da parte delle società di cacciatori-raccoglitori¹³, all’invenzione della ruota nella terra tra i due fiumi (Mesopotamia), all’invenzione di strumenti per la gestione della conoscenza, basti pensare alle tavolette cuneiformi o agli abachi Babilonesi datanti a circa 5000 anni fa, passando per l’invenzione degli strumenti astronomici per la lettura della volta celeste o per l’orientamento in fase di navigazione, fino a giungere ai nostri giorni e allo sviluppo del calcolatore elettronico (computer)¹⁴.

L’utilizzo di strumenti per calcoli complessi può esser fatta risalire alla notte dei tempi anche se, come giustamente afferma Michael R. Williams¹⁵, è difficile rinvenire tracce di questi strumenti nel record archeologico. Eccezione alla regola è il rinvenimento di uno dei primi calcolatori astronomici conosciuti che, fatto alquanto curioso, proviene da un

¹¹ Frase proferita dal XXXV Presidente degli Stati Uniti d’America, John Fitzgerald Kennedy (1917-1963), durante la consegna della NASA Distinguished Service Medal all’astronauta L. Gordon Cooper presso la Casa Bianca il 21 maggio 1963, alcuni mesi prima del suo assassinio (Dallas, Texas, 22 novembre 1963). Disponibile online: John F. Kennedy: "Remarks Upon Presenting the NASA Distinguished Service Medal to Astronaut L. Gordon Cooper,," May 21, 1963. Online by Gerhard Peters and John T. Woolley, The American Presidency Project. <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=9225>

¹² GAINES 2013.

¹³ LEROI-GOURHAN 1974 [1981].

¹⁴ GAINES 2013, pp. 138-141; e, in parte, BALBI, MAGAUDDA 2014, pp. 18-43.

¹⁵ WILLIAMS 1990, pp. 4 e 7.

recupero subacqueo, il cosiddetto *meccanismo di Antikythera*¹⁶. Gli strumenti per il calcolo più antichi conosciuti sono gli abachi, per i quali possiamo ricostruire il loro utilizzo da parte di Greci e Romani, sulla base delle fonti storiche tra le quali la notizia di Demostene (384-322 a.C.) che ci informa della necessità di utilizzare sassolini per i calcoli troppo complicati da fare a mente. Al contrario, le notizie sull'utilizzo di abachi nell'estremo oriente (nella loro forma moderna) paiono più tarde, datando attorno al 1200 d.C. per la Cina, e da qui diffusi in Korea (1400 d.C.) e Giappone (1600 d.C.)¹⁷. Nel 1202 Leonardo Fibonacci pubblica il *Liber Abaci* che, nonostante il titolo, non trattava dell'abaco ma piuttosto sosteneva che i numerali Indo-Arabici potessero essere utilizzati per il calcolo¹⁸. Un notevole salto in avanti nella "potenza di calcolo" fu raggiunta durante la seconda metà del XVI secolo dal matematico e fisico scozzese John Napier of Merchiston, meglio noto per l'invenzione e descrizione dei logaritmi (*Mirifici Logarithmorum Canoninis Descriptio*, 1614), poi perfezionati da Henry Briggs, matematico londinese. Tra le invenzioni di Napier vanno sicuramente annoverati i cosiddetti 'Ossi di Napier' (*Rabdologia*, 1617), un sistema per le moltiplicazioni basato su una serie di bacchette numerate¹⁹.

Durante i secoli Rinascimentali si assiste a notevoli cambiamenti in ambito sociale e culturale in Europa. Sono gli stessi secoli tra il XIV e il XVII che vedono la riscoperta e rivalutazione del classico (Greco e Romano), sia sul piano umanistico sia sul piano scientifico, ed è proprio il XVII secolo a segnare una svolta nel processo di sviluppo dei calcolatori meccanici. Se comunemente si ritiene che questo successo sia da attribuire a Blaise Pascal, una scoperta fatta nel 1957 ha invece restituito la giusta proprietà

¹⁶ DE SOLLA PRICE 1974. L'autore riporta della scoperta del meccanismo pochi giorni prima della Pasqua del 1900 da parte di un gruppo di pescatori di spugne (*sphoungarades*) dell'isola di Simi presso Rodi, di ritorno da una battuta di pesca presso le coste tunisine. Forzati da una tempesta trovarono riparo presso Porto Potamós nell'isola di Antikythera (l'odierna Cerigotto, a nord-ovest di Creta). Decisi ad esplorare i fondali rocciosi i pescatori si immersero ed uno dei 'subacquei' individuò un gruppo di statue bronzee e marmoree. Successive indagini archeologiche (1901) datarono il carico anforico del relitto attorno alla fine della prima metà del I secolo a.C. Ad ogni modo, il ritrovamento forse più interessante non venne identificato se non l'anno seguente (notizia del 23 maggio 1902), durante le operazioni di pulizia dei frammenti bronzee e marmoree da parte dei restauratori del Museo Nazionale ad Atene. In estrema sintesi, il meccanismo di Antikythera rappresenta un meccanismo astronomico per il calcolo differenziale del calendario solare e lunare, che permetteva di 'computare' il moto della Luna in rapporto al Sole.

¹⁷ WILLIAMS 1990, p. 8.

¹⁸ Il titolo del volume di Fibonacci testimonia come l'oggetto (abaco) sia divenuto, per metonimia, sinonimo dell'azione (calcolo).

¹⁹ WILLIAMS 1990, pp. 16 - 23.

intellettuale a Wilhelm Schickard (1592-1635). In una lettera rinvenuta in quell'anno, databile al 1624, Schickard comunicava all'amico Johannes Kepler il dispiacere per la perdita, a causa di un incendio, del modello di calcolatore meccanico che aveva costruito appositamente per lui, descrivendo tuttavia la sua nuova invenzione e affermando come l'amico sarebbe scoppiato a ridere vedendo in che modo la macchina «riporta da se da una colonna di decine all'altra o prende in prestito da queste ultime durante la sottrazione»²⁰. Questo primo calcolatore meccanico venne seguito a stretto giro da alcune invenzioni (tutte autonome le une dalle altre), quali quelle del matematico e filosofo francese Blaise Pascal (1623-1662), e del matematico e filosofo tedesco Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716)²¹.

Le conoscenze scientifiche e le applicazioni tecnologiche che andavano sviluppandosi in questo periodo influenzarono indubbiamente le correnti filosofiche e di pensiero, oltre all'ambito socio-culturale, dei secoli XVII-XIX²². Le innovazioni tecniche e le conoscenze acquisite grazie alla costruzione di orologi astronomici, allo sviluppo dell'organo a rullo di Giovanni Barbieri e delle schede perforate per il telaio di Jacquard²³, dal nome dell'inventore francese Joseph Marie Jacquard (1752 - 1834), posero le basi per lo sviluppo di vere e proprie macchine calcolatrici automatiche durante il XIX secolo, e ancor di più nel XX secolo²⁴. Un passo avanti fondamentale si deve all'eccentrico matematico inglese Charles Babbage, inventore di due diversi tipi di macchine calcolatrici. Membro della *Royal Society* (1816) e fondamentale nell'istituzione

²⁰ GOLDSTINE 1977, p. 339; WILLIAMS 1990, pp. 35 - 39.

²¹ BALBI, MAGAUDDA 2014, pp. 18-19; GOLDSTINE 1977, p. 339; WILLIAMS 1990, pp. 35 - 39; LEAVITT 2006 [2007], pp. 26-27. In particolare Leibniz mirava a «creare un linguaggio matematico speciale attraverso il quale scrivere una specie di enciclopedia comprendente tutta la conoscenza umana». Allo stesso von Leibniz si deve la codifica della numerazione binaria, fondamentale per l'operatività dei calcolatori elettronici (NUMERICO, VESPIGNANI 2003, p. 25).

²² Si pensi all'empirismo-razionalismo di John Locke, o al razionalismo di Gottfried Wilhelm von Leibniz, o ancora al razionalismo illuministico francese, che da Voltaire arriva a D'Alambert e Diderot. Ovviamente, la temperie culturale fortemente dinamica, non poteva non influenzare, in un rapporto vicendevole, l'innovazione tecnica e il pensiero moderno. In questo processo si inserisce pienamente anche quella corsa alla riscoperta dell'antico che pose i «monumenti dell'antichità» e i «preziosi avanzi della cultura Antichità» (JOKILEHTO 2005), in un'ottica identitaria, al centro dell'attenzione degli Stati Nazionali che andavano nascendo a partire dal secolo XVIII (THIESSE 1999 [2011]). Come giustamente affermano Gabriele Balbi e Paolo Magaudda, è possibile «mettere in luce, all'interno di processi d'innovazione, il ruolo degli utilizzatori e dei «gruppi sociali pertinenti» di una tecnologia, cogliendo ulteriori sfaccettature nel processo di «co-costruzione» tra tecnologie e società e tra artefatti e attori sociali» (BALBI, MAGAUDDA 2014, pp. XIX).

²³ BALBI, MAGAUDDA 2014, p. 19.

²⁴ BROMLEY 1990, p. 60; GOLDSTINE 1977, p. 340.

della *Astronomical Society of London* (poi *Royal Astronomical Society*), Babbage s'interessò di assicurazioni, di storia e teoria della scienza e di matematica, con il suo nome legato principalmente allo sviluppo dei calcolatori meccanici.

Nel 1820, il matematico inglese, mosso dalla frustrazione dovuta alle difficoltà (e ai numerosi errori) nel calcolo delle tavole astronomiche per il *Nautical Almanac* britannico²⁵, chiese un finanziamento al governo britannico per costruire quella che egli stesso definì una *Difference Engine* (macchina differenziale)²⁶. Questa macchina permetteva di acquisire calcoli matematici prodotti manualmente e, attraverso semplici operazioni di addizione e sottrazione, creare un almanacco nautico completo²⁷. Nel 1837, dopo aver cessato i suoi studi sulla *Difference Engine*, Babbage elaborò l'*Analytical Engine* (macchina analitica): questa macchina, riconosciuta come il primo prototipo di computer meccanico, permetteva di effettuare calcoli generali in maniera completamente automatica²⁸, rendendo la figura di Charles Babbage fondamentale nello sviluppo degli strumenti per il calcolo automatico.

È tuttavia la prima metà del XX secolo a segnare il punto di svolta per l'invenzione del computer e per il successivo sviluppo dei mainframe e dei personal computer. L'impulso alla ricerca scientifica figlio degli sforzi bellici della Prima e, soprattutto, della Seconda Guerra Mondiale, sostenuti da un clima culturale fortemente razionalistico e positivistico, che influenzerà non solo l'ambiente scientifico ma anche in maniera piuttosto marcata l'ambito archeologico, creò il clima ideale per la nascita e lo sviluppo dei calcolatori elettronici. L'invenzione del computer è legata a numerose figure che, particolarmente in ambiente statunitense, britannico e tedesco, mossero i primi passi verso l'ideazione, progettazione e costruzione dei primi calcolatori elettronici²⁹. Tra le personalità di spicco in questo processo è sicuramente da annoverare Alan M. Turing (1912-1954)³⁰.

²⁵ Il *Nautical Almanac* consisteva in una «serie di tavole [introdotte dalla Royal Navy nel 1767] prodotte annualmente che contengono dati *inter alia* permettendo ai marinai di localizzare la longitudine della loro posizione in mare». (GOLDSTINE 1977, p. 340).

²⁶ BROMLEY 1990, pp. 62 e 65-74.

²⁷ GOLDSTINE 1977, p. 340.

²⁸ BROMLEY 1990, pp. 76 - 84.

²⁹ Per un'approfondita analisi storica dello sviluppo dei computers e delle personalità di questo processo, si rimanda al volume edito da William ASPRAY 1990.

³⁰ LEAVITT 2006 [2007];

Matematico inglese, Turing si fece conoscere alla comunità scientifica internazionale con il suo lavoro del 1937, in tre parti, nel quale «definisce l'idea di “numero computabile” e di “macchina computazionale”», postulando inoltre «il concetto di una “macchina universale”»³¹. La vicenda umana e professionale di Alan Turing e il ruolo svolto nell'invenzione del moderno computer è probabilmente nota ai più, anche grazie alla recente trasposizione cinematografica nel film del regista Morten Tyldum, “The Imitation Game”³². Nel 1937 Turing aveva già raggiunto una certa fama nel circolo matematico britannico, grazie alle sue congetture sulla “macchina universale”. Negli stessi anni (1937-38) Turing trascorse un periodo di ricerca presso la University of Pennsylvania a stretto contatto con John von Neumann (1903-1957).

Von Neumann si trovava allora a capo di un gruppo di lavoro presso la *Moore School of Electrical Engineering* della *University of Pennsylvania* - del quale faceva parte anche John W. Mauchly (1907-1980) - con il quale aveva progettato il primo calcolatore elettronico l'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) entrato in funzione solo nel 1946³³, e seguito a stretto giro da un modello revisionato che prese il nome di EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), fortemente ispirato dalla “macchina universale” teorizzata da Turing. Furono le vicende belliche della Seconda Guerra Mondiale a stimolare e perfezionare lo sviluppo di macchine automatiche per il calcolo elettronico. L'entrata in guerra degli Stati Uniti (1941), costrinse il *Ballistic Research Laboratory* (BRL) - un centro di ricerca dell'esercito statunitense - a verificare nuovi e più efficaci metodi per il calcolo della gittata delle sue armi da fuoco. Fu proprio l'ENIAC³⁴, la macchina progettata presso la *Moore School of Electrical Engineering* a fornire lo strumento adatto all'automazione e velocizzazione di tali calcoli, tuttavia entrato in servizio a guerra ormai finita.

Oltreoceano la situazione non fu differente. Il Regno Unito si trovava nella necessità di decrittare le comunicazioni del Terzo Reich che le attività d'intelligence andavano

³¹ LEAVITT 2006 [2007], pp. 43 ss; NUMERICO, VESPIGNANI 2003, p. 27.

³² BREVE COMMENTO AL FILM.

³³ NUMERICO, VESPIGNANI 2003, p. 27; CERUZZI 1990a, b.

³⁴ BALBI, MAGAUDDA 2014, p. 21. L'ENIAC venne effettivamente utilizzato per attività militari ma a partire dal 1945 a guerra ormai terminata. In seguito, l'evoluzione dell'ENIAC, l'UNIVAC, divenne il primo computer disponibile al grande pubblico a partire dall'inizio degli anni '50 del XX secolo, e venne ben presto utilizzato dall'ufficio per il censimento del governo americano.

recuperando durante il secondo conflitto mondiale. Tra Prima e Seconda Guerra Mondiale i tedeschi avevano infatti sviluppato un programma di crittografia, denominato Enigma. Fu proprio la necessità di decifrare i messaggi scritti con Enigma che portò il *Department of Communications* del *Foreign Office* britannico a riunire le migliori menti presso Bletchley Park, una tenuta a cinquanta miglia a nord di Londra, tra i quali anche Alan Turing; da questa collaborazione nacque la macchina *Colossus*³⁵.

È invece storia recente, la nascita dei microprocessori, l'avvento dei personal computers e lo sviluppo esponenziale della potenza di calcolo di queste macchine negli ultimi 30-40 anni. Già nel 1965, Gordon E. Moore, co-fondatore di Intel® Corporation - produttrice di dispositivi a semiconduttori quali ad esempio i microprocessori per computer - sosteneva che la «le prestazioni dei processori, e il numero di transistor ad esso relativo, raddoppiano ogni 18 mesi»³⁶. La nascita dei personal computer, con l'affermazione di compagnie come la Microsoft o la Apple, e la possibilità di utilizzare computer sempre più potenti durante la ricerca archeologica hanno ovviamente aperto la strada allo sfruttamento dei computer e degli applicativi digitali in archeologia, in maniera ampia e diffusa. Si vedrà nel proseguo quali siano questi applicativi. A questo punto invece si procederà ad analizzare gli sviluppi individuali e congiunti del connubio tra archeologia e computer, negli aspetti teorici e applicativi.

³⁵ CERUZZI 1990b, pp. 232-243.

³⁶ MOORE 1965.

2.2 LA PERDITA DELL'INNOCENZA E L'INFORMATICA DELL'ARCHEOLOGO³⁷. ARCHEOLOGIA, TEORIA E INFORMATICA SOPRA E SOTTO LA SUPERFICIE DEL MARE

L'archeologia trova le sue radici in quell'interesse collezionistico e antiquario che a partire dall'Umanesimo pervade la cultura europea³⁸. La disciplina muove da un primo approccio speculativo, che dal XIV al XVII secolo vede ricchi membri della borghesia istituire i cosiddetti *gabinetti delle meraviglie*, nei quali raccolte di oggetti esotici vengono esposti senza alcun metodo critico e nei quali, accanto a materiale greco e romano, si rinvenivano materiali di altre epoche e finanche materiale geologico³⁹. La fase definita «speculativa» da Renfrew viene seguita, nel XVIII secolo e ancora di più nel XIX secolo, dal vero e proprio inizio dell'archeologia come la intendiamo ai nostri giorni. Nel XVIII secolo iniziarono i primi scavi a Ercolano (1738) – interrotti dieci anni più tardi a causa del fango vulcanico solidificato che rendeva estremamente complesse le attività di scavo⁴⁰ – e Pompei (1748). Tra XVIII e XIX secolo due geologi, James Hutton con il suo *Theory of the Earth* (Teoria della Terra) del 1785 e Charles Lyell con il suo *Principles of Geology* (Principi di geologia) del 1830, aprirono la strada alla formulazione del concetto di stratificazione, ponendo le basi alla teorizzazione e poi applicazione del principio della

³⁷ CLARKE 1973; D'ANDREA, NICCOLUCCI 2001. Il titolo di questo paragrafo rispecchia al contempo i titoli dei contributi di David Clarke e di D'Andrea e Nicolucci al fine di sottolineare, in un momento in cui le tecniche e metodologie di rilievo tridimensionale (3D) risultano pervadere la pratica e la letteratura archeologica, come sia necessario per dirla con gli autori «proporre un'attività più legata all'archeologia: definire i criteri di validazione, individuare i codici di comunicazione, definire per il disegno digitale tridimensionale un set di regole che estendano, adattandole al nuovo medium, quelle già esistenti per il disegno tecnico archeologico». Aggiungeremmo che appare necessaria, oltre alla creazione di regole e standard generali, l'analisi di come tali strumenti e tecniche partecipino nelle varie fasi dell'indagine archeologica e in che modo influenzino il processo archeologico, dall'acquisizione dei dati fino alla loro interpretazione e comunicazione. In questa direzione, il presente contributo si misura appunto con l'analisi delle metodologie e tecniche di rilievo tridimensionale - nello specifico la fotogrammetria subacquea - al fine di inquadrare questi strumenti nel processo interpretativo archeologico e, come si vedrà più approfonditamente nel Capitolo 6, il concetto di valore protesico o narcotico (MCLUHAN 1964 [2015]) dei media tecnologici.

³⁸ Cfr. nota 24.

³⁹ RENFREW, BAHN 1991 [1995], pp. 12 – 13; RENFREW, BAHN 2007 [2009], p. 2.

⁴⁰ BIANCHI BANDINELLI, 1976 (2003), p. 72.

stratigrafia archeologica⁴¹, ormai divenuta caposaldo dell'odierna disciplina⁴². Il progresso concettuale e la serie di scoperte e scavi che ebbero luogo in questo periodo cambiarono definitivamente la fisionomia della disciplina archeologica e, come conseguenza, anche la conoscenza del passato dell'uomo. Il periodo che seguì venne definito da Gordon Willey e Jeremy Sabloff come il «periodo storico-classificatorio»⁴³ nel quale l'attenzione principale della disciplina diresse verso una classificazione tipologica dei manufatti e verso la creazione di sequenze cronologiche⁴⁴. A questa prima fase dell'archeologia caratterizzata da un'impronta meramente descrittiva, si contrappose, all'inizio della seconda metà del XX secolo - allorché gli archeologi particolarmente in ambiente statunitense e britannico, cominciarono ad interrogarsi su metodi, teorie e approcci alla disciplina - quella che, alcuni anni dopo, David Clarke definì come l'archeologia che ha «perso la sua innocenza»⁴⁵.

⁴¹ CARANDINI 1991, p. 21; RENFREW, BAHN 1991 [1995], p. 16; HARRIS 1979 [2009], p. 1. All'archeologo Edward Harris si deve in particolare l'elaborazione metodologica dello scavo per "grandi aree" oltre alla concettualizzazione della matrice stratigrafica, ovvero della sequenza stratigrafica – che non rappresenta altro che le differenti unità stratigrafiche analizzate nei reciproci rapporti tra loro intercorrenti –, che dallo studioso delle Bermuda prende il nome di «Harris Matix» o «diagramma stratigrafico», secondo la traduzione datane da Andrea Carandini. Il primo ad utilizzare solidi principi di stratigrafia nell'ambito di uno scavo archeologico fu Alfred Kidder nel sito *pueblo* di Pecos nei pressi di Santa Fe in New Mexico (USA). In Italia invece Nino Lamboglia e Luigi Bernabò Brea si impegnarono a cavallo della metà del XX secolo in profonde riflessioni metodologiche tra le quali un'importanza fondamentale è da ascrivere all'utilizzo sistematico dello scavo stratigrafico.

⁴² CARANDINI 1991, pp. 21 – 25, nel suo manuale di scavo archeologico, primo volume di questo tipo in Italia, l'archeologo classico sottolinea come nell'archeologia italiana vi sia stato, particolarmente nella prima metà del XX secolo (ma riscontrabile ancora nella seconda metà del secolo), una forte opposizione rispetto ai principi della stratigrafia insieme ad un forte orientamento storico-artistico e monumentale dell'archeologia, secondo il quale solo la classificazione e lo studio estetico dei resti antichi aveva dignità ed autonomia a discapito della metodologia stratigrafica vista come «componente meramente tecnica e secondaria della disciplina».

⁴³ WILLEY, SABLOFF 1974; Cfr. RENFREW, BAHN 1991 [1995], p. 26; MANACORDA, 2004, p. 51; Anche definito «storico-culturale» da TRIGGER 1989.

⁴⁴ RENFREW, BAHN 2007 [2009], p. 11.

⁴⁵ CLARKE 1973, p. 6; come incipit al contributo l'autore esordiva con l'asciutta ma convinta affermazione che «[I]a perdita di innocenza disciplinare è il prezzo da pagare per un aumento di consapevolezza; certamente il prezzo è alto ma la perdita è irreversibile e il premio sostanziale».

2.2.1 IL PERCORSO SPECULATIVO: RIFLESSIONI TEORICHE IN ARCHEOLOGIA

L'archeologia è generalmente definita come la disciplina che studia il “passato” attraverso la sua cultura materiale⁴⁶, al fine di approntare una ricostruzione storica tramite l'attento studio dei resti materiali e del loro contesto (oggetti, strutture, paesaggio etc.), quali rappresentazioni fisiche delle differenti culture (dunque uomini) che li hanno prodotti. L'archeologo britannico Ezra B.W. Zubrow⁴⁷ al riguardo afferma che:

L'archeologia ha da sempre cercato al contempo di raccontare la storia del passato e di raccontare vicende riguardanti il passato. Gli archeologi e l'archeologia rappresentano uno strano amalgama di scienziati e di scienza, di narratori e ricostruzioni narrative. Come professionisti cerchiamo di disegnare un'immagine coerente che comprenda sia i significati umani sia i processi generali.

D'altro canto, l'archeologia, in un parallelo che ci piace portare all'attenzione del lettore, è come la scultura. Nel brano qui sotto riportato infatti, sostituendo alla parola “scultura” la parola “archeologia”, si addiverrebbe fluidamente alla raffigurazione della nostra disciplina:

La scultura, – secondo il detto leonardesco che tanto piaceva a Freud – è un'arte “per via di togliere”, nella quale è più evidente il contrappunto tra il creare ed il necessario parallelo distruggere la forma precedente: a colpi violenti di scalpello il marmo si infrange e si frantuma per lasciare emergere la nuova immagine. Ma ciò accade – seppure meno clamorosamente – anche per la tela incontaminata o la pagina bianca, che dovrà offrire il supporto per l'opera emergente. *Ogni creazione* (lo dice anche Argan, 1968) *è un atto distruttivo*⁴⁸.

Come per la scultura, per la tela incontaminata e per la pagina bianca, così pure per il sito archeologico ogni creazione – di dati e documentazione archeologica, e conseguenti interpretazioni storico-archeologiche – presuppone un atto distruttivo. L'idea che

⁴⁶ Cfr. MANACORDA 2009, pp. 32 – 33.

⁴⁷ ZUBROW 2006, p. 8.

⁴⁸ ARGENTIERI 2005, p. 12.

l'evidenza archeologica sia non-rinnovabile rappresenta una nozione ormai pienamente assunta agli atti della letteratura disciplinare. Questa considerazione rende evidente l'importanza dei dati archeologici e, di conseguenza, la loro corretta e completa documentazione al fine di favorire una migliore interpretazione e una creazione di conoscenza archeologica che possa dirsi il più possibile aderente all'originale evidenza archeologica. Per ribadire ulteriormente, è concordemente accettato come la ricerca archeologica sia un'atto al contempo *creativo*⁴⁹ e *distruttivo*⁵⁰. Lo scavo di un sito produce infatti la distruzione dell'evidenza archeologica - per come essa è giunta a noi lungo l'arco dei secoli -, distruggendone il contesto che rappresenta il fondamentale recipiente delle informazioni e dei loro significanti. Come compensazione tuttavia, l'indagine archeologica e particolarmente lo scavo forniscono una serie di dati (la documentazione archeologica) che partecipano attivamente a quel processo creativo definito dall'interpretazione e dalla creazione di conoscenza archeologica⁵¹. La coscienza che lo scavo è un'opera distruttiva, la conseguente importanza dei dati e della documentazione archeologica e, in particolare, il metodo d'acquisizione, l'approccio e l'analisi dei dati e il valore definitivo da dare all'evidenza archeologica furono l'oggetto principale delle riflessioni che, a partire dagli anni '60 del secolo scorso, pervasero e scossero l'archeologia per come la si era conosciuta fino ad allora.

Nel tentativo di mettere ordine al pluridecennale dibattito teorico in campo archeologico, nel 1988 Michael Schiffer suggerisce come esista una interpretazione bipolare del concetto di teoria. Da una parte la teoria è utilizzata come metro d'analisi di

⁴⁹ RENFREW, BAHN 1991 [1995], p. 1; RENFREW, BAHN 1991 [1995], p. 1; MANACORDA, 2004, p. 4. In realtà, come Renfrew e Bahn affermano nel loro manuale, l'archeologia rappresenta, al contempo, un'attività esplorativa del passato prodotta sulla base di un approccio tipicamente "scientifico" coadiuvata da elementi di creatività interpretativa. Essa risulta infatti un'attività nella quale l'impostazione di ricerca, scientificamente fondata, fa quadrato con l'attività fisica (di scavo) e l'interpretazione delle evidenze archeologiche talvolta improntata ad una certa creatività.

⁵⁰ CLEERE 1984, p. 128; CLEERE 1993, p. 400; MCMANAMON, HATTON 2000, pp. 13 e 16; BAUDRILLARD 2006, p. 453; Il filosofo e sociologo francese sostiene giustamente che «[a]ffinché l'etnologia viva, il suo oggetto deve morire; morendo, l'oggetto prende la sua rivincita venendo "scoperto" e con la sua morte, si sottrae alla scienza che vuole afferrarlo [...] Non vivono tutte le scienze in questa discesa paradossale, alla quale sono condannate dall'evanescenza del loro oggetto nel suo stesso apprendimento, e dallo spietato rovesciamento che l'oggetto deceduto esercita su di essa? Come Orfeo, si gira sempre troppo presto, e, come Euridice, il suo oggetto ricade nell'Ade».

⁵¹ Questo aspetto verrà approfondito nel § 3.1, nel quale i dati e la documentazione archeologica verranno esaminati approfonditamente al fine di chiarire le implicazioni delle stesse nel processo archeologico.

specifiche manifestazioni passate⁵². D'altra parte la teoria tende, a volte, a rappresentare assunti fondamentali portati avanti dagli studiosi riguardo alla natura delle società umane e della cultura; questi sono spesso chiamati «paradigmi»⁵³, «strutture teoretiche»⁵⁴, o ancora «schemi concettuali»⁵⁵. Particolarmente questi ultimi assunti fondamentali – come afferma ancora Schiffer – risultano schemi astratti che necessitano, per la loro stessa spiegazione, di teorie e leggi sperimentali⁵⁶. L'impianto teorico dell'archeologia dispone di una letteratura ampia e multicolore⁵⁷ che ha tentato di fornire una risposta cogente alla domanda del perché e con quali presupposti concettuali si sviluppi l'archeologia.

Robert W. Preucel, nel suo *Archaeological Semiotics* suggerisce come il secondo dopoguerra abbia testimoniato una profonda attenzione, particolarmente negli Stati Uniti, verso le problematiche legate al progresso scientifico – prodotto del nascente antagonismo con quella che è ormai l'ex U.R.S.S. – favorendo un importante incremento

⁵² SCHIFFER 1988, p. 461; per Schiffer questa interpretazione del concetto risulta la meno precisa e coerente, suggerendo la sostituzione del termine teoria, nella sua accezione plurale, con «spiegazioni, schizzi esplicativi, modelli, o ipotesi».

⁵³ KUHN 1962 [2008]. Secondo la proposta di Thomas Kuhn, il paradigma può essere definito come una «intera costellazione di convinzioni, valori, tecniche e così via, condivise dai membri di una determinata comunità». Secondo l'epistemologo statunitense, il progresso della scienza si sviluppa secondo cinque fasi: 1) la Fase 0, ovvero la fase pre-paradigmatica, precedente all'avvento del paradigma (assunto fondamentale); 2) la Fase 1 nella quale un gruppo di studiosi si riconosce nel paradigma e crea dunque una scuola di pensiero, il paradigma è dunque visto come potenziale risolutore di problematiche di ricerca; 3) la Fase 2, ovvero della «scienza normale», vede l'affermarsi del paradigma e la costituzione di una scienza (o corrente all'interno della stessa) che produca quelle risoluzioni prospettate dal paradigma iniziale; 4) nella Fase 3 nascono anomalie che vanno a minare la stabilità del paradigma precedentemente accettato; 5) nella Fase 4 infine la crisi prodotta dalla instabilità del paradigma porta ad una rivoluzione scientifica.

⁵⁴ BINFORD 1965, p. 203; Lewis Binford suggerisce che qualsiasi «struttura teoretica» possa suddividersi in «due maggiori componenti: (1) uno che si occupa dei criteri per isolare il fenomeno sotto esame e per sottolineare assunti riguardo alla natura delle unità o frazionamenti delle occorrenze all'interno della generica classe di fenomeno, e (2) degli assunti concernenti il modo in cui questi frazionamenti sono articolati durante lo sviluppo di un sistema o durante le sue modificazioni».

⁵⁵ Kluckhohn 1940 e Taylor 1972, citati in SCHIFFER 1988.

⁵⁶ SCHIFFER 1988, p. 462; la teoria dunque secondo Schiffer, «in accordo con molti filosofi della scienza (e.g. Nagel 1961, pp. 85 – 98), consiste di una serie di premesse basilari, postulati, o assunti che specificano certe entità, processi o meccanismi fondamentali, implicando spesso dei fenomeni che sono essi stessi non osservabili», portando ad esempio gli atomi e le molecole che vennero postulati ancor prima di poter essere osservati.

⁵⁷ Per un'interessante panoramica introduttiva riguardo l'archeologia teorica (*theoretical archaeology*) Cfr. FRANCOVICH, MANACORDA 2007; verifica le voci: TERRENATO, s.v., *Antropologia, archeologia e*, pp. 10 – 14; TERRENATO, s.v., *New Archaeology*, pp. 204 – 206; TERRENATO, s.v., *Postprocessuale, archeologia*, pp. 220 – 222; ed in particolare TERRENATO, s.v., *Teorica, archeologia*, pp. 336 – 339. Per la *New Archaeology* ossia *Processual Archaeology* cfr. BINFORD 1962, pp. 217-225, BINFORD, BINFORD 1968 e CLARKE 1968. Per la cosiddetta *Post-processual Archaeology* cfr. HODDER 2001, HODDER, HUTSON 2003 e SHANKS, TILLEY 1987a, b; TRIGGER 1989. Cfr. inoltre alcuni lavori di sintesi: TERRENATO 2001; MANACORDA 2004, pp. 125 – 136; MANACORDA 2008, pp. 216 – 232; DARK 1995; JOHNSON 2006, pp. 117 – 132. Molto interessante anche l'ampia analisi di KLEJN 2001.

di fondi destinati alla ricerca scientifica⁵⁸. Da questo clima non restò isolata l'archeologia. Come reazione all'allora preponderante impronta storico-culturale della ricerca – prodotta attraverso l'inserimento in griglie delle evidenze archeologiche, tramite le quali venivano infine chiaramente identificate le culture materiali spazialmente e temporalmente collocate – si produsse un cambio di paradigma secondo il quale al tratto descrittivo dell'archeologia tradizionale veniva contrapposto il carattere esplicativo⁵⁹. La spiegazione in archeologia doveva dunque essere, come per le scienze pesanti, empirica, scientificamente fondata e oggettiva. Punto questo che, come vedremo, attirò non poche critiche alla nascente corrente teorica, la cosiddetta *New Archaeology* o archeologia processuale⁶⁰. È questa fase di fermento speculativo che fece affermare a David Clarke che «l'archeologia [aveva] perso la sua innocenza»⁶¹.

In un breve inciso, appare importante sottolineare come, per comprendere il ruolo delle tecnologie (particolarmente la fotogrammetria) nel processo di ricerca archeologica subacquea, sia necessario fornire un quadro generale teso ad evidenziare come una disciplina, viva e in continua evoluzione, non possa ritrarsi da una continua auto-analisi e auto-riflessione – si veda in questo senso, più sotto, la posizione di David Clarke – nel tentativo di stare al passo con i tempi e con i nuovi progressi, anche tecnico-scientifici e di favorire l'inquadramento della disciplina stessa in una più ampia dinamica socio-culturale⁶². Tale auto-analisi e auto-riflessione risulta ancor più necessaria in un momento in cui i progressi tecnologici e il cambiamento di alcuni paradigmi appaiono influenzare profondamente il modo in cui viene svolto il mestiere dell'archeologo⁶³, particolarmente

⁵⁸ PREUCEL 2006, p. 95.

⁵⁹ DARK 1995, p. 5.

⁶⁰ CLARKE 1973; la fase definita età della «coscienza» da David Clarke può essere identificata, a grandi linee, nel periodo successivo alla cultura antiquaria (XIV-XVII sec.) quando la nuova disciplina venne esplicitamente battezzata e ebbe inizio la sua evoluzione teorico-implicita e metodologica. In seguito, quando la fase cosciente si sviluppa diventando «auto-coscienza» – a questo punto la «innocenza» disciplinare ha cessato di esistere – mutano i paradigmi e si apre la parabola definitoria e classificatoria, seguita a breve incollatura dalla fase di «auto-coscienza critica» nella quale le riflessioni interne e introspettive si fanno esplicite.

⁶¹ CLARKE 1973, p. 6.

⁶² SECCI 2011, 2013, 2014; SECCI, SPANU 2015; PANICO, SECCI, TORNATORE 2015.

⁶³ L'avvento del computer, del personal computer in particolare, e di tutta una serie di tecnologie e strumentazioni ad esso legate, e l'insieme delle possibilità offerte nel campo dell'acquisizione, gestione, manipolazione e comunicazione dei dati e delle conoscenze archeologiche, reclama un'attenta analisi delle sue implicazioni. Vedremo più avanti con SHANKS, MCGUIRE 1996, p. 77, come la visione dell'archeologia come “mestiere” riduce lo *iato* esistente tra riflessione teorica e attività pratica sul campo.

in relazione all'utilizzo delle tecnologie nell'indagine archeologica. L'impatto della tecnologia nello sviluppo disciplinare risulta ancor più evidente nell'ambito dell'archeologia subacquea, ove alcune di queste tecnologie, oltre a rendere possibile l'ampliamento degli studi pongono non pochi interrogativi per la tutela, la fruizione e il godimento del patrimonio sommerso⁶⁴.

All'inizio degli anni '60 del secolo scorso l'archeologia ha dunque «perso la sua innocenza», iniziando a confrontarsi con problematiche teoriche tese alla definizione della disciplina stessa. Una volta guardatasi allo specchio, la disciplina ha sentito la necessità di definirsi sia internamente (sul piano teorico e metodologico)⁶⁵ che esternamente (nel rapporto con il mondo esterno alla disciplina)⁶⁶. Da questa auto-analisi possono, per linee generali, estrapolarsi due direttrici di ricerca e riflessione. Da una parte, l'analisi dei significati, degli approcci, delle metodologie della ricerca archeologica cioè, in definitiva, della intrinseca *raison d'être* e del suo *modus operandi*. Dall'altra invece la teorizzazione e formulazione del *modus operandi*, sia pratico che concettuale, e della *praxis* che permetta alla scienza archeologica di farsi disciplina umanistica con una forte dimensione pubblica, ossia il rapporto con quello che l'archeologa statunitense Ywone Edwards-Ingram definisce il «là fuori» dell'archeologia⁶⁷.

Questa atmosfera dettata dal progresso scientifico e tecnologico, ossia il «nuovo ambiente» come lo definisce Clarke, portò all'acquisizione da parte della disciplina archeologica di «nuove metodologie» di indagine che permisero, attraverso «nuove osservazioni», lo sviluppo di «nuovi paradigmi» trasportando la disciplina dall'era della «coscienza», attraverso una «auto-coscienza» all'età della «auto-coscienza critica» – ovvero alla capacità disciplinare di discutere su se stessa, sulle sue metodologie, sui suoi

⁶⁴ Ci si riferisce particolarmente alle possibilità offerte dalle nuove tecnologie per la ricerca archeologica subacquea in alto fondale. Le strumentazioni per la prospezione strumentale (remote sensing) favoriscono l'accesso al patrimonio sommerso a profondità considerevoli che, fino a pochi anni fa, risultavano largamente protette grazie alla loro stessa inaccessibilità. Tali strumentazioni pongono al contempo numerose interrogativi per la tutela dei contesti archeologici ma, anche, su come rendere tali siti fruibili al grande pubblico. Per un approfondimento si veda il § 3.1.

⁶⁵ SCHIFFER, 1988, p. 464.

⁶⁶ Attraverso, ad esempio, la disciplina di gestione del patrimonio archeologico (*Cultural Resource Management* o *Archaeological Heritage Management* nel lessico anglo-sassone), teorizzando e analizzando il rapporto che la disciplina archeologica intrattiene con il pubblico. Ma anche attraverso settori disciplinari definiti *Public Archaeology*, *Community Archaeology* o *Civic Engagement* (SECCI 2011, 2013, 2104.; SECCI, SPANU 2015).

⁶⁷ EDWARDS-INGRAM 1997.

approcci teorici e di costituirsi in una disciplina con caratteristiche proprie – attraverso l’istituzione di quella corrente teorica designata, appunto, con il nome di *New Archaeology* (Processual Archaeology). Clarke continua affermando come «è chiaro che gli archeologi debbono imparare a conoscere i limiti di ciò che possono o non possono conoscere tramite i dati e comprendere questo attraverso una valutazione critica e non per semplice asserzione»⁶⁸. In questa stessa temperie culturale venne coniata la ormai celebre espressione di Gordon Willey e Philip Phillips relativa all’archeologia statunitense che scandisce «l’archeologia è antropologia o è niente»⁶⁹. Come l’antropologia si proponeva di fare con le società moderne, così l’archeologia doveva tentare, attraverso la ricerca, di *spiegare* le dinamiche delle società passate e non semplicemente di *descrivere* le caratteristiche estrinseche evidenziabili dalla cultura materiale.

L’approccio positivistico (o neo-positivistico) alla disciplina promosso dalla *Processual Archaeology* – denominata più in generale, come abbiamo visto, *New Archaeology*⁷⁰ – procedeva secondo l’assunto che l’apporto delle scienze naturali, della geografia umana e dell’antropologia⁷¹ permetterebbero alla ricerca archeologica di arrivare ad una totale “oggettività” (ripetibilità) delle osservazioni ed alla formulazione di procedure controllabili e generalizzabili per la spiegazione dei processi culturali (da qui la denominazione della corrente di pensiero) permettendo infine l’applicazione di tali procedure a «contesti culturali anche sensibilmente diversi»⁷². Secondo questa linea teorica infatti, «il passato è ricostruibile in misura molto più ampia di quanto si ritenesse

⁶⁸ CLARKE 1973.

⁶⁹ WILLEY, PHILLIPS 1958, p. 2; ancora prima in realtà, si veda PHILLIPS 1955, pp. 246 – 247.

⁷⁰ PREUCEL 2006, pp. 93-121. Come lo studioso specifica, la *Processual Archaeology/New Archaeology* «comprende una famiglia di progetti strettamente alleati» tra i quali l’*analytical archaeology* delineata da David Clarke alla fine degli anni ’60 del secolo scorso, l’*anthropological archaeology* di Lewis Binford e della sua scuola, la *behavioral archaeology* promossa da Michael Schiffer e altre scuole di pensiero ciascuna focalizzante su aspetti legati alla geografia - ovvero l’importanza dell’ambiente nello sviluppo dei processi sociali (*environmental archaeology*) - sugli aspetti storici, economici o spaziali (p. 94).

⁷¹ Rispettivamente EARLE ET AL. 1987 e BINFORD 1962; La nuova corrente di pensiero sosteneva infatti come una maggiore riflessione teorica su aspetti quali, ad esempio, la teoria dei sistemi, la teoria ecologica o ancora la teoria evuzionistica (PREUCEL 2006, p. 95), e l’apporto di quelle scienze definite “dure” permetterebbe alla disciplina archeologica di addivenire ad una spiegazione dei fatti storici fortemente oggettiva. In questo quadro tuttavia Max Weber (WEBER 1922 [2003], p. 35 ss.) afferma che «[n]on c’è nessuna analisi scientifica assolutamente «oggettiva» della vita culturale o [...] dei «fenomeni sociali», indipendentemente da punti di vista specifici e «unilaterali»», in effetti egli sostiene che «il concetto di cultura è un concetto di valore» (p. 41), e che dunque la conoscenza empirica ed oggettiva dell’esperienza culturale non è realizzabile vista la soggettività dei giudizi di valore che stanno alla base della nostra costruzione culturale e sociale.

⁷² MANACORDA 2004, p. 126; GIANNICEDDA 2002.

in precedenza, purché sia noto il valore da dare a ciascun tipo di testimonianze materiali»⁷³.

Su questo stesso piano si pone il dibattito sviluppato intorno agli anni '80 del secolo scorso tra Lewis Binford e Michael Schiffer⁷⁴. Caldeggiando l'utilizzo della *Middle-Range Theory* (MRT), derivata dal dibattito sociologico⁷⁵, per la spiegazione dei processi culturali Binford esplicita come essa debba provvedere al chiarimento di «evidenti relazioni di causa-effetto tra le dinamiche casuali e le statiche derivate»⁷⁶; al contrario Schiffer afferma come sia necessaria una «ridefinizione dell'archeologia come una disciplina che studia la relazione tra le persone e le cose, in qualsiasi tempo e in qualsiasi luogo», capacità e approccio che egli definisce *Behavioral Archaeology*, secondo la quale l'attenzione dello studioso deve focalizzare sul comportamento umano e le sue attività giornaliere che, attraverso la relazione tra persone e cose, caratterizza peculiarmente

⁷³ TERRENATO s.v., *New Archaeology*, in FRANCOVICH, MANACORDA 2007, p. 204; BINFORD 1962; Nel suo contributo, dal titolo *Archaeology as Anthropology*, Binford sosteneva – sul modello dei succitati Willey e Phillips e in base all'assunto che la cultura materiale rappresenti effettivamente la complessa struttura del sistema culturale passato – che i processi culturali fossero spiegabili quali adattamenti ai contesti sociali, ambientali e ideologici piuttosto che sulla base delle vecchie impostazioni diffusioniste. Binford premeva per un maggiore coinvolgimento dell'archeologia non solo nel campo della «esplicitazione», ma anche in quello della «spiegazione» affermando che il termine spiegazione, nel campo scientifico, «rappresenta semplicemente la dimostrazione di una costante articolazione di variabili entro un sistema e la misurazione della variabilità concomitante tra le variabili all'interno del sistema».

⁷⁴ BINFORD 1981; SCHIFFER 1988.

⁷⁵ RAAB, GOODYEAR 1998, pp. 206 – 207; la *Middle-Range Theory* (MRT) sviluppata in ambito sociologico particolarmente da Parsons (PARSONS 1948 e 1950) e dai suoi allievi proponeva – sulla base del concetto di “sistema culturale” - la possibilità di comprensione di questa «entità altamente astratta attraverso l'analisi degli status, dei ruoli, delle norme, delle istituzioni, e di altre “funzioni” societarie», mediante la strutturazione di «una teoria *a priori* del sistema e dell'azione sociale». Robert Merton (MERTON 1968, p. 52) tuttavia esplicita così la sua preoccupazione per la mancanza o impossibilità di testare le molte teorie prodotte su larga scala: «[u]na larga parte di ciò che è ora descritto come...teoria consiste di osservazioni generali riguardo ai dati, [queste] suggeriscono le tipologie di variabili che le teorie devono in qualche modo tenere in conto, piuttosto che formulare chiaramente asserzioni verificabili riguardo le relazioni tra specifiche variabili. Abbiamo molti concetti ma molte meno teorie confermate; molti punti di vista, ma pochi teoremi; molti “approcci” ma pochi arrivi».

⁷⁶ BINFORD 1983, p. 14. Cfr. TSCHAUNER 1996, p. 2; Hartmut Tschauer spiega come la diatriba tra Lewis Binford e Michael Schiffer verta su due posizioni opposte nell'approccio alla MRT. Mentre Binford la considerava come una vera e propria teoria archeologica, Michael Schiffer riteneva che la MRT «fornisse un collegamento tra il contesto sistemico e il contesto archeologico attraverso una teoria di trasformazione che usa generalizzazioni simili a leggi sulle relazioni tra il comportamento umano e la cultura materiale (correlati) e i processi di formazione del record archeologico (*c-transform* e *n-transform*)».

l'essere umano⁷⁷. Allo stesso modo, la spiegazione e dunque comprensione dei processi e dei più ampi sistemi culturali passati – ai quali l'archeologia processuale, secondo i suoi sostenitori, dava accesso – permetterebbe una migliore penetrazione nelle dinamiche odierne così da «rendere l'archeologia non solo un arcano studio del passato ma una disciplina i cui studi possano risultare direttamente rilevanti per la comprensione dei processi di cambiamento nel mondo moderno»⁷⁸.

È in questa atmosfera che viene definito e approfondito il concetto di *site formation processes* (processo di formazione del sito)⁷⁹. Il concetto, formulato in prima istanza da Michael Schiffer tra gli anni '70 e gli anni '80 del XX secolo. Schiffer afferma infatti che i resti materiali individuabili in un sito archeologico siano il risultato di un comportamento umano (*human behavior*) e che tale comportamento sia infine oscurato da processi culturali o naturali. In questo quadro, il singolo manufatto archeologico rappresenta il risultato di un comportamento umano ed è caratterizzato da un «contesto sistemico»⁸⁰, ossia da quella serie di attività nelle quali l'elemento partecipa durante la sua vita⁸¹. Questi processi sono definibili secondo Michael Schiffer in approvvigionamento delle materie prime, manifattura dell'oggetto/elemento, periodo di utilizzo dello stesso, la sua manutenzione e infine il suo scarto o abbandono⁸². Il contesto sistemico, definisce dunque gli aspetti comportamentali tipici dell'attività umana. Tuttavia i resti archeologici, come noi li riscopriamo oggi, non sono un prodotto diretto dell'attività umana passata, ma essi subiscono ulteriori trasformazioni dal momento in cui

⁷⁷ SKIBO, SCHIFFER 2008, p. 6; SCHIFFER, MILLER 1999, pp. 1 – 5. Il dibattito portato avanti dai due studiosi risiedeva principalmente nell'opposizione tra un 'sistema' di dipendenza delle variabili dalle variazioni casuali (ecologiche, ambientali, sociali etc.), il primo, alla comprensione delle variabili in termini comportamentali, esprimendo cioè la condotta di individui o gruppi di individui, le loro credenze e i loro atteggiamenti anche mentali, come testimoniata dalle evidenze materiali. In realtà già nel 1944 – in un breve contributo sulla rivista *Man* – Gordon V. Childe (CHILDE 1944, p. 19) asseriva, in una posizione critica rispetto all'imperante approccio "tipologico-tecnologico" alla cultura materiale, come la ricerca archeologica dovesse muovere verso un maggiore sforzo interpretativo, auspicando la comprensione delle società passate non in un'ottica diffusionista ma piuttosto in un'ottica di interpretazione e comprensione dei suoi stessi sviluppi.

⁷⁸ SABLOFF 2005, p. 160.

⁷⁹ ASCHER 1962, 1968; SCHIFFER 1972, 1973, 1975, 1983, 1988; si veda invece BINFORD 1979, 1981 particolarmente per quanto concerne i processi formativi pre-deposizionali. Michael Schiffer identifica due principali categorie di processi di formazione; trasformazioni culturali (*c-transform*) e trasformazioni non culturali o naturali (*n-transform*). Da ultimo si veda STEIN 2001 per una revisione della teoria dei processi di formazione dei siti archeologici.

⁸⁰ SCHIFFER 1972.

⁸¹ STEIN 2001, p. 40.

⁸² SCHIFFER 1972; Cfr. ASCHER 1968.

non partecipano più al sistema culturale che li ha creati, fino al momento della loro riscoperta, ossia quando arrivano a partecipare del «*contesto archeologico*»⁸³. Queste trasformazioni, come le definisce Schiffer, possono essere di tipo culturale (*C-transform*) o naturali (*N-transform*).

L'approccio processuale fondava la sua riflessione teorica su alcuni assunti che risulta utile esplicitare nuovamente per una maggiore chiarezza d'esposizione. Questa corrente teorica, sulla base di un «nuovo ottimismo»⁸⁴ premeva, come abbiamo visto, per il superamento dell'approccio *descrittivo* alle evidenze archeologiche a favore dell'inserimento, dei dati, in un più ampio processo di *spiegazione* delle dinamiche culturali, sulla base della teoria dei sistemi e con l'apporto di teorie proprie di altre discipline quali l'ecologia, la geografia e l'antropologia⁸⁵. Tali spiegazioni dovevano essere frutto di un processo deduttivo sulla base di ipotesi da testare contro le evidenze archeologiche disponibili, attraverso il processo conosciuto come «problem-oriented research»⁸⁶. Inoltre, in opposizione all'idealismo storico-culturale derivante dall'antropologia Boasiana, l'archeologia processuale negava l'unicità ed irripetibilità degli eventi storici sottolineando, al contrario, come nel tentativo di spiegare le dinamiche passate potessero venir identificate delle regole generali applicabili a contesti spaziotemporali diversi⁸⁷. Con questo approccio fortemente positivista si cercò inoltre di acquisire alla spiegazione archeologica reami delle società passate che erano esclusi dalla precedente archeologia tradizionale quali, come abbiamo visto, i settori sociali, economici, ideologici o religiosi.

⁸³ SCHIFFER 1975; STEIN 2001, p. 40.

⁸⁴ SHANKS, TILLEY 1987a, p. 2.

⁸⁵ La corrente processualista sosteneva dunque il Metodo Scientifico e il potere di quest'ultimo nello spogliare l'empirismo e le osservazioni speculative dell'archeologia tradizionale attraverso la fiducia nel metodo scientifico induttivo e nella capacità insita nell'analisi quantitativa delle osservazioni sistematiche, attraverso un processo di verifica delle ipotesi concepita *a priori*.

⁸⁶ SHANKS, TILLEY 1987a, p. 2. In realtà una prima serie di riflessioni teoriche riguardo la disciplina vennero prodotte intorno agli anni venti del XX secolo dallo storico inglese specializzato nella Britannia romana e professore di filosofia ad Oxford, Robin George Collingwood. La sua preparazione filosofica lo portò a produrre profonde riflessioni teoriche relative al suo lavoro che confluirono nel volume pubblicato postumo *The Idea of History*, le cui idee risultarono particolarmente influenti nel panorama disciplinare. Un aspetto particolare del suo approccio viene definito da Dark come «l'approccio domanda e risposta», paragonabile all'approccio deduttivo proposto dagli archeologi processuali; WILLEY, PHILLIPS 1958, p. 2; ancora prima in realtà, si veda PHILLIPS 1955, pp. 246 – 247.

⁸⁷ TERRENATO S.V., *New Archaeology*, in FRANCOVICH, MANACORDA 2007, p. 204.

Ad ogni modo l'approccio processuale, estremamente positivistico, si rivelò ben presto incapace di rispondere ai suoi stessi assunti. Tra questi, l'argomento secondo il quale si potesse produrre una spiegazione e comprensione ampia del passato, attraverso un approccio deduttivo⁸⁸, portò ad una limitata attenzione verso le spiegazioni votate al particolare. L'impronta scientificamente olistica – votata alla comprensione dei sistemi culturali nel loro complesso – venne completamente disattesa poiché gli studiosi posero maggiore attenzione verso le strutture economiche, tecnologiche e ambientali, collocando in secondo piano fattori altrettanto importanti per la comprensione del passato – in una visione di sistema⁸⁹ – quali ad esempio le caratteristiche ideologiche o religiose.

Questo approccio teorico alla disciplina venne ben presto fatto oggetto di critiche, particolarmente in ambiente britannico e scandinavo⁹⁰. Abbiamo già visto il dibattito tra Binford e Schiffer, relativo all'approccio dei due studiosi alla cultura materiale. Tra le principali critiche mosse all'approccio processuale vi erano l'estrema enfasi attribuita all'approccio antropologico a discapito dell'inquadramento contestuale storico e l'eccessivo positivismo che caratterizzava l'approccio dei “nuovi archeologi”. Ancora, ai “processualisti” veniva criticato l'approccio da loro tenuto rispetto alla cultura materiale. Ian Hodder e altri “post-processualisti” – sull'onda del pensiero di studiosi quali Bourdieu, Giddens, Foucault e altri – sostenevano difatti che la cultura materiale fosse significativamente costituita, ossia che «[l]a cultura materiale non solo esiste. È prodotta da qualcuno. È prodotta per fare qualcosa. Pertanto essa non riflette passivamente la società, piuttosto, crea la società attraverso le azioni degli individui»⁹¹. D'altro canto, Ian Hodder afferma come la pecca principale della *New Archaeology* sia stata quella di ingabbiare e «sussumere l'archeologia ai reami di altre discipline, quali l'antropologia e le scienze naturali»⁹². All'approccio fortemente “oggettivo” dell'archeologia processuale si è di fatto contrapposta la *Post-Processual Archaeology*, in base alla quale la ricerca archeologica e lo studio della cultura materiale viene enfatizzata «su temi quali la

⁸⁸ DARK 1995, pp. 5, 9 e 36 – 63.

⁸⁹ Si veda PREUCCEL 2006, p. 93 relativamente all'approccio strutturalista portato avanti dalla *Processual Archaeology*, che egli stesso definisce come «un modo di pensare al mondo in termini di strutture composte da entità organizzate secondo una relazione di mutua dipendenza».

⁹⁰ HODDER s.v., *Post-processual and interpretive archaeology*, in RENFREW, BAHN 2005, p. 155.

⁹¹ HODDER 1986 [1992], p. 9; HODDER, BINFORD, STONE 1988, p. 374.

⁹² HODDER, HUTSON 2003, p. 1.

complessità, la molteplicità del divenire storico, la dialettica fra punti di vista diversi»⁹³, in un approccio empirico, mentre l'operato dell'archeologo viene visto nella sua soggettività interpretativa.

In effetti, Shanks e Tilley – riconoscendo all'archeologia “processuale” il lodevole tentativo di aver razionalizzato la disciplina, di aver reagito all'approccio storico-descrittivo e collezionistico dell'archeologia tradizionale – ammoniscono l'estrema enfasi metodologica verso un oggettivo resoconto del passato tenuta da questa corrente disciplinare⁹⁴. L'analisi dei dati archeologici – basata su evidenze materiali che, si potrebbe dire, sono giunte a noi “casualmente” – non possono produrre che una ricostruzione tra le ricostruzioni, una storia tra le storie, tra le tante possibili, per altro fortemente legate all'individualità del ricercatore ed al contesto sociale nel quale questa ricostruzione viene prodotta⁹⁵. In questo senso Shanks e altri sottolineano la soggettività della disciplina archeologica e il suo essere immersa nella contemporaneità⁹⁶. In quest'ottica, Michael Shanks – intervistato da Iain Mackenzie – suggerisce come l'etichetta “archeologia post-processuale” non renda bene l'idea di cosa implichi la disciplina e preferisce utilizzare, tra le altre proposte, la designazione di *Interpretive Archaeology* per la corrente teorica alla quale fa riferimento⁹⁷.

Con il termine *archeologia interpretativa* si definisce una corrente di pensiero che inquadra una serie di archeologi post-processuali. Il principale tentativo di questi studiosi fu quello di evidenziare la rilevanza dell'*interpretazione* in archeologia opposta al

⁹³ TERRENATO s.v., *Postprocessuale, archeologia*, in FRANCOVICH, MANACORDA 2007, p. 220.

⁹⁴ SHANKS, TILLEY 1987a, p. 6.

⁹⁵ HODDER 1986 [1992], p. 23; TRIGGER 1989; HODDER, HUTSON 2003, p. 18; ove gli autori affermano che «[a]nche se in questo volume si sosterrà che il mondo reale indirizza ciò che di esso si può dire, è anche chiaro che il concetto di «dati» ha implicazione sia per il mondo reale che per le nostre teorie su di esso [...]. Come risultato, le teorie che si espongono sul passato dipendono in larga misura dal proprio contesto sociale e culturale», aggiungendo che è stato «dimostrato con grande efficacia come interpretazioni mutevoli del passato dipendano da mutati contesti sociali e culturali del presente. Gli individui all'interno della società d'oggi usano il passato all'interno di strategie sociali. In altre parole il rapporto dati-teoria è concepito e manipolato all'interno di contesti culturali e storici». Totalmente in accordo con SHANKS, TILLEY 1987a; TILLEY 1989; e MCGUIRE 2008.

⁹⁶ MACKENZIE, SHANKS 1993, pp. 25 – 26; cfr. HODDER 1991; HODDER 1992, pp. 158 – 240; SHANKS, MCGUIRE 1996; SHANKS, TILLEY 1987a; MCGUIRE 2008.

⁹⁷ SHANKS 1998; MACKENZIE, SHANKS 1993, p. 20; HODDER 1991; Per Ian Hodder (1991, pp. 7 e 15-16), un'archeologia interpretativa deve necessariamente includere tre componenti, ossia, una prudente oggettività dei dati - non assoluta e non necessariamente determinante una oggettività della interpretazione -, la ricerca di plausibilità interna e non esterna alle proprie argomentazioni (a differenza della corrente processuale), e il mantenimento di una forma riflessiva e dialogica, in una veste multi-vocale.

preponderante valore attribuito alla *spiegazione* da parte degli archeologi processuali. Secondo Ian Hodder infatti, l'opera dello studioso nei confronti del passato non può che risultare in una soggettiva interpretazione basata su dati soggettivamente letti⁹⁸; scardinando dunque l'oggettività della spiegazione sostenuta dagli archeologi processuali. Nel processo di interpretazione delle evidenze passate trova posto l'idea di *contesto*, fondamento centrale della cosiddetta *Contextual Archaeology*⁹⁹, concettualmente affine e complementare alla *Interpretive Archaeology*¹⁰⁰. In questo quadro Hodder ragiona delle evidenze materiali come evidenze "testuali" che, attraverso un'ermeneutica localizzata nello spazio e nel tempo, possono essere lette come pagine di un libro. Come accade nel processo di interpretazione di un testo, le confluenze simboliche di alcuni termini acquisiscono spesso un senso compiuto solo nell'affiancamento ad altre voci simboliche, allo stesso modo le evidenze materiali possono essere meglio comprese nella loro correlazione e contestualità con altre evidenze e altri caratteri simbolici¹⁰¹. Egli infatti sostiene che, pur non risultando un termine nuovo nel quadro della disciplina archeologica, il termine *contesto* permette di evidenziare la correlazione tra teorie generalizzanti e l'analisi di particolarità storiche evidenziate dai dati archeologici disponibili, ovvero il rapporto tra le evidenze materiali ed il quadro generalizzante, favorendo al contempo l'interpretazione del generale rispetto al particolare e viceversa¹⁰². Inoltre, l'essere umano non viene più visto come soggetto passivo di una "evoluzione"

⁹⁸ HODDER s.v., *Post-processual and interpretive archaeology*, in RENFREW, BAHN 2005, pp. 156 – 157; HODDER 1991; JOHNSEN, OLSEN 1992, p. 420; «La questione ermeneutica non è tanto *cosa* comprendiamo ma *come* comprendiamo: Quali condizioni rendono possibile la comprensione della diversità, passata o presente?».

⁹⁹ Per un'analisi approfondita si veda HODDER, HUTSON 2003, pp. 156 - 205. Dove viene offerta una definizione di contesto nei termini seguenti: «[c]iascun oggetto esiste in molte e rilevanti dimensioni contemporaneamente, e quindi, dove i dati esistono, una ricca rete di associazioni e contrasti può essere seguita nella costruzione di una interpretazione di significato. La totalità delle rilevanti variazioni di dimensione attorno ad ogni singolo oggetto può essere identificato come il contesto di quell'oggetto» (pp. 187-188), in sintesi, il contesto in termini archeologici è «*la totalità dell'ambiente rilevante*, ove 'rilevante' si riferisce ad una significativa relazione con l'oggetto - cioè, una relazione necessaria al discernimento del significato dell'oggetto» (p. 188; enfasi nell'originale).

¹⁰⁰ In realtà la *contextual archaeology* appare l'ampliamento e il completamento dell'*interpretive archaeology*.

¹⁰¹ HODDER, HUTSON 2003, pp. 172 e 204; la metafora del testo in relazione alla documentazione archeologica è avanzata, specificamente per le fasi preistoriche, anche da LEROI-GOURHAN 1974 [1981], p. 64.

¹⁰² HODDER, HUTSON 2003, p. 193.

determinata da fattori ambientali, geografici o altro ma, piuttosto, quale soggetto attivo avente capacità di *influire (agency)* nel quadro delle dinamiche sociali e ambientali¹⁰³.

D'altra parte, questo tentativo di riposizionare l'attore umano all'interno del discorso archeologico, trova una ulteriore corrispondenza nella *Cognitive Archaeology* (archeologia cognitiva), proposta da Colin Renfrew in opposizione all'approccio estremamente deterministico dell'archeologia comportamentale (*Behavioral Archaeology*). Al contrario l'archeologia cognitiva cerca di riposizionare l'essere umano al centro del quadro interpretativo del passato, cercando di ricostruire il passato attraverso la comprensione delle dinamiche cognitive e dei fenomeni mentali degli uomini del passato attraverso la cultura materiale giunta fino a noi¹⁰⁴. Questo grazie ad una impostazione post-positivistica che trae spunto da una interazione teorica con ambiti quali la filosofia della scienza, l'antropologia culturale, la psicologia e le scienze cognitive¹⁰⁵. In questo senso anche i cognitivisti si rifanno al metodo scientifico e alla verifica empirica di ipotesi di ricerca. Fondamentalmente questa corrente teorica ritiene possibile attraverso un'ampia gamma di evidenze archeologiche ed etno-antropologiche, e delle analisi incrociate sulla base di modelli delle neuro-scienze, linguistici, psicologici utili a comprendere le capacità mentali e cognitive degli uomini dunque ricostruire le vicende passate. Pur avendo un approccio basato sul metodo scientifico e sulle scienze cosiddette dure, i cognitivisti rinnegano l'assoluta oggettività delle ricostruzioni del passato e piuttosto riconoscono un realismo scientifico, conscio del fatto che esiste un mondo fenomenico a prescindere dalla nostra comprensione ma che la conoscenza del mondo circostante è legata alla nostra interazione con esso¹⁰⁶. Va da sé che queste idee hanno ovviamente notevoli conseguenze nel modo in cui l'archeologia cognitiva ritiene di poter conoscere e ricostruire il passato.

Un altro importante punto analizzato da Hodder risulta il ruolo dell'archeologia e dunque degli archeologi all'interno della società. In breve, l'influenza nel panorama disciplinare della Scuola di Francoforte (e della cosiddetta *Teoria Critica*), ha portato ad

¹⁰³ Sul concetto di *Agency*, si veda: ROBB s.v. *Agency* in RENFREW, BAHN 2005, p. 1 – 5; BARRETT 2001.

¹⁰⁴ RENFREW 1982; per Renfrew l'archeologia cognitiva è semplicemente «l'archeologia della mente». Cfr. RENFREW 1998, pp. 1 -2.

¹⁰⁵ WHITLEY 2001; WYNN 2002; THORNTON 2012.

¹⁰⁶ WHITLEY 2001.

una profonda analisi dell'approccio archeologico moderno, particolarmente nel rapporto che la disciplina stessa mantiene con la società nel suo complesso¹⁰⁷. In questo clima profonde riflessioni sono state portate avanti nel quadro dei rischi di manipolazione ideologica dell'archeologia e delle sue ricostruzioni, del rapporto tra archeologia "ufficiale" e archeologie "alternative" e della partecipazione della comunità nella ricostruzione del passato, ovvero della partecipazione "multi-vocale" all'interpretazione del passato. In un approccio alquanto affine a quello di Hodder, Shanks e Tilley suggeriscono come l'opera dello studioso – immerso nella sua contemporaneità e nel suo universo di convinzioni personali – viene vista come una ricostruzione totalmente soggettiva del passato¹⁰⁸. Stando a Shanks e Tilley dunque, la valutazione di una buona o cattiva ricostruzione risiede nella capacità della stessa di produrre un sentito effetto sulla cultura contemporanea. In sintesi, la soggettività degli assunti e della pratica archeologici si situano, se così possiamo dire, su due livelli: quello individuale e quello sociale. È soggettivamente individuale in quanto il lavoro dell'archeologo viene sviluppato - coscientemente o meno - sulla base di convinzioni, posizioni e talvolta ideologie intime e personali, ed è soggettivamente sociale poiché l'ambiente in cui lo studioso vive e pratica l'archeologia – la letteratura disciplinare lo testimonia – forza, in un certo qual modo, l'indirizzo personale di ricerca e detta, si potrebbe dire, l'agenda di ricerca e il "gusto del tempo", anche e soprattutto relativamente a ciò che Shanks¹⁰⁹ definisce «l'archeologia nella società contemporanea», ovvero il patrimonio culturale.

Nel quadro che abbiamo in parte precedentemente delineato – relativo alla soggettività della disciplina archeologica ed al suo essere immersa nella contemporaneità – Shanks e Tilley¹¹⁰ affermano come «la pratica archeologica sia andata a cadere, in misura sempre crescente nelle mani di una minoranza di auto-nominati professionisti, avendo l'effetto di negare ai cittadini la loro attiva partecipazione alla storia, alla realizzazione della storia e alla comprensione del passato». Essi sottolineano inoltre come l'archeologia svolga un ruolo sociale per la cultura nella quale viene prodotta e, di conseguenza, il rapporto tra

¹⁰⁷ HODDER, HUTSON 2003, pp. 217 ss.

¹⁰⁸ SHANKS, TILLEY 1987a, b.

¹⁰⁹ MACKANZIE, SHANKS 1993, p. 25.

¹¹⁰ SHANKS, TILLEY 1987a, p. 25.

questa e il pubblico debba essere attentamente considerato e studiato¹¹¹. D'altro canto, nel 1989 Christopher Tilley poneva – a se stesso ed al lettore – alcune interessanti domande:

Dove si posiziona l'archeologia in relazione a tutto questo? Dove sono i suoi valori?
Quale è il suo proposito? In quale direzione dovrebbe muoversi la disciplina?
L'archeologia è dunque rilevante o irrilevante per il mondo? Fare archeologia significa forse suonare il violino mentre Roma brucia? In breve, perché l'archeologia?¹¹²

A queste domande Tilley rispondeva affermando che «l'archeologia è una forma di azione socio-politica nel presente»¹¹³. In questo senso si può affermare che il modo in cui interpretiamo i risultati della ricerca archeologica, sia nella sua veste pratica che nel suo risvolto teorico, ermeneutico ed etico, e particolarmente nella modalità con la quale comunichiamo la conoscenza acquisita, si viene a prefigurare un'operazione che possiede un sentito effetto sociale¹¹⁴. Tuttavia, l'eccessiva insistenza posta dalla *New Archaeology* verso la teorizzazione, la conseguente e supposta oggettività dell'attività disciplinare e la subduzione della pratica archeologica sul campo alla teoria ha avuto l'effetto di creare una forte separazione tra archeologo teorico e archeologo sul terreno. A questo si aggiunge la forte fede verso l'oggettività di un approccio scientifico che ampliò notevolmente l'utilizzo dell'informatica e della tecnologia in generale nel campo della ricerca, con alcuni limiti legati allo stato di evoluzione degli strumenti. Secondo Michael Shanks e Randall McGuire il disorientamento dello studioso che segue a questa estrema suddivisione potrebbe venir superato se si vedesse l'archeologia come mestiere.

Se il «[m]estiere rappresenta un lavoro produttivo verso un fine: è utilitario, ed evita la separazione tra ragionamento ed esecuzione di un compito», l'archeologia vista come mestiere «fabbrica conoscenza archeologica» mentre «gli archeologi generano fatti da un guazzabuglio caotico di osservazioni contrastanti e confuse»¹¹⁵. Assumendo che la conoscenza archeologica sia prodotta e non scoperta – soggettività del ricercatore (si veda

¹¹¹ SHANKS, TILLEY 1987a, p. 25; in accordo con HODDER 1984, p. 32.

¹¹² TILLEY 1989, p. 105.

¹¹³ MCGUIRE 2008, p. xi; cfr. TILLEY 1989.

¹¹⁴ Del tutto in linea con HODDER 1984, p. 32 e MCGUIRE 2008.

¹¹⁵ SHANKS, MCGUIRE 1996, p. 78.

sopra) – il proposito del mestiere di archeologo è dunque quello di integrare il proprio operato nel quadro presente, come attività proficua per lo sviluppo culturale e, «aspetto più importante dell'archeologia come mestiere: l'obbligo di assumerci la responsabilità di quel che facciamo e produciamo. L'archeologia come mestiere non può nascondere i propri interessi dietro l'idea di conoscenza fine a se stessa, distaccata dalle esigenze e dagli interessi delle comunità contemporanee»¹¹⁶. D'altro canto, «concepire l'archeologia come un mestiere conferma inoltre l'importanza della teoria, non tanto come modello di procedura, convinzione, spiegazione o descrizione astratto», quanto piuttosto nell'essere «riflessivo, applicando una critica (estetica, filosofica, etica, politica, o altro) alla pratica»¹¹⁷. McGuire sviluppa ulteriormente l'idea della contingenza presente dell'attività archeologica nel suo splendido saggio dal titolo *Archaeology as Political Action*¹¹⁸. Presentando tre casi studio McGuire sostiene il riconoscimento dell'archeologia come attività caratterizzata da un forte impatto politico. Come Hodder, Shanks e Tilley¹¹⁹, anche McGuire ci pare sostenere che l'archeologia possa avere un sentito e diretto effetto sul mondo una volta che la ricostruzione archeologica sia vista come intimamente legata al contesto sociale nel quale è prodotta e che questa stessa attività di ricostruzione sia vista come pratica (*praxis*) sociale e politica¹²⁰.

Gli ultimi decenni, hanno invece testimoniato la tendenza della ricerca archeologica a muovere sempre più verso l'inclusione, all'interno del proprio campo di studio, di tutte quelle evidenze anche temporalmente più vicine a noi, per lo studio delle quali le metodologie archeologiche forniscono informazioni insostituibili; basti pensare alla

¹¹⁶ SHANKS, MCGUIRE 1996, p. 86. Al riguardo già SCHIFFER 1988, p. 478 – 479, sottolineava la necessità di rifuggere un'esasperata specializzazione che spesso comporta un dibattito acceso tra gli studiosi nel tentativo di sopravanzarsi vicendevolmente; questa attitudine degli studiosi – ma si direbbe caratteristica insita nell'essere umano – venne già messa in risalto da David Clarke circa quindici anni prima (CLARKE 1973), quando l'archeologo britannico si trovò ad affermare: «[q]uesto processo è inoltre segnato dall'emergenza di individualismi e autorità competitive, poiché la vita individuale [del ricercatore] dipende dalla reputazione che egli acquisisce come oggetto dell'attenzione dei media o attraverso l'innovazione ed il duro lavoro in un campo specialistico. La politica e la sociologia dell'ambiente disciplinare sviluppa in maniera crescente questo stato 'autoritario' nel quale ciascun esperto possiede un territorio specialistico tale che qualsivoglia critica delle osservazioni territoriali è percepita come un attacco personale». Si veda inoltre BOURDIEU 1984 [2013].

¹¹⁷ SHANKS, MCGUIRE 1996, p. 86.

¹¹⁸ MCGUIRE 2008.

¹¹⁹ HODDER 1992; SHANKS, TILLEY 1987a; SHANKS, TILLEY 1987b.

¹²⁰ MCGUIRE 2008, pp. 2 – 4; cfr. SHANKS, TILLEY 1987a, 25 – 26: ove si legge che l'archeologia «[q]uale pratica sociale è un legarsi assieme del sociale, storico, linguistico e personale. [...] L'archeologia è, dunque, immediatamente teoretica, sociale, politica e autobiografica».

cosiddetta «archeologia del passato contemporaneo» (*Archaeologies of the Contemporary Past*)¹²¹, all'archeologia industriale¹²² o alla *Garbology* (*Garbage Archaeology*)¹²³ che, in Gran Bretagna e negli Stati Uniti, hanno fornito un esempio di come l'approccio archeologico alle evidenze più prossime a noi - nonostante le diatribe sul rapporto storia e archeologia, antropologia e archeologia - possa effettivamente fornire informazioni altrimenti difficilmente acquisibili con altri metodi di indagine. Anche in ambiente italiano il famoso archeologo classico Daniele Manacorda sembra condividere questa posizione quando afferma che «[n]on esiste più un'età per l'archeologia e un'età per la storia. L'una e l'altra si occupano delle stesse epoche, delle stesse civiltà, curiose di tutto ciò che è stato, in ogni epoca, anche ieri, anche oggi»¹²⁴.

Senza voler entrare in maniera approfondita nel dibattito che vede affrontarsi archeologia e storia e archeologia e antropologia, tali problematiche potrebbero essere eluse se, come è stato spesso suggerito, si affrontasse il problema della storia dell'uomo non attraverso compartimenti stagni (discipline) in poca o nessuna comunicazione tra loro, ma bensì tramite uno sforzo collaborativo, multi-, inter-, o post-disciplinare¹²⁵. La netta separazione disciplinare nelle cosiddette scienze dell'uomo o scienze umanistiche è una realtà nuova che tuttavia ha segnato non poco l'evoluzione dello studio, della conoscenza e comprensione dell'umanità nei suoi sviluppi storici. Questa evoluzione ha di fatto talvolta indirizzato e imprigionato tali studi su binari separati, al massimo paralleli e troppo spesso divergenti o addirittura contrastanti. Così come il convoglio ferroviario, composto da svariati e peculiari vagoni (ciascuno espletante un compito specifico), viaggiante su un unico binario permette lo spostamento di numerose persone da una stazione all'altra, un percorso collettivo delle scienze umanistiche – ciascuna secondo i propri presupposti – permetterebbe, attraverso uno sforzo cointeressato il raggiungimento di un comune obiettivo; ossia l'intima comprensione, a fini pedagogici, dell'uomo attraverso lo studio del suo passato e del suo presente.

¹²¹ BUCHLI, LUCAS 2001.

¹²² PALMER, NEAVERSON 1998; CLARK 1999.

¹²³ RATHJE 2001, 2002; RATHJE, MURPHY 2001.

¹²⁴ MANACORDA 2004, p. 3.

¹²⁵ Si veda appena oltre per un approfondimento di questi concetti.

D'altro canto Austin e Thomas riconoscono come la parola "storia" abbia in realtà due accezioni: da una parte, la storia come «una disciplina accademica che si preoccupa dell'interpretazione dei testi scritti» e, d'altra parte, la storia intesa come «il processo della vita sociale»¹²⁶ precisando, relativamente all'antagonismo tra storia e archeologia, come «una completa comprensione di qualsivoglia evento è un' impossibilità pratica, un approccio più vicino alla completezza potrà essere raggiunto con la considerazione di entrambi i testi, scritto e materiale»¹²⁷. In questo senso Bloch relativamente alla storia, ma si potrebbe tranquillamente asserire lo stesso per quanto concerne l'archeologia, afferma che «[c]ome prima caratteristica, la conoscenza di tutti i fatti umani del passato, della maggior parte di essi nel presente, ha quella di essere [secondo la felice espressione di François Simiand,] una conoscenza per via di tracce»¹²⁸. Le tracce pervenuteci dal passato sono di varia natura, di varia "consistenza" e di vario tenore, in una maniera tale che l'incarcerazione delle tracce/fonti, o meglio, l'incarcerazione della loro interpretazione in ambiti disciplinari disgiunti, non comunicanti e talvolta perfino battaglianti, costituisce semplicemente un freno all'aspirazione gnoseologica delle discipline "scientificamente" fondate. Sempre seguendo il ragionamento di Marc Bloch «[o]gni scienza, presa a sé, non rappresenta mai altro se non un frammento del moto universale verso la conoscenza»¹²⁹ e particolarmente per le discipline in esame si può affermare con Christie e Young che «entrambe le serie di dati formano pezzi dello stesso puzzle ricostruttivo» (enfasi nell'originale)¹³⁰.

L'impressione è che le diatribe sul posizionamento di una disciplina rispetto alle altre provochi più domande di quelle alle quali potrebbe o vorrebbe rispondere. Il problema non è tanto se l'archeologia sia più o meno valevole della storia, sia parte di essa o meno, ovvero che la disciplina archeologica sia da intendere come "mano armata" della scienza antropologica o di quella storica, ovvero sia da riconoscere come entità disciplinare separata rispetto ad esse. Se da una parte è indiscutibile la necessità per ciascuna disciplina di istituirsi individualmente, con i propri metodi di ricerca e le proprie teorie

¹²⁶ AUSTIN, THOMAS 1990, pp. 49 – 50.

¹²⁷ AUSTIN, THOMAS 1990, p. 50.

¹²⁸ BLOCH 1993 [2009], p. 43.

¹²⁹ BLOCH 1993 [2009], p. 17.

¹³⁰ CHRISTIE, YOUNG 1996, p. 181.

interpretative, è anche vero che la relazione tra esse non può che essere vista all'interno di quella che Clifford Geertz definiva una «scienza interpretativa in cerca di significato»¹³¹, caratterizzata dall'approntare riflessioni tese all'ottenimento di una «*thick description*» (enfasi nell'originale) di qualsivoglia oggetto, idea, concetto, fenomeno storico o culturale sottoposto ad indagine¹³². Con «descrizione densa» - Geertz sull'insegnamento di Gilbert Riley – intende dunque l'interpretazione di fatti sociali e/o culturali nella quale si riesca ad equilibrare e incorporare la maglia di significati che un qualsiasi fenomeno socio-culturale porta con sé. In questo senso una «descrizione densa» ci pare poter essere concretizzabile attraverso una disamina complessa è approcciata da diversi punti di vista, attraverso diversi orientamenti metodologici e teorici, in definitiva attraverso la partecipazione di vari orientamenti disciplinari. e dalla compenetrazione e compartecipazione di metodi e approcci che possano portare all'ottenimento di maggiori dati sui quali sviluppare un'interpretazione il più possibile aderente alla realtà fattuale.

In questo panorama, Burke insiste su concetti quali la multidisciplinarietà¹³³ e l'incontro tra discipline¹³⁴. Altrettanto eloquenti, verso un approccio post-disciplinare ci paiono leggibili i contributi da parte di Fahlander e Oestigaard¹³⁵ e in maniera più estesa da parte di Clifford Geertz. La citazione riportata qui sotto ci pare particolarmente esemplificativo

¹³¹ GEERTZ 1973 [1998], p. 11.

¹³² GEERTZ 1973 [1998], pp. 12 e 58; ove l'autore afferma «[i]n breve, noi dobbiamo cercare rapporti sistematici tra fenomeni diversi, non identità sostanziali tra quelli simili. E per farlo con efficacia dobbiamo sostituire la concezione «stratigrafica» dei rapporti tra i vari aspetti dell'esistenza umana con una sintetica, una concezione cioè in cui i fattori biologici, psicologici, sociologici e culturali possono essere trattati come variabili entro sistemi unitari di analisi. L'instaurazione di un linguaggio comune nelle scienze sociali non consiste semplicemente nel coordinare delle terminologie o, peggio ancora, nel coniarne delle nuove artificiali, e nemmeno nell'imporre una sola serie di categorie a un intero settore scientifico. Consiste invece nell'integrare tipi diversi di teorie e concetti in modo da poter formulare affermazioni significative che integrano scoperte ora relegate in campi di studio separati».

¹³³ BURKE 2008 [2009], p. 21; analizzando la personalità e l'operato di un influente erudito tedesco, Aby Warburg afferma come «[i]l suo ambizioso disegno era contribuire allo sviluppo di una «scienza della cultura» (*Kulturwissenschaft*) generale, che eliminasse la presenza di quella che chiamava «polizia di frontiera» sui confini in cui s'incontrano i domini delle diverse discipline accademiche».

¹³⁴ BURKE 2008 [2009], p. 59; egli afferma, relativamente alla svolta antropologica della storia culturale attorno agli anni '60 e '70 del ventesimo secolo – in perfetta sincronia con la svolta antropologica dell'archeologia – che «[g]li incontri tra discipline, come quelli tra culture, spesso seguono principi di congruenza e convergenza: spesso quello che attira, da una cultura all'altra, è un'idea, o una pratica, analoga a una propria e perciò contemporaneamente familiare ed esotica. Sulla spinta di questa attrazione, le idee e le pratiche delle due culture finiscono per sviluppare una somiglianza sempre più stretta»; cfr. inoltre il paragrafo rivolto al rapporto tra storia culturale e discipline confinanti BURKE 2008 [2009], pp. 181 – 188 (particolarmente, per l'archeologia, p. 185).

¹³⁵ FAHLANDER, OESTIGAARD 2004, p. 7; ove viene affermato che «nelle scienze post-disciplinari non sono le discipline che uniscono i ricercatori ma le domande che essi pongono e le tematiche che essi studiano».

di un approccio olistico a qualsiasi materia e tematica, particolarmente nel quadro delle scienze dell'uomo e della storia umana, per cui la riporteremo per esteso:

[i]n breve, noi dobbiamo cercare rapporti sistematici tra fenomeni diversi, non identità sostanziali tra quelli simili. E per farlo con efficacia dobbiamo sostituire la concezione «stratigrafica» dei rapporti tra i vari aspetti dell'esistenza umana con una sintetica, una concezione cioè in cui i fattori biologici, psicologici, sociologici e culturali possono essere trattati come variabili entro sistemi unitari di analisi. L'instaurazione di un linguaggio comune nelle scienze sociali non consiste semplicemente nel coordinare delle terminologie o, peggio ancora, nel coniarne delle nuove artificiali, e nemmeno nell'imporre una sola serie di categorie a un intero settore scientifico. Consiste invece nell'integrare tipi diversi di teorie e concetti in modo da poter formulare affermazioni significative che integrano scoperte ora relegate in campi di studio separati¹³⁶

Il problema della separazione e dell'antagonismo tra archeologia da una parte e storia e antropologia dall'altra è paradossalmente molto meno sentito in archeologia subacquea, nella quale, come vedremo a breve, molti degli approcci e delle riflessioni teoriche si sono evoluti secondo binari per alcuni versi unici e per altri influenzati di volta in volta da sviluppi esterni alla disciplina archeologica e derivanti dai dibattiti storici, antropologici, sociologici e in maniera pregnante ma forse scarsamente riflessiva, dagli sviluppi tecnologici degli ultimi decenni. In questo ambito, risulta ancora più importante la multidisciplinarietà a cui si accennava poc'anzi. L'incursione sempre più energica della tecnologia nella ricerca archeologica, e in quella subacquea in particolare, richiede la chiamata a raccolta di vari approcci sia teorici sia metodologici derivanti da varie discipline, affinché l'utilizzo della tecnologia non divenga mero esercizio tecnico ma rappresenti piuttosto un'ulteriore strumento funzionale ad un'approccio olistico all'interpretazione archeologica.

¹³⁶ GEERTZ 1973 [1998], p. 58.

2.2.2 ARCHEOLOGIA SUBACQUEA ALL'ALBA DEL XXI SECOLO¹³⁷

Per quanto concerne l'archeologia subacquea, l'evoluzione teorica è in parte andata di pari passo con i progressi generali della disciplina ed in parte se ne è discostata lungo percorsi dettati dalle tipicità dell'ambiente e dalle problematiche relative al *medium* acquatico e alle peculiari caratteristiche della cultura materiale in esso rinvenibile¹³⁸. Si può tuttavia notare come i primi decenni successivi alla nascita dell'archeologia subacquea, negli anni '50 del XX secolo, abbiano testimoniato una maggiore attenzione verso la definizione di aspetti metodologici e una forte polarizzazione verso lo studio dei relitti di imbarcazioni, ritenuti dei contenitori chiusi di dati e informazioni archeologiche¹³⁹, rappresentanti in maniera diretta la vita di bordo portando alla definizione delle imbarcazioni come vere e proprie «time capsule»¹⁴⁰ (capsule del tempo). Secondo questa idea, il relitto viene visto come un insieme chiuso e rappresentante la realtà precedente al naufragio, simile come concezione alla cosiddetta «Pompeii Premise» binfordiana¹⁴¹. Ovviamente questa visione del relitto non concepisce e non tiene conto di nessuno di quei processi post-deposizionali definiti come processi di formazione del sito e che verranno analizzati più avanti¹⁴².

Un svolta cruciale per la nascita dell'archeologia subacquea fu sicuramente l'invenzione dell'autorespiratore ad aria (ARA). Realizzata nel 1942 dall'ufficiale della

¹³⁷ DELGADO 2000; Il titolo del presente paragrafo rispecchia fedelmente il titolo del Discorso Plenario offerto dall'archeologo subacqueo statunitense James P. Delgado durante la 32nd *Conference on Historical and Underwater Archaeology*, della *Society for Historical Archaeology*, tenutasi a Salt Lake City, Utah (USA).

¹³⁸ STEWART 1999, p. 566.

¹³⁹ ADAMS 2003, p. 6; l'autore osserva che, «se verso la fine degli anni '70 [del secolo scorso] si poteva identificare un paradigma, nell'accezione di Kuhn di un «intera costellazione di credenze, valori, tecniche etc. condivise dai membri di una determinata comunità» (Kuhn 1970:10), questo riguardava la metodologia. L'assunto era che esisteva una connessione tra le tecniche sul campo - progettate per la positiva raccolta dei dati - e la successiva analisi e interpretazione. In altre parole il solo modo in cui la nuova "sub-disciplina" poteva positivamente contribuire all'archeologia nel suo complesso, separandosi dall'antiquaria e apertamente dalla caccia al tesoro, risiedeva nell'approntare un'appropriata metodologia [...]. In senso stretto molti di coloro i quali erano coinvolti in questo [*Mary Rose* project] e altri scavi al tempo erano consci della necessità di "recuperare" sull'archeologia terrestre e dimostrare credibilità attraverso uno scavo e una documentazione controllati, e l'acquisizione di dati di alta qualità».

¹⁴⁰ COCKRELL 1983; MURPHY 1983; ADAMS 2001, 2003.

¹⁴¹ BINFORD 1981.

¹⁴² Per una critica del concetto del relitto come *time capsule* si veda DELLINO-MUSGRAVE 2006, pp. 25-26; STANFORTH 2000, 2001, 2003.

Marina francese Jacques-Yves Cousteau e dall'ingegnere Emile Gagnan, l'innovazione condusse ad un ampliamento e miglioramento delle possibilità di intervento. Grazie all'utilizzo di questo strumento ed al suo sviluppo tecnologico il numero di subacquei è cresciuto esponenzialmente lungo tutta la seconda metà del XX Secolo. Questa maggiore accessibilità dell'ambiente subacqueo ha tuttavia avuto risultati contrastanti. Da una parte ha permesso, grazie alla più ampia "esplorazione" dei fondali marini (praticata da subacquei ricreativi), la scoperta occasionale di numerosi siti subacquei, seguita poi da una ricerca mirata praticata con maggiore sistematicità da professionisti debitamente formati; d'altro canto, tale accresciuta accessibilità ha posto i siti sommersi sotto forte stress e i rischi derivanti da attività illecite¹⁴³.

La prima utilizzazione di questo strumento (ARA) in una impresa archeologica risale al 1948, anno in cui una spedizione del *Groupe d'Etudes et de Recherches Sous-marine* (GERS) della Marina francese, guidata dallo stesso Cousteau e da Philippe Taillez, ottenne soddisfacenti risultati sul sito del relitto di *Mahdia* (1948), con il fine ultimo di dare risposta agli interrogativi rimasti aperti dopo le imprese dei palombari all'inizio del XX secolo¹⁴⁴. Da questo momento il fulcro delle discussioni disciplinari comincia a spostarsi verso il lato metodologico dello scavo subacqueo. La relativa facilità di immersione si scontra con problemi di metodologia che, anche attraverso sperimentazioni fallimentari, vengono progressivamente risolti grazie al miglioramento degli strumenti e al meritevole impegno di alcune figure che capirono con encomiabile visione prospettica i vantaggi che questa nuova sub-disciplina poteva offrire all'archeologia ed alla comprensione del passato. Solo un decennio più tardi, rispetto alla prima esperienza francese, l'Italia si pose – in vesti sperimentali quanto innovative – quale promotore della ricerca archeologica subacquea nel Mediterraneo (in stretta connessione con la Francia), sperimentando approcci e metodologie nel campo della nascente disciplina. In questo precoce quanto interessante sviluppo ebbe un ruolo fondamentale l'impegno del Prof. Nino Lamboglia culminato nella creazione, nel 1957, del *Centro Sperimentale di Archeologia Sottomarina* (CSAS) presso Albenga in Liguria¹⁴⁵. Il Prof. Lamboglia

¹⁴³ SECCI 2011.

¹⁴⁴ TORTORICI 1998, p. 29; BASS 1966 [1974], pp. 74 – 75; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, p. 24.

¹⁴⁵ PALLARES 1997 – 98, p. 27; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, p. 36.

tuttavia non si immergeva egli stesso, ma dirigeva i lavori a bordo dell'imbarcazione *Artiglio* ancorata in prossimità del sito della nave romana al largo della costa antistante Albenga. Questo poneva, ovviamente, serie difficoltà per la comprensione del sito e creò perplessità allo stesso Lamboglia facendogli affermare come «[i]l cimitero di anfore provocato dalla “benna” a bordo della nave [*Artiglio*] avrebbe turbato la coscienza di qualsiasi archeologo e turbò assai la nostra»¹⁴⁶. Ancora, lo stesso Prof. Lamboglia si trovò in quegli anni a sottolineare l'imaturità metodologica della disciplina archeologico - subacquea, e la necessità di frenare la “frenesia del recupero”, insinuandosi nelle “migliori intenzioni” della società di recuperi subacquei SORIMA, che rischiava di provocare un “secondo naufragio della nave” romana di Albenga¹⁴⁷. Nel 1957 venne prodotto il primo rilievo archeologico subacqueo con il metodo della quadrettatura sperimentato, grazie al Prof. Lamboglia ed al suo staff (Gianni Roghi e Stefano Canepa), nelle acque di Spargi (Sardegna), su un relitto romano naufragato con un carico di anfore¹⁴⁸.

Nel 1960 George Fletcher Bass, archeologo statunitense a capo di un team della *University of Pennsylvania*, fu il primo a prender parte come subacqueo e archeologo allo scavo di un relitto sommerso¹⁴⁹. Tra il 1961 e il 1964 lo stesso Bass diresse lo scavo di un relitto del VII secolo d.C. denominato *Yassi Ada I*, seguito alcuni anni dopo da un secondo denominato *Yassi Ada II* del IV secolo d.C.. In queste indagini vennero impiegati il sommergibile *Asherah* con il quale si produsse la copertura stereo-fotogrammetrica del relitto e, per la prima volta, l'utilizzo del *Side Scan Sonar* per la ricerca sistematica ed estensiva di relitti sommersi¹⁵⁰.

Gli anni seguenti furono quasi completamente votati alla sperimentazione di nuove metodologie e nuove tecnologie, tra le quali campane batiscopecche, camere di decompressione subacquee, telefoni e televisioni subacquee, e affinate le tecniche di

¹⁴⁶ LAMBOGLIA citato in PALLARES 1997 - 98, p. 23.

¹⁴⁷ LAMBOGLIA citato in PALLARES 1997 - 98, pp. 23 – 24.

¹⁴⁸ PALLARES 1997 – 98, p. 28; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, p. 36; Lamboglia e il suo team provarono anche a sviluppare un foto-mosaico ma, nelle parole dello stesso Roghi, «creare un mosaico fotografico è il lavoro più duro che un subacqueo può fare, particolarmente se disturbato dalle correnti» cfr. BASS 1966 [1974], pp. 107-108.

¹⁴⁹ PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, p. 39; il relitto di Capo Gelidonya, scoperto qualche anno prima (1954), rivelò essere allora il più antico relitto rinvenuto sott'acqua, consegnando alle attente cure degli studiosi lingotti di rame provenienti da Cipro, lingotti in bronzo e stagno, attrezzi e armi siriane e cipriote, ceramica di bordo di origine micenea.

¹⁵⁰ BASS 1966 [1974]; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, pp. 39 – 40.

documentazione fotografica e fotogrammetrica¹⁵¹. Se a partire dagli anni '50 del secolo scorso si assistette alla nascita della nuova sub-disciplina ed alla sperimentazione di metodologie e tecnologie che potessero perfezionarne la pratica, negli anni '60 e '70 la scoperta di numerosi relitti nel Mediterraneo, e non solo¹⁵², e il, per molti concreto e talvolta perpetrato, rischio di saccheggio da parte di cacciatori di *souvenirs* portò il circolo disciplinare ad interrogarsi sulle problematiche relative alla proprietà di tali relitti ai fini della loro protezione e conservazione¹⁵³.

Se nei primi decenni dalla nascita dell'archeologia subacquea¹⁵⁴, le maggiori attenzioni furono dirette alla definizione concettuale¹⁵⁵ e metodologica¹⁵⁶ della disciplina, con gli archeologi a discutere su aspetti legati alle nuove tecnologie, alla costruzione navale antica, alla tipologizzazione e classificazione dei manufatti tipici delle imbarcazioni¹⁵⁷, la fine degli anni '70 del secolo scorso vide invece lo sviluppo delle prime riflessioni teoriche. Il 1978 segnò una svolta grazie allo strappo prodotto dall'opera *Maritime Archaeology* dell'archeologo subacqueo britannico Keith Muckelroy, ove l'autore definiva l'archeologia subacquea come lo «studio scientifico dei resti materiali dell'uomo

¹⁵¹ PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, pp. 43 – 47.

¹⁵² Si pensi ad esempio alla situazione in Australia ove le origini dell'archeologia subacquea sono strettamente legate ad una serie di eventi che hanno avuto luogo negli anni '60 e '70 del ventesimo secolo. Nei primi anni sessanta, due relitti della *Compagnia delle Indie Orientali Olandese (Verenigde Oostindische Compagnie – VOC)* vennero rinvenuti nelle acque territoriali al largo della costa del Western Australia. I due relitti in questione, il *Batavia* (1629) e il *Vergulde Draeck* (1656), vennero entrambi accidentalmente scoperti da subacquei locali nel 1963. Sullo scavo archeologico del *Batavia*, si veda BEVAQUA 1974; GREEN, HENDERSON 1974; INGLEMAN-SUNDBERG 1975; relativamente alla replica dell'imbarcazione sulla base dei dati archeologici, si veda PARTHESIUS 1994; per la storia delle vittime dell'ammutinamento, si veda PATERSON, FRANKLIN 2004.

¹⁵³ Si veda oltre per le problematiche e le questioni riguardanti gli sviluppi disciplinari seguiti ai provvedimenti nazionali e internazionali nel campo della tutela del patrimonio culturale subacqueo.

¹⁵⁴ Per un quadro generale, tra cui l'inquadramento storico, dell'archeologia subacquea, si vedano: BASS 1966 [1974]; GIANFROTTA, POMEY 1981; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007; BELTRAME 2012.

¹⁵⁵ BASS 1966 [1974], p. 5; nel capitolo primo l'autore esordisce così: «[d]urante alcune recenti conferenze sull'archeologia subacquea sono state avanzate proposte per dare un nome più attraente a questo nuovo e sempre più vasto campo di ricerca. Nessuno dei nomi proposti è pienamente accettabile. *Archeologia marina* o *sottomarina* limiterebbe l'opera a quella svolta nei mari, mentre molto è stato fatto nei fiumi, nei laghi e nei pozzi; *idroarcheologia* includerebbe lo studio di antiche sorgenti; e l'ibrido *acqueologia* non sembra più idoneo degli altri». Lo stesso Bass ad ogni modo, taglia corto riguardo a questi dibattiti terminologici, affermando che «[l]'archeologia subacquea, d'altra parte, dovrebbe essere chiamata semplicemente *archeologia*» (enfasi nell'originale), intendendo naturalmente che l'utilizzo di attrezzature particolari, di un training particolare dettato dall'ambiente acquatico e degli accorgimenti che ciò comporta, non fanno dell'archeologia subacquea una disciplina separata dal suo nucleo familiare, l'archeologia *tout court*.

¹⁵⁶ BASS 1966 [1974]; BELTRAME 2012; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007; PALLARES 1997 – 98.

¹⁵⁷ ADAMS 2003, p. 7.

e delle sue attività sul mare»¹⁵⁸. Pur portando avanti un approccio processualista, relativamente al concetto di scientificità della disciplina lo stesso Muckelroy afferma come l'aggettivo scientifico fosse inserito nella definizione ad indicare la sistematicità della ricerca piuttosto che a definire la disciplina archeologico-subacquea quale vera e propria scienza (scienza pesante)¹⁵⁹, dunque eludendo l'attribuzione di oggettività alla disciplina archeologica, tipica degli archeologi processuali. Ad ogni modo, sempre in linea con l'impronta concettuale processuale - per quanto sia risultata in realtà disattesa -, egli afferma come «l'archeologia subacquea è interessata a tutti gli aspetti delle culture marittime; non solo questioni tecniche [architettura navale *et similia*], ma anche ad una schiera di altri aspetti quali quelli sociali, economici, politici e religiosi»¹⁶⁰. Per molti anni, e per certi versi ancora oggi, l'approccio alla ricerca proposto da Muckelroy ha segnato l'impegno di numerosi studiosi, particolarmente in ambito anglosassone.

L'approccio processualista non ha tuttavia trovato un terreno estremamente fertile nell'ambiente dell'archeologia subacquea. Solo alcuni approcci definibili processuali hanno in effetti avuto seguito nel nostro campo come, ad esempio, l'archeologia sperimentale¹⁶¹, l'utilizzo di strumenti per le analisi statistiche e, soprattutto, il concetto di *site formation processes* (processi di formazione del sito) per i relitti di imbarcazioni, sviluppato, per l'archeologia subacquea, da Keith Muckelroy (Fig. 1)¹⁶². Muckelroy sosteneva infatti che l'imbarcazione rappresentasse, al contempo, una «macchina progettata per sfruttare una fonte di energia al fine di servire come mezzo di trasporto», «un elemento in un sistema militare o economico, fornendo la sua basilare *raison d'être*», e infine «una comunità chiusa, con la sua propria gerarchia, le sue consuetudini e

¹⁵⁸ MUCKELROY 1978, p. 4, il quale ampliava questa definizione affermando che (p. 6) «[d]unque, per concludere, l'archeologia marittima rappresenta lo studio scientifico, attraverso l'evidenza materiale sopravvissuta, di tutti gli aspetti della navigazione: navi, barche, e il loro equipaggiamento; carichi, pescato o passeggeri trasportati, e i sistemi economici all'interno dei quali essi operavano; i loro ufficiali e equipaggi, particolarmente gli utensili e le altre proprietà che riflettano il loro stile di vita specializzato», si veda inoltre HARPSTER 2009, p. 75.

¹⁵⁹ MUCKELROY 1978, p. 5; così precisava, lo stesso autore, il significato dell'aggettivo scientifico che «è stato inserito all'inizio della definizione per mostrare che questo studio è mirato a generare nuovi discernimenti e idee attraverso la ricerca sistematica, e non come un contributo di parte al logoro dibattito se l'archeologia debba essere intesa come scienza o no. Qui il riferimento è alla scienza nel suo senso più ampio, la disciplinata ricerca di conoscenza (cfr. Latino scire: 'sapere') opposta al vano diletto per le 'curiosità'».

¹⁶⁰ MUCKELROY 1978, p. 4.

¹⁶¹ MCGRAIL 1977; GIBBINS 1990; GIBBINS, ADAMS 2001.

¹⁶² MUCKELROY 1976, 1978, pp. 157-214; GIBBINS 1990; STEWART 1999.

convenzioni», per le quali, l'evento del naufragio rappresentava il processo di passaggio da un insieme di manufatti altamente organizzato e dinamico ad un sistema stabilizzato, statico e disorganizzato¹⁶³. L'archeologo britannico - similmente a quanto suggerito per i siti terrestri da Robert Ascher, Michael Schiffer e Lewis Binford¹⁶⁴ - identificò, in questo processo un passaggio fondamentale per la comprensione e interpretazione dell'imbarcazione, portandolo ad affermare come «la validità di qualsiasi conclusione raggiunta dall'archeologia subacquea dipende fundamentalmente dalla comprensione di questi processi, così che il loro studio dovrebbe occupare un posto centrale nella sub-disciplina»¹⁶⁵.

Fig. 5.1 Flow diagram representing the evolution of a shipwreck.

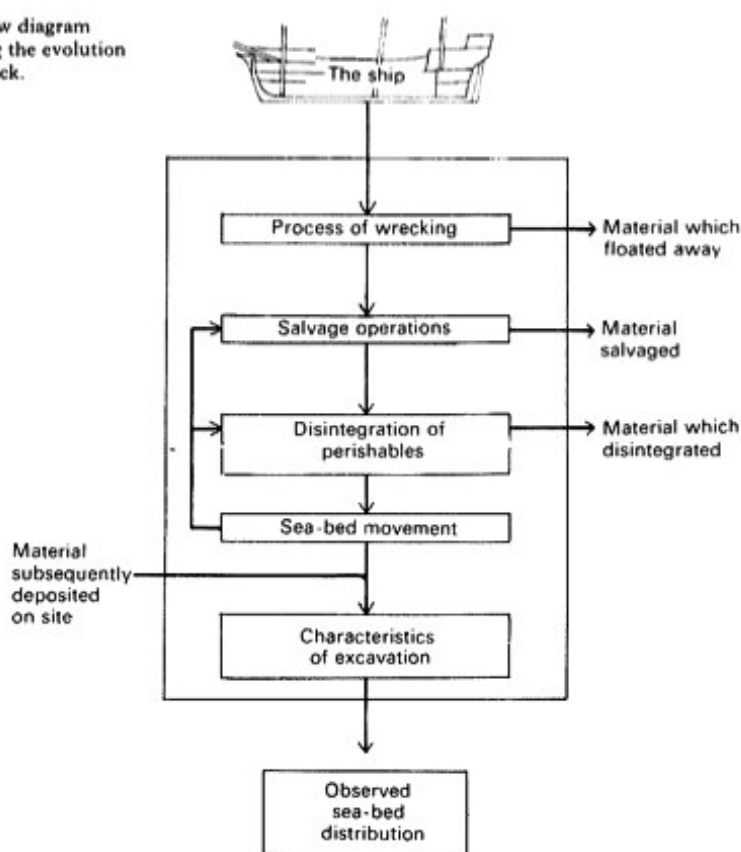


Fig. 1 - Diagramma esplicativo dell'evoluzione - processo di formazione - di un relitto (MUCKELROY 1978, p. 158).

¹⁶³ MUCKELROY 1978, pp. 216 ss.

¹⁶⁴ ASCHER 1962, 1968; SCHIFFER 1972, 1973, 1975, 1983, 1988; BINFORD 1979, 1981. Come abbiamo accennato in precedenza, Michael Schiffer identifica due principali categorie di processi di formazione; trasformazioni culturali (*c-transform*) e trasformazioni non culturali o naturali (*n-transform*).

¹⁶⁵ MUCKELROY 1978, p. 157.

Similmente a quanto proposto da Schiffer¹⁶⁶, Muckelroy riconosce nei processi deposizionali e post-deposizionali dei siti sommersi, fattori ambientali e fattori umani di interferenza; niente altro che i *c-transform* e gli *n-transform* definiti da Schiffer. All'interno di questo sistema, i processi di formazione vengono ulteriormente suddivisi da Muckelroy secondo due categorie, gli *extracting filters* (*filtri d'estrazione*) e gli *scrambling devices* (*processi di dislocamento*)¹⁶⁷. La comprensione di questi processi non può naturalmente prescindere da un'analisi delle evidenze archeologiche sul fondale e dal loro contesto. Appare dunque evidente l'importanza di una precisa documentazione dei manufatti e del relativo contesto, al fine di meglio comprendere le fasi e i processi deposizionali così da «muovere a ritroso attraverso il sistema», - dall'evidenza archeologica e dall'insieme della cultura materiale disponibile, attraverso l'analisi dei processi di formazione - fino a giungere all'interpretazione della originaria rappresentazione dell'imbarcazione. Nonostante Muckelroy pensasse ai relitti d'imbarcazione nel definire i processi di formazione (e particolarmente ai relitti storici/post-medievali), il concetto di *site formation process* è ormai applicato alle più varie evidenze archeologiche sommerse come evidenziato, tra gli altri, da David J. Stewart¹⁶⁸ e Martin Gibbs¹⁶⁹.

Come abbiamo visto, parallelamente allo sviluppo della ricerca archeologica subacquea, e all'ampliamento delle tipologie di siti investigati la disciplina intraprese, similmente a quanto avvenuto nell'ambito dell'archeologia *tout court*, una crescente e sempre più approfondita riflessione teorica ravvisabile fin dal primo sforzo di Muckelroy ormai quarant'anni fa. Di questo processo è un esempio il volume edito da Richard Gould dal titolo *Shipwreck Anthropology*¹⁷⁰ nel quale viene proposto un approccio processuale

¹⁶⁶ Particolarmente esplicativi sono SCHIFFER 1975, 1988.

¹⁶⁷ Rispettivamente MUCKELROY 1978, pp. 165 e 169. Secondo l'autore i *filtri d'estrazione* sono definiti da quell'insieme di meccanismi che portano via manufatti dal relitto, e sono definibili sia come *c-transform* che come *n-transform*, nello specifico la tipologia di processo di naufragio, attività di recupero praticate nei momenti seguenti il naufragio o la disintegrazione naturale e/o culturale dei manufatti. I *processi di dislocamento* includono tutti quei processi naturali (*n-transform*; movimento del fondale, azioni delle correnti e del moto ondoso, azione della fauna marina) o umani (*c-transform*; pesca a strascico etc.) che, successivamente all'evento del naufragio e della deposizione, modificano l'originaria posizione dei manufatti sul fondale «risultando nella perdita di informazioni sul contesto» (STEWART 1999, p. 567).

¹⁶⁸ STEWART 1999.

¹⁶⁹ GIBBS 2006.

¹⁷⁰ GOULD 1983a.

(di forte impronta antropologica) all'analisi dei relitti nel tentativo di addivenire attraverso lo studio di casistiche particolari a generalizzazioni relativamente al comportamento umano. Una tale congettura è esplicitamente proposta da Gould nel suo *Looking Below the Surface. Shipwreck Archaeology as Anthropology* – il primo capitolo dell'appena citato volume – nel quale l'autore afferma che ciò che rende scientifica l'archeologia subacquea:

non è l'utilizzo di tecniche e apparati scientifici, ma un processo organizzato di ragionamento basato sull'applicazione di certe regole della scienza, quali la sperimentazione di ipotesi alternative, il principio di moderazione, la necessità della ripetibilità dei risultati, la possibilità di estendere in maniera convincente i risultati da un caso particolare al reame delle asserzioni generali relativamente alla natura della variabilità nel comportamento delle specie umane¹⁷¹.

In questo approccio e negli altri contributi del volume edito da Gould si nota dunque una forte impronta positivista, tipica dell'archeologia processuale, tesa verso la generalizzazione e oggettivazione dei risultati del processo di analisi delle evidenze materiali. A questo approccio generale del volume di Gould fece eccezione il contributo di George F. Bass, nel quale l'archeologo statunitense «supplicava» per un maggiore particolarismo storico affermando che l'archeologo/antropologo «poco familiarizzato con il lavoro degli archeologi navali del Vecchio Mondo potrà sogghignare alla proposta che una delle principali necessità odierne sia quella della catalogazione quasi cieca e senza riflessione delle tipologie di manufatti frequentemente rinvenuti nei relitti del Nuovo Mondo»¹⁷².

Gli anni '80 e '90 testimoniarono una certa riflessione, ed un certo riepilogo di quel che era stato fatto, e si faceva, al fine di evidenziare quali strade dovesse e potesse prendere l'archeologia subacquea nell'apprestarsi al nuovo millennio. In questi anni,

¹⁷¹ GOULD 1983b, p. 22; la definizione di Gould appare speculare a quella del Metodo Scientifico tanto caro agli archeologi processualisti.

¹⁷² BASS 1983, p. 98: l'autore concludeva affermando che «un'esperienza di più di due decenni mi ha mostrato [...], che alcune delle più brillanti intuizioni sulla navigazione antica sono state, inizialmente, intuitive piuttosto che il risultato di impostazioni di ricerca *a priori*» (pp. 103-104).

lavori di sintesi tecnico-teorico-metodologica – relativamente a «come fare»¹⁷³ archeologia subacquea – vennero proposte da Jeremy Green e dalla *Nautical Archeology Society* (NAS) britannica¹⁷⁴. Vennero inoltre proposti dei compendi teorici¹⁷⁵ e, particolarmente importante, il titanico lavoro di sintesi curato da James P. Delgado e dato alle stampe con il titolo *Encyclopedia of Underwater and Maritime Archaeology*, oltre 400 pagine relative a relitti, città sommerse, siti preistorici sommersi, e aspetti teorici e metodologici, scritte a più mani dagli stessi studiosi che condussero le indagini¹⁷⁶.

Il nuovo ambiente concettuale avanzato dall'archeologia post-processuale portò, come abbiamo visto ad una maggiore attenzione verso una contestualizzazione dei dati archeologici e l'analisi e interpretazione del comportamento umano visto nel suo paesaggio storico e ambientale. Similmente a quanto avvenuto nell'ambito archeologico generale, l'archeologia subacquea accolse anch'essa l'impronta post-processuale. A cavallo delle due principali correnti teoriche, processuale e post-processuale, si pone un concetto che ha guadagnato notevole successo nel campo archeologico subacqueo internazionale, il concetto di *Maritime Cultural Landscape* definito da Christer Westerdahl come «l'utilizzazione umana (economia) degli spazi marittimi tramite imbarcazioni: insediamento, pesca, caccia, navigazione, e le connesse sotto-culture»¹⁷⁷ e ancora il concetto di *Ritual Landscape*, all'interno del quale viene proposta l'idea dell'incontro tra terra e mare come luogo liminale teatro di un continuo antagonismo tra i due elementi, negoziato dalle comunità marittime attraverso l'utilizzo di «agenti liminali» – l'autore porta come esempi l'alce rappresentata in contesti marittimi e la foca in quelli terrestri – caratterizzati da una forte aderenza simbolica tra i due “opposti” ambienti, operando dunque verso l'annullamento del rischio derivante da tale antagonismo¹⁷⁸, arrivando ad acquisire in qualche modo dei simbolismi apotropaici. Nel solco aperto dal

¹⁷³ BABITS, VAN TILBURG 1998, p. 2.

¹⁷⁴ GREEN 1990, 2004; DEAN ET AL. 1992; questi ultimi autori, a pagina 2, affermavano che la guida della NAS mirava a fornire informazioni su «come intraprendere indagini archeologiche sott'acqua mantenendo sempre standard accettabili».

¹⁷⁵ BABITS, VAN TILBURG 1998.

¹⁷⁶ DELGADO 1998.

¹⁷⁷ WESTERDAHL 1992, p. 5 ss.; nel suo contributo l'autore propone un approccio olistico nel quale aspetti materiali e immateriali, quali ad esempio la toponomastica, i resti materiali, la cognizione del paesaggio da parte delle comunità locali (*cognitive landscape*) e lo studio topografico dell'area, partecipano contestualmente all'interpretazione e comprensione del “paesaggio culturale marittimo”.

¹⁷⁸ WESTERDAHL 2005.

concetto di *maritime cultural landscape*, si inserisce il concetto di *maritimity* proposto da David Berg Tuddenham e da intendersi come una «categoria di comprensione, non come qualcosa con qualità empiriche», ossia un «processo di purificazione che ha luogo all'interno della rete, tra i poli opposti di Terra e Mare»¹⁷⁹. Sulla traccia del modello sociologico proposto dalla teoria attore-rete (*Actor-Network Theory - ANT*)¹⁸⁰, le dualità terra-mare o marittimo-terrestre possono essere lette come creazioni all'interno di una rete, ove il concetto di *maritimity* fornisce lo strumento speculativo per ordinare caratteristiche eterogenee secondo l'ordine bipolare rappresentato da terra-mare o marittimo-terrestre. In questo processo, le caratteristiche eterogenee divengono «quasi-objects»¹⁸¹, ossia delle costruzioni concettuali ibride atte all'ordinamento dell'eterogeneità secondo il sistema dualistico. Si potrebbe dire che, nel tentativo di categorizzare le caratteristiche eterogenee secondo i due poli, mare e terra, si attribuiscono alle costruzioni concettuali specifiche proprietà marittime così da poterle catalogare all'interno di uno o l'altro dei due poli opposti. Come, anche se solo parzialmente la teoria di Christer Westerdahl, anche la posizione di David Berg Tuddenham si inserisce nell'ampia corrente disciplinare definita post-processuale, nel tentativo di riportare l'attore umano all'interno del discorso e delle analisi archeologiche.

In questo periodo la ricerca con solide basi teoriche trova un forte impulso¹⁸². Nella sua analisi della teoria in campo archeologico subacqueo Joe Flatman, archeologo inglese, identificava una serie di aree che avrebbero guadagnato da una ridiscussione in termini teorici, quali ad esempio le relazioni vicendevoli intercorrenti tra socialità di bordo e la società nel suo complesso¹⁸³, suggerimento colto in particolare da due contributi che più di altri hanno trovato notevole sostegno in ambito disciplinare,

¹⁷⁹ TUDDENHAM 2010, p. 8; Cfr. TUDDENHAM 2012;

¹⁸⁰ LATOUR 1987, 1996, 2005; per quanto concerne la ANT applicata all'archeologia marittima, si veda DOLWICK 2009.

¹⁸¹ LATOUR 2005, pp. 237-238; Bruno Latour definisce così il concetto di quasi-object: «[n]elle definizioni pre-relativiste del sociale, quello che era stato portato in primo piano era il partecipante umano e poi, attraverso una tagliente discontinuità, il mondo sociale al di là. Niente poteva incontrare gli umani a meno che non fosse fatto di legami sociali. Tale era l'etichetta di questa bizzarra diplomazia. Nella nuova definizione è esattamente l'opposto: gli esseri umani e il contesto sociale sono stati messi sullo sfondo: quel che viene sottolineato adesso sono tutti i mediatori la cui proliferazione genera, tra le tante altre entità, ciò che possono essere chiamati quasi-oggetti e quasi-soggetti. [...] Le cose, i quasi-oggetti, e le appendici sono il reale centro del mondo sociale, non l'agente, la persona, il membro, o il partecipante - non la società o le sue personificazioni».

¹⁸² STANFORTH 2001, 2003, 2009; FLATMAN 2003; RANSLEY 2005; DELLINO-MUSGRAVE 2006; FARR 2006.

¹⁸³ FLATMAN 2003.

intimamente legati sia per quanto concerne l'approccio alla ricerca, sia per quanto riguarda la tematica analizzata. Entrambi infatti analizzano la cultura materiale in contesto marittimo - particolarmente relitti di imbarcazioni - secondo un approccio di forte impronta sociologica.

Il primo contributo è il volume, edito per la Springer, dell'archeologo subacqueo australiano Mark Staniforth, dal titolo *Material Culture and Consumer Society: Dependent Colonies in Colonial Australia*¹⁸⁴. In questo contributo Staniforth propone una lettura della cultura materiale di quattro relitti rinvenuti in Australia secondo tre aspetti che, secondo l'autore, caratterizzano il micro-cosmo dell'imbarcazione e le realtà ad essa legate, ossia aspetti legati al capitalismo, al colonialismo e al consumismo. Secondo l'approccio degli Annales francesi, Staniforth propone di leggere il relitto d'imbarcazione secondo un approccio definito «archeologia dell'evento»¹⁸⁵ utile a interpretare processi culturali più ampi attraverso l'analisi del micro-cosmo del relitto. Secondo questa analisi, i beni di consumo mossi tramite velieri dalla madrepatria inglese alle colonie in terra australe posseggono e trasportano significati simbolici e cognitivi di tipo sociale, economico e culturale che risultano utili a comprendere la «biografia culturale» degli stessi beni e, in un quadro più ampio, delle dinamiche sociali nelle colonie. Lo stesso Staniforth afferma che «i nuovi arrivati coloni necessitavano il cibo e i beni materiali semplicemente per sopravvivere ma, più significativamente nel contesto di questo lavoro, avevano anche bisogno dei significati sottostanti e associati a questa cultura materiale. [...] Innanzitutto, per distinguersi dai popoli indigeni; in secondo luogo, per assicurarsi sulla loro posizione nel mondo; e terzo, come aiuto per istituire la loro rete di relazioni sociali»¹⁸⁶.

Un suggerimento accolto dall'archeologa subacquea Virginia E. Dellino-Musgrave nel suo lavoro *Maritime Archaeology and Social Relations British Action in the Southern Hemisphere*, dove l'autrice analizza due casi studio, i relitti dell'HMS *Swift* (Argentina) e dell'HMS *Sirius* (Australia). Ci soffermeremo a titolo di esempio sul primo caso. L'ottimo stato di conservazione dell'HMS *Swift*, scoperto casualmente nel 1982, permise

¹⁸⁴ STANIFORTH 2003.

¹⁸⁵ BRAUDEL 1958, 1979 [1982]; STANIFORTH 2000, 2001, 2003.

¹⁸⁶ STANIFORTH 2003, p. 3.

la documentazione ed il recupero limitato di alcune parti del carico quali cannoni e munizioni, stoviglie e contenitori da cucina oltre ad alcuni vestiti, mobilio e oggettistica personale¹⁸⁷. Questo ottimo stato di conservazione, e la sensibilità degli studiosi, permise di approcciare la problematica di studio in maniera inedita. Gli studiosi si trovarono a dover prendere posizione, come Dellino-Musgrave sottolinea, tra due tipologie di approccio: la cosiddetta «Pompeii premise»¹⁸⁸ ovvero la visione del relitto come “capsula temporale” e la visione invece del relitto in una prospettiva di «archeologia dell’evento»¹⁸⁹ nella quale l’imbarcazione, il carico e le evidenze materiali sono viste come prodotti di una specifica società e quali espressioni di azioni e pratiche sociali¹⁹⁰.

In questo preciso quadro concettuale si pone l’analisi prodotta da Dellino-Musgrave sulla ceramica proveniente dal relitto dell’HMS *Swift* quale insieme di oggetti rappresentanti una *praxis* – un’azione pratica, ossia «una costante interazione tra le persone e il loro mondo materiale»¹⁹¹ – in base alla quale l’autrice ha potuto acquisire informazioni riguardo all’equipaggio ed al suo comportamento, non solo nel micro-cosmo della vita di bordo ma anche in un quadro più generale. In questo modo la cultura materiale diviene espressione delle convinzioni personali, dell’idea di sé in relazione al mondo, mantenuta dal proprietario degli oggetti. Tale approccio ha di fatto permesso di evidenziare una serie di caratteristiche che, tipiche della vita a terra mantengono, nella vita in mare la stessa potenza suggestiva. L’osservanza delle differenze tra ceti sociali – gerarchia militare in questo caso – viene mantenuta attraverso la diversità degli oggetti e dei prodotti consumati, favorendo inoltre tra gli stessi britannici e tra questi e gli altri europei, i fenomeni tipici della costruzione identitaria tramite i processi di identificazione, da una parte, e differenziazione, dall’altra¹⁹². In questo senso, l’approccio portato avanti dall’archeologa argentina Dellino-Musgrave ben si inquadra in quel richiamo

¹⁸⁷ DELLINO-MUSGRAVE 2006, p. 41.

¹⁸⁸ BINFORD 1981.

¹⁸⁹ STANIFORTH 2001, 2003.

¹⁹⁰ DELLINO-MUSGRAVE 2006, p. 41.

¹⁹¹ DELLINO-MUSGRAVE 2006, p. 221.

¹⁹² DELLINO-MUSGRAVE 2006; il micro-cosmo della vita di bordo si potrebbe in fin dei conti leggere come una trasposizione dell’esperienza sociale vissuta a terra con, ci par di poter dire, l’exasperazione di alcune *praxis* quali, ad esempio, l’utilizzo di particolari manufatti per rinsaldare il legame con la madre patria, operando così come oggetti della memoria. Per il rapporto tra la cultura materiale e la memoria cfr. JONES 2007.

all'inquadramento dell'attività archeologica in una interpretazione contestuale ed alla possibilità della ricerca di addivenire alla lettura delle pratiche sociali o *praxis*, così come sostenuto dalla corrente post-processualista che abbiamo esaminato in precedenza.

Da questa breve panoramica su alcune riflessioni teoriche, risulta chiaro come l'archeologia subacquea abbia ormai superato l'originario *focus* metodologico incentrato sui relitti di imbarcazioni e su periodi della storia umana più antichi per includere tipologie di siti e una forbice cronologica notevolmente più ampi. Sono state intraprese ricerche sui *Cenotes* del Centro-America¹⁹³, sulle città sommerse a causa di fenomeni bradisismici¹⁹⁴ o terremoti¹⁹⁵, su infrastrutture portuali e siti preistorici sommersi, e su relitti delle epoche storiche più disparate. L'arco cronologico d'indagine è ormai arrivato ad includere tutta la curva della storia umana, dalla preistoria fino della Seconda Guerra Mondiale¹⁹⁶. Inoltre, gli incredibili progressi tecnologici degli ultimi decenni hanno portato ad ampliare il raggio d'azione dell'archeologia subacquea verso profondità sempre più rilevanti. Da una parte l'utilizzo di strumentazioni geofisiche quali il *Side Scan Sonar*, il *Multibeam Sonar* ed il *Sub Bottom Profiler* hanno permesso la mappatura dei fondali e l'identificazione di relitti a profondità sempre più elevate, dall'altra i nuovi strumenti tecnologici che vanno sviluppandosi - quali ad esempio i *Remoted Operated Vehicles* (ROVs), o i sommergibili¹⁹⁷ - hanno permesso di produrre prospezioni esplorative di siti che si trovano a profondità difficilmente e rischiosamente raggiungibili

¹⁹³ A riguardo si veda MARTOS LOPEZ 2008; cfr. per una panoramica delle ricerche prodotte in Messico, LUNA ERREGUERENA 2002.

¹⁹⁴ Alcuni studi su Baia Sommersa, localizzata nel golfo di Napoli, si veda MINIERO 2001 e 2007; SCOGNAMIGLIO 2002 e 2006; BENINI 2004; MANISCALCO 2004; DAVIDDE 2002; PETRIAGGI 2002. Baia rappresentò un'importante zona di villeggiatura per l'aristocrazia romana tra il IV ed il I secolo a.C. e venne sommersa a seguito di fenomeni bradisismici (sia positivi che negativi) successivamente al III secolo d.C. come testimoniano le evidenze ceramiche.

¹⁹⁵ La cittadina Jamaicana di Port Royal sprofondò in mare, per due terzi della sua estensione, a seguito di un terremoto il 7 giugno del 1692, il sito è dunque caratterizzato da strutture architettoniche sommerse con la "sovrapposizione", ed è questa una situazione abbastanza curiosa, di relitti di imbarcazioni che li trovarono termine al loro viaggio. Per gli studi sulla città sommersa si veda MARX 1975; HAMILTON 1991 e 2006; per una visione più ampia dell'archeologia subacquea prodotta nell'area caraibica, si veda LESHIKAR-DENTON 2002.

¹⁹⁶ Una chiara rappresentazione dello spettro di ricerche portate avanti nel panorama internazionale può essere ottenuta consultando RUPPÉ, BARSTAD 2002.

¹⁹⁷ Per alcune informazioni preliminari su queste strumentazioni e attrezzature, si vedano BABITS, VAN TILBURG 1998, pp. 341 – 413; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007, pp. 186 – 192; GREEN 2004, pp. 57 – 83; per il caso studio dell'USS *Monitor*, si veda BROADWATER 2006. L'estensione dello spettro di ricerca in termini qualitativi e quantitativi, oltretutto rispetto alla localizzazione dei siti, pose in luce problematiche relative alla giurisdizione ed alle norme di tutela di tali testimonianze archeologiche, alle quali il quadro legislativo internazionale ha cercato di dar risposta negli ultimi trent'anni. Per una breve disamina si rimanda all'ultima parte di questo paragrafo.

tramite la subacquea tradizionale (ARA). Tali strumenti, nati per scopi militari¹⁹⁸, hanno trovato una prima applicazione verso la fine degli anni '50 del XX secolo grazie ad una proficua collaborazione tra il professore di ingegneria elettrica presso il *Massachusetts Institute of Technology*, Harold Eugene Edgerton, e l'oceanografo e esploratore francese Jacques-Yves Cousteau, nel sito del Grand Conglué. Nel decennio successivo Edgerton e il suo team della società *Edgerton, Germeshausen, & Grier, Inc.* (EG&G), vennero invitati a partecipare ad alcune ricerche archeologiche per la localizzazione dell' USS *Monitor*, dell'HMS *Britannic*, e della nave ammiraglia del Re Enrico VIII, la *Mary Rose*¹⁹⁹. In seguito a queste iniziali sperimentazioni e al progresso degli strumenti per la prospezione remota negli ultimi trent'anni, le applicazioni in archeologia subacquea sono esponenzialmente moltiplicate. Le prospezioni geofisiche hanno dunque trovato applicazione in varie settori della ricerca archeologica subacquea quali: la localizzazione, identificazione e mappatura dei relitti sommersi utili ad una loro catalogazione²⁰⁰; l'identificazione e mappatura dei paesaggi sommersi è ritornata particolarmente utile per lo studio della preistoria, a seguito dell'inondazione di molti luoghi di frequentazione preistorica a causa dell'innalzamento del livello del mare negli ultimi millenni²⁰¹; per lo studio e la comprensione dei processi di formazione dei relitti²⁰²; per la gestione del patrimonio sommerso²⁰³; e, più recentemente, per le indagini in alto fondale²⁰⁴. Alcuni progetti hanno invece focalizzato la loro attenzione nel testare l'utilità degli strumenti di prospezione remota nel localizzare e identificare i siti e i manufatti archeologici²⁰⁵.

Se da una parte tali progressi tecnologici hanno aperto la strada all'esplorazione degli angoli più remoti degli oceani e dei mari, la crescente accessibilità del patrimonio sommerso ha posto non poche problematiche relative alla tutela e conservazione del patrimonio culturale subacqueo, anche a profondità rilevanti. In linea generale, il

¹⁹⁸ D'AMICO, PITTENGER 2009.

¹⁹⁹ VANDIVER, KENNEDY 2005, pp. 12 - 14.

²⁰⁰ QUINN ET AL. 2000; ROYAL 2006; SAKELLARIOU 2007; PAPTAEODOROU ET AL. 2011; ROYAL, TUSA 2012.

²⁰¹ RAO 1988; LAFFERTY ET AL. 2006; SONNENBURG, BOYCE 2008; GUSICK, FOUGHT 2011.

²⁰² QUINN 2006; QUINN ET AL. 1997a, b, 1998, 2002a, b, 2007.

²⁰³ PAPTAEODOROU ET AL. 2001, 2005; BATES ET AL. 2011.

²⁰⁴ MINDELL, CROFF 2002; FOLEY, MINDELL 2007; CHURCH, WARREN 2008; Si veda inoltre ADAMS 2007 per gli aspetti teorici e etici dell'archeologia in alto fondale.

²⁰⁵ QUINN ET AL. 2002a, 2005.

desiderio di preservare e conservare il patrimonio culturale ha radici lontane nella storia italiana ed europea. Le concezioni che stanno alla base di questa «cultura e etica della tutela»²⁰⁶, sviluppatasi perlomeno dal XV secolo, hanno mirato a preservare il patrimonio culturale con la consapevolezza che la sua conservazione potesse avere positivi riscontri in vari ambiti e livelli. È tuttavia nel periodo successivo le due guerre mondiali, con l'osservazione delle distruzioni provocate dai due conflitti, degli effetti del boom economico e della ricostruzione post-bellica con un talvolta indiscriminato sviluppo urbano e infrastrutturale, che si è palesato il rischio e la forte pressione che tali processi ponevano sul patrimonio culturale. Tale osservazione portò allo sviluppo di un dibattito disciplinare che, particolarmente in ambiente statunitense intorno agli anni '70 del XX secolo, generò la costituzione di una disciplina complementare all'archeologia: la gestione del patrimonio culturale. Il dibattito all'origine della disciplina focalizzò principalmente su tematiche e questioni concernenti l'archeologia e il patrimonio archeologico ma venne tuttavia battezzata *Cultural Resource Management* (CRM), poiché nell'intenzione dei promotori, tale paradigma doveva includere la più ampia molteplicità di evidenze culturali²⁰⁷. Nel 1946 attraverso lo sforzo collaborativo tra varie istituzioni, tra le quali lo Smithsonian Institute ed il National Park Service, si giunse ad un accordo che di fatto diede i natali all'archeologia preventiva²⁰⁸ statunitense²⁰⁹. La CRM si sviluppò dunque in risposta al crescente stress al quale era sottoposto il patrimonio culturale nel tentativo – sull'onda del movimento per la conservazione²¹⁰ attivo da tempo negli Stati Uniti – di fornire parametri e *modus operandi* per la migliore tutela del

²⁰⁶ SETTIS 2010, p. 83.

²⁰⁷ MCMANAMON, HATTON 2000a, p. 4; MCMANAMON 2000, p. 45; come sinonimi della locuzione *cultural resource management* sono spesso utilizzati, particolarmente in ambito europeo, i termini *archaeological heritage management*, *cultural heritage management*. Come esplicitato altrove (JAMESON 2004, p. 21) il termine *cultural resource management* risulta talvolta assimilato al termine *public archaeology*, anche se alcuni recenti sviluppi nel dibattito disciplinare, come vedremo a breve, hanno spostato la sfera operativa della *public archaeology* verso l'ambito educativo, ossia la cosiddetta *educational archaeology*; per una più approfondita disamina delle premesse e degli iniziali sviluppi della disciplina si veda JAMESON 2004, pp. 29 ss.

²⁰⁸ Utilizzo il termine *archeologia preventiva* per renderlo più facilmente acquisibile al lessico italiano, i termini più spesso utilizzati in ambiente anglosassone sono quelli di *mitigating archaeology* e *rescue archaeology*, non totalmente corrispondente alla nostra archeologia preventiva.

²⁰⁹ JAMESON 2004, p. 29; l'intesa, al fine di far fronte al crescente sviluppo infrastrutturale che rischiava di cancellare senza la doverosa documentazione numerosi siti archeologici, prevedeva infatti un programma per la localizzazione e identificazione dei siti a rischio con l'intento di acquisire la più completa documentazione prima della loro distruzione o del loro occultamento.

²¹⁰ JAMESON 2004, p. 25.

patrimonio (archeologico ma non solo) e per la sua più efficace gestione. In un parallelo con la situazione italiana, si può notare come la nascita della disciplina di gestione del patrimonio culturale e, dunque, di quell'insieme di fondamenti teorici, regole, principi etici, deontologici e di *praxis* che guidano le operazioni di governance del patrimonio siano risultati come diretta conseguenza della “velocizzazione” del processo di indagine archeologica, al fine di fornire degli standard operativi che potessero uniformare gli approcci alla ricerca, alla valutazione, all'interpretazione e ovviamente alla tutela. Naturalmente questi standard operativi non possono e non devono esser visti come statici ma, *au contraire*, debbono risultare dinamici ed elastici ed aperti a successive rinegoziazioni.

Al riguardo, Smith e Clarke definiscono la disciplina della gestione del patrimonio culturale come i principi e le strategie che agiscono per la conservazione del paesaggio culturale riconosciuto di «valore e significato storico, sociale e scientifico»²¹¹. In linea con questa definizione, Bijornstaad suddivide la gestione in una serie di processi tra i quali «l'indagine, l'inventario, lo scavo, la ricerca, la protezione, la conservazione e l'educazione»²¹². Altrove, l'autore del presente elaborato ha ritenuto di poter suddividere la gestione del patrimonio culturale in tre macro aree o macro fasi: 1) la fase della conoscenza delle risorse (attraverso l'indagine archeologica, l'inventariazione e la catalogazione, lo scavo e la ricerca) risultante prerequisito essenziale per lo sviluppo di qualsiasi ‘discorso’ relativo al patrimonio culturale²¹³; 2) la fase di protezione (attraverso la legislazione e la conservazione delle risorse ma, come si intende sostenere, attraverso attività di valorizzazione e educazione al patrimonio), strettamente dipendente e pienamente complementare alle fasi precedente e successive; e 3) la fase educativa (attraverso attività di educazione, sia formale che informale, e di fruizione pubblica)²¹⁴.

²¹¹ SMITH, CLARKE 1996, p. 3.

²¹² BIJORNSTAAD 1989, p. 72.

²¹³ ANDERSON ET AL. 2006, p. 142; dove gli autori suggeriscono come il primo e più importante *step* in qualsiasi piano di gestione è rappresentato dalla comprensione dell'«oggetto» che si vuole gestire e che «questa conoscenza è essenziale per creare e mantenere un inventario (o registro), valutare il significato del sito, comprendere il contesto ambientale del sito e il suo processo di formazione, proteggere il sito, interpretarlo e identificare lacune e aree per una futura ricerca».

²¹⁴ SECCI 2009; SECCI 2011, p. 115.

A livello internazionale, il dibattito sulla tutela del patrimonio culturale subacqueo ha avuto una genesi piuttosto lunga e complessa²¹⁵. La prima istanza si ebbe con la Raccomandazione n. 848 del 1978, tramite la quale il Consiglio d'Europa tentò di proporre alcune direttive per lo sviluppo della disciplina di tutela e gestione del patrimonio culturale subacqueo in Europa. L'indicazione forse più interessante (art. 6, comma a) suggeriva la redazione di una convenzione europea per la protezione del patrimonio culturale subacqueo. Di tale patrimonio si riconosceva il significato storico e culturale (art. 2) e, poiché si era peraltro consapevoli del continuo e crescente interesse del pubblico, si riteneva opportuno favorire la realizzazione del valore potenziale di tale patrimonio piuttosto che la sua inesorabile distruzione (art. 3). Solo alcuni anni dopo, nel tentativo di proporre una regolamentazione univoca e condivisa in materia di diritto del mare le Nazioni Unite giunsero, il 10 dicembre 1982 a Montego Bay, alla firma della *United Nations Convention on the Law of the Sea* (UNCLOS), nella quale il patrimonio culturale subacqueo veniva espressamente citato in due specifici articoli, l'art. 149 e l'art. 303. Ricardo Elia²¹⁶ tuttavia critica il concetto espresso dall'UNCLOS che «putroppo enfatizza gli oggetti invece che i siti archeologici e i loro contesti», dunque limitando la portata dei suddetti articoli (artt. 149 e 303).

Per giungere ad una definizione coerente e internazionalmente condivisa del concetto di patrimonio culturale subacqueo e della sua effettiva composizione, bisogna giungere al 2 novembre 2001, quando l'Assemblea Generale della *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) riunita a Parigi firma la UNESCO *Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage* (di seguito Convenzione UNESCO 2001)²¹⁷. La Convenzione UNESCO 2001 ha potuto usufruire di un lungo processo di maturazione che, come abbiamo visto, ha avuto origine nel 1976 con i lavori della Commissione per l'Educazione e la Cultura. Ma la fase più intensa si sviluppa tra il 1997 ed il 2001. Nel 1997, durante la XXIX sessione, la Conferenza Generale dell'UNESCO decise per la formulazione di una specifica convenzione per la

²¹⁵ SECCI 2011.

²¹⁶ ELIA 2000, p. 44; Cfr. FORREST 2002.

²¹⁷ Si vedano le raccolte del materiale bibliografico utilizzato nel lungo processo di negoziato che ha portato alla formulazione e approvazione della Convenzione UNESCO 2001, PROTTE, SONG 1999; PROTTE ET AL. 2000; Cfr. O'KEEFE 1996a, b e infine GARABELLO 2004.

protezione del patrimonio sommerso (Doc. 29C/Resolution 21). Negli anni compresi tra il 1998 ed il 2001 vennero organizzati numerosi meetings di esperti per discutere sulla Bozza della Convenzione per la Protezione del Patrimonio Culturale Subacqueo, che venne infine approvata durante la Sessione Plenaria della 31esima Conferenza Generale dell'UNESCO nel novembre 2001 (Doc. 31C/24), salutata dalla comunità archeologica (subacquea) internazionale come una benedizione per la sua attesa capacità di fornire una base giuridica e regolamentare coerente, condivisa e (in maniera auspicabile) efficace per la protezione di un patrimonio fragile e non-rinnovabile come quello archeologico subacqueo.

La Convenzione UNESCO 2001 è costituita da trentacinque articoli e dall'Allegato, composto da trentasei "Regole concernenti le attività dirette al patrimonio culturale subacqueo". Per il tema di questo lavoro risultano di particolare interesse alcuni articoli e talune regole che si esamineranno di seguito. L'art. 1, comma 1, lettera (a) della Convenzione definisce in maniera esplicita il concetto di patrimonio culturale subacqueo come:

qualunque traccia dell'esistenza umana avente carattere culturale, storico o archeologico e che sia stata parzialmente o totalmente sommersa, periodicamente o continuativamente, per almeno 100 anni

A precisare ulteriormente questa definizione vengono forniti degli elenchi includenti: 1) siti, strutture, edifici, manufatti e resti umani compresi del loro contesto archeologico e naturale (art. 1, comma 1, lettera (a), sub-comma (i)); 2) imbarcazioni, velivoli, altri veicoli o loro parti, il loro carico o altri contenuti, assieme al loro contesto archeologico e naturale (art. 1, comma 1, lettera (a), sub-comma (ii)); e 3) oggetti di carattere preistorico (art. 1, comma 1, lettera (a), sub-comma (iii)). È evidente dunque come la definizione risulti, seppur non assolutamente esaustiva, molto più specifica e caratterizzata rispetto alle precedenti definizioni di patrimonio culturale subacqueo. Alcuni dettami della Convenzione UNESCO 2001 pongono in risalto una serie di tematiche importanti per la tesi che qui si sta sviluppando. Innanzitutto il ben conosciuto articolo 2, comma 5 nel quale viene affermato che «la preservazione *in situ* del patrimonio culturale sommerso

debba ritenersi quale opzione preferenziale» (art. 2, comma 5)²¹⁸. Come suggerisce Martijn Manders²¹⁹, la preservazione *in situ* porta con sé il rischio che il patrimonio, particolarmente in un ambiente come quello acquatico, nel quale la visibilità e fruibilità del patrimonio è limitata dalle caratteristiche stesse del luogo in cui esso giace, divenga per questo meno visitabile al vasto pubblico. In realtà nel suo contributo Manders²²⁰ suggerisce alcune possibili vie, da porre in essere, per ovviare a questo rischio concreto. D'altra parte un altro contributo²²¹ chiarisce il concetto proposto dall'articolo 2, comma 5, affermando che la stessa Convenzione UNESCO 2001 non preclude in assoluto lo scavo, come testimoniano le Regole incluse nell'Allegato, che sarebbero risultate inutili in caso contrario. Nello stesso articolo 2, comma 10 questa volta, viene inoltre affermato che l'accesso non intrusivo debba essere agevolato e stimolato al fine di accrescere la sensibilità pubblica riguardo alle tematiche e problematiche di tutela del patrimonio sommerso, fatte salve le situazioni in cui l'accesso contrasti visibilmente con le necessità di tutela²²². Nell'articolo 20 infine è dichiarato che, ciascuno Stato «shall take all practicable measures» per accrescere la sensibilità pubblica riguardo al valore e al significato del patrimonio culturale sommerso²²³. In questo senso si propone inoltre la Regola 7 contenuta nell'Allegato alla Convenzione UNESCO 2001, nella quale viene espressamente affermato che il «pubblico accesso al patrimonio culturale subacqueo *in situ* debba essere promosso, eccetto quando questo accesso risulti incompatibile con la protezione e la gestione» (Rule 7). È chiaro, da questi limitati e sintetici richiami, come un istituto giuridico internazionale quale la Convenzione UNESCO 2001 ponga, all'interno di un discorso volto alla protezione del patrimonio culturale subacqueo, una forte enfasi sulla necessità di favorire l'accesso sostenibile a tale patrimonio assicurando in questo modo una maggiore sensibilità pubblica, un maggiore apprezzamento del patrimonio e dunque, potenzialmente, una più ampia tutela per un patrimonio riconosciuto e apprezzato dal vasto pubblico.

²¹⁸ Per un approfondimento, si veda FRIGERIO 2010.

²¹⁹ MANDERS 2008, pp. 31 ss.

²²⁰ MANDERS 2008.

²²¹ BROADWATER, NUTLEY 2009, pp. 74 – 76.

²²² FRIGERIO 2010; GONZÁLES ET AL. 2009, pp. 56 – 57.

²²³ GONZÁLES ET AL. 2009, pp. 56 – 57.

La Convenzione UNESCO 2001 rappresenta, ad oggi, il canone per quanto riguarda il regime internazionale di tutela e conservazione del patrimonio culturale sommerso, ancor di più a seguito della sua entrata in vigore il 2 gennaio 2009, a seguito del deposito del ventesimo strumento di ratifica (*ex art. 27*). Tale strumento ha acquisito ancor più valore, per quanto concerne l'Italia, a seguito della sua ratifica grazie alla legge 23 ottobre 2009, n. 157, entrata in vigore l'8 aprile 2010, al termine dei tre mesi previsti dalla data di deposito dello strumento di ratifica presso il Direttore Generale dell'UNESCO (*ex art. 27*)²²⁴. Come abbiamo accennato più volte nel corso della presente esposizione, la normativa italiana inserisce la regolamentazione del patrimonio culturale sommerso, localizzabile nelle acque territoriali italiane, all'interno del discorso 'generico' mirato alla disciplina del patrimonio culturale nel suo complesso. Tuttavia, le specifiche necessità, la particolarità di giacitura del patrimonio sommerso, le peculiarità di intervento archeologico per lo studio dei siti sommersi, le distinte competenze necessarie per lo sviluppo di tali ricerche e ancora le necessità di tutela specifiche per manufatti e siti che, per loro stessa natura, si rinvengono in ambienti fisici con particolari caratteristiche e dunque con particolari necessità di conservazione richiederebbe non solo un ordinamento giuridico specifico, ma anche un apparato amministrativo con competenze particolari e specifiche. Una serie di norme che chiariscano, non solo il bagaglio di competenze necessarie per lo sviluppo delle indagini, ma anche i principi teorici, etici e deontologici che ne debbano guidare lo sviluppo, insomma una serie di regole che possano guidare gli interventi su un patrimonio, se possibile, ancor più fragile di quello terrestre e altrettanto minacciato dallo sviluppo antropico (ad es. pesca, attività estrattive, edilizia) e dall'operazione di saccheggiatori guidati, parafrasando Nietzsche, dalla mera "volontà di profitto". Per inciso, non ci si spiega infatti come mai la ratifica della Convenzione UNESCO 2001 non abbia portato all'accoglimento dei suoi dettami all'interno di un provvedimento legislativo ordinario mirato alla regolamentazione delle attività archeologiche, di quelle di tutela, di quelle di valorizzazione e di fruizione operanti in un discorso mirato a regolamentare le acque territoriali (fino alle 12 miglia nautiche dalla linea di costa). In realtà la stessa Convenzione UNESCO 2001 afferma che ciascuno Stato firmatario (State Party) debba richiedere che le Regole annesse alla Convenzione

²²⁴ FRIGERIO 2010.

UNESCO 2001 vengano applicate a qualsiasi attività diretta al patrimonio culturale subacqueo (art. 7, comma 2) nelle sue acque interne, arcipelagiche e territoriali (art. 7, comma 1), acquisendo così, anche se in maniera parziale, la Convenzione UNESCO 2001 al proprio ordinamento interno relativo alle acque territoriali.

2.3 INFORMATICA PER L'ARCHEOLOGIA SUBACQUEA. ASPETTI TEORICI, METODOLOGICI E PRATICI

Gli anni '50 e '60 del XX secolo risultano dunque decenni carichi di innovazioni, sia in ambito archeologico sia in ambito sociale più ampio che, in maniera rilevante, per quanto concerne la tecnologia. L'invenzione del computer durante la Seconda Guerra Mondiale²²⁵ e il suo veloce sviluppo nel secondo dopoguerra lo imposero quale strumento fondamentale nella ricerca archeologica. L'impostazione positivista della *New Archaeology* rappresentò un terreno fertile per l'utilizzo del computer nell'analisi e nella spiegazione oggettiva dei dati disponibili all'archeologo. Fu infatti l'imporsi dei *mainframe* computers a stimolare l'utilizzo di questi strumenti per analisi statistiche, per seriazioni cronologiche e tipologiche, per l'elaborazione dei dati strumentali (magnetici, resistività elettrica etc.), per l'analisi e spiegazione dei dati derivanti da analisi archeometriche, o infine per la produzione di diagrammi, planimetrie, sezioni e disegni dei manufatti²²⁶. Da un punto di vista processuale, il computer è percepito come uno strumento obiettivo e come tale permette di raggiungere la tanto agognata oggettività delle spiegazioni. Fu proprio questa supposta intrinseca caratteristica del computer a renderlo così interessante per l'archeologia e per gli archeologi processuali. D'altro canto, le complesse problematiche archeologiche risultarono estremamente attraenti per matematici e statistici²²⁷, rendendo il terreno fertile per una proficua collaborazione tra tecnici informatici e archeologi. Ancora, la possibilità fornita dai computer di affrontare "scientificamente" le questioni archeologiche ben si inquadrava, come si è visto, nell'impostazione concettuale della *New Archaeology*.

Una serie di rilevamenti sui contributi presentati all'annuale conferenza *Computer Application & Quantitative Methods in Archaeology* (CAA) dalla sua istituzione (1973)

²²⁵ Si veda il § 2.1.

²²⁶ WILCOCK 1973; SCOLLAR 1982 e 1997; RYAN 1988; HUGGETT 2004; ZUBROW 2006; si veda inoltre la tipologia di contributi presentati all'annuale conferenza *Computer Applications & Quantitative Methods in Archaeology* (CAA) e disponibili in rete a partire dal 1973 nel sito web della *CAA International*: <http://proceedings.caaconference.org> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

²²⁷ Va tenuto conto che fino agli anni '70-'80 del secolo scorso, l'accesso alle macchine e la capacità di utilizzarle era appannaggio di tecnici specializzati, spesso appunto matematici e statistici, mentre all'archeologo era demandato il compito di interpretare diagrammi, grafici e statistiche, senza tuttavia avere un completo controllo del processo di manipolazione e gestione dei dati grezzi. Cfr. D'ANDREA 2006.

fino all'ultima analizzata (1997), e pubblicati a stretto giro da Irwin Scollar, Nick Ryan, e nuovamente da Irwin Scollar, tra gli inizi degli anni '80 e la fine degli anni '90 del secolo scorso, hanno chiaramente evidenziato le tendenze nell'applicazione del computer alle differenti aree e metodologie di indagine archeologica²²⁸. Particolarmente interessante risulta l'ultimo rilevamento in termini di tempo prodotto da Irwin Scollar nel 1997; nonostante alcuni limiti indicati dallo stesso Scollar²²⁹, l'indagine ha evidenziato come l'applicazione del computer in archeologia sia stata caratterizzata e influenzata dalle disponibilità di hardware e software e, come spesso succede nel nostro campo, dalle disponibilità finanziarie di enti di ricerca e università. In questo quadro, nel tentativo di analizzare le reciproche influenze e confluenze tra sviluppo dei computer e sviluppo teorico in archeologia gli studiosi Gary Lock²³⁰ e Ezra Zubrow²³¹ hanno proposto alcune rappresentazioni schematiche di questo rapporto (Fig. 2 e 3).

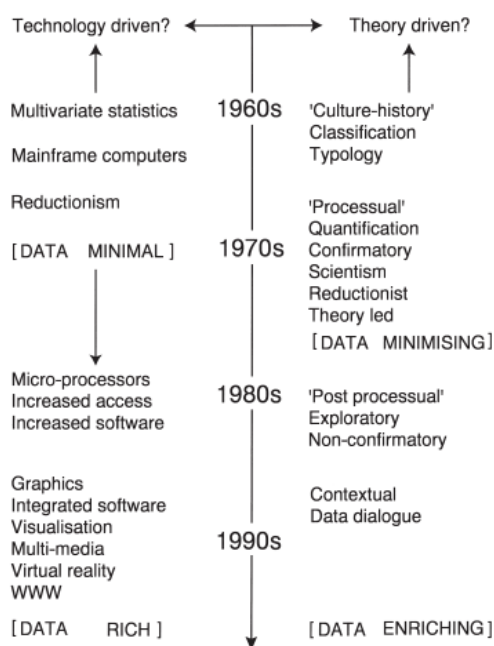


Figure 1.2 A suggested development of archaeological computing showing the relationship between technological and theoretical developments.

Fig. 2 - Schematica rappresentazione dello sviluppo dell'archeologia informatica e la relazione tra sviluppi tecnologici e teorici (LOCK 2003, p. 8).

²²⁸ SCOLLAR 1982, 1997; RYAN 1988. Ai quali si aggiungono l'analisi di John Wilcock per la prima edizione della CAA (WILCOCK 1973) e la revisione del percorso fatto, in occasione del 25° anniversario della conferenza, da parte dello stesso Wilcock nel 1997 (WILCOCK 1997). Si cfr, anche LAFLIN 1997a, b.

²²⁹ SCOLLAR 1997, p. 8.

²³⁰ LOCK 2003.

²³¹ ZUBROW 2006.

Table 1.1 History of computing and archaeological theory

<i>Date</i>	<i>Archaeological school</i>	<i>Types of theories and problems</i>	<i>Computing machines– hardware and software</i>	<i>Subjects of use</i>
Pre-1930	Natural observation	Descriptive	Calculating machines	Statistical analysis
1930–65	Cultural history	Temporal and geographic gapsmanship as well as reconstructive	Mainframes, Fortran, Cobol	Statistical analysis, data storage and manipulation
1965–80	Processual	Systemic, hypothetical, nomethetic, behavioural, group oriented	Mini's Vaxs, PC, Pascal, C, Basic	Causation, modelling, simulation, GIS
1980–95	Post-processual	Individual, Interpretative	PCs, C++, Prolog	Expert systems, non-causative, AI, field use, GIS
1990–	Cognitive	Individual, experimental and hypothetical, reconstructive	Work stations, PCs, parallel processing, super computing, visual basic, numerous specialized languages	AI, GIS, individual modelling, visualization, webography

Fig. 3 - Rappresentazione schematica della storia del computer e della teoria archeologica (ZUBROW 2006, p. 14).

Da queste analisi risulta chiaro come lo sviluppo tecnologico del computer abbia fatto il pari con gli aspetti teorici della disciplina - limitati in parte dallo sviluppo tecnologico degli strumenti utilizzati - e come questi sviluppi abbiano influenzato l'utilizzazione dello strumento informatico in specifici aspetti della ricerca e secondo specifici approcci, spesso rispecchianti la corrente di pensiero (teorica) dominante in quel momento.

In questo senso appaiono esemplificative le esperienze portate avanti con i database, con i *Geographical Information Systems* (GIS) e con la realtà virtuale, definite in modo piuttosto critico da Andrea D'Andrea e Franco Niccolucci rispettivamente: «informatica del ragioniere: i database», «informatica del geografo: i GIS», e infine la «informatica dell'ingegnere: la realtà virtuale»²³². Una prima fase del rapporto tra informatica e archeologia, in realtà, si inquadra in quel «movimento quantitativo» che insieme alla

²³² D'ANDREA, NICCOLUCCI 2001. La vena critica era giustificata dal tentativo di rinforzare l'istanza «per trasformare l'informatica altrui [...], in un'informatica dell'archeologo».

ricerca di sistematicità tipica dell'approccio processuale risultava figlio del neo-positivismo seguito al periodo buio delle due guerre mondiali. L'utilizzo di metodi matematici e statistici tra il 1946 e la metà degli anni '60 del secolo scorso, come indica François Djindjian, stimolò il proliferare di ricerche mirate a seriazioni, analisi tipologiche e spaziali, e analisi statistiche multivariate, analisi cluster, analisi archeometriche e altre²³³.

Nel frattempo la crescente mole di dati che l'archeologia andava acquisendo rese evidenti le problematiche di gestione e archiviazione. La nascita dell'informatica del ragioniere - secondo la definizione di D'Andrea e Niccolucci - fece propria una tecnologia nata per la gestione e contabilità dei conti correnti bancari, i database relazionali²³⁴. Il concetto di database relazionale, fondato sul modello entità-relazioni e sulla specificità dei campi costitutivi, pone tuttavia alcune problematiche²³⁵. Il processo *creativo* della ricerca archeologica, sia essa di ricognizione sul terreno o sott'acqua, di prospezione o di scavo, crea una notevole quantità di dati e di informazioni. Questo fatto evidenzia la necessità di esplicitare questa infinita messe di dati secondo un linguaggio comune, affinché essi siano facilmente gestibili, accessibili e soprattutto comprensibili anche all'esterno del singolo gruppo di ricerca che li ha prodotti²³⁶.

Lo sviluppo della vera e propria informatica archeologica ha visto il passaggio dai mainframe computers, utilizzati per grandi set di dati e per modelli complessi e comportamentali dall'archeologia processuale, ai minicomputer e personal computer utilizzati sulla base dei nuovi paradigmi espressi dalle correnti dell'archeologia post-processuale per studi di scala ridotta, portando ad una maggiore attenzione verso il

²³³ DJINDJIAN 2009, pp. 61-62. Nella sua accurata disamina dell'influenza della matematica e dei computer in archeologia, l'autore afferma giustamente che «tra le due guerre mondiali, il progresso del movimento quantitativo in Antropologia, Sociologia e Psicologia influenzò anche altri settori delle Scienze Sociali e Umane, in particolare l'Archeologia. Similmente, l'influenza della quantificazione nelle Scienze della Terra (Geologia, Tassonomia, Ecologia etc.) divenne molto importante in Archeologia preistorica».

²³⁴ DJINDJIAN 1998 pp. 19-20 e 2009.

²³⁵ D'ANDREA, NICCOLUCCI 2001, pp. 200-201; D'ANDREA 2006, pp. 48-51. Le problematiche risiedono sinteticamente nell'impossibilità di includere l'intero spettro dei dati archeologici al modello entità-relazioni, nella limitata capacità descrittiva dello stesso modello, nella staticità dei campi descrittivi, e nella limitata interoperabilità dei modelli; dove con interoperabilità si intende la limitata capacità di un modello relazionale di conversare con modelli relazionali strutturati in maniera diversa, problematica creata, in parte, dalla specifica formalizzazione dei dati e dei campi descrittivi e dalla loro limitata standardizzazione. Per la formalizzazione e la standardizzazione dei dati si veda CARVALE 2009; D'ANDREA 2006, pp. 61-140 e relativa bibliografia.

²³⁶ Questi aspetti verranno esaminati con maggiore dovizia nel prossimo capitolo (§ 3.1).

singolo sito o addirittura su specifici aspetti all'interno di un sito²³⁷. Parallelamente, ma in contrasto a questo sviluppo, l'avvento dei microprocessori e del micro computer negli anni '70 del secolo scorso, la nascita e il potenziamento dei processori, delle schede grafiche, e delle schede di memoria²³⁸, l'aumento della potenza di calcolo e della capacità di memoria portò all'utilizzo di uno strumento esigente proprio in termini di calcolo e memoria come il GIS²³⁹. Lo sviluppo dei primi computer accessibili all'ambito scientifico portarono allo sviluppo di pacchetti software per gli usi quantitativi più svariati, mentre facevano il loro ingresso in campo le prime macchine per lo sviluppo e la manipolazione di mappe. È in questa atmosfera che l'utilizzo del GIS - dagli anni '80 particolarmente in ambiente statunitense, con un boom anche in Europa a partire dai primi anni '90 del secolo scorso²⁴⁰ - si sposa con l'importanza e il ruolo attribuito dall'archeologia processuale agli studi ecologici, alla geografia e ai macro-sistemi²⁴¹.

I GIS, inizialmente pensati come un'evoluzione dei database²⁴², risultarono di estrema utilità per l'archeologia poiché permettevano di inserire e correlare dati spaziali e temporali²⁴³, di estrema importanza per l'analisi archeologica. Come si è visto precedentemente, le relazioni spaziali tra i manufatti e gli ecofatti nel contesto interno al sito, e tra questi e il paesaggio in cui il sito, o i siti, sono localizzati è di estrema importanza in archeologia. In questo senso, si potrebbe parlare di un contesto archeologico propriamente detto e di un contesto paesaggistico culturale composto dall'insieme di evidenze archeologiche e singoli contesti archeologici. Appare chiaro

²³⁷ ZUBROW 2006.

²³⁸ Si veda il § 2.1.

²³⁹ DJINDJIAN 1998, pp. 19 ss.; MOSCATI 1998, pp. 192 ss.; VOORRIPS 1998; GUERMANDI 1999, pp. 93-94.

²⁴⁰ D'ANDREA 2000, p. 153; ove si legge che «[l]a diffusione di banche dati georeferenziate destinate alla gestione dei dati inter- ed intra-site ha indotto inoltre Barceló e Pallarés ad affermare che gli anni '90 saranno ricordati come la decade dei GIS (BARCELÓ, PALLARES 1998)».

²⁴¹ In realtà come chiaramente esaminato in WHEATLEY, GILLINGS 2002, pp. 4-5, l'interesse archeologico per lo spazio nasce già nel periodo cosiddetto «storico-classificatorio» o «storico-culturale» (WILLEY, SABLOFF 1974; TRIGGER 1989), caratterizzato da una forte influenza delle scienze geografiche nella descrizione delle evidenze archeologiche e da una inclinazione a vedere i processi storici come processi di diffusione - da qui anche la definizione di «diffusionismo» (KRISTIANSEN, s.v., *Theorising Diffusion and Population Movements*, in RENFREW, BAHN 2005, pp. 56-59; CHILDE 1958) - della cultura materiale e delle idee dai «centri» della civilizzazione verso altre aree che ne acquisivano alcuni tratti.

²⁴² DJINDJIAN 1998, p. 22; GUERMANDI 1999, p. 93; in questo quadro, viene confermata l'osservazione di BALBI, MAGAUDDA 2014, p. 24, sul *time-sharing*; tale innovazione, pur essendo originariamente nata per massimizzare lo sfruttamento dei *mainframe* computer, finì per prospettare la possibilità dell'utilizzo dei computer da parte di singoli utenti.

²⁴³ Arroyo-Bishop 1994, citato in MOSCATI 1998, p. 191; ove si legge «l'archeologia è la relazione tra oggetto, spazio, e tempo».

come per l'interpretazione di un singolo contesto archeologico, questo debba essere correlato e messo in stretta relazione con il paesaggio culturale che lo ha "prodotto". In questo quadro, gli strumenti GIS forniscono la possibilità di relazionare a vari livelli le componenti spaziali - i due contesti esaminati prima - e quelle temporali, caratterizzanti un'analisi diacronica particolarmente in relazione al contesto paesaggistico culturale²⁴⁴. Come Wheatley e Gillings²⁴⁵ sottolineano comprendere, o meglio definire, cosa sia e cosa permetta il GIS è un compito complesso vista la miriade di campi in cui è utilizzato e le diverse definizioni che se ne sono date in base all'uso a cui è preposto. Ad ogni modo gli autori riportano le definizioni offerte da due manuali sull'utilizzo di tale strumento che appare utile riportare in questo elaborato:

...un'insieme di potenti strumenti utili a raccogliere, immagazzinare, consultare a piacere, trasformare, e visualizzare dati spaziali dal mondo reale per una serie di obiettivi particolari²⁴⁶

E ancora:

Un sistema informativo progettato per lavorare con dati referenziati tramite coordinate spaziali o geografiche. In altre parole il GIS è insieme un sistema di base di dati con specifiche funzionalità per i dati spaziali referenziati in aggiunta a una serie di operazioni per lavorare (analisi) con i dati²⁴⁷

²⁴⁴ In ambiente anglosassone si parla spesso di *environmental context* (contesto ambientale), ma sembrerebbe più appropriato correlare l'aspetto ambientale con l'aspetto culturale e, in questa direzione, il termine paesaggistico lavora come aggregatore tra gli aspetti ambientali e quelli culturali.

²⁴⁵ WHEATLEY, GILLINGS 2002.

²⁴⁶ Burrough 1986, citato in WHEATLEY, GILLINGS 2002, p. 8.

²⁴⁷ Star, Estes 1990, citati in WHEATLEY, GILLINGS 2002, p. 8; WHEATLEY 2004; David Wheatley chiarisce che i GIS «non sono singole tecnologie nel senso che non dipendono da una insolita innovazione che le definisce», al contrario essi consistono in: «uno speciale tipo di database che integra informazioni fisiche, attributive e topologiche; una serie di procedure per manipolare quel database inclusi gli input, output e ciò che potremmo chiamare 'midput' (produzione di nuovi dati all'interno del sistema e; un'interfaccia che permette agli essere umani razionali di usare (a) e (b) in modo produttivo senza una estensiva formazione».

La potenzialità del GIS sta dunque nella capacità di correlare i dati relativi alla cultura materiale con il dato spaziale che li riguarda. Tuttavia, come Maria Pia Guermandi²⁴⁸ giustamente sottolinea, il trattamento dei dati in ambiente GIS presenta «numerosi rischi» legati alla normalizzazione (codificazione) dei dati, alla qualità del dato spaziale, e soprattutto alla soggettività nella scelta dei *data attribute information* sia per quanto riguarda la cultura materiale sia per quanto concerne la sua componente spaziale. Concordemente, altri studiosi²⁴⁹ sottolineano la necessità di non confondere la descrizione e contestualizzazione dei dati archeologici consentita dal GIS come interpretazione archeologica compiuta. In questo caso, il rischio è quello di perdere di vista la necessaria distinzione tra associazione e causazione²⁵⁰ e, in un certo senso, “forzare” i dati associati per aderire ad una spiegazione sistemica. Questo fatto, fortemente criticato, è alla base del successo del GIS tra i rappresentanti la corrente teorica processualista.

Vittorio Fronza, nel Workshop *Soluzioni GIS nell'informatizzazione dello scavo archeologico*, organizzato a Siena nel giugno del 2001, sottolinea giustamente come i GIS o i database debbano «rappresentare uno strumento per la produzione di conoscenza»²⁵¹. Maurizio Forte amplia questo concetto quando afferma che «rappresentare significa conoscere: le funzioni più importanti di un GIS, risiedono nella capacità di visualizzare, interrogare e “incrociare” i dati, creando nuovi contesti e informazioni»²⁵². Secondo Forte il GIS esprime la «semiotica del paesaggio», il tramite attraverso il quale si può accedere alla «identificazione e conoscenza di un paesaggio»²⁵³. Questa identificazione e conoscenza è di tipo cognitivo, prodotta attraverso l'analisi di una rappresentazione del

²⁴⁸ GUERMANDI 1999, pp. 93-94; «Nella costruzione di un Sistema Informativo Territoriale si vengono così a sovrapporre le selezioni e quindi le inevitabili “distorsioni” determinate sia dalla descrizione alfanumerica dei dati di interesse che dalla loro rappresentazione cartografica. Per di più quest'ultima viene a essere inserita in uno spazio, quello cartografico, che è frutto di un'altra serie complessa di semplificazioni dello spazio fisico reale, oltre tutto compiuta quasi sempre da un altro ricercatore, secondo parametri e obiettivi di indagine diversi e spesso ignorati dall'archeologo».

²⁴⁹ WITCHER 1999; WHEATLEY, GILLINGS 2000.

²⁵⁰ WITCHER 1999, p. 14.

²⁵¹ FRONZA 2003, p. 632.

²⁵² FORTE 2002, p. 13; l'autore aggiunge inoltre che «[l]a rapida evoluzione delle tecnologie digitali e fotogrammetriche, associata all'utilizzo massiccio dei satelliti e delle riprese aeree, ha fatto maturare in breve tempo l'esigenza di creare appositi strumenti software per le analisi territoriali e la gestione dei dati geografici. La disponibilità poi dei personal computer, a partire dagli anni '80, ha permesso alla tecnologia GIS di imporsi come standard, con riflessi quasi rivoluzionari nel settore dell'informatica applicata».

²⁵³ FORTE 2002, p. 21.

paesaggio storico e delle correlazioni che intercorrono tra uomo e ambiente. Il GIS offre questa rappresentazione del mondo reale attraverso un modello relazionale spaziale - cioè un'elaborazione atta ad illustrare le varie relazioni che intercorrono tra uomo e ambiente in un determinato territorio - fornendo in questo modo una raffigurazione metaforica del reale. Quello che rende il GIS così appetibile per gli archeologi è la sua capacità di riunire e addensare i dati in un unico "luogo", fornendo un contesto - o un contesto di contesti - a dati archeologici altrimenti difficilmente analizzabili nella loro eterogeneità, distacco e distanza, sia fisica che simbolica²⁵⁴.

È qui che il GIS diviene strumento cognitivo, o per meglio dire, strumento capace di estendere le facoltà cognitive messe in campo dall'archeologo lungo il processo di interpretazione. Tuttavia, se il processo di interpretazione - come si tenterà di evidenziare con maggiore dettaglio più avanti in questo lavoro²⁵⁵ - ha la sua genesi nel momento stesso in cui un elemento di interesse archeologico viene riportato alla luce, e le decisioni dell'archeologo rendono soggettive le scelte dei *data attribute information*, si potrebbe sostenere che l'intera operazione risulti in una estrema e soggettiva resa del mondo reale. Sopprimere totalmente questa sorta di sofisticazione è ovviamente impossibile, oltre che non auspicabile, visto il fatto che le scelte sono ovviamente dettate *in primis* dai quesiti archeologici alla base di ciascuna ricerca. Tuttavia, si cercherà di dimostrare che per alimentare una positiva spirale ermeneutica²⁵⁶ - che, ci preme sottolineare, può esistere solo se al dato archeologico viene concesso un passato, un presente ed un futuro - sia necessaria una trasparenza del dato archeologico e, ancor di più una trasparenza dei processi di manipolazione e analisi dei dati, delle scelte interpretative che sono state fatte e, infine, degli accorgimenti per la loro gestione e comunicazione. Quest'ultimo è un concetto fondamentale affinché l'ermeneutica archeologica possa avere luogo. Ma si tornerà su questi aspetti più volte nel proseguo dell'elaborato.

²⁵⁴ D'ANDREA 2000, p. 153; «Le applicazioni informatiche favoriscono in modo particolare l'utilizzazione di dati altrimenti non disponibili, fondendo e rendendo compatibili tra loro diverse fonti di informazione (cartografie raster, mappe vettoriali, immagini telerilevate, banche dati, etc.)».

²⁵⁵ Si veda al riguardo il § 5.4, ove si esaminerà il rilievo fotogrammetrico e la gestione dei dati digitali all'interno del processo interpretativo.

²⁵⁶ Si vedano i §§ 2.3 e 3.1, oltre che il già richiamato § 5.4.

Se gli anni '90 del XX secolo hanno rappresentato il decennio del GIS, dalla fine del secondo millennio ad oggi - con un particolare aumento di intensità nell'ultimo lustro -, si è registrato l'incremento delle visualizzazioni 3D in archeologia, con numerosi progetti sviluppati nel campo della Realtà Virtuale (VR), della Realtà Aumentata (AR) e in generale della visualizzazione tridimensionale in archeologia. È del 1991, la definizione di *Virtual Archaeology* (VA) da parte di Paul Reilly²⁵⁷, il quale riconoscendo la portata del virtuale, prospettava alcuni degli sviluppi nel campo della modellazione 3D in archeologia, suggerendo il potenziale dei modelli ricostruttivi - «solid models» nell'accezione dell'autore - integrati in un'ambiente multimediale utile, non solo come modello teorico ma anche come interfaccia tra l'archeologo e i dati archeologici, al fine di agevolare i processi di interrogazione e navigazione.

A questo punto è forse utile definire brevemente cosa si intende con modello. Il concetto di modello in archeologia ha difatti varie accezioni, in base all'ambito in cui è applicato e alle entità che lo compongono²⁵⁸. In generale il concetto di modello è stato variamente definito come le «rappresentazioni parziali, che semplificano le complesse osservazioni attraverso la selettiva eliminazione dei dettagli accidentali rispetto allo scopo del modello»²⁵⁹, come la rappresentazione di un sistema nel quale vengono raffigurati non solo i componenti del sistema ma anche le loro relazioni²⁶⁰, ovvero come la rappresentazione dell'architettura dei costrutti scientifici²⁶¹, e ancora come «una qualche forma di semplificazione di una realtà complessa al fine di rendere possibile la

²⁵⁷ REILLY 1991.

²⁵⁸ BARCELÓ 2001a, p. 221; BARCELÓ 2001b, p. 569; «Ci sono centinaia di possibili modelli, a seconda delle specifiche strutture conoscitive delle quali abbiamo bisogno per comprendere la realtà, e a seconda del linguaggio utilizzato per scrivere i ruoli del modello». Cfr. LOCK 2009, p. 77; nell'analisi degli sviluppi dell'archeologia computazionale, l'autore afferma che «[u]n ultimo punto da sottolineare all'interno di questa panoramica storica è l'importanza dei modelli, un termine che ha molte definizioni».

²⁵⁹ CLARKE 1972, p. 2.

²⁶⁰ BARCELÓ 2001b, p. 569; Cfr. REILLY 1991, p. 133.

²⁶¹ GARDIN 1980, 2002, pp. 19-20; Cfr. MOSCATI 2013, p. 11; Paola Moscati così descrive l'attenzione di Jean-Claude Gardin per i processi sui quali si costruiscono i modelli rappresentativi dei dati; la ricercatrice italiana riconosce come la «messa a punto di un codice analitico secondo il quale si effettueranno le descrizioni» (Gardin in MOSCATI 2013, p. 11) rappresenti la «fase che sta più a cuore a Gardin», poiché «[l]a codifica dei dati, nel senso della loro rappresentazione secondo un *corpus* di regole e un sistema di designazione simbolica, risulta dunque l'elemento fondamentale di tutta la procedura, in quanto costituisce lo stadio preliminare essenziale per poter sottoporre i dati a processi di analisi documentaria, meccanica o manuale che sia».

²⁶² LOCK 2009, p. 77.

comprensione»²⁶². D'altronde, Gary Lock è chiarissimo nel delineare la considerazione dei modelli in archeologia quando afferma:

L'importanza dei modelli è stata riconosciuta per lungo tempo in archeologia sia da entrambi i Processualisti e i Post-Processualisti. Clarke (1972) sviluppò una classificazione dei modelli in strumenti euristici, raffiguranti, comparativi e organizzativi sostenendo che essi non erano "autentici" ma parte della procedura di generazione e verifica di ipotesi che risultanti nell'interpretazione. In seguito, Shanks e Tilley (1987) hanno riconosciuto il ruolo centrale che i modelli giocano nel processo di comprensione descrivendoli come finzioni euristiche. Naturalmente l'uso di modelli o della modellazione era una parte fondamentale del ragionamento archeologico prima dell'uso dei computers. L'interazione tra il modello di dati (variabili registrate e la struttura dei dati) e il modello teorico (metodologie da impiegare) che provvede alla connessione tra un sconosciuto passato e le asserzioni sul passato fatte nel presente. Quel che è cruciale nell'utilizzo del computer è l'introduzione di un terzo anello in questa catena, il modello digitale. È al suo interno che entrambi, i dati e il modello teorico devono essere rappresentati; se questo non è possibile, allora ovviamente il computer non può essere usato. È la complessa rete di nessi interpretativi che sono creati tra questi tre modelli che consentono lo sviluppo e l'attivazione della ricchezza di dati nella tecnologia di oggi, così come erano responsabili della loro limitazione negli anni '60 e '70 [del secolo scorso]²⁶³

Come Graeme Earl²⁶⁴ giustamente sottolinea, la modellazione computerizzata in archeologia ha trovato applicazione in vari campi, che egli suddivide schematicamente secondo questi sei punti: *i*) la modellazione matematica ossia le analisi statistiche; *ii*) la modellazione paesaggistica definita dai GIS, dai dati geofisici e dai sistemi culturali; *iii*) la modellazione dati, nel quale include i modelli relazionali e gerarchici; *iv*) i modelli di intelligenza artificiale e gli *expert systems*; *v*) la modellazione testuale rappresentate dalle semantiche dei dati; e infine *vi*) la modellazione computer grafica, con la possibilità che offre nel campo della rappresentazione delle evidenze archeologiche o per quanto

²⁶³ LOCK 2009, p. 78.

²⁶⁴ EARL 2013; in realtà FORTE, BELTRAMI 2000, p. 275 specificano ulteriormente definendo «due macro-classi» di applicazioni nella VA: la computer grafica ove non esiste interattività con i modelli e la vera e propria realtà virtuale ove invece vi è la possibilità di attiva partecipazione (interazione) da parte dell'utente/operatore.

concerne la simulazione delle società passate e/o le ipotesi ricostruttive basate sui resti archeologici. Per quanto riguarda invece l'archeologia subacquea, è stato suggerito che l'applicazione del GIS in questo campo può essere schematizzata secondo quattro settori ben definiti: mappatura e rilevamento topografico, indagini site-specific, gestione del patrimonio culturale sommerso, e analisi predittive e esplorative dei dati²⁶⁵. In termini di casi studio, i progetti che hanno sfruttato le potenzialità di queste piattaforme sono diversi e con diversi approcci²⁶⁶, mentre nell'ultimo decennio si è perfino giunti allo sviluppo di un applicativo dedicato per l'archeologia subacquea; Site Recorder della 3H Consulting Ltd. Questo applicativo è di tipo *site-specific*, ed è stato sviluppato non solo per visualizzare le informazioni ma anche per contenerle e connetterle le une alle altre²⁶⁷.

Si sono precedentemente e approssimativamente delineati gli aspetti che riguardano ad esempio l'utilizzo del GIS o delle prospezioni geofisiche, le analisi statistiche e l'intelligenza artificiale (punti *i-v*), tuttavia quelli che maggiormente interessano in questo lavoro sono i modelli tridimensionali (punto *vi*). Circoscrivere in questo modo il campo d'indagine, limitandosi alla VA, non agevola tuttavia la comprensione di cosa si intenda precisamente con il termine modello; in effetti, nel campo della VA si parla più spesso di modello visuale. Le stesse caratteristiche proprie del modello virtuale - tutt'altro che generalizzabili - sono state fatte oggetto di differenti e multi-sfaccettate definizioni, a seconda dell'obiettivo a cui si aspirava di volta in volta o dell'ambiente virtuale nel quale il modello veniva impiegato²⁶⁸. Paul Reilly afferma come l'idea fondamentale risiede nel concetto di «*virtuale*» (enfasi nell'originale), l'allusione cioè ad un modello che agisca da

²⁶⁵ MATHER, WATTS 2002, p. 681.

²⁶⁶ MATHER, WATTS 2002; Per l'utilizzo dei GIS nella gestione del patrimonio sommerso, si veda BOYD ET AL. 1996; GROOM, OXLEY 2002; MATHER, WATTS 1998. Per quanto concerne l'Italia, ad esempio, il GIS è stato utilizzato nel Progetto Archeomar (<http://www.archeomar.it>), si veda CONSOLE 2006; e stato utilizzato come GIS *infra-site* o *site-specific*, cioè specifico per un singolo sito, nei casi studio presentati da BELTRAME, MANFIO 2014; BARTOLI ET AL. 2012.

²⁶⁷ GREEN 2004, pp. 122 - 131; Jeremy Green descrive le capacità tecniche di Site Surveyor che non è altro che la prima versione di ciò che diventerà in seguito Site Recorder, giunto ormai alla sua quarta versione. Si veda: <http://www.3hconsulting.com/Downloads/TheSiteRecorderDatabaseSchema.pdf> (ultimo accesso, 5 novembre 2015). Cfr. GREEN, GAINSFORD 2003; GREEN ET AL. 2002.

²⁶⁸ BARCELÓ, FORTE, SANDERS 2000; BARCELÓ 2002; FORTE, BELTRAMI 2000; FORTE 2014.

«surrogato»²⁶⁹, da rappresentazione del reale. Graeme Earl definisce genericamente il modello virtuale come «una rappresentazione digitale tridimensionale di un oggetto costruito da una rete di punti»²⁷⁰.

Nel percorso d'analisi portato avanti in questo paragrafo, la VA - e in generale l'indirizzo di ricerca che può essere definito Artificial Intelligence (AI) - si pone all'interno, ed è particolarmente promossa, dalla corrente teorica definita post-processuale. La temperie teorica votata ad una rivalutazione degli aspetti più "pubblici" o, meglio, "sociali" della ricerca archeologica ha infatti trovato nelle capacità di democratizzare²⁷¹ la disciplina, tipiche dell'ambiente digitale e in particolare della VA, un mezzo preferenziale per portare il discorso archeologico nell'arena pubblica. Non solo. Juan A. Barceló, Maurizio Forte e Donald H. Sanders nell'introduzione al loro influente lavoro sulla VR, definiscono questo «concetto caldo» come:

quegli ambienti nei quali l'operatore umano è trasportato in un nuovo ambiente interattivo tramite dei segnali video verso gli organi di senso dell'operatore e dispositivi che percepiscono varie azioni dell'operatore. Conseguentemente, molte rappresentazioni tridimensionali archeologiche attualmente visualizzate nei libri e video non sono sistemi VR perché non c'è questa interazione sensibile²⁷².

È dunque la capacità di abilitare queste interazioni sensibili tra modello e operatore, che non è dunque più solo osservatore, a favorire quelle che Maurizio Forte definisce «interazioni cognitive» ossia la «proprietà creativa di classificazione sperimentale di nuovi contesti, attraverso interazioni cognitive e connettive (o inter-connettive, volte alla

²⁶⁹ REILLY 1991, p. 133; «Il concetto chiave è *virtuale*, un'allusione ad un modello, una replica, la nozione che qualcosa può agire come un surrogato o rimpiazzo di un originale. In altre parole, si riferisce alla descrizione di una formazione archeologica o alla simulazione di formazioni archeologiche. (Un insieme di dati simulato verrà normalmente modellato dai criteri utilizzati per registrare una formazione reale). Il problema è dunque di identificare i componenti tipici della formazione archeologica sotto esame. Tutti hanno implicazioni per la rappresentazione dei dati e per il trattamento dell'informazione».

²⁷⁰ EARL 2013.

²⁷¹ HUGGETT 1995.

²⁷² BARCELÓ, FORTE, SANDERS 2000.

comprensione del tutto attraverso le relazioni-interazioni fra le parti)»²⁷³. Sono infine queste interazioni cognitive e connettive che, sempre secondo Forte²⁷⁴ e altri²⁷⁵, permette di riposizionare l'archeologia all'interno della cornice di scienza umanistica e sociale «o, per dirla come Foucault, “archeologia del sapere” (Foucault 1980)»²⁷⁶.

Concetto fondamentale nella manipolazione digitale del dato archeologico, e strettamente legato al concetto di modello è la nozione di «scala» ampiamente analizzato da Gary Lock e Brian L. Molyneaux nel volume da loro curato²⁷⁷. In linea generale, la scala delle cose è dei fenomeni osservabili è utilizzata dall'essere umano nel tentativo di superare le «limitazioni percettive del nostro mondo di medie dimensioni»²⁷⁸. Secondo Alan Costall infatti, la scienza moderna, portando avanti il progetto di «spiegare *qualunque cosa* attraverso una serie di metodi e principi» (enfasi nell'originale) - e dunque estendendo lo spettro dell'inchiesta dalla micro alla macro scala - ha creato quello che Costall definisce dualismo *psicofisico*, ossia la disincarnazione (*disembodiment*) dell'essere umano dall'ordine naturale delle cose e la sua esclusione dall'ambito scientifico²⁷⁹. In questo senso, con la dissolvenza dei riferimenti tradizionali - causati dal dilatamento del mondo percepibile e quantificabile - l'essere umano ha smarrito la percezione della sua collocazione all'interno della natura e dei suoi processi, ha perso cioè la sua scala, ovvero la scala delle cose del mondo relativamente a sé, creando un certo disorientamento²⁸⁰.

In archeologia, è quasi un'ovvietà, il concetto di scala è indispensabile per comprendere e rappresentare correttamente il passato. L'archeologia ha da sempre

²⁷³ FORTE, BELTRAMI 2000, p. 273.

²⁷⁴ FORTE, BELTRAMI 2000.

²⁷⁵ GARDIN 1996; BARCELÓ, SANDERS, FORTE 2000; FORTE, BELTRAMI 2000; FORTE 2014.

²⁷⁶ FORTE, BELTRAMI 2000, p. 298.

²⁷⁷ LOCK, MOLYNEAUX 2006a; Cfr. LOCK 2009, pp. 78-82.

²⁷⁸ LOCK, MOLYNEAUX 2006b, p. 1.

²⁷⁹ COSTALL 2006, p. 16; A questo punto Alan Costall propone il concetto di *affordances* dello psicologo statunitense James J. Gibson come l'unico capace di riportare ordine nel dualismo *psicofisico*, ricucendo lo strappo tra natura e essere umano. Le *affordances* rappresentano, in sintesi, i significati delle cose che suggeriscono la possibilità di azione, ed essi hanno efficacia solo in relazione all'*agente*. Per il concetto di *affordances* e la teoria della percezione visiva di Gibson, si veda il § 5.1.

²⁸⁰ COSTALL 2006, p. 20; L'autore porta l'esempio di vari esperimenti nel campo della psicologia dello sviluppo, spesso inficiati o perlomeno caratterizzati da una mancata corrispondenza tra scale; la scala del soggetto dell'esperimento (il bambino), e la scala del mondo con il quale confrontarsi non coincidono, alterando sensibilmente i risultati degli esperimenti.

mantenuto un'accezione quantificativa del concetto di scala, utilizzata per rappresentare collezioni, siti, insediamenti e così via. Il crescente utilizzo di tecnologie digitali ha avuto, anche per questo aspetto, forti ricadute. Come Lock e Molyneaux²⁸¹ evidenziano, l'utilizzo di tecnologie quali il GIS crea non poche problematiche relative alla copertura di ampie aree della superficie terrestre, richiedendo enormi sforzi. Ne consegue che sia necessario frammentare la ricerca sul campo in piccole aree che divengono difficili da connettere in un quadro più ampio, ossia l'impossibilità di generalizzazioni procedenti da analisi particolari. Infine, anche qui il problema della standardizzazione e semantica dell'informazione, così da poter «fondere e integrare vari tipi di dati geografici da una varietà di ambienti in una forma coerente»²⁸².

Nell'ambito dell'archeologia virtuale (VA), i casi studio relativi all'ambiente subacqueo sono anch'essi nettamente in crescita a seguito dell'avvento di software e algoritmi più intuitivi e applicativi a basso costo. Il *Richard J. Steffy Ship Reconstruction Laboratory* presso il *Center for Maritime Archaeology and Conservation* della *Texas A&M University* (College Station, USA), sviluppa ormai da anni una congiunto di tecniche di rilievo tridimensionale, quali la fotogrammetria, e di modellazione tridimensionale per la ricostruzione di relitti di imbarcazioni sulla base delle evidenze archeologiche²⁸³.

Nelle pagine che precedono, si è cercato di evidenziare quali siano stati gli sviluppi dell'archeologia dal punto di vista teorico e da quello tecnologico, e come questi abbiano trovato terreno fertile di sintesi in quella che è definita archeologia computazionale. D'altronde si anche cercato di evidenziare come i progressi paralleli e talvolta intrecciati tra archeologia e tecnologie digitali abbia portato ad un inizio di impronta prettamente scientifica - analisi statistiche, seriazioni - fino a giungere ad un ampliamento dello

²⁸¹ LOCK, MOLYNEAUX 2006b, pp. 2-3; gli autori affermano come «il movimento dall'informazione materiale ai dati processati alla conoscenza richiede una enorme compressione scalare, nel tempo e nello spazio, portando inizialmente ai testi e in definitiva alla più estrema divergenza dalla realtà: la sequenza temporale».

²⁸² LOCK, MOLYNEAUX 2006b, pp. 4-5; Gli autori concludono, in linea con quanto promosso in questo elaborato, che esista la necessità di valutare e eventualmente riconsiderare il modo in cui le tecnologie di rilievo e gestione vengono applicate all'attività di ricerca sul campo e all'acquisizione e gestione dei dati archeologici (p. 6). Essi aggiungono inoltre che esistono delle tensioni tra «la scala fenomenologica ossia vissuta e la scala analitica ossia osservata», «tra il metodo e la teoria», e «tra il dettaglio e la generalizzazione dell'interpretazione» (p. 10). Cfr. GUERMANDI 1999, pp. 93-94, nota 224 del presente elaborato di tesi.

²⁸³ CASTRO 2009, 2011, 2013, 2014, 2015.

spettro di interazione con l'avvento dei database e della loro evoluzione, i GIS, fino a giungere - in linea con l'approccio post-processuale - ad un panorama più discorsivo, aperto e complesso, tipico dell'ambiente virtuale e degli aspetti ad esso legati. D'altronde, nel primo capitolo del suo lavoro *Using Computer in Archaeology: Towards Virtual Pasts* Gary Lock afferma:

I temi principali che emergono sono il potenziale dei computer come agenti attivi del ragionamento piuttosto che come strumenti passivi, e la relazione simbiotica tra sviluppo delle tecnologie digitali e teoria archeologica, ove entrambi incorporano una tendenza verso i concetti di contestualismo, complessità e ambienti ad alto contenuto di dati²⁸⁴.

Questa citazione di Lock funziona perfettamente da collegamento con il prossimo capitolo - e particolarmente il primo paragrafo - nel quale verrà preso in considerazione il dato, e quella serie di problematiche, che Ezra Zubrow definisce *data issue* e *data complexity issue*, legate alla quantità di dati prodotti dai metodi digitali e la complessità di dati e processi nei quali, accanto ad una crescente e necessaria competenza - difficilmente acquisibile dal singolo archeologo -, si affiancherà un sempre più complesso problema di discernimento tra «causa ed effetto [...] la difficoltà di differenziare tra ciò che è causato dalle tecniche digitali e ciò che è causa dei processi archeologici e antropologici»²⁸⁵. Prima di procedere tuttavia, interessa concludere con alcune riflessioni che possano fungere da amalgama di quanto detto fino ad ora e utili a comprendere il proseguo di questo elaborato²⁸⁶.

²⁸⁴ LOCK 2003, p. 1; LOCK 2009, p. 77; GUERMANDI 1999, p. 97; «[p]rendendo a prestito il lessico delle scienze cognitive (Antinucci 1998) potremmo affermare che il percorso che la disciplina archeologica sta compiendo nel campo delle applicazioni informatiche si sta indirizzando da un livello “simbolico-ricostruttivo”, nel quale l'operare cognitivo dell'archeologo era basato esclusivamente su processi simbolici di tipo linguistico-testuale (le banche dati alfanumeriche), a un livello percettivo-motorio, nel quale il processo cognitivo utilizza in maniera fondamentale la percezione sensoriale, soprattutto visiva»

²⁸⁵ ZUBROW 2006, pp. 21-22; si veda anche LOCK 2003.

²⁸⁶ HUGGETT 2013; DALLAS 2015a, p. 177; «gli archeologi sono chiamati a rispondere a sfide epistemiche e pragmatiche che trascendono i limiti formali della ricerca archeologica tradizionale. Queste includono questioni di coinvolgimento della comunità, interpretazione e produzione di significato del record archeologico [...] che, in un momento in cui le tecnologie digitali divengono ubiquite, possono prendere la forma di una “archeologia pubblica digitale” [...] ma anche problematiche esasperate di preservazione, gestione e appropriazione delle risorse archeologiche in un momento di crescente scarsità di fondi pubblici disponibili per la ricerca archeologica e una crescente privatizzazione del cantiere nelle forme dell'archeologia professionale o commerciale».

3. “PER ME LA MACCHINA FOTOGRAFICA È COME UN BLOCCO DA DISEGNO”: DALLA FOTOGRAMMETRIA ALLA COMPUTER VISION IN ARCHEOLOGIA SUBACQUEA

Il precedente capitolo ha offerto un inquadramento delle tecnologie, particolarmente quelle digitali, all'interno dell'evoluzione dell'archeologia e dell'archeologia subacquea, da un punto di vista sia teorico sia metodologico. La necessità di un tale inquadramento risulterà maggiormente evidente nel prosieguo dell'esposizione. A questo punto della trattazione, tuttavia, appare necessario sottolineare come l'acquisizione delle tecniche di rilievo e gestione dei dati digitali abbia apportato notevoli vantaggi alla disciplina influenzandone al contempo alcuni sviluppi e indirizzi teorici.

Si è inoltre visto come l'invenzione e lo sviluppo del computer e delle tecnologie che sul computer fanno affidamento abbia profondamente modificato il modo in cui la documentazione archeologica è acquisita, analizzata, gestita e comunicata. Gli sviluppi tecnologici degli ultimi decenni hanno portato all'utilizzo sempre più marcato degli strumenti e delle metodologie d'indagine e di rilievo 3D. I prossimi paragrafi tenteranno di dare un resoconto di questi sviluppi partendo da un quadro generale relativo ai metodi di rilievo strumentale ed alla gestione dei dati digitali in archeologia subacquea, per giungere infine ad analizzare e inquadrare le tecniche di rilievo fotogrammetrico, all'interno dello sviluppo disciplinare in archeologia subacquea.

3.1 L'IMPORTANZA DI CHIAMARSI DATO: RILIEVO STRUMENTALE E GESTIONE DELLA DOCUMENTAZIONE ARCHEOLOGICA SUBACQUEA

L'archeologia dunque rappresenta lo studio scientifico del passato, degli uomini, della loro cultura, dei loro atteggiamenti e credenze (etiche, religiose, politiche etc.) messi in relazione con il paesaggio che fa da sfondo alle loro vicissitudini storiche al fine di comprendere le relazioni intercorrenti tra l'uomo, nel suo essere sociale, il suo ambiente e la cultura materiale. In questo processo un ruolo fondamentale è giocato dal dato (o insieme di dati) archeologico e dalla documentazione archeologica (record archeologico)²⁸⁷. Come abbiamo visto, la riflessione teorica in archeologia ha avuto come soggetto centrale della sua discussione il record archeologico e il modo in cui questo viene trattato e letto per pervenire ad una documentazione che agevoli un'interpretazione archeologica e la sua conseguente comunicazione. La relazione tra archeologia e informatica pone d'altronde l'attenzione su alcuni aspetti: *in primis*, in questo rapporto appare centrale il concetto e ruolo del dato (archeologico e/o informatico)²⁸⁸, fondamentale sia dal punto di vista archeologico (per l'interpretazione dell'informazione) sia dal punto di vista informatico (codificazione dell'informazione); infine, il trinomio informazione-conoscenza-comunicazione appare fondamentale al fine di analizzare e comprendere le potenzialità insite nel connubio tra archeologia e informatica, con particolare attenzione all'applicazione della fotogrammetria in ambito subacqueo.

Il *dato* è definito dall'enciclopedia Treccani come «[c]iò che è immediatamente presente alla conoscenza, prima di ogni forma di elaborazione». In accordo con questa definizione, anche dal punto di vista del processo archeologico²⁸⁹, il dato risulta la particella elementare - l'*unità minima informativa*²⁹⁰ - sulla quale basa i suoi assunti quel processo *creativo* definito processo interpretativo che, da un elemento grezzo (i dati e il

²⁸⁷ BARCELÓ 2009a; BARCELÓ 2009b, p. 360; Juan A. Barceló definisce il record archeologico come «il generico insieme di tutti gli elementi rilevati e potenzialmente percepiti in una situazione archeologica (scavo di un *sito archeologico*, collezione museale, *esperimento* di laboratorio). Non appena tali *elementi percepibili* vengono riconosciuti quali elementi particolari, essi diventano *dati archeologici*» (enfasi nell'originale).

²⁸⁸ LOCK 2003, pp. 1 - 5; Gary Lock afferma in effetti che «dichiarare che sia l'archeologia sia i computers dipendono dai dati appare un'insignificante ovvietà».

²⁸⁹ HODDER 1999.

²⁹⁰ D'ANDREA 2006.

loro contesto), attraverso l'analisi porta alla formulazione di interpretazioni e ricostruzioni archeologiche (dunque conoscenza archeologica) oltre che, in una visione più divulgativa, a narrazioni storico-archeologiche. Come giustamente sottolineato da Lewis Binford la ricerca archeologica tenta, attraverso l'analisi della cultura materiale giunta fino a noi, di comprendere gli eventi che hanno prodotto un determinato «fatto» (enfasi nell'originale). Questi «fatti» sono tuttavia delle osservazioni di eventi passati prodotte nella piena contemporaneità del ricercatore, mentre i dati che descrivono tali «fatti» identificano le rappresentazioni di singoli eventi. Il dato archeologico delinea dunque un singolo o un'insieme di attributi, proprietà e qualità che descrivono un determinato fatto, ossia «gli aspetti dell'effettivo verificarsi di un evento»²⁹¹. I dati archeologici si identificano, nello specifico, nelle misurazioni prodotte sulle evidenze archeologiche. Tali misurazioni «includono misurazioni fisiche (ad es. lunghezza e peso), determinazioni scientifiche (ad es. analisi chimiche), e l'assegnazione degli oggetti a categorie (ad es. tipi)»²⁹². Nel quadro dell'argomentazione di questa tesi, il concetto di dato, nella sua duplice valenza di dato dal punto di vista archeologico e dal punto di vista informatico, risulta fondamentale per poter efficacemente analizzare e valutare sia teoricamente sia metodologicamente le potenzialità delle tecniche di restituzione tridimensionale di siti e/o manufatti archeologici. L'applicazione delle tecnologie digitali all'ambito archeologico ha infatti evidenziato l'importanza, e le problematiche, del dato nella sua triplice valenza, teorica, metodologica e tecnica²⁹³.

²⁹¹ BINFORD 1987, p. 392.

²⁹² SHAW, JAMESON 1999, p. 194, s.v. *data*.

²⁹³ ZUBROW 2006, pp. 21-23; D'ANDREA, NICCOLUCCI 2000, pp. 14-15; D'ANDREA, NICCOLUCCI 2001, p. 199-200; D'ANDREA 2006, p. 17 e ss. Nell'accezione "tecnica" del dato è interessante identificare un'aspetto particolare, che spesso rende problematico e talvolta inefficace l'utilizzo dei dati e della conoscenza per un problema che, con D'ANDREA E NICCOLUCCI (2001, p. 199), chiameremo «incomunicabilità» dei dati. Ovvero, l'eccessiva specificità e spesso unicità nella struttura (formato) dei dati - afferenti a specifici gruppi di ricerca - che risultano difficilmente trasferibili ad altri gruppi di ricerca, creando una cesura nel processo di creazione della conoscenza archeologica. Si veda inoltre VANNINI (2000, p. 311) per quanto concerne il problema legato alla crescente «base documentale materiale specifica di tipo quantitativo», che ha provocato «un rapporto crescente con i problemi dell'archiviazione e, in seguito, di aspetti specifici della stessa gestione informatizzata dei dati».

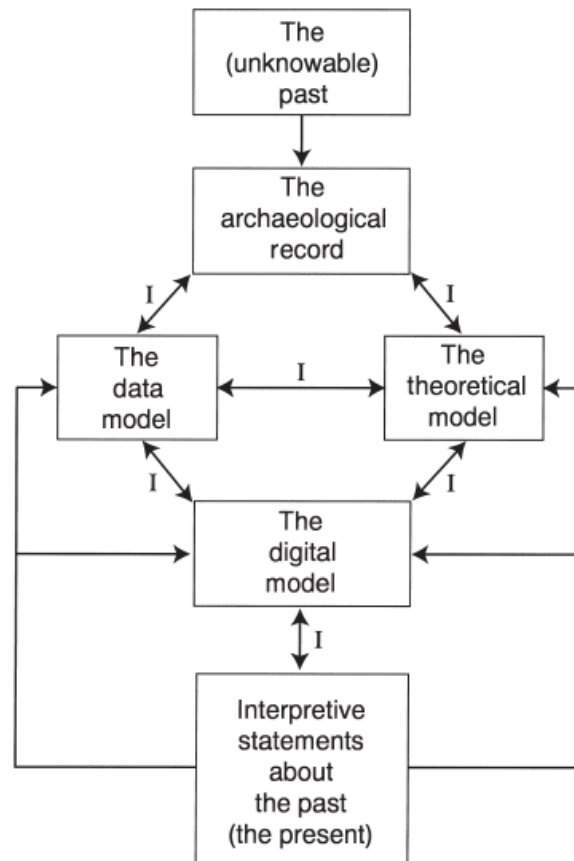


Fig. 4 - «L'integrazione dei computer nella spirale ermeneutica mostra le aree di mediazione tra passato e presente. I = Interpretazione», come proposto da Gary Lock (LOCK 2003, p. 7).

Quanto proposto nel precedente capitolo rende chiaro come lo sviluppo teorico in ambito archeologico si sia giocato sulla definizione e caratterizzazione del dato archeologico e sui processi che dall'acquisizione, gestione e accessibilità dei dati e creazione della documentazione archeologica, attraverso la loro analisi e il loro studio, portano ad una interpretazione degli stessi ed infine alla creazione di conoscenza archeologica (*archaeological knowledge*)²⁹⁴. Se da una parte i processualisti e la loro impostazione teorica vedeva la creazione di conoscenza archeologica come un processo lineare, impregnato di un estremo positivismo e di una fede assoluta nella possibilità di un'oggettiva spiegazione dei processi sociali, la cosiddetta «spirale ermeneutica»

²⁹⁴ GARDIN 2002; DALLAS 2007, quest'ultimo con particolare attenzione all'aspetto educativo della conoscenza archeologica e al suo valore nel processo di crescita socio-culturale del pubblico generale. Si veda inoltre più avanti, il § 5.4.

suggerita da Ian Hodder²⁹⁵ tende a sostituire il processo positivistico di spiegazione con un processo interpretativo discorsivo tra i due “estremi” rappresentati dalla teoria e dai dati archeologici (si veda anche Fig. 4). Un processo che tende a confrontare dati e differenti teorie in un andamento discorsivo al fine di contestualizzare entrambi. Come Hodder stesso afferma «la nozione di ermeneutica è strettamente legata a quella di contesto», poiché solo l'accordo tra dati specifici e dati circostanti spiegati e illustrati da una teoria possono portare ad affermare che «i dati hanno senso»²⁹⁶.

Come abbiamo accennato in precedenza, e come esamineremo più avanti nello specifico per quanto concerne il rilievo fotogrammetrico, il processo di acquisizione dati risulta fondamentale nel processo di interpretazione e ricostruzione archeologica. Come evidenziato nel precedente capitolo, l'indagine archeologica - particolarmente l'attività di scavo - rappresenta una “distruzione” responsabile delle evidenze archeologiche giunte fino a noi. Per poter essere definita responsabile tuttavia, questa attività “distruttiva” deve andare di pari passo ad una serie di cautele che possano azionare quel processo virtuoso - definito processo interpretativo archeologico - che, da un'unità caotica porta ad un'unità densa e significativa; la ricostruzione del passato. Queste cautele sono fundamentalmente rappresentate dalla responsabile acquisizione, registrazione e organizzazione dei dati archeologici e dalla strutturazione di questa informazione in maniera accessibile e intelligibile. Come afferma Andrea D'Andrea «pertanto, la procedura di registrazione dei dati rappresenta un momento critico della prassi scientifica del ricercatore»²⁹⁷.

²⁹⁵ HODDER 1992, p. 184-85; Ian Hodder afferma in effetti che il problema insito nell'approccio definito «hypothesis testing», tipico dei processualisti, risiede nel fatto che spesso questi ultimi si trovano a conoscere in anticipo i dati archeologici prima di procedere all'interpretazione ma, al contrario, nel presentare i loro assunti «riscrivono il copione» presentando la teoria come base della verifica dei dati in un processo empiricamente simile alle analisi di laboratorio - dunque con variabili controllabili - producendo tuttavia un'interpretazione fittizia. Al riguardo, una figura insospettabile ma altrettanto preparata in fatto di dati come Sir. Arthur Conan Doyle (CONAN DOYLE 2015, p. 9) - scrittore scozzese autore delle avventure del famosissimo detective Sherlock Holmes - scriveva che «[n]on ho ancora degli elementi per dirlo, ed è un grave errore in questi casi trarre delle conclusioni. Senza una precisa volontà, si cominciano ad alterare i fatti per adeguarli alle teorie piuttosto che il contrario». Si veda inoltre LOCK 2003, p. 8, ove viene affermato come «una comprensione soddisfacente non è mai una comprensione completa e chiusa (Shanks and Tilley 1987: 105), ma piuttosto aperta ad una costante rivalutazione, dunque la sempre aperta spirale ermeneutica».

²⁹⁶ HODDER 1992, p. 185; HODDER, HUTSON 2003, p. 195; sempre Hodder, tuttavia, mette in guardia dal rischio insito in un processo ermeneutico chiuso. Egli afferma infatti che in una ermeneutica chiusa - circolare, opposta a quella spirale - il rischio principale possa risiedere nelle forzature interpretative derivate dalla trasposizione del passato nel presente e, dunque, nella «lettura» dei dati in maniera faziosa, sulla base di convinzioni *a priori*.

²⁹⁷ D'ANDREA 2006, p. 36.

A questo punto è fondamentale rispondere ad alcune domande, utili a definire precisamente i dati archeologici²⁹⁸ e identificare le problematiche che tali dati comportano, per le fasi di rilievo e gestione in ambito digitale e con particolare attenzione per l'ambito archeologico subacqueo. Tali identificazioni e definizioni risultano strumentali a comprendere come le tecniche e metodologie di rilievo strumentale tridimensionale e, in particolare, le tecniche fotogrammetriche sviluppate in ambiente informatico si relazionino con il processo di interpretazione archeologica. In sintesi, quali sono i dati archeologici subacquei? Come si acquisiscono, come si definiscono e che problematiche comportano? Come si relazionano al processo informatico? E, infine, in che modo questa correlazione opera nel processo archeologico? D'altronde, la quantità sempre crescente di dati digitali acquisibili durante la ricerca archeologica, sia essa di prospezione o di scavo, e la ricca tipologia di tali dati pone complesse problematiche legate alle convenzioni, formalizzazioni²⁹⁹, e standardizzazioni³⁰⁰ dell'informazione associata al dato informatico. Per rispondere a questi quesiti, pur non riesaminando in dettaglio il processo di ricerca archeologica subacquea nei suoi diversi approcci metodologici, è necessario identificare in quale scenario e attraverso quali metodi i dati vengano acquisiti.

Per chiarezza d'esposizione, si procederà alla sintetica descrizione di quelli che sono i "momenti" di acquisizione dati caratteristici della moderna ricerca archeologica subacquea³⁰¹, così da evidenziare quali tipologie di dati l'archeologo abbia a disposizione nel processo di creazione della conoscenza archeologica. Se l'acquisizione, come abbiamo e cercheremo di evidenziare è un momento fondamentale del processo ermeneutico di interpretazione archeologica, altrettanto importante è definire quali siano effettivamente le tipologie di dati e in che veste esse si presentino all'attenzione del

²⁹⁸ BARCELÓ 2009, pp. 360-361; nella definizione di Juan A. Barceló, i dati archeologici «sono composti dal sottoinsieme degli elementi *ricogniti* successivamente alla loro *osservazione* in una data situazione archeologica. Sono il risultato di una operazione di pensiero razionale su cosa può essere visto in un sito archeologico» (enfasi nell'originale).

²⁹⁹ LATOUR 1986, p. 20. La definizione più pregnante di formalismo ci pare quella offerta da Bruno Latour quando afferma che «ciò che chiamiamo formalismo è l'*accelerazione di spostamento senza trasformazione*» (enfasi nell'originale).

³⁰⁰ D'ANDREA 2006, p. 79. Andrea D'Andrea definisce gli standard come «mutui accordi su dichiarazioni e/o intenti che aiutano a controllare un'azione o un prodotto. [...] Gli standard rappresentano, quindi, un consenso professionale su pratiche comuni».

³⁰¹ Si veda ad esempio BOWENS 2009, pp. 53-64; GREEN 2004.

ricercatore. A questo fine, il presente paragrafo si prefigge lo scopo di definire tutti questi aspetti e di analizzare le problematiche individuate nell'incipit del presente paragrafo, relative alla formalizzazione e standardizzazione dei dati archeologici digitali.

Gli strumenti metodologici di indagine archeologica subacquea non-invasiva possono suddividersi in maniera molto schematica, e secondo delle macro aree, in tecniche di prospezione strumentale remota³⁰² e di prospezione tramite subacquei³⁰³ per la localizzazione e identificazione dei siti sommersi, in sistemi di geo-referenziazione e di rilievo strumentale³⁰⁴ utili al posizionamento del sito sommerso nel mondo reale e, infine, nel rilievo subacqueo³⁰⁵ fondamentale per registrare le evidenze archeologiche interne al sito sommerso e, in definitiva, il suo contesto, sia in fase di scavo sia in fase di prospezione. A queste fasi si aggiunge ovviamente lo strumento di indagine invasiva rappresentato dallo scavo archeologico. Ciascuna di queste macro aree viene ovviamente sviluppata secondo metodologie specifiche e condivise che possono variare in base alla tecnica prescelta. Si eviterà di analizzare in maniera approfondita queste macro fasi, e le specifiche metodologie e tecniche, poiché il presente elaborato non mira a divenire un manuale metodologico. Al contrario, le singole macro aree verranno brevemente analizzate per evidenziare quali siano i generali obiettivi di ciascuna in termini funzionali e di prodotto finale (dato). A questo esame, farà seguito una breve analisi degli strumenti di gestione informatizzata dei dati archeologici subacquei digitali. In particolare, verranno approfonditi il GIS e la realtà virtuale e alcune esperienze sviluppate nell'ambito dell'archeologia subacquea. Entrambi questi brevi approfondimenti forniranno infine la base per una discussione sulle problematiche legate al rapporto tra dato informatico e dato archeologico.

Tra le tecniche e metodologie di acquisizione dati della moderna ricerca archeologica subacquea, notevole importanza riveste l'acquisizione remota (remote sensing)³⁰⁶, attraverso tecniche non-invasive, per mezzo di strumentazioni tecnologiche che sfruttino,

³⁰² BOWENS 2009, pp. 103-113; GREEN 2004, pp. 57-83.

³⁰³ BOWENS 2009, pp. 96-102; GREEN 2004, pp. 50-56.

³⁰⁴ BOWENS 2009, pp. 83-95; GREEN 2004, pp. 24-49.

³⁰⁵ BOWENS 2009, pp. 114-134; GREEN 2004, pp. 87-155 e 165-203 per quanto concerne le tecniche fotogrammetriche.

³⁰⁶ SECCI 2015.

ad esempio, sistemi ottici, acustici o magnetici. Come abbiamo visto nel precedente capitolo, strumenti come il Single/Multi Beam, il Side Scan Sonar, il Sub-Bottom Profiler favoriscono la mappatura dei fondali e l'identificazione di siti e manufatti archeologici giacenti o lievemente interrati nei fondali. È chiaro come la mappatura di ampie aree del fondale attraverso queste strumentazioni possa produrre una mole di dati - nella fattispecie nuvole di punti tridimensionali - che rende complicato la loro elaborazione e gestione sul breve e lungo periodo.

In ambiente subacqueo, anche e soprattutto alla luce delle riflessioni e degli sviluppi internazionali maturati attorno alla Convenzione UNESCO 2001, le prospezioni strumentali e in generale gli approcci non-invasivi al patrimonio culturale sommerso hanno guadagnato notevole impulso e risultano sempre più lo strumento preferenziale per la ricerca archeologica subacquea. I motivi sono vari e complementari. Da una parte risorse economiche sempre più limitate e i costi ingenti delle attività di scavo intensivo, legate principalmente ai costi intrinseci di tale attività e alle necessità di conservazione del patrimonio recuperato dal fondo del mare, hanno portato a razionalizzare e in parte limitare gli interventi invasivi. Gli interventi di scavo tuttavia persistono ma, come la stessa Convenzione UNESCO 2001 richiede, essi debbono essere attentamente ponderati e il loro intero *iter* (pre-, durante e post-scavo) accuratamente pianificato anche in termini economici.

D'altra parte, la necessità di mappare puntualmente i fondali e di identificare le evidenze archeologiche hanno portato a sfruttare in maniera sempre più intensiva le tecniche di prospezione remota. È piuttosto evidente come la tutela di un patrimonio che risiede in un ambiente ostico come quello acquatico, estremamente esteso e difficilmente controllabile, richieda una conoscenza il più possibile precisa del patrimonio culturale subacqueo disponibile così da poter pianificare sia le attività di tutela che quelle di ricerca. Una conoscenza approfondita del patrimonio presente in determinati specchi di mare permette inoltre uno sviluppo infrastrutturale³⁰⁷ informato, conscio cioè delle zone di mare archeologicamente sensibili.

³⁰⁷ Con sviluppo infrastrutturale si intendono tutte quelle attività prodotte in mare e che, intervenendo sulla situazione esistente rischiano di modificare la morfologia del fondale o intaccare il patrimonio culturale sommerso giacente sui fondali o sotto di essi. Tra queste ad esempio l'estrazione di oli e gas, l'installazione di piattaforme petrolifere, la posa di condutture, cavi e i lavori relativi a infrastrutture portuali o simili.

Naturalmente, come si è affermato precedentemente, la tendenza a tutelare e preservare *in situ* il patrimonio sommerso non preclude lo scavo archeologico invasivo, esso è ovviamente sempre contemplato a patto che sia giustificato e attentamente pianificato. La scelta di un tale intervento deve essere giustificato da pressanti motivazioni quali, ad esempio, l'unicità del sito, il suo interesse nello studio di particolari tecniche costruttive (navali e non), il suo valore dal punto di vista scientifico, tecnico, metodologico o quale volano per lo sviluppo socio-economico dell'area interessata³⁰⁸. Lo scavo è, tra le attività archeologiche, quella più pregnante ma anche la più "rischiosa". Come definito in precedenza, lo scavo è al contempo un'attività distruttiva e creativa nella quale ciascuno dei due attributi è dipendente dall'altro, o meglio, acquista valore positivo nel rapporto di dipendenza con l'opposto. La distruzione di un contesto o di una unità stratigrafica acquista valore positivo unicamente quando vi sia la creazione di una documentazione puntuale e quanto più possibile esaustiva³⁰⁹. La distruzione del contesto così come esso è giunto a noi *deve* inesorabilmente creare conoscenza archeologica, o perlomeno il presupposto per una tale conoscenza. In caso contrario, lo scavo diventa mera attività di spoliatura, attività ludica, passione per la curiosità, insomma, si rischia di fare un balzo indietro di perlomeno un secolo e mezzo ritornando ad una visione prettamente antiquaria e da "gabinetto delle curiosità" della ricerca archeologica.

La prospezione remota in archeologia subacquea acquisisce dunque due principali significati: da una parte garantisce importanti opportunità per la mappatura e l'identificazione del patrimonio culturale sommerso giacente sui fondali marini, favorendone una conoscenza approfondita, divenendo dunque strumento fondamentale per una gestione attenta e informata del patrimonio culturale sommerso; d'altro canto permette di operare una pianificazione degli interventi, siano essi di ricerca o di sviluppo e sfruttamento delle risorse del mare, che possano risultare da un'accorta valutazione

³⁰⁸ Paiono necessarie alcune precisazioni. Le possibilità offerte nel campo dello sviluppo socio-culturale e economico di aree interessate da siti archeologici valorizzati *in situ* è ormai comprovato dai numerosi casi studio e dalla letteratura disponibili (SCOTT-IRETON 2005, 2014; SPIREK, SCOTT-IRETON 2003; JAMESON, SCOTT-IRETON 2007). L'investimento economico di uno scavo subacqueo, oltre a motivazioni scientifiche - quando la situazione lo consente - può e dovrebbe avere lo scopo di favorire l'arricchimento culturale, dunque sociale, ma anche economico delle comunità coinvolte. Questo arricchimento economico va ovviamente inteso come strumento di promozione turistica e non come mera spoliatura ai fini commerciali del patrimonio sommerso. Questa possibilità inoltre dev'essere anch'essa attentamente pianificata, mentre la tutela e conservazione del sito o oggetto archeologico deve essere assicurata nel lungo periodo.

³⁰⁹ Rimanendo fermo l'aspetto soggettivo dello scavo e della ricerca archeologica, come suggerito dalle correnti post-processualiste; la cosiddetta soggettività del ricercatore.

delle risorse disponibili, delle necessità per la loro tutela, dell'opportunità di un intervento archeologico e, più in generale, delle strategie di gestione. La stessa Convenzione UNESCO 2001 e, per l'Italia, il Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (con successive modificazioni; di seguito Codice), accentuano l'importanza di un'attenta catalogazione del patrimonio culturale subacqueo. Il Codice, all'art. 3, comma 1, afferma esplicitamente:

La tutela consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività *dirette, sulla base di un'adeguata attività conoscitiva, ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale* ed a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione (enfasi dell'autore)

Sullo stesso indirizzo la Convenzione UNESCO 2001, all'art. 22, comma 1, afferma:

In modo da assicurare la corretta implementazione di questa Convenzione, gli Stati Parte debbono istituire autorità competenti o rinforzare quelle già esistenti ove appropriato, al fine di *occuparsi dell'istituzione, mantenimento e aggiornamento di una catalogazione del patrimonio culturale subacqueo, di un'effettiva protezione, conservazione, presentazione e gestione del patrimonio culturale subacqueo, oltre che per la ricerca e l'educazione* (enfasi dell'autore)

In questo ambito, la prospezione strumentale remota, ripetiamo, gioca un ruolo fondamentale nel garantire una comprensione della quantità e qualità del patrimonio presente nei mari, utile a perseguire i dettami dei regolamenti internazionali e delle leggi nazionali relativi alla tutela, gestione, valorizzazione e fruizione del patrimonio sommerso.

Tutti questi metodi di acquisizione fanno coppia con i dati acquisibili durante le attività di scavo. Lo scavo è stato per lungo tempo ritenuto l'unico mezzo attraverso il quale acquisire dati utili ad una ricostruzione storico-archeologica. L'archeologia subacquea, con particolare resilienza in Italia, ha per molti anni seguito una linea di ricerca che si fondava unicamente sullo scavo archeologico estensivo. Gli sviluppi

disciplinari e le riflessioni discusse nel § 2.2 e in particolare, per quanto concerne l'archeologia subacquea, le considerazioni che hanno ispirato la Convenzione UNESCO 2001, hanno riconosciuto la valenza e l'importanza delle attività non invasive e non-distruttive per lo studio e la tutela del patrimonio culturale subacqueo. In alcune istanze, lo scavo archeologico permane tuttavia quale mezzo insostituibile per la comprensione del patrimonio sommerso. Tale attività richiede tuttavia un'approccio programmatico e deve comunque essere tale da non pregiudicare l'integrità del sito archeologico o del patrimonio culturale subacqueo. In questo quadro, la Convenzione UNESCO 2001 (Regola 4) è esplicita:

Le attività dirette al patrimonio culturale subacqueo devono prediligere tecniche e metodi di indagine non-distruttivi al recupero di oggetti. Se lo scavo o il recupero è necessario per studi scientifici o per la protezione del patrimonio culturale sommerso, i metodi e le tecniche devono essere il più possibile non-distruttivi e contribuire alla preservazione dei resti.

Nelle Regole 26 e 27 dell'Annesso alla Convenzione UNESCO 2001 viene ulteriormente enfatizzata l'importanza di una scrupolosa documentazione, affermando (Regola 27) che questa dovrà includere perlomeno:

una esauriente testimonianza del sito, incluse la provenienza del patrimonio culturale subacqueo spostato o rimosso nel corso delle attività dirette al patrimonio culturale subacqueo, diari di scavo, planimetrie, disegni, sezioni, e fotografie o registrazioni in altri supporti.

Dal breve e sicuramente non esaustivo elenco presente nella Regola 27 della Convenzione UNESCO 2001 risulta chiara l'enorme quantità di dati che derivano dall'indagine archeologica subacquea, particolarmente - come ormai accade sempre più di frequente - quando entra in campo la registrazione digitale.

D'altronde, come si è già accennato, localizzare, identificare, mappare e monitorare i siti archeologici sommersi è un compito arduo visto le complesse leggi fisiche che

regolano tale ambiente. Contemporaneamente, queste attività risultano di fondamentale importanza sia dal punto di vista della ricerca scientifica sia dal punto di vista della gestione del patrimonio sommerso. Gli ambiti della mappatura e del rilievo dei siti sommersi rappresentano probabilmente le aree nelle quali la tecnologia ha fornito più possibilità per la ricerca archeologica. ROV, AUV, sistemi di mappatura remota (SSS, single e multi beam), mini-sommergibili, registrazioni video e fotografiche, e non ultima la fotogrammetria hanno favorito l'identificazione di siti solo immaginabili in passato. d'altro canto, il rilievo e la mappatura rappresentano senza ombra di dubbio i primi passi verso una interpretazione archeologica del sito, ancor più significativi se si tratta di siti non raggiungibili in prima persona dall'essere umano.

In fase di scavo poi, abbiamo visto, il rilievo, la registrazione puntuale dei singoli manufatti, del loro contesto, *nel* loro contesto è fondamentale per l'acquisizione di una documentazione completa dell'evidenza archeologica. Rilevare la posizione di un singolo manufatto all'interno del contesto, le caratteristiche spaziali dell'intero sito e renderle intelligibili attraverso la creazione di database, la trasposizione grafica (planimetrie, sezioni etc.) e la possibilità di visualizzare oltre che il dato grezzo numerico anche la sintesi grafica, risulta di fondamentale importanza per l'archeologo.

Questi a grandi linee i metodi di acquisizione dei dati archeologici. Ci siamo limitati nell'analizzare in dettaglio questi "momenti" della ricerca archeologica poiché la presente trattazione non intende rappresentare un manuale di archeologia né, tantomeno, un manuale metodologico esauriente e puntuale. Al contrario, questi brevi accenni risultano funzionali a chiarire quale sia la mole di dati digitali - particolarmente i cosiddetti *big data*³¹⁰ - con i quali si trova a confrontarsi la moderna *archeologia 3.0*³¹¹. Di seguito esamineremo sinteticamente quali siano i dati con i quali si confronta l'archeologo, mentre a stretto giro analizzeremo nello specifico e in maniera più approfondita le macro-tipologie di dati archeologici che sono solitamente elaborati, almeno in parte, in dati informatici nel processo di trattamento digitale dei dati e della documentazione archeologica.

³¹⁰ Si veda oltre al § 3.3.

³¹¹ LEVY ET AL. 2010.

L'archeologo italiano Daniele Manacorda, nel suo lavoro *Prima lezione di archeologia*, descrive sinteticamente ma molto chiaramente quali siano i dati (documenti) che «reperiti» attraverso un preciso «metodo di ricerca», studiati attraverso un'attento «metodo di analisi» e spiegati attraverso un «metodo di interpretazione» costituiscono il corpus di informazioni che l'archeologo utilizza per comprendere e ricostruire il passato. Manacorda afferma esplicitamente:

«l'archeologo fa uso continuo di documenti, che si presentano alla sua attenzione in genere sotto forma di 'cose', cioè di manufatti (prodotti del lavoro umano) e di ecofatti (risultato del rapporto che si instaura tra uomo e natura). [...] Una messe sterminata di informazioni - in continuo accrescimento - è potenzialmente a disposizione: nel terreno sotto di noi, nei paesaggi che osserviamo aprendo le finestre, al nostro fianco dentro i muri delle stanze in cui abitiamo. Lì possono celarsi testimonianze banali o eccezionali della storia del luogo dove temporaneamente viviamo, che solo una metodologia particolare, quella archeologica, può trasformare in dati»³¹².

Manufatti e ecofatti, connessi all'ambiente di rinvenimento (il contesto), caratterizzano il materiale grezzo con il quale si confronta la ricerca archeologica. Come bene afferma Manacorda, il materiale grezzo, per divenire dato archeologico necessita di un trattamento specifico secondo le metodologie dell'archeologia così da permettere all'insieme rappresentato dall'oggetto materiale, dalle informazioni contestuali definite da misurazioni, rappresentazioni grafiche e fotografiche di divenire documentazione archeologica. Manufatti ed ecofatti per divenire documentazione utile al processo di interpretazione archeologica, debbono necessariamente essere relazionati e posizionati sia fisicamente che culturalmente tra loro e all'interno dell'intero sistema del sito archeologico e del territorio culturale di riferimento. La contestualizzazione dei rinvenimenti rappresenta dunque quel processo di “posizionamento” fisico, storico e culturale che, attraverso l'identificazione delle relazioni tra le parti definisce l'insieme. In campo archeologico il termine contesto può essere definito secondo due principali accezioni: 1) il contesto di rinvenimento, ossia contesto relativo; e 2) il contesto storico, o contesto assoluto. Il contesto di rinvenimento è esplicitato dall'insieme di relazioni spaziali che intercorrono tra i vari componenti dell'insieme “sito”, e quelle che

³¹² MANACORDA 2004, p. 4.

intercorrono tra quest'ultimo e il paesaggio circostante nel quale è inserito. Esso è dunque relativo al sito in esame ed è spesso qualificato da un'insieme di informazioni spaziali (misurazioni lineari, quote, coordinate georeferenziate etc.) relative all'ambiente circoscritto del sito. Al contrario il contesto storico, tende a relazionare la contestualizzazione relativa con il più ampio quadro storico e culturale, relativo all'ambito cronologico così come esso è determinato dalla cultura materiale.

Per la comprensione del contesto di rinvenimento, fondamentale per una corretta interpretazione del sito archeologico, risulta dunque imprescindibile una corretta documentazione del sito. Il rilievo archeologico svolge in questo settore un ruolo fondamentale. Si è evidenziato più volte che un'attività "distruttiva" come la ricerca archeologica - l'attività di scavo in particolare - esiga una documentazione puntuale affinché nulla venga perso e si possa, al contrario, procedere con il processo creativo che da un'insieme di tracce disorganiche porti ad un'interpretazione e ricostruzione storica coerente. L'importanza del rilievo, della registrazione e della documentazione di tutte le fasi e azioni prodotte durante una ricerca archeologica, permette infatti - come avviene nel processo interpretativo archeologico - di muovere a ritroso nel processo di ricerca e, nell'esaminare le azioni, comprendere le relazioni tra manufatti, stratificazioni e ecofatti, fino a giungere ad una piena contestualizzazione dei resti archeologici e delle azioni che li hanno coinvolti. Riuscire a leggere con precisione il contesto risulta di particolare valore per la comprensione dei processi di formazione del sito (*site formation processes*) in ambito archeologico subacqueo - come si è cercato di evidenziare nei §§ 2.2.1 e 2.2.2 -, poiché tali processi particolarmente persistenti in ambiente acquatico, determinano spesso il tasso di deterioramento e dunque la conservazione del sito sommerso condizionando, di conseguenza, le strategie di preservazione e di gestione *in situ* del patrimonio culturale subacqueo.

L'attività di ricerca archeologica subacquea produce dunque una quantità sempre crescente di dati. Tali dati, per agevolare l'esposizione e comprensione, possono venir suddivisi in alcune macro-tipologie: *i*) il dato materiale, comprendente manufatti, strutture

e relative stratificazioni (unità stratigrafiche)³¹³; ii) l'ecofatto, rappresentante il dato derivato dalla relazione tra l'uomo e il suo ambiente, comprendente dunque tutte quelle modificazioni prodotte nell'ambiente di riferimento dall'attività antropica; iii) il dato empirico, derivante dalle analisi prodotte su manufatti e ecofatti (ad es. analisi al C₁₄, archeometriche, dendrocronologiche etc.)³¹⁴; iv) il dato analitico³¹⁵, ossia spaziale relativo e/o assoluto, rappresentato dall'insieme di rilevamenti metrici interni, dunque relativi, al sito (planimetrie, sezioni etc etc), e l'insieme di rilevamenti assoluti descritti dalle coordinate, dall'orientamento e dalle relazioni spaziali e "ambientali/paesaggistiche" che intercorrono tra il sito ed il suo paesaggio. Nell'ambiente digitale, la maggior parte di questi dati si configurano come un'insieme di valori alfanumerici descrittivi. Per quanto concerne questa ricerca, riveste particolare importanza il punto iv), il dato analitico, ossia spaziale relativo e/o assoluto, che risulta il principale obiettivo e prodotto del rilievo strumentale tramite fotogrammetria. Nel caso della fotogrammetria, come vedremo nei prossimi capitoli, i dati alfanumerici descrittivi fanno il paio con una grande mole di dati fotografici funzionali alla ricostruzione tridimensionale del sito e ai dati tridimensionali veri e propri derivanti dall'elaborazione delle immagini fotografiche.

Come detto, le attività di ricerca brevemente sopra descritte producono un'ammontare di dati digitali di varia natura spesso caratterizzati da dimensioni considerevoli e molteplici formati che non agevolano un fluente trasferimento dei dati grezzi tra differenti gruppi di ricerca e ricercatori. Ovviamente questo fatto pone notevoli problematiche per quanto concerne un fluido confronto tra ricerche simili o la rivalutazione delle interpretazioni prodotte da un gruppo di ricerca da parte di un'altro gruppo, facendo venir meno quel processo di confronto e revisione che rappresenta il fulcro fondamentale

³¹³ WHEATLEY, GILLINGS 2002, p. 14; «Possediamo spesso una ricchezza di informazione *relativa* ai manufatti sotto esame - i dati attributo menzionati in precedenza [p. 10] - e tutte *queste* informazioni devono essere integrate durante il processo di interpretazione» (enfasi nell'originale). Per una definizione di *attribute data* (dati attributo), si veda ancora WHEATLEY, GILLINGS 2002, p. 54 «I dati attributo sono le informazioni che possediamo relativamente agli oggetti o fenomeni per le quali abbiamo attentamente registrato le ubicazioni e proprietà spaziali».

³¹⁴ L'utilità di queste analisi e dei conseguenti dati è chiaro sia dal punto di vista cronologico, ossia per la datazione del manufatto o del sito, sia dal punto di vista della conservazione *in situ* o *ex situ* dei resti archeologici sommersi. In particolare, le analisi chimico-fisiche sono di estrema importanza nel caso di conservazione *in situ* dei resti archeologici subacquei. Il complesso delle azioni del moto ondoso, delle correnti, il dislocamento del sedimento all'interno di un sito sommerso e l'interferenza fisica di derivazione antropica, scatenano un'insieme di modificazioni fisico-chimiche che rappresentano dei fattori destabilizzanti per l'equilibrio raggiunto dal sito compromettendone la conservazione e partecipando attivamente a definirne i processi di formazione (*site formation processes*; si veda il § 2.2.1 e 2.2.2).

³¹⁵ Si veda LOCK, MOLYNEAUX 2006b, p. 8.

dell'attività scientifica e archeologica in particolare. L'insieme dei dati digitali quali le immagini fotografiche e video, i dati di rilievo, i dati tridimensionali, i dati di tracciamento della rotta, le elaborazioni dei dati grezzi, la documentazione di scavo (diari di scavo; schede US; planimetrie e sezioni; catalogo dei materiali; foto e video delle attività e dei materiali), i dati derivanti da analisi di laboratorio (ad es. chimiche e/o fisiche) richiedono uno spazio di archiviazione piuttosto ampio. Se l'archiviazione è resa complicata dalla mole di dati, la loro gestione e preservazione sul lungo periodo è, se possibile, ancora più difficile poiché le attività di un'ente o di un gruppo di ricerca può facilmente giungere a produrre, nell'arco di un'anno, archivi di dimensioni considerevoli. Esistono al riguardo alcune ricerche che, conscie di queste problematiche, hanno intrapreso una riflessione approfondita sulle problematiche della preservazione del patrimonio culturale digitale³¹⁶.

In un momento in cui l'archeologia fa sempre più affidamento sul digitale, le problematiche sopra citate vengono a giocare un ruolo fondamentale per la creazione, comunicazione e gestione della conoscenza. La mole di dati che la ricerca archeologica va producendo e la sua "nuova" veste digitale, richiede un ripensamento e una rielaborazione delle strategie di produzione, gestione e comunicazione di dati, informazioni e conoscenza. Gli enti preposti alla tutela del patrimonio culturale risultano spesso impreparate a gestire tale mole e tipologia di dati e le infrastrutture una volta sufficienti a gestire la documentazione prodotta dalle attività di ricerca archeologica (principalmente cartacea), risultano spesso sprovviste della logistica e delle competenze necessarie a far

³¹⁶ DONGMING LU, YUNHE PAN 2010; DE LUSENET, WINTERMANS 2007; UNESCO 2003. In particolare la *Carta per la preservazione del patrimonio digitale* UNESCO afferma all'art. 5, denominato «continuità digitale», che «[l]a continuità del patrimonio digitale è fondamentale. Per preservare il patrimonio digitale, sarà necessario approntare delle specifiche misure lungo tutto il ciclo vitale dell'informazione digitale, dalla creazione all'accesso. La preservazione di lungo periodo del patrimonio digitale comincia con la progettazione di sistemi e procedure affidabili che possano produrre oggetti digitali autentici e stabili». Per quanto riguarda nello specifico l'archeologia subacquea, si veda: <http://archaeologydataservice.ac.uk> (ultimo accesso 5 novembre 2015).

fronte a questa digitalizzazione della conoscenza³¹⁷. In questo processo di digitalizzazione del sapere, come accennato in precedenza, la formalizzazione e standardizzazione dell'informazione risulta fondamentale poiché agevola le prassi tipiche di una disciplina che voglia avere un fondamento scientifico: la codificazione uniformata dell'informazione e la possibilità per tale informazione di muoversi liberamente all'interno delle maglie disciplinari senza peraltro perdere valore, significato e comprensibilità (utilità).

In questo senso, Gary Lock³¹⁸ evidenzia come sia «stato riconosciuto da parecchi anni che la computerizzazione forzi una descrizione esplicita della struttura dei dati attraverso l'identificazione di attributi misurabili e delle relazioni tra loro». La descrizione esplicita prodotta attraverso l'acquisizione dei dati, non dev'essere necessariamente vista come un'attività arbitraria, casuale e finanche faziosa. Al contrario, la tensione verso una «precisione» e «accuratezza» di questa attività di acquisizione dati, non garantendo un'oggettività del dato, ne favorisce la “credibilità” e, dunque, la possibilità di analisi. Ovviamente, se la scelta dei dati da descrivere digitalmente non è un'operazione oggettiva in se, la possibilità di esplicitare le scelte fatte, di descrivere con dovizia l'oggetto, il parametro, e il dato trattato digitalmente e la possibilità dunque di tracciare il percorso che dal “dato archeologico fattuale” porta al “dato archeologico digitale” garantisce se non altro il processo comunicativo e lo scambio e la comparazione tra base dati, o prodotti digitali differenti. Per poter tracciare questo percorso, come accade con la capacità di seguire un discorso, è necessario conoscere precisamente i termini utilizzati, le convenzioni sulle quali il discorso è costruito e il valore da attribuire a ciascuna locuzione. È proprio in questo quadro che gli standard acquisiscono estremo valore, garantendo quella comunicabilità che è fondamentale, come si è cercato di sottolineare

³¹⁷ KINTIGH 2006, p. 572. Nel report derivante dal workshop organizzato in Arizona dalla National Science Foundation, intitolato “Enabling the Study of Long-Term Human and Social Dynamics: A Cyberinfrastructure for Archaeology”, Keith Kintigh sottolinea in egual misura l'importanza degli aspetti relativi al «data preservation», al «data access» e al «data integration», al fine di creare una «infrastruttura informativa archeologica» che, basata sulle tecnologie informatiche e sugli sviluppi nel campo della *Computer Science*, possa favorire l'ampliamento dello spettro di ricerca archeologica. Lo sfruttamento strutturato delle potenzialità offerte dalla tecnologia può, secondo i partecipanti al workshop, promuovere nuovi paradigmi basati su una ricerca integrata e olistica, rendere la documentazione archeologica utile ad altre discipline scientifiche e al di fuori del reame scientifico, promuovere la valenza scientifica dei dati digitali a rischio a causa del degrado fisico, della obsolescenza dei software e dell'inadeguata quantità e qualità dei *metadata* (l'insieme di informazioni sul dato grezzo).

³¹⁸ LOCK 2003, pp. 4-5; si veda la breve ma chiara analisi di Gary Lock sulle questioni inerenti il dato archeologico trattato all'interno dell'ambiente digitale.

più volte, nel discorso archeologico, affinché il processo interpretativo - la spirale ermeneutica di Ian Hodder - abbia luogo e possa verificarsi ripetutamente nel tempo, in modo tale cioè che i dati abbiano un passato, un presente ed un futuro³¹⁹.

Un ruolo di rilievo in questo campo è svolto dall'*Archaeology Data Service* (ADS) britannico. L'ADS fu istituito nel 1996 da un gruppo di università britanniche con la missione di preservare, catalogare e facilitare l'utilizzo dei dati digitali, partendo dalla formulazione di precisi standards³²⁰. Come Julian D. Richards sottolinea giustamente, gli standard sono di tre tipi: standard tecnici, standard di contenuto e i standard dei metadata³²¹. Da una parte, in effetti, esiste la tendenza a utilizzare hardware e software specifici per ciascun progetto, creando una indotta incomunicabilità tra le base dati dei diversi progetti, a causa dei differenti standard tecnici; una problematica identificata anche da Andrea D'Andrea³²² e da Gary Lock³²³. Tuttavia, una standardizzazione assoluta e generalizzata, sia in termini tecnici che di contenuto e di metadata, è impossibile oltre che, probabilmente non auspicabile³²⁴. Al contrario, come Julian D. Richards sottolinea, «esiste ora una grande enfasi su sistemi di dati distribuiti, e sull'interoperabilità, supportati dallo sviluppo di standard per la documentazione»³²⁵. Per l'interoperabilità dei dati risultano infine fondamentali gli standard dei metadata, essi sono degli «standard relativi ai dati, non determinano i dati stessi»³²⁶.

³¹⁹ Si veda più avanti e si cfr. § 2.3, p. 64 e nota 249.

³²⁰ RICHARDS 2002, 2009.

³²¹ RICHARDS 2009, pp. 28-30 e 33;

³²² D'ANDREA 2006, p. 17; «[s]uccede spesso che a causa del software che impone l'utilizzo di formati proprietari siano prodotti archivi fra di loro incompatibili: non è quindi possibile, ad esempio, il confronto fra dati di database diversi sia perché differenze, anche se leggere, fra i tracciati dei record ne impediscono la fusione, sia perché la diversità di formati permette solo - e a prezzo di onerose conversioni - il confronto tra le strutture degli archivi, ma non dei dati».

³²³ LOCK 2003.

³²⁴ RICHARDS 1985.

³²⁵ RICHARDS 2009, p. 30.

³²⁶ WISE, MILLER 1997; secondo gli autori i metadata sono definiti come «i dati su i dati» o «l'informazione necessaria per comunicare sensatamente sull'informazione (allo stesso modo in cui il metalinguaggio è il discorso utilizzato dai linguisti per comunicare relativamente al linguaggio)». I metadata forniscono dunque informazioni sulla natura del dato/informazione, la localizzazione di tale informazione e l'esistenza di informazioni simili. Gli autori forniscono un caso esemplare per l'archeologica secondo lo schema seguente: «1) l'insieme di dati [dataset] contiene informazioni sugli strumenti litici; 2) il dataset può essere consultato attraverso la homepage dell'Archaeology Data Service; e 3) il British Museum possiede un insieme di dati simili». Ovviamente, questa schematica rappresentazione di una struttura di metadata, può essere ampliata in base al

La formalizzazione e standardizzazione dei dati archeologici risulta una tematica fortemente sentita dalla comunità scientifica internazionale. L'importanza di fornire il vasto settore del patrimonio culturale con infrastrutture concettuali che possano garantire formalismi, ontologie e standard uniformati per la realizzazione di databases realmente utili e interoperabili, è testimoniata dagli sforzi portati avanti da gruppi e organizzazioni internazionali come, ad esempio, la community Dublin Core® Metadata Initiative (DCMI)³²⁷, l'International Council on Museums (ICOM) con il suo International Committee for Documentation (CIDOC)³²⁸ e, per l'Italia, l'Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle Biblioteche Italiane (ICCU)³²⁹. Per quanto riguarda i metadata spaziali, ad esempio, il Federal Geographic Data Committee (FGDC) ha sviluppato i Digital Geospatial Metadata, prodotti specificatamente per le informazioni spaziali³³⁰. Per quanto concerne la tematica di questo elaborato, e dunque per quanto concerne la documentazione e visualizzazione tridimensionale delle evidenze archeologiche subacquee, la quantità e tipologia di dati tridimensionali acquisibili attraverso le prospezioni remote (remote sensing), la fotogrammetria subacquea, e il rilievo strumentale richiedono una riconsiderazione delle metodologie e degli approcci al rilievo, ponendo estrema attenzione e riflessione sulle problematiche sopracitate relative all'archiviazione e gestione dei dati tridimensionali.

Affinché la «spirale ermeneutica» definita da Ian Hodder abbia successo risultano dunque fondamentali alcuni assunti che, particolarmente quando grandi volumi di dati entrano in campo, permettano un flusso continuo e scorrevole sia dei risultati finali (modelli e interpretazione archeologica) sia dei dati costitutivi, in modo tale da consentire

³²⁷ WISE, MILLER 1997; per approfondimenti sul Dublin Core® Metadata Initiative, si veda: <http://dublincore.org> (ultimo accesso 5 novembre 2015).

³²⁸ LE BOEUF ET AL. 2015; Questa organizzazione e il suo working group hanno sviluppato il Conceptual Reference Model (CIDOC-CRM), che «definisce ed è ristretto alla **semantica inerente** gli schemi dei database e le **strutture** documentali utilizzate nel campo del patrimonio culturale e della documentazione museale in termini di ontologia formale. **Non** definisce alcuna delle **terminologie** che appaiono quali dati nelle rispettive strutture dati; d'altronde prevede le relazioni caratteristiche per il loro utilizzo. **Non** ha l'obiettivo di proporre ciò che le istituzioni **debbono** documentare. Al contrario chiarisce la logica di ciò che esse in realtà documentano al momento, in modo tale da rendere possibile l'**interoperabilità semantica**».

³²⁹ L'ICCU ha ad esempio tradotto in italiano il Dublin Core® Metadata Element Set, «un insieme di metadata descrittivi finalizzati alla rappresentazione di qualunque materiale digitale accessibile via rete» (D'ANDREA 2006, p. 124), disponibile all'indirizzo: http://www.iccu.sbn.it/opencms/opencms/it/main/standard/metadata/pagina_117.html.

³³⁰ WISE, MILLER 1997.

verifiche, riconsiderazioni e nuove direttrici di ricerca. La comunicazione dei dati costitutivi del processo interpretativo archeologico è una problematica fortemente sentita dalla comunità archeologica. Il processo interpretativo archeologico - particolarmente nel caso di rivalutazione di precedenti indagini, o anche relativa ai *legacy data*³³¹ - risulta infatti spesso basato sull'analisi o la revisione di sintesi archeologiche piuttosto che di dati primari. Questo problema è stato evidenziato già trent'anni fa quando Sebastian Rahtz afferma che «[i]l punto di tante pubblicazioni è quello di disseminare l'informazione, non le opinioni. Le pubblicazioni dell'archeologia tradizionale enfatizzano l'interpretazione sostenuta dai dati - non dovremmo offrire i dati inalterati separati dalle riflessioni su di essi?»³³². Ampliando questo concetto, Paul Reilly sostiene, giustamente, che:

la semplice visualizzazione non è sufficiente, poiché i dati devono essere disponibili nella forma corretta al momento giusto. Questo implica che il processo di visualizzazione debba essere parte integrante di un più ampio ambiente che includa la raccolta, archiviazione e elaborazione dei dati.³³³

Relativamente a queste problematiche è semplicemente fondamentale l'opera di Jean-Claude Gardin, archeologo francese che più di altri a votato la sua intera carriera accademica alla ricerca di una formalizzazione del ragionamento archeologico. Nelle sue stesse parole:

Il mio interesse era lo studio dei processi mentali al lavoro nel ragionamento archeologico, nel tentativo di renderli disponibili al trattamento meccanico nella connotazione data da Turing - cioè, con o senza i computers. In altre parole, l'obiettivo non era principalmente di introdurre nuove tecnologie dell'informazione nella nostra

³³¹ Con *legacy data* si definiscono quell'insieme di informazioni memorizzate su un supporto, un formato, o un sistema computerizzato obsoleti, rendendone dunque complesso l'accesso, l'elaborazione e l'eventuale revisione.

³³² RAHTZ 1986, p. 4. Julian D. Richards (RICHARDS 2006, p. 199) sintetizza il pensiero di Rahtz affermando come le tre principali applicazioni del computer sarebbero: «(a) di divulgare i dati velocemente, (b) di offrire accesso ai dati separatamente dalle riflessioni su di essi, e (c) di offrire differenti visioni degli stessi dati a diversi lettori».

³³³ REILLY 1992, p. 104. Reilly precisa ulteriormente il concetto affermando che il «fattore decisivo per determinare il valore della visualizzazione risiede nel modo in cui essa riesce ad aiutare gli archeologi a meglio comprendere e risolvere rilevanti problemi archeologici».

disciplina, piuttosto di acquisire un maggiore controllo del ragionamento archeologico per se, attraverso qualche tipo di formalizzazione. [...] Anche operazioni semplici sollevavano problemi epistemologici e metodologici di qualche portata: su quale base selezioniamo caratteristiche peculiari da utilizzare come potenziali criteri di selezione tra tanti che decidiamo di ignorare? Sono le designazioni di tali caratteristiche inequivocabili, così che un differente osservatore, nel descrivere gli stessi manufatti o monumenti, arriverà alle stesse rappresentazioni?³³⁴

Se le riflessioni di Gardin negli anni '50 e, in parte, '60 del XX secolo furono caratterizzate da un'analisi epistemologica della conoscenza archeologica, nel tentativo di elaborare una formalizzazione e automazione della descrizione archeologica basata sugli strumenti computazionali³³⁵, a partire dagli anni '70 dello stesso secolo l'archeologo francese focalizzò la sua attenzione su una strutturazione e formalizzazione del ragionamento archeologico³³⁶. Di questa seconda fase è fondamentale il lavoro *Archaeological Constructs: an aspect of theoretical archaeology*, ove l'autore propone la sua «tesi personale relativa a un solo aspetto della scienza archeologica»³³⁷. Basandosi su un approccio logicista³³⁸ al ragionamento archeologico, prendendo le pubblicazioni disciplinari come campo d'analisi privilegiata, egli suggerisce l'esistenza di due tipi di

³³⁴ GARDIN 1989, p. 7, citato in DALLAS 2015b, p. 4; Si veda anche GARDIN 1980, 2002; Cfr. MOSCATI 2013.

³³⁵ Si veda ad esempio GARDIN 1958.

³³⁶ GARDIN 1989, p. 13, citato in DALLAS 2015b, p. 7; Gardin descrive così questo passaggio, «[l]a nostra posizione nei primi anni '70 era una sorta di scetticismo costruttivo rispetto ai nuovi approcci sostenuti nelle scienze umane per 'avere un senso', letteralmente, degli oggetti, eventi, testi, o comportamenti di qualunque tipo [...] Quello che abbiamo messo in discussione, in breve, era la cosiddetta strategia euristica che sottintende tutti questi approcci - ad es. l'assunto, esplicito o implicito, che l'utilizzo di una metodologia 'formale', scientifica o altrimenti stabilita sarebbe stata in grado di migliorare il nostro modo di dare senso a tutto ciò che è umano». Commentando l'opera di Jean Claude Gardin, l'archeologo greco Costis Dallas aggiunge che «Questo fatto ebbe un'implicazione notevole: spostare l'attenzione dal dominio dei dati al dominio dell'interpretazione e dall'analisi descrittiva all'analisi del ragionamento archeologico. Questo variazione d'enfasi non è esclusiva di Gardin ma fa eco alle preoccupazioni epistemologiche condivise con le mosse post-processuali verso la riflessività, contestualità e l'interpretazione (Hodder 1987; Hodder and Hutson 2003)».

³³⁷ GARDIN 1980, p. 10.

³³⁸ GARDIN 1980, p. 16; «l'obiettivo dell'analisi logicista è di esprimere nella forma di una catena di operazioni esplicitamente definita i ragionamenti che sostengono le costruzioni archeologiche», ove con il termine costruzione l'autore intende «qualunque testo scritto presentato come un'unità distinta nella letteratura archeologica - articolo, libro, lezione etc, con allegate illustrazioni - al fine di presentare i risultati di una prospezione o di uno scavo, i contenuti di una collezione, l'interpretazione di un monumento o gruppo di monumenti, o gli insegnamenti che possono essere acquisiti da qualunque di questi dati rispetto alla storia e stili di vita degli uomini antichi» (enfasi nell'originale).

costruzioni (*Constructs* - C); la compilazione (Cc)³³⁹ e la spiegazione (Ce)³⁴⁰. Secondo Gardin è attraverso un ripensamento delle forme in cui la conoscenza archeologica e le costruzioni compilative o esplicative vengono prodotte e comunicate che può in definitiva prodursi un'effettivo accrescimento delle potenzialità interpretative del processo archeologico. È attraverso una maggiore riflessività, multi-vocalità e rappresentazione formale del ragionamento archeologico che la natura stessa del processo archeologico è potenziata e consolidata, favorendo quei processi di trasferimento della conoscenza che sono alla base di una proficua spirale ermeneutica archeologica come definita da Ian Hodder. Come giustamente sottolineato da Costis Dallas, l'obiettivo di una analisi logicista è quello di «promuovere un modello avanzato di presentazione di un'argomento archeologico sostenendo la manipolazione diretta e la sintesi dei dati, l'integrazione di visualizzazioni e modelli spaziali, tipologici e cronologici, e la presentazione formale degli “argomenti presentati nelle pubblicazioni [...] rafforzati da una visualizzazione ‘diretta’ dei dati depositati negli archivi, e sottoposti ad un maggior grado di peer review”»³⁴¹.

Come abbiamo cercato di sottolineare, le problematiche relative alla codificazione e standardizzazione dell'informazione - del dato - in ambiente informatico e la formalizzazione del processo archeologico nello stesso ambito è di estrema importanza particolarmente dal momento in cui i dati prodotti durante una qualsiasi attività di ricerca e, con particolare enfasi, nelle attività di scavo archeologico sono il risultato dell'attività distruttiva dell'evidenza archeologica “originale”. Questo fatto risulta ancora più importante dal momento in cui nella maggior parte dei cantieri archeologici - siano essi terrestri, subacquei, universitari o di archeologia preventiva - la documentazione prodotta nasce digitale (*digitally-born*) andando dunque in contro a tutte le problematiche che si è cercato di evidenziare in questo paragrafo.

³³⁹ GARDIN 1980, p. 26; «una compilazione (simbolo Cc) è un insieme di proposizioni, interrelate in vari modi, che descrivono i resti materiali che sono stati messi insieme in un tutto sistematico così da facilitare lo studio dei popoli antichi» (enfasi nell'originale).

³⁴⁰ GARDIN 1980, p. 27; «una spiegazione archeologica rappresenta un ordinato insieme di proposizioni destinato ad offrire una ricostruzione di eventi o stili di vita passati connessi a particolari individui o gruppi, sulla base delle proprietà esibite da un dato corpo di resti materiali, insieme ad altre possibili informazioni» (enfasi nell'originale).

³⁴¹ DALLAS 2015a, p. 182.

All'interno del «villaggio globale»³⁴², prodotto delle tecnologie elettriche che hanno sostituito le tecnologie tipografiche e meccaniche, e il continuum digitale³⁴³ risultato dell'avvento dei computer e delle tecnologie che a questo fanno riferimento, hanno modificato profondamente il teatro all'interno del quale il linguaggio e l'informazione vengono trasmessi, ricevuti e compresi. Risulta inoltre chiaro come la definizione e realizzazione di uno standard condiviso - sia esso tecnico, di contenuto o di metadata - è ancora lungi dall'essere stato raggiunto in ambito archeologico. Nel quadro di questa trattazione non si vuole e non si potrebbe nemmeno giungere a suggerire delle vie percorribili, sia per mancanza di competenze specifiche, sia perché la tematica esula da quella che vuol essere l'obiettivo di questa ricerca di dottorato. È parso tuttavia fondamentale, nel momento in cui si tenta l'analisi e la disamina di una tecnologia digitale e del suo valore in un processo complesso, multi-sfaccettato e discorsivo come quello archeologico, nel quale la “vita culturale”³⁴⁴ del dato e dell'informazione archeologica è fondamentale per l'ermeneutica del record archeologico, identificare quelle che sono le problematiche da tenere a mente in questo processo di produzione culturale.

³⁴² MCLUHAN 1964 [2015], tra le altre, pp. 24 e 306.

³⁴³ DALLAS 2015a.

³⁴⁴ MOLYNEAUX 1997.

3.2 L'EVOLUZIONE DELLA FOTOGRAMMETRIA: DALL'IMMAGINE SINGOLA ALLA COMPUTER VISION

Il vocabolario online della Treccani definisce la fotogrammetria con le seguenti parole:

fotogrammetria s. f. [comp. di *fotogram(ma)* e *-metria*]. – Metodo di rilevamento planimetrico e altimetrico del terreno, che impiega determinate vedute fotografiche del terreno stesso per ricavarne carte geografiche: consiste in una presa fotografica e in una «restituzione» atta a ricostruire nella sua forma generale e nei suoi particolari l'immagine del terreno fotografato. Nella *f. terrestre* la camera fotografica è posta in stazione sul terreno; nella *f. aerea* (o *aerofotogrammetria*) essa è montata su un aeromobile³⁴⁵

Una definizione ancora più pregnante è offerta dall'*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), secondo la quale la fotogrammetria rappresenta:

L'arte, la scienza e la tecnologia per ottenere informazioni affidabili sugli oggetti fisici e l'ambiente attraverso processi di registrazione, misurazione e interpretazione delle immagini fotografiche e dei modelli di energia di radiazione elettromagnetica o di altri fenomeni³⁴⁶

L'origine e lo sviluppo della fotogrammetria sono fortemente legati ai progressi della fotografia, della geometria descrittiva e degli studi sull'ottica. A questi sviluppi tecnici relativi allo “strumento” fotogrammetria, si legano gli aspetti che hanno caratterizzato l'impiego della fotogrammetria a partire dalla metà del secolo XIX fino ai giorni nostri. Sviluppi nel campo dell'aviazione, della *computer science* e nell'ultimo decennio nella *computer vision* hanno rappresentato, come vedremo, altrettanti momenti di progresso per la tecnica fotogrammetrica. Per definire questo processo, si procederà con una sintetica

³⁴⁵ <http://www.treccani.it/vocabolario/fotogrammetria/>

³⁴⁶ GHOSH 2005, p. 25; REMONDINO 2012, p. 190; definisce la fotogrammetria come «l'arte di trasformare immagini in modelli 3D metrici e accurati».

storia della fotogrammetria cercando di definire i concetti chiave utili ad una migliore comprensione delle sue potenzialità e applicazioni in campo archeologico.

Fu Aristotele il primo a fare riferimento ai processi ottici della proiezione di immagini e osservò come la luce passante attraverso un foro proiettasse una immagine circolare³⁴⁷. Attorno all'anno 1000 lo studioso arabo Alhazen Ibn Al-Haitham giunse alle stesse conclusioni definendo la scatola con il termine «*camera obscura*». Negli ultimi decenni del XV secolo Leonardo da Vinci elaborò la sua teoria della prospettiva, mentre nel 1492 questi studi lo portarono a inventare, o meglio forse solo teorizzare, il concetto della Lanterna Magica. Circa mezzo secolo dopo (1525), il pittore e matematico tedesco Albrecht Dürer (1471-1528), sviluppò ulteriormente gli studi di Leonardo costruendo uno strumento meccanico che permetteva di produrre disegni in una prospettiva reale di soggetti naturali o di studio, producendo addirittura disegni stereoscopici³⁴⁸.

È in questa fase che la storia del computer intreccia la storia della fotogrammetria. Johannes Kepler, che abbiamo visto coinvolto e interessato alle scoperte di John Napier (1550-1617), fornisce all'inizio del XVII secolo una precisa definizione della stereoscopia. Napier e Blaise Pascal (1623-1662) contribuiscono a questo processo, l'uno con le tavole logaritmiche e l'altro con gli studi e la definizione di metrologia mentre entrambi, ma autonomamente, producono un primo strumento automatico per i calcoli algebrici³⁴⁹. Nella seconda metà del XVII secolo gli studi di Isaac Newton (1642-1727) e Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) forniscono la basi teoriche e pratiche per i calcoli integrali e differenziali, mentre nel 1759 il filosofo e matematico svizzero Johan Heinrich Lambert (1728-1777) nel trattato *Perspectiva Liber*, teorizza i principi matematici della prospettiva e delle proiezioni cartografiche utilizzando la prospettiva centrale inversa e la resezione spaziale³⁵⁰.

³⁴⁷ GHOSH 1992 e 2005, p. 30.

³⁴⁸ GHOSH 1992.

³⁴⁹ GHOSH 1992 e 2005, p. 30; BALBI, MAGAUDDA 2014, pp. 18-19; GOLDSTINE 1977, p. 339; WILLIAMS 1990, pp. 35 - 39.

³⁵⁰ GHOSH 1992; KONECNY 2003, p. 140 ss; RUSSO, GUIDI, REMONDINO 2011, p. 186. La resezione spaziale rappresenta quel processo grazie al quale la posizione e l'orientamento della presa fotografica è determinata attraverso misurazioni fotogrammetriche sulle immagini di punti di controllo presenti nelle immagini fotografiche.

Nel 1838 invece Sir Charles Wheatstone (1802-1875) pubblica un'articolo sui rendiconti della *Royal Society* nel quale presenta le sue riflessioni sulla visione binoculare, mentre nello stesso anno presenta la prima versione dello stereoscopio, strumento fondamentale per la fotogrammetria³⁵¹. Fu naturalmente l'invenzione della fotografia, con la prima fotografia scattata da Joseph Nicephore Niépce (1765-1833) ad aprire la strada allo sviluppo della fotogrammetria. Il processo eliografico necessario a Niépce per sviluppare la sua fotografia non rendeva certo facile il suo utilizzo³⁵², ragione per cui su suggerimento dello stesso Niépce, Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) lavorò al perfezionamento dell'invenzione presentando nel 1837 il *dagherrotipo*, o *dagherrotipia*, un processo di sviluppo di immagini fotografiche, davanti all'*Accadémie des Sciences* e all'*Accadémie des Beaux Arts* francesi. Nel 1855 Otto Kersten coniò il nome di fotogrammetria³⁵³, e alcuni anni dopo l'ingegnere civile Albrecht Meydenbauer (1834-1921) ebbe l'idea di utilizzare la fotogrammetria nella documentazione del patrimonio culturale architettonico.

La figura di Meydenbauer è fondamentale nella storia della fotogrammetria e ancora di più per la sua applicazione al patrimonio culturale. Come spesso la storia testimonia, le invenzioni o intuizioni sono talvolta legate ad eventi accidentali, come nel caso di Meydenbauer. Conclusi i suoi studi a Berlino, l'ingegnere civile tedesco divenne rilevatore di edifici per il governo Prussiano, e durante i lavori di rilievo della cattedrale di Wetzlar, nel settembre 1858, Meydenbauer rischiò di cadere dalla navata laterale della cattedrale. Fu proprio questo incidente che lo portò a riflettere sulla possibilità di sostituire il rilievo diretto (rischioso) con un rilievo indiretto (strumentale) attraverso le immagini fotografiche³⁵⁴, cosicché il resto della sua vita fu votato alla sperimentazione di tecniche e di strumenti per il rilievo fotogrammetrico. Durante la seconda metà del XIX secolo egli produsse una serie di macchine fotografiche progettate specificatamente per l'uso fotogrammetrico, contribuì a istituire e diresse il *Königlich Preußische Meßbildanstalt* (Reale Istituto Prussiano per la Fotogrammetria), ma non riuscì mai a veder realizzato il suo sogno più grande. Un limitato supporto e la situazione politica contingente non

³⁵¹ GHOSH 1992 e 2005, p. 30.

³⁵² La prima fotografia di Niépce necessitò di un tempo di esposizione di otto ore.

³⁵³ GRIMM 1980.

³⁵⁴ ALBERTZ 2001, p. 19.

permisero a Meydenbauer di veder realizzato il sogno di un archivio fotografico/fotogrammetrico per l'intero patrimonio monumentale e architettonico germanico che egli prevedeva di poter realizzare in 10-15 anni di impegno assiduo. Meydenbauer era un uomo dal carattere visionario come è testimoniato dall'attenzione che egli ha posto verso il patrimonio architettonico e verso la necessità di creare un archivio fotografico dei monumenti più importanti, affinché questi potessero essere (virtualmente) preservati e, eventualmente ricostruiti, in caso di distruzione. Nonostante lo smacco subito con il rifiuto del governo prussiano di appoggiare il suo progetto visionario, a Meydenbauer va comunque accordato il riconoscimento di essere stato il primo a intuire le potenzialità del rilievo fotogrammetrico come strumento accurato di rilievo utile, tra le altre cose, alla preservazione del patrimonio culturale. All'architetto prussiano seguirono numerose altre figure rilevanti per lo sviluppo della fotogrammetria. Tra questi, uno dei massimi esperti mondiali di fotogrammetria, Gottfried Konecny propone una suddivisione dello sviluppo della fotogrammetria in quattro periodi piuttosto distinti³⁵⁵:

1. *Single Image Photogrammetry* o anche *Plane Table Photogrammetry* (Fotogrammetria a Immagine Singola): anni 1850 - 1900
2. *Analogue Stereo Photogrammetry* (Fotogrammetria Stereo Analogica): anni 1900 - 1950
3. *Analytical Photogrammetry* (Fotogrammetria Analitica): anni 1950 - 2000
4. *Digital Photogrammetry* (Fotogrammetria Digitale): anni 2000 - oggi

Se durante la prima metà del XX secolo la valenza e accuratezza della fotogrammetria fu messa più volte in dubbio, è nel secondo dopoguerra che questa tecnica trova ampia fortuna, con lo sviluppo della fotogrammetria analitica e le sue prime applicazioni in ambito archeologico³⁵⁶. Le direttrici di questa crescita furono legate al progresso della scienza aeronautica e all'evoluzione degli aeromobili, come pure allo sviluppo dei computer. Inizialmente la restituzione fotogrammetrica avveniva sulla base di una singola

³⁵⁵ KONECNY 2003; Cfr. REDWEIK 2013, p. 133.

³⁵⁶ In effetti il primo utilizzo documentato della fotogrammetria su un sito archeologico risale al 1887 nel sito di Persepolis (Carbonell 1968 citato in FUSSELL 1982), ma è nella seconda metà del XX secolo che le tecniche fotogrammetriche diventano di più comune impiego nelle ricerche archeologiche.

immagine (fotogrammetria a immagine singola) che, attraverso un processo di rettificazione e restituzione tridimensionale permetteva la misurazione delle coordinate sulle immagini³⁵⁷. Questa tecnica aveva naturalmente i suoi limiti, l'elaborazione di una singola immagine permetteva di utilizzare tale metodo solo per superfici piane e per aree limitate (visualizzabili in una sola fotografia) e creava una semplice restituzione bidimensionale. Inoltre, a causa della mancanza di strumenti computazionali la fase di acquisizione dell'immagine e la sua restituzione venivano eseguite graficamente a mano da un operatore con enorme dispendio di tempo e *know-how* cosicché, ad eccezione di alcuni esperimenti con palloni aerostatici nella seconda metà del 1800³⁵⁸, le sue applicazioni si limitarono al livello del terreno.

All'inizio del 1900, lo sviluppo del principio di misurazione stereoscopica, esaminato indipendentemente da Carl Pulfrich e Henry G. Fourcade, permise l'automazione del processo di misurazione delle dimensioni spaziali da stereofotografie (fotogrammetria stereo analogica) attraverso l'uso di *floating marks* speculari nel 1892 dal fotografo e stenografo tedesco Franz Stolze³⁵⁹. Tale automazione fu resa possibile dallo stereocomparatore inventato dal gruppo di ricerca tedesco - presso l'azienda di ottica di precisione fondata a metà 1800 da Carl Zeiss - con a capo Ernst Abbe e del quale faceva parte anche Pulfrich³⁶⁰. Nella fotogrammetria analogica una serie di componenti ottici, meccanici ed elettronici permettevano la restituzione delle geometrie della scena presente nelle immagini. In questo quadro alquanto dinamico, i primi decenni del XX secolo testimoniarono un incremento nell'utilizzo della fotogrammetria, soprattutto per il rilievo geodetico, comprese alcune sperimentazioni con palloni aerostatici o dirigibili come lo Zeppelin³⁶¹. Lo sviluppo di principi matematici e di strumenti sempre più sofisticati per la sua applicazione tecnica e il perfezionamento dell'invenzione dei fratelli Wright portò all'ampliamento d'utilizzo della tecnica fotogrammetrica; nel 1915, Otto Messter

³⁵⁷ Per le questioni prettamente tecniche si rimanda alle numerose pubblicazioni in materia quali, ad esempio, KONECNY 2003; GHOSH 2005.

³⁵⁸ GRUNER 1977.

³⁵⁹ GHOSH 1992, p. 320; GHOSH 2005; KONECNY 2003, p. 108;

³⁶⁰ GHOSH 1992, p. 320; GHOSH 2005, pp. 47-52; KONECNY 2003, p. 108; lo stereocomparatore funziona attraverso l'analisi di due immagini stereoscopiche grazie a due marche di riferimento «dai cui movimenti si ricavano, mediante giochi di viti micrometriche e meccanismi vari, distanze e quote relative dei diversi punti del terreno» (Enciclopedia Treccani: <http://www.treccani.it/enciclopedia/stereofotogrammetria/>)

³⁶¹ GHOSH 1992.

sviluppo una macchina fotografica per le proiezioni aeree, mentre Sebastian Finsterwalder all'inizio del secolo (1903) sviluppo un metodo di calcolo matematico per la restituzione di due immagini prese da palloni aerostatici³⁶².

Questo intensificarsi d'interesse verso la fotogrammetria ebbe tuttavia un brusco stop durante la Prima Guerra Mondiale per poi riprendere vigore nel periodo tra le grandi guerre e particolarmente durante il secondo conflitto mondiale per motivi militari³⁶³. A differenza della fotogrammetria analogica, dove l'apporto umano era fondamentale e richiedeva tempi di restituzione molto lunghi, la fase analitica (fotogrammetria analitica), grazie alla comparsa dei computer, favorì da una parte la parziale automazione del processo di restituzione (e tempi relativamente più brevi) e dall'altra una maggiore accuratezza e affidabilità del processo, grazie all'uso del cosiddetto *least square adjustment*³⁶⁴. Al contrario della fotogrammetria analogica, nella fotogrammetria analitica la restituzione è affidata ad una modellazione matematica rigorosa basata sulla potenza di calcolo del computer. In questo quadro, l'ulteriore evoluzione degli aeromobili, il perfezionamento delle problematiche matematiche legate all'orientamento delle immagini (*bundle adjustment*)³⁶⁵, la possibilità di gestire digitalmente le coordinate permisero lo sviluppo di strumenti più veloci e performanti, i *plotter*³⁶⁶. Inoltre, la Seconda Guerra Mondiale e la necessità di mappare continuamente e precisamente i teatri di guerra portarono all'applicazione della fotogrammetria da parte delle nazioni coinvolte nel conflitto, partecipando all'aumento di reputazione delle tecniche fotogrammetriche.

L'ultima fase analizzata da Konecny, quella della fotogrammetria digitale, fu invece favorita dalla comparsa delle macchine fotografiche digitali e dallo sviluppo di computer

³⁶² KONECNY 2003, p. 109.

³⁶³ GHOSH 1992, pp. 312-313; GHOSH 2005.

³⁶⁴ KONECNY 2003; GHOSH 1992; GHOSH 2005. Il *least square adjustment* rappresenta un modello per la soluzione di sistema di equazioni attraverso il metodo dei minimi quadrati. In definitiva, uno strumento per trattare in maniera efficiente i problemi dei network spaziali e della conversione del loro sistema di coordinate.

³⁶⁵ TRIGGS ET AL. 2000; ENGELS ET AL. 2006; PIERROT DESEILLIGNY, CLERY 2011. Il *bundle adjustment* è un algoritmo matematico che consente partendo da una serie di immagini, e dai punti coincidenti nelle stesse di definire simultaneamente le coordinate tridimensionali (la geometria), i parametri dell'immagine (posizione di scatto e calibrazione). La ricostruzione è incrementale, cioè procede per poche immagini alla volta, arrivando alla ricostruzione dell'intera scena ripresa dalle immagini fotografiche.

³⁶⁶ GHOSH 1992; KONECNY 2003. Una spiegazione, comprensibile anche ai non-specialisti, dei metodi e delle tecniche per la restituzione fotogrammetrica in ambiente archeologico può trovarsi in GREEN 2004, pp. 165-204.

più potenti e facilmente gestibili negli anni '80 del secolo scorso, con la presentazione delle prime workstation fotogrammetriche digitali al Congresso dell'*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* nel 1988 a Kyoto³⁶⁷. L'acquisizione delle immagini digitali e l'utilizzo del computer per le varie fasi del processo fotogrammetrico permisero di rendere ancora più automatico il processo di restituzione fotogrammetrica³⁶⁸. Fabio Remondino definisce così, in maniera sintetica ma efficace, il processo di rilievo fotogrammetrico:

Il rilievo fotogrammetrico prevede l'acquisizione di almeno due immagini da due punti di vista diversi dell'oggetto o scena che si vuole restituire in 3 dimensioni (3D). Collimando in entrambe le immagini almeno 5 punti omologhi, è possibile risalire alla geometria di presa (proiezione centrale) della coppia di immagini e calcolare, tramite il principio della collinearità, le coordinate spaziali (3D) dei punti omologhi. La restituzione 3D a partire da immagini è sempre in grado di fornire coordinate spaziali ma è necessario conoscere una distanza nota o dei punti oggetto di coordinate note per poter scalare la restituzione e renderla metricamente corretta³⁶⁹.

Inoltre, lo stesso l'autore propone la schematica articolazione della procedura di rilievo fotogrammetrico secondo 5 fasi consequenziali:

- 1) Acquisizione immagini (*Image Acquisition/Data Capture/Data Retrieval*)
- 2) Calibrazione e orientamento immagini (*Image Calibration and Orientation*)
- 3) Generazione della geometria e editing (*Surface Generation, Editing etc.*)
- 4) Applicazione della texture, creazione di orto-foto (*Texture Mapping, Orthophoto Generation*)

³⁶⁷ KONECNY 2003, pp. 126-127.

³⁶⁸ Per una breve e comprensibile panoramica sulla fotogrammetria digitale, si veda BIANCHINI 2008, pp. 147 ss.; REMONDINO 2012; REMONDINO, EL-HAKIM 2006.

³⁶⁹ REMONDINO 2012, p. 190; Quella che viene qui definita *Computer Vision Photogrammetry* (CVP), include le tecniche definite *Structure from Motion* e *Image-Based Modeling*, per un'approfondimento si veda il § 4.1. Cfr. REMONDINO, EL-HAKIM 2006.

- 5) Visualizzazione, estrazione delle caratteristiche, inserimento dati su piattaforma GIS (*Visualization, Features Extractions, GIS Data Integration*)³⁷⁰

La continua ricerca di automatismo insieme agli straordinari progressi avvenuti negli ultimi decenni in vari campi della scienza, dalla *computer science*, alla *computer graphics*, dalla radiometria alla scienza ottica e l'incredibile sviluppo nelle performance dei *personal computer* hanno portato all'apparizione della *computer vision* (CV) ed alla sua acquisizione nel campo della fotogrammetria³⁷¹.

Nata negli anni '70, la *computer vision* doveva rappresentare una delle componenti della più ampia scienza dedicata allo sviluppo dell'intelligenza artificiale (AI). Essa doveva, attraverso l'elaborazione di una percezione visuale artificiale dei computer che potesse mimare quella umana, partecipare alla creazione di un'intelligenza artificiale che permettesse di sviluppare robot capaci di comportamenti intelligenti. Nonostante il nome alquanto altisonante e l'ambizioso obiettivo, alcune possibilità offerte dalla *computer vision* sono ormai realtà presenti nella quotidianità di ciascuno di noi. Basti pensare al riconoscimento facciale di alcuni computer portatili o di alcune fotocamere commerciali (compatte), all'*optical character recognition* (OCR) presente in molte stampanti e scanner commerciali che permette di acquisire un file di testo (in word.doc, per esempio) - dunque ulteriormente modificabile - attraverso una scansione della versione cartacea, o ancora il *motion capture* (Mocap) utilizzato in molte applicazioni dell'industria dei videogame o del cinema. In sintesi la *computer vision*, similmente a quanto fatto dalla psicologia della percezione relativamente alla percezione visiva umana³⁷², tenta ormai da quarant'anni di trovare le regole - in questo caso matematiche (algoritmi) - che permettano di replicare in maniera artificiale la visione umana attraverso un computer.

³⁷⁰ REMONDINO 2012. Poiché l'obiettivo di questo studio non è quello di analizzare gli aspetti tecnici del rilievo CVP ma, al contrario, di ragionare su quali siano le implicazioni di tali tecniche per la ricerca archeologica subacquea, le analisi tecniche contenute nel prossimo capitolo (§ 4.1) saranno circoscritte al minimo necessario alla comprensione dei processi e delle accortezze necessari per l'ottenimento di un prodotto finale ottimale. Ad ogni modo, sarà fornita sufficiente bibliografia per chi volesse approfondire specifiche tematiche.

³⁷¹ SZELISKI 2010 pp. 10-19. Per la trattazione della Computer Vision Photogrammetry (CVP), si vedano i §§ 3.4 e 4.1.

³⁷² Si veda il § 5.1.

Per agevolare il proseguo dell'esposizione, quest'ultimo sviluppo della fotogrammetria verrà definito *Computer Vision Photogrammetry (CVP)*, al fine di sottolineare come l'esercizio sia quello di coniugare l'automatismo garantito dalla *computer vision* all'accuratezza, affidabilità e ripetibilità dei risultati metrici offerti dalla fotogrammetria. Ci pare infatti che Fabio Remondino s'inganni quando afferma che la CVP faccia venir meno i principi fondamentali della precisione e accuratezza³⁷³ in termini metrici del prodotto finale. Le esperienze applicative della CVP in ambito archeologico, che esamineremo nel prossimo paragrafo, testimoniano come con le dovute accortezze i principi fondamentali siano mantenuti e rispettati. Se, nel caso della fotogrammetria tradizionale queste fasi erano spesso lunghe e richiedenti in termini di tempo, alcune delle stesse fasi risultano, come abbiamo visto, automatizzate nella CVP. Questa automazione o piuttosto semi-automazione - particolarmente in alcuni applicativi - permette all'utente, più o meno esperto, di seguire alcuni dei processi e di intervenire se e ove necessario.

³⁷³ REMONDINO 2012, p. 192; REMONDINO, EL-HAKIM 2006.

3.3 LE APPLICAZIONI FOTOGRAMMETRICHE IN ARCHEOLOGIA SUBACQUEA: DALLE ORIGINI ALLA COMPUTER VISION PHOTOGRAMMETRY (CVP)

Albrecht Meydenbauer aveva intuito già nella metà del XIX secolo le potenzialità del rilievo fotogrammetrico di monumenti architettonici al fine di una loro catalogazione e come base per la tutela del patrimonio culturale. Al contrario, durante la prima metà del XX secolo la fotogrammetria venne principalmente utilizzata in campo geodetico e per problematiche di carattere civile e militare. Fu in seguito alla seconda guerra mondiale, all'attenzione e al "grido di protesta" che seguì le distruzioni causate dal conflitto e alla generale vivacità scientifica che accompagnò il positivismo e il boom economico del dopoguerra, come abbiamo visto accadere anche per lo sviluppo del computer e dell'informatica archeologica, che la fotogrammetria acquisì un ruolo rilevante in ambito archeologico.

In un primo momento le applicazioni fotogrammetriche hanno tuttavia avuto un particolare successo nell'ambito delle ricerche territoriali e architettoniche³⁷⁴. Al contrario, gli ultimi decenni e gli sviluppi di cui si è detto hanno facilitato l'ingresso delle tecniche fotogrammetriche - e particolarmente della *Computer Vision Photogrammetry* (CVP)³⁷⁵ - in ambito archeologico e archeologico subacqueo³⁷⁶. Quanto segue è un resoconto sintetico di queste esperienze portate avanti dal secondo dopoguerra ad oggi, nel tentativo di evidenziare le potenzialità e le problematiche insite nell'applicazione di tali tecniche per il rilievo speditivo e metricamente accurato del patrimonio culturale sommerso.

La fotogrammetria ha da sempre trovato estimatori in vari settori dell'ampio campo legato al patrimonio culturale, con particolare successo nei campi dell'archeologia

³⁷⁴ Si veda quanto detto nel § 3.2.

³⁷⁵ Una serie di discussioni informali tra l'autore della presente tesi, Kotaro Yamafune, Thomas Van Damme, Massimiliano Ditta, Kevin Edwards, Bruno Parés e Rodrigo De Oliveira Torres - i quali lavorano con diversi specifici interessi nel campo della fotogrammetria applicata all'ambito archeologico subacqueo - ha portato all'idea di utilizzare un termine comune con il quale riferirsi alle tecniche utilizzate per il rilievo fotogrammetrico in ambiente acquatico. Si è optato per *Computer Vision Photogrammetry* (CVP), per descrivere il processo che deve le basi e i concetti matematici all'ambito fotogrammetrico ma si distingue da questa per una certa automazione garantita dall'utilizzo degli algoritmi della *Computer Vision*.

³⁷⁶ L'invenzione e il successo avuto dai droni e l'accessibilità dei software basati sulla CVP ha favorito l'utilizzo della fotografia aerea per la modellazione tridimensionale di ampie aree. Permettendo in questo senso il rilievo spedito di aree archeologiche e di territori anche ampi.

dell'architettura e della conservazione del patrimonio monumentale³⁷⁷, nell'archeologia preistorica (arte rupestre, analisi manufatti), nelle ricerche topografiche e, infine, anche in archeologia subacquea. Questo paragrafo focalizzerà la sua analisi sulle esperienze nel campo dell'archeologia subacquea tentando di fornire un quadro delle problematiche e dei risultati ottenuti dalle esperienze passate.

L'utilizzo di queste tecniche in archeologia subacquea è alquanto precoce, in pratica coincidente con l'origine stessa della sub-disciplina. L'invenzione dell'ARA nel 1943, come abbiamo visto, diede ufficialmente i natali all'archeologia subacquea. D'altro canto, la difficoltà di lavorare in un ambiente ostile e la necessità di mantenere standard archeologici equivalenti a quelli dell'archeologia terrestre, portò i pionieri della disciplina a cercare di adattare le metodologie di scavo e rilievo terrestri all'ambiente acquatico. L'utilizzo di sorbone ad acqua e ad aria da parte di Nino Lamboglia e George F. Bass e la quadrettatura subacquea utilizzata sempre da Lamboglia a Spargi, rientrano in queste sperimentazioni di metodo dei primi anni dell'archeologia subacquea³⁷⁸. Altrettanto precocemente venne riconosciuta l'importanza della fotografia e delle tecniche stereofotogrammetriche per rendere il più possibile produttivo il limitato tempo a disposizione dell'archeologo per lavorare in immersione³⁷⁹.

Alcuni iniziali tentativi di mappatura fotogrammetrica (foto-mosaico, immagine singola) vennero portati avanti dal team del museo della *University of Pennsylvania* guidato da George F. Bass, nel 1963, sul relitto bizantino del VII secolo d.C. rinvenuto a 10-15 metri di profondità al largo di Yassi Ada (*Yassi Ada I*), una piccola isola tra la costa turca e l'isola greca di Pserimos³⁸⁰. L'applicazione di tali tecniche richiedeva l'acquisizione di immagini sulla zenitale della scena da restituire graficamente, attraverso l'utilizzo di una fotocamera posizionata a distanza fissa. Questo aspetto poneva non pochi problemi di realizzazione in ambiente sommerso. È chiara infatti la difficoltà per un

³⁷⁷ SCOLLAR 1978; FUSSELL 1982.

³⁷⁸ Si veda BASS 1966 [1974]; GIANFROTTA, POMEY 1981; VOLPE 1998; GREEN 2004; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007; BELTRAME 2012.

³⁷⁹ BASS 1966 [1974]; BASS ET AL. 1967, p. 26 dove l'autore afferma che «l'importanza della fotografia in uno scavo subacqueo non può essere enfatizzata abbastanza [...]. L'archeologo a terra può ispezionare il suo sito quando vuole, mentre le limitazioni imposte dai problemi decompressivi lo rendono impossibile in uno scavo subacqueo».

³⁸⁰ BASS 1966 [1974], pp. 108-111.

subacqueo in immersione di mantenere costante, sia la sua posizione in assetto neutro sia dunque la distanza tra la fotocamera e il sito da rilevare. Altre problematiche connesse al rilievo con foto-mosaico furono rappresentate dalla solitamente scarsa visibilità e dalla rifrazione del medium acquatico³⁸¹.

Per sopperire a queste problematiche il team guidato da George F. Bass concepì alcuni espedienti tra i quali una griglia metallica fissa di 6x2 metri fissata sul fondale e livellata poco sopra il relitto; in aggiunta, vennero costruite due torri in metallo leggero di 4 metri d'altezza da posizionare sulla griglia metallica, sul cui apice era posizionata la fotocamera che risultava dunque sulla zenitale del sito da rilevare. Per quanto le foto fossero di ottima qualità risultarono praticamente inutilizzabili per una mappatura accurata poiché solo gli oggetti rappresentati nel centro dell'immagine mantenevano una reale relazione spaziale con la griglia di riferimento e la differenza di quota degli oggetti posizionati sul fondale necessitavano, per il loro tracciamento, di intensi calcoli e di lunghe procedure di restituzione. Lo stesso anno venne testata la mappatura con stereo-fotogrammi, con le camere fotografiche montate sul primo sommergibile costruito per l'archeologia subacquea, l'*Asherah*³⁸².

Come abbiamo visto in precedenza, questi erano gli anni di sviluppo della fotogrammetria analitica tramite stereo-foto. Le problematiche legate ai lunghi e articolati processi di restituzione fotogrammetrica, all'utilizzo di strumenti esperti e costosi, e alle specifiche conoscenze tecniche necessarie per il loro impiego, ne ostacolò il pieno utilizzo da parte dell'archeologia subacquea. Da una parte infatti si riconosceva il valore di queste tecniche di rilievo speditivo in un ambiente e in una pratica nei quali il tempo è, letteralmente, denaro, mentre dall'altra i costi esorbitanti - per il comune budget di un cantiere archeologico - e i tempi e le competenze necessarie per la fase di restituzione

³⁸¹ GREEN 2004, pp. 168 ss; la variazione della verticalità nella presa fotografica, definita *tilting* o *tipping* (inclinazione, angolatura) - ossia una rotazione attorno all'asse ottico -, provoca una non tracciabile distorsione delle immagini che preclude la loro perfetta connessione nel foto-mosaico. La scarsa visibilità è invece dovuta alle particelle in sospensione (sedimenti e plankton), mentre la rifrazione, o indice di rifrazione, rappresenta la grandezza adimensionale che quantifica la diminuzione di propagazione della radiazione elettromagnetica (ad es. luce) a seguito del cambiamento di mezzo attraversato. L'esempio classico è la visione distorta (rifrazione) che si ha della porzione sommersa di un oggetto parzialmente immerso in acqua.

³⁸² BASS 1966 [1974], pp. 112-118; BASS, ROSENCRANTZ 1977; i test stereo-fotogrammetrici, sviluppati sul sito del relitto *Yassi Ada II* (IV secolo d.C.), facevano in effetti parte di un più ampio progetto portato avanti dal team della *University of Pennsylvania* per verificare la possibilità di rilevare con la stereofotogrammetria i siti archeologici sommersi attraverso l'utilizzo di sommergibili come l'*Asherah*.

faceva pendere l'ago della bilancia in negativo. Nonostante la stereo-fotogrammetria analitica non divenne mai uno strumento convenzionale nel rilievo dei siti sommersi, le sperimentazioni sul campo continuarono.

Alla luce dei primi test portati avanti da George F. Bass nel Mediterraneo orientale e alla scoperta di relitti antichi in queste acque portò, attorno agli anni '70 del XX secolo, un team del *Research Laboratory for Archaeology and the History of Art* della *Oxford University* guidato da Jeremy Green a produrre una serie di prospezioni strumentali e tramite subacquei mirate a localizzare relitti profondi al largo della costa nord-orientale di Cipro (*Cape Andreas Expedition*). Durante la prima campagna nel 1969 vennero identificati un relitto profondo e una grande dispersione di materiale archeologico; la spedizione del 1969 «indicò come l'unica possibile via per rilevare l'enorme quantità di materiale [archeologico] localizzato fosse tramite tecniche fotogrammetriche»³⁸³. A questo scopo, il team della *Oxford University* intraprese una serie di sperimentazioni fotogrammetriche durante la campagna del 1970; vennero testati il rilievo con foto-mosaico, la fotogrammetria di manufatti, la foto-triangolazione e la fotogrammetria per ampie aree³⁸⁴. Si rimanda alla pubblicazione per una approfondita descrizione delle procedure adottate per le varie tecniche e nelle varie fasi del rilievo. Quello che interessa evidenziare in questa sede sono alcune conclusioni proposte dagli autori. Essi infatti suggeriscono come la fotogrammetria abbia due applicazioni principali: la fotogrammetria tridimensionale ad alta precisione per la mappatura accurata dello scavo e la fotogrammetria piana (foto-mosaico) di media precisione per operazioni di rilievo. Da una parte, la possibilità di processare i dati a tavolino permette di diminuire anche sensibilmente i tempi di lavoro in immersione - con i vantaggi economici e di sicurezza che ne conseguono -, d'altra parte, questo fatto non dispensa il ricercatore dall'istituire un sistema di controllo che potrebbe, al contrario, richiedere tempi di messa in opera relativamente lunghi³⁸⁵.

³⁸³ GREEN 1971; GREEN ET AL. 1971; GREEN 2004.

³⁸⁴ GREEN ET AL. 1971, pp. 222 ss.

³⁸⁵ Il sistema di controllo è composto da una serie di punti di riferimento noti visualizzati nelle immagini al fine di permettere il raddrizzamento, l'orientamento e il dimensionamento dei fotogrammi e la restituzione fotogrammetrica. Cfr. GREEN ET AL. 1971, p. 223; GREEN 2004, pp. 170-177; l'importanza del sistema di controllo e il vantaggio di poter processare i dati a tavolino sarà evidenziato nel Capitolo 4.

In questo processo di sperimentazione delle tecniche fotogrammetriche in archeologia subacquea un ruolo di primo piano va accordato alla Francia. Fin dal 1973 fu infatti stabilita una *liaison* tra i gruppi di ricerca in *computer science* e in archeologia del *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) di Marsiglia, ed una stretta collaborazione tra questi e il *Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines* (DRASSM) del Ministero della Cultura francese, che ha reso la Francia uno degli attori principali nello sviluppo e sperimentazione delle tecniche fotogrammetriche in ambiente acquatico. La scoperta del famoso relitto de *La Madrague de Giens* presso l'omonima penisola, nel 1967, da parte dei sommozzatori della *École de plongée* della *Marine Nationale* francese, venne seguita da una serie di campagne di scavo tra il 1972 e il 1981. Il relitto risultò trasportare un carico di migliaia di anfore vinarie provenienti da Terracina (Italia), di ceramica campana e comune³⁸⁶. Il relitto venne completamente rilevato tramite stereo-fotogrammetria con alcuni espedienti simili a quelli sperimentati dal team di George F. Bass a Yassi Ada; venne infatti costruito un telaio metallico fissato al fondale e tenuto in trazione tramite palloni idrostatici di sollevamento.

La conformazione delle coste meridionali della Francia, particolarmente nel dipartimento del Var, con coste frastagliate e numerose isole e isolotti, ha da sempre rappresentato un luogo rischioso per la navigazione come testimoniano i numerosi relitti rinvenuti in queste acque. Tra questi una serie di relitti presso l'isolotto del Grand Ribaud, nel passaggio tra l'isola di Porquerolles e la penisola di Giens. In particolare, nel 1978, al largo della punta nord-ovest dell'isolotto venne scoperto a 19 metri di profondità il relitto denominato *Grand Ribaud D*. Nelle parole degli stessi archeologi che avevano partecipato allo scavo del relitto de *La Madrague de Giens*, il rilievo stereo-fotogrammetrico utilizzato a Giens aveva evidenziato la «difficoltà di raccordo delle quote e delle planimetrie parziali in una completa planimetria generale»³⁸⁷. Fu questa consapevolezza e alcune circostanze favorevoli a suggerire la pianificazione di un test

³⁸⁶ TCHERNIA ET AL. 1978; POMEY 1982; TCHERNIA 1989; FELICI 2012.

³⁸⁷ HESNARD ET AL. 1988, pp. 157-164. Gli autori esplicitano gli obiettivi dell'esercizio in questi termini: i) «mettere a punto una tecnica di rilievo topografico e degli elevati che assicuri i raccordi planimetrici e altimetrici con una precisione soddisfacente»; ii) «le operazioni sul campo dovranno rispondere ai vincoli dell'ambiente sottomarino, il che significa che dovranno essere semplici e rapide»; iii) «realizzare una copertura fotogrammetrica con una tecnica che permetta di coprire una vasta area e che sia sufficientemente precisa da poter eseguire sui documenti studi che richiedono alta precisione altimetrica»; iv) «infine calcolare gli errori di precisione del rilievo ottenuto».

fotogrammetrico sul relitto del *Grand Ribaud D*, rilievo che ebbe luogo nelle campagne di scavo delle estati del 1983 e del 1984.

A ulteriore riprova del fatto che l'utilizzo della tecnologia e l'applicazione in ambiente acquatico non devia dai criteri applicati con metodi tradizionali o in ambito terrestre, come abbiamo visto nell'esempio di *Cape Andreas*, l'esperienza francese sul relitto del *Grand Ribaud D* mosse, similmente a quanto avviene a terra, dall'impostazione di una maglia di punti saldi planimetrici e altimetrici. La creazione di questa base topografica composta da una serie di punti di riferimento posizionati attorno al sito, con uno di essi utilizzato come riferimento altimetrico (ossia lo «zero assoluto») e le cui distanze reciproche furono rilevate attraverso una serie di trilaterazioni, permise di posizionare ogni zona del sito relativamente ai punti di riferimento. Alla creazione della base topografica fece dunque seguito la preparazione del sito per la presa fotografica o, meglio, stereo-fotogrammetrica, con il posizionamento di ulteriori punti di riferimento interni alla base topografica utili al foto raddrizzamento ed alla restituzione fotogrammetrica³⁸⁸. Il successo dell'esperimento francese, con un'errore planimetrico tra i punti di riferimento massimo di ± 2 cm e medio di $\pm 1,2$ cm, un tempo complessivo di impostazione del sistema topografico di circa tre ore di immersione per due operatori subacquei e un tempo di presa fotografica di un'ora d'immersione, testimonia come la stereo-fotogrammetria analitica sia effettivamente uno strumento valevole ma probabilmente troppo dispendioso per le moderne tempistiche di cantiere³⁸⁹.

Durante gli anni '70 del XX secolo ulteriori sperimentazioni con la fotogrammetria analitica (foto-mosaico) vennero fatte sul relitto della VOC *Batavia* (1629) - una imbarcazione della Compagnia delle Indie Orientali olandese naufragata al largo delle coste dell'Australia Occidentale nel suo viaggio verso la colonia di Batavia (odierna Jakarta)³⁹⁰ - per il rilievo della quale vennero testate tecniche di foto-mosaico sia durante

³⁸⁸ Principale fase della restituzione è l'orientamento relativo delle immagini stereoscopiche tramite il rilievo di due punti omologhi nella coppia stereoscopica al fine di recuperare l'orientamento di una immagine rispetto all'altra. Cfr. HESNARD ET AL. 1988, p. 162, § 2.3.

³⁸⁹ HESNARD ET AL. 1988; va inoltre tenuto conto che il rilievo fotogrammetrico, soprattutto la fase di presa fotografica, richiede che il sito sia completamente sgombero da qualsiasi oggetto o strumento da cantiere che possa occultare il vero oggetto del rilievo, il sito e i suoi manufatti.

³⁹⁰ BAKER, GREEN 1976. Cfr. nota 122, § 2.3.2 della presente esposizione. L'esperienza sul relitto del *Batavia* rientra in quel processo sperimentale portato avanti da Jeremy Green a partire dai primi anni '70 del XX secolo, prima con l'Università di Oxford e in seguito con il *Department of Maritime Archaeology* presso il *Western Australian Museum*.

le fasi di scavo sia per i legni dello scafo una volta recuperati e depositati nel museo di Fremantle (WA)³⁹¹. Tra la fine degli anni '70 e gli anni '80 del XX secolo le tecniche fotogrammetriche vengono sperimentate in Canada, Stati Uniti, nelle acque del Mare del Nord e ancora in Australia³⁹². Un primo forte impulso all'utilizzo della fotogrammetria fu dato dallo sviluppo da parte di Alan Walford per conto della EOS Systems Inc. del programma *Photodeler* per la *close-range photogrammetry* e la *image-based modeling*, nei primi anni '90 del secolo scorso. Nel quadro delle sperimentazioni portate avanti in Australia, nel 1999 un team guidato da Jeremy Green produsse alcune sperimentazioni con una combinazione di software quali *Photodeler*, *DEMS VirtualMapper*, *Rhinoceros NURBS 3D* e *3H Consulting Site Surveyor* al fine di verificare l'accuratezza della restituzione stereo-fotogrammetrica del relitto di V secolo a.C (440-425 a.C) presso Tektas Burnu sulla costa occidentale della Turchia³⁹³. La sperimentazione venne seguita alcuni anni dopo da altri test con l'utilizzo dei software *Photodeler* e *3H Consulting Site Surveyor*, e del sistema *High Precision Acoustic Surveying System* (HPASS) - utilizzato, dopo alcuni test preliminari, per la prima volta nel 1999 sul sito del relitto dell'HMS *Pandora*³⁹⁴ - al fine di verificare, anche qui, l'efficacia e l'accuratezza delle misurazioni ottenute con la combinazione di strumenti e metodi.

³⁹¹ MCALLISTER 2015, (comunicazione personale); I *legacy data* dello scavo del VOC Batavia sono al momento oggetto d'indagine da parte dell'archeologa subacquea Madeline McAllister, dottoranda presso la University of Western Australia. «La ricerca di dottorato focalizza sulla combinazione di legacy data e nuovi dati fotografici per la creazione di visualizzazioni tridimensionali dei relitti subacquei nelle acque del Western Australia. Il progetto focalizza sull'uso di queste visualizzazioni sia dal punto di vista della ricerca archeologica che dal punto di vista della gestione del patrimonio culturale subacqueo. Ulteriore obiettivo della ricerca è di valutare le implicazioni teoriche dell'utilizzo di tali visualizzazioni nella ricerca archeologica e in che modo possano eventualmente influenzare la comprensione dei siti sommersi» (traduzione dell'autore).

³⁹² Rispettivamente BELL 1986; GARRISON 1992 riferisce di due test/simulazioni di rilievo fotogrammetrico prodotti, uno su un modello di imbarcazione in ambiente controllato e l'altro sul cumulo di pietre di zavorra del relitto dell'HMS *Looe* - una fregata britannica naufragata nel 1774 nelle acque della Florida - al fine di verificare il metodo fotogrammetrico con camera singola e prese fotografiche da tre diversi punti (fotogrammetria convergente); LEATHERDALE, TURNER 1983 enfatizzano il valore della fotogrammetria per il monitoraggio delle piattaforme petrolifere offshore, sottolineando il valore aggiunto rispetto alle osservazioni e misurazioni dirette prodotte dai sommozzatori o alle coperture fotografiche a immagini singole per l'analisi anche metrica delle installazioni; mentre FRYER 1983 riferisce dell'utilizzo della fotogrammetria per la costituzione di mappe dettagliate dei fondali in relazione a progetti di ingegneria costiera, al fine di comprendere, gestire e monitorare gli effetti degli apporti alluvionali, dei movimenti sedimentari sui fondali e del deposito prodotto da fiumi e moti ondosi; Cfr. una simile applicazione in MOORE 1976.

³⁹³ GREEN ET AL. 2002.

³⁹⁴ GREEN, DUNCAN 1999; GREEN, SOUTER 2002; come spiegano Green e Duncan, l'HPASS è un sistema di rilievo consistente di un'unità utilizzata dal subacqueo e da un massimo di sei transponder (radar a domanda e risposta). In sintesi, il sistema permette di misurare l'andata e il ritorno del segnale acustico tra unità subacqueo e unità transponder fornendo una distanza metrica.

Negli stessi anni il software della EOS Systems Inc. venne utilizzato anche da studiosi italiani sui relitti presso le Secche della Meloria (Livorno, Italia); un relitto con carico di dolia (*Meloria B*) e un relitto con carico composto da undici blocchi di marmo bianco e una base di colonna (*Meloria C*)³⁹⁵. Lo stesso sistema venne inoltre sperimentato in Grecia sul relitto di Styronisi nel golfo meridionale dell'Eubea, e su una serie di strutture sommerse al largo di Epidauro, e in Spagna sul relitto fenicio di *Mazarrón-2*³⁹⁶.

È tuttavia la fine del XX secolo a marcare una profonda rivoluzione in questo settore e l'inizio del nuovo millennio a segnare un boom delle applicazioni fotogrammetriche in ambito archeologico terrestre e subacqueo. Tale espansione è legata, come abbiamo visto nel precedente paragrafo, allo sviluppo di algoritmi per la *computer vision*³⁹⁷, con numerosissime applicazioni sul patrimonio culturale³⁹⁸, in ambito archeologico terrestre³⁹⁹, in ambito topografico⁴⁰⁰ e in altri campi attigui⁴⁰¹, con lo sviluppo dei primi applicativi specifici⁴⁰². L'automazione garantita da queste applicazioni, la relativamente minima formazione richiesta per operarle, combinati alle limitate strumentazioni necessarie per il loro utilizzo favorì l'acquisizione di tali strumenti ad un ambito di ricerca

³⁹⁵ CANCIANI ET AL. 2002, 2003.

³⁹⁶ Rispettivamente DIAMANTI ET AL. 2013; GEORGOPOULOS, AGRAFIOTIS 2012; MIÑANO DOMÍNGUEZ ET AL. 2012.

³⁹⁷ FORSYTH, PONCE 2012; SHAPIRO, STOCKMAN 2001; FURUKAWA ET AL. 2010; FURUKAWA, PONCE 2008; FURUKAWA, PONCE 2010.

³⁹⁸ Nell'ambito dello studio del patrimonio culturale le tecniche CVP sono state utilizzate nei campi più disparati. Tra gli altri, per il rilievo di mosaici AJIOKA, HORI 2014; per il rilievo di fortificazioni della Prima Guerra Mondiale NOCERINO ET AL. 2014; per lo studio e la ricostruzione tridimensionale di oggetti SAMAAN ET AL. 2013; KOUTSOUDIS ET AL. 2013; SERNA ET AL. 2015; nel campo dell'archeologia dell'architettura EL-HAKIM ET AL. 2004; SALONIA ET AL. 2009; CABRELLES 2010; ATKINSON ET AL. 2010; PAGANI ET AL. 2011; BARAZZETTI 2011; PIERROT-DESEILLIGNY, CLERY 2011; DRAP ET AL. 2012; SANTAGATI ET AL. 2013; FIORINI 2013; BARTOŠ ET AL. 2014; BOLOGNESI ET AL. 2014; GARCÍA-GAGO ET AL. 2014; GIULIANO 2014; GUIDI ET AL. 2014; KOUTSOUDIS ET AL. 2014; TOSCHI ET AL. 2014; per l'architettura sacra NEX, RINAUDO 2010; PISA ET AL. 2011; MESCHINI ET AL. 2014; OLIVEIRA ET AL. 2014; e per il rilievo dell'arte rupestre ALYILMAZ ET AL. 2010; ORTIZ SANZ ET AL. 2010; LERMA ET AL. 2014.

³⁹⁹ In ambito archeologico le tecniche CVP sono state utilizzate per il rilievo di vari aspetti e, spesso, in congiunzione con il Laser Scanner Terrestre (TLS). Tra le altre applicazioni, queste tecniche sono state utilizzate per il rilievo di sepolture DELL'UNTO ET AL. 2010; DUCKE ET AL. 2011; FIORINI ET AL. 2011; DE REU ET AL. 2013; per il rilievo dei famosi guerrieri di terracotta del primo imperatore Cinese Qin Shihuangdi (259-210 a.C) BEVAN ET AL. 2014; per il rilievo di teatri antichi, come ad esempio a Solunto (Sicilia) LO BRUTTO, MELI 2012, o come nel caso del teatro di Sagalassos (Turchia), POLLEFEYS ET AL. 2000, 2001;

⁴⁰⁰ In questo caso, si possono vedere VERHOEVEN 2011; FONSTAD ET AL. 2013; VERHOEVEN ET AL. 2012a, b; LISEIN ET AL. 2013; MOUGET, LUCET 2014.

⁴⁰¹ Si veda REMONDINO, EL-HAKIM 2006; PAVLIDIS ET AL. 2007; SNAVELY ET AL. 2008; SOTOODEH ET AL. 2008; VERHOEVEN 2009; PIERROT-DESEILLIGNY ET AL. 2011; RUSSO ET AL. 2011; REMONDINO 2012; REMONDINO ET AL. 2012, 2014.

⁴⁰² Si veda il § 4.1.

cronicamente privo di risorse finanziarie e dalle tempistiche di lavoro sempre più ristrette. Negli anni 2000 sono apparse numerose sperimentazioni di *close-range photogrammetry* basate su tecniche stereo attive e passive, su comparazioni tra dati acustici e fotogrammetrici per il rilievo di aree e oggetti sommersi, su algoritmi *Structure from Motion (SfM)* per il rilievo fotogrammetrico di ampie aree di fondale, e analisi prettamente tecniche su aspetti relativi alla calibrazione e al calcolo dell'orientamento interno di un set di immagini fotogrammetriche in ambiente acquatico⁴⁰³.

Il punto di svolta nell'utilizzo della fotogrammetria in archeologia subacquea, legata come visto allo sviluppo di algoritmi che garantivano una certa automazione dell'intero processo di restituzione, può essere identificato con il progetto europeo *Virtual Exploration of Underwater Sites (VENUS)*. Il progetto co-finanziato dalla Commissione Europea all'interno del *Sixth Framework Programme (2002-2006)*⁴⁰⁴, ha visto varie istituzioni Europee⁴⁰⁵, tra le quali università e centri di ricerca francesi, università e ministero italiani, università e ministero portoghesi, università austriache e inglesi consorziate al fine di sviluppare delle metodologie e delle applicazioni tecnologiche per l'esplorazione dei siti archeologici in alto fondale. Scopo principale del progetto VENUS è stata infatti la sperimentazione di tecniche di prospezione acustica e ottica (sonar e fotogrammetria) tramite ROV e AUV su relitti giacenti ad alta profondità, nello specifico su tre relitti: il relitto dell'isola di Pianosa al largo delle coste toscane, composto da un carico eterogeneo di anfore probabilmente testimonianza della sovrapposizione di più naufragi; due relitti lungo le coste portoghesi, rappresentati da un relitto romano con anfore Beltran IIb e un relitto non meglio conosciuto al largo di Troia (un complesso produttivo romano per la lavorazione del pescato e la produzione di vino locale); e un

⁴⁰³ Rispettivamente BRUNO ET AL. 2011; BIANCO ET AL. 2013, per le tecniche stereo attive e passive; MELINE ET AL. 2010, 2012; MAHIDDINE ET AL. 2012, per la *data fusion* tra dati acustici e dati fotogrammetrici; TELEM, FILIN 2010, 2013 analizzano invece aspetti relativi alla rifrazione acquatica e alla problematica combinazione di macchina fotografica e custodia subacquea, descrivendone le distorsioni geometriche e i parametri da tenere in conto.

⁴⁰⁴ Maggiori informazioni possono essere consultate sul sito web *Community Research and Development Information Service (CORDIS)* della Commissione Europea: http://cordis.europa.eu/project/rcn/80194_en.html, mentre numerosi documenti informativi, deliveries e alcuni metadata del progetto possono essere acquisiti nell'area dedicata del sito dell'*Archeology Data Service (ADS)*, gestito da uno dei partner del progetto, l'*University of York*.

⁴⁰⁵ Sotto il coordinamento del *Centre National de la Recherche Scientifique* francese vi erano tra gli altri, il Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC, ora MiBACT) e l'Università degli Studi di Genova per l'Italia, il Ministero della Cultura portoghese e le università di Hull e York britanniche.

relitto al largo di Marsiglia denominato *Calanque de Port Miou*, con un ampio cumulo di anfore romane da vino Dressel 1A.

Aspetto interessante del progetto è stato la ricerca di uno standard per l'acquisizione remota di dati per lo studio e la visualizzazione dei relitti di alto fondale. L'utilizzo di ROV e AUV per un rilievo metrico ovviamente pone delle problematiche relative al posizionamento del veicolo nel momento della presa acustica/video/fotografica e l'acquisizione e elaborazione dei dati di navigazione in congiunzione con i dati del rilievo⁴⁰⁶. È facilmente comprensibile come la quantità di dati richiesta per un esercizio accurato possa ampliarsi rapidamente rendendone intricata la gestione. D'altro canto, l'aspetto forse più innovativo del progetto è stato il suo approccio strutturato e la sua propensione verso un clima aperto con una forte considerazione nei riguardi della preservazione non solo del sito fisico ma soprattutto, fatto nuovo, dei dati digitali 2D e 3D acquisiti durante lo svolgimento del progetto. In questo quadro, uno dei prodotti finali (*deliverables*) di maggior interesse del Progetto VENSU è il *Preservation Handbook* che, per primo, ha analizzato le problematiche legate all'archiviazione, preservazione, disseminazione, riuso e accesso di grandi quantità di dati digitali (*Big Data*) al fine di identificare tali questioni e servire da punto di partenza per «la pianificazione e creazione di un esempio di archivio per l'archeologia marina»⁴⁰⁷.

Come abbiamo visto nel secondo capitolo, l'ambiente ad alto contenuto di dati tipico del connubio tra archeologia post-processuale e tecnologie digitali⁴⁰⁸ (particolarmente per quanto riguarda l'archeologia contestuale), ha avanzato notevoli problematiche legate appunto alla gestione e all'accesso dei dati ma, anche e soprattutto, alla loro diffusione e conservazione nel lungo termine⁴⁰⁹. Come abbiamo sottolineato nello stesso secondo capitolo, la crescita esponenziale della quantità e qualità dei dati acquisiti e disponibili all'archeologia ha portato ad una riflessione, tutt'ora in corso, sulla necessità di creare standard e codificazioni affinché tali grandi quantità di dati possano realmente

⁴⁰⁶ Si veda SEDLAZECK ET AL. 2009.

⁴⁰⁷ DRAP, ADS 2009.

⁴⁰⁸ Basti pensare alle enormi quantità di dati prodotte dalle prospezioni strumentali (ROV, AUV, remote sensing etc), con dati di navigazione e posizionamento, rilievi e mappature acustici o registrazioni video-fotografiche; ma anche nel caso dei rilievi tridimensionali o della modellazione 3D dove i dati RAW o processati richiedono enormi spazi di archiviazione digitale.

⁴⁰⁹ Si veda ad esempio il caso studio presentato in SEDLAZECK ET AL. 2009.

incorporarsi nel processo di creazione di conoscenza archeologica prodotta, quest'ultima, dal confronto tra basi dati e da un rapporto bilaterale tra i dati e l'archeologo⁴¹⁰.

Come detto, l'avvento degli algoritmi per la SfM e l'automazione che hanno favorito, ha portato ad un incremento delle sperimentazioni in campo fotogrammetrico applicato all'ambito subacqueo. Sono stati prodotti numerosi test e sperimentazioni con varie configurazioni per la mappatura di siti preistorici⁴¹¹, di relitti di imbarcazioni antiche⁴¹², e per relitti di imbarcazioni moderne⁴¹³. Quanto precede rende evidente la crescita delle applicazioni fotogrammetriche in ambito archeologico e archeologico subacqueo negli ultimi quindici anni. Se fino al decennio scorso le applicazioni fotogrammetriche in archeologia subacquea parevano - nonostante alcuni grossi progetti (VENUS Project) - sporadiche e in fase sperimentale, l'ultimo lustro ha visto una crescita esponenziale e un'attenzione sempre più riflessiva - ma piuttosto tecnologicamente deterministica⁴¹⁴ - verso gli strumenti, le tecniche e le metodologie al fine di verificarne l'accuratezza come metodo standard di rilievo subacqueo. Nel 2010 infine, la distribuzione del software Agisoft Photoscan LLC⁴¹⁵ ha ulteriormente rilanciato la CVP; se precedentemente software proprietari e spesso costosi come Photomodeler, ovvero Open Source e non sempre *user-friendly* come APERO/MicMac e PPT, non rendevano semplice l'applicazione estesa e sistematica della CVP richiedendone l'utilizzo da parte di un

⁴¹⁰ Si veda al § 2.3. Di qui l'importanza dei formalismi e degli standard per la preservazione e accessibilità dei dati affinché, come richiesto da una coerente spirale ermeneutica, gli assunti e le interpretazioni così come i dati grezzi alla base di tali interpretazioni possano essere rivalutate e rianalizzate per avvalorare o confutare un'interpretazione o per una nuova analisi prodotta secondo differenti e nuove impostazioni di ricerca.

⁴¹¹ Ad esempio, per la mappatura del sito sommerso dell'antico abitato preistorico di Pavlopetri si veda, MAHON ET AL. 2011; HENDERSON ET AL. 2011; GALLOU, HENDERSON 2012.

⁴¹² Ad esempio, molto interessante è il caso studio del relitto di IV secolo a.C. denominato *Mazotos*, localizzato al largo della costa cipriota, poiché l'aspetto prettamente archeologico - lo scavo del relitto - è andato di pari passo con la sperimentazione delle tecniche fotogrammetriche da parte di un gruppo di lavoro che ha visto la collaborazione tra il *Department of History and Archaeology* della *University of Cyprus* e il *Department of Civil Engineering and Geomatics* del *Cyprus University of Technology*. Si veda, per l'inquadramento del sito archeologico DEMESTICHA 2011; per le questioni relative alle sperimentazioni fotogrammetriche SKARLATOS ET AL. 2010; SKARLATOS ET AL. 2012; DEMESTICHA ET AL. 2014. Si veda inoltre il già citato caso studio del relitto fenicio *Mazarrón-2* (Murcia, Spagna) in MIÑANO DOMÍNGUEZ ET AL. 2012.

⁴¹³ LUDVIGSEN ET AL. 2006; MERTES ET AL. 2014.

⁴¹⁴ ZUBROW 2006, p. 12; Cfr. HUGGETT 2004; D'ANDREA 2006, p. 21.

⁴¹⁵ Per un'analisi degli aspetti tecnici relativi a Photoscan, si rimanda al prossimo capitolo § 4.2.

utente piuttosto esperto, Photoscan ha invece permesso di sfruttare una piattaforma intuitiva e facile da usare a costi relativamente accessibili⁴¹⁶.

Le sperimentazioni con Photoscan hanno dunque aperto la strada ad un uso considerevole della CVP in ambito archeologico subacqueo. Anche qui le sperimentazioni appaiono numerose. A testimoniare questo fatto è interessante l'analisi portata avanti da Thomas Van Damme in un suo recente contributo. L'approfondimento di Van Damme, sulla base dell'analisi della crescente letteratura disponibile⁴¹⁷, sottolinea proprio come gli ultimi anni abbiano visto un incremento nell'applicazione delle tecniche fotogrammetriche in ambito archeologico subacqueo. Altrettanto interessante è la crescente attenzione, da parte di istituzioni cardine nel campo d'impiego dei dispositivi digitali e della fotogrammetria in archeologia, per le applicazioni in ambito archeologico subacqueo. La conferenza *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, ad esempio, durante il quarantatreesimo incontro annuale tenutosi presso l'Università di Siena dal 30 marzo al 3 aprile 2015 con il titolo *Keep the Revolution Going* ha, per la prima volta, dedicato una specifica sezione all'archeologia subacquea con numerosi contributi dedicati alla fotogrammetria⁴¹⁸. O ancora il workshop co-organizzato dall'*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) e dall'*International Committee for Documentation of Cultural Heritage* (CIPA), tenutosi a Piano di Sorrento (Napoli) il 16 e 17 aprile 2015, dedicato alle applicazioni di fotogrammetria e di *remote sensing* in ambiente subacqueo⁴¹⁹, con numerosi contributi dedicati alle sperimentazioni archeologiche.

⁴¹⁶ Nel prossimo capitolo si presenteranno le sperimentazioni, prodotte con il software Photoscan nel contesto del presente elaborato, nel tentativo di fornire alcuni dettagli, evidentemente non estremamente tecnici ma piuttosto funzionali alla comprensione delle potenzialità di questi dispositivi nel processo ermeneutico archeologico subacqueo.

⁴¹⁷ VAN DAMME 2015a, pp. 236-237; l'autore riporta l'analisi prodotta sulle pubblicazioni in archeologia subacquea, isolando quelle con aspetti legati alla fotogrammetria, fino ad affermare che «negli ultimi cinque anni, con l'avvento di software per la Computer Vision Photogrammetry sempre più potenti e accessibili, il numero di riferimenti bibliografici sulla fotogrammetria nella nostra disciplina è esponenzialmente cresciuto. Inoltre, se verifichiamo gli ultimi cinque anni separatamente, è chiaro come il termine 'fotogrammetria' sia veramente 'salito alle stelle' nel 2014, quando le pubblicazioni che usano la parola rappresentano circa il 9% del totale della letteratura archeologica subacquea». Cfr. VAN DAMME 2015b.

⁴¹⁸ In attesa della pubblicazione degli atti, le informazioni relative alla conferenza e il libro degli abstracts contenente i contributi della sessione *Digital Frontiers in Maritime Archaeology* possono essere consultati nel sito web all'indirizzo: <http://caaconference.org/2015/04/13/book-of-abstracts/> (ultimo accesso 01 luglio 2015).

⁴¹⁹ I contributi del Workshop di Piano di Sorrento possono essere consultati nel sito web dell'*International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* al seguente link: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W5/index.html>

In uno di questi contributi, un team dell'Università del Salento (Lecce) presenta una serie di esperimenti combinati di acquisizione tridimensionale attiva e passiva, con l'utilizzo di Photoscan per l'acquisizione passiva, in particolare sul relitto del *Bacino Grande* presso Porto Cesareo (Lecce), suggerendo l'utilità del rilievo CVP per l'acquisizione di un dettagliato modello 3D sul quale poter verificare misurazioni, produrre planimetrie etc., e la potenzialità di questa tecnica per monitorare lo stato di conservazione del relitto nel tempo⁴²⁰. In un secondo contributo invece, presentato da un team emiliano viene offerta una comparazione tra fotocamere a basso costo utilizzando il software Photoscan per l'elaborazione delle immagini acquisite su un sito in località Porto Palo (Olbia). Gli autori offrono i risultati delle sperimentazioni di calibrazione interna ed esterna della fotocamera⁴²¹.

Molto interessante anche il contributo del team dell'Hellenic Institute of Marine Archaeology greco, dove Photoscan è utilizzato all'interno di una procedura per il rilievo digitale di una serie di relitti localizzati nel Golfo d'Eubea. A sostegno di Photoscan sono stati infatti utilizzati AutoCAD «per la creazione di planimetrie 2D semanticamente aumentate a partire dalle ortofoto», il Q-GIS per gestire i dati bidimensionali, «Site Recorder per applicare il calcolo delle trilaterazioni» e infine MeshLab per gestire i modelli tridimensionali. Gli autori concludono riconoscendo il valore della procedura nell'ammortizzare i tempi di immersione degli operatori subacquei e suggeriscono alcuni criteri per una buona riuscita del rilievo; tra questi la necessità di sviluppare interfacce grafiche facilmente utilizzabili e l'esigenza di «sviluppare modelli 3D semanticamente aumentati e facilmente editabili» dei quali avvalersi durante la prospezione e lo scavo subacquei⁴²². Un gruppo di lavoro francese, che ha visto la collaborazione di enti di ricerca pubblici e università, propone invece l'utilizzo della CVP e del software Photoscan per il rilievo e lo studio di un relitto rinvenuto in contesto di spiaggia, scoperto probabilmente a causa di alcuni lavori per la sistemazione della spiaggia adiacente il

⁴²⁰ BANDIERA ET AL. 2015, p. 21.

⁴²¹ CAPRA ET AL. 2015.

⁴²² DIAMANTI, VLACHAKI 2015, p. 95.

sito⁴²³. Particolarmente interessante, infine, particolarmente per quanto riguarda la metodologia impiegata sono i due casi studio sui relitti di Marzamemi e Capo Granitola documentati dalle università IUAV e Ca' Foscari di Venezia⁴²⁴. Gli autori hanno utilizzato un congiunto di Photoscan per l'acquisizione dei dati fotografici, di un *Real Time Kinematic* (RTK) *Global Positioning System* (GPS) per l'acquisizione dei punti georeferenziate e di Site Recorder per l'elaborazione delle trilaterazioni prodotte in immersione⁴²⁵.

La prima osservazione che viene da fare scorrendo le sperimentazioni precedentemente analizzate, è che l'attenzione è parsa quasi sempre focalizzarsi sugli aspetti tecnici e metodologici. Questo fatto è probabilmente ascrivibile alla fase embrionale nell'appropriazione di questi nuovi software e tecniche da parte dell'archeologia subacquea e, conseguentemente, alla caratteristica sperimentativa comune a tutte le fasi iniziali di utilizzo di un nuovo impianto tecnologico. Tuttavia, in questa tesi si vuole sostenere come è proprio nel momento in cui un nuovo dispositivo tecnologico si affaccia in maniera diffusa alla pratica archeologica che si rende necessario comprendere appieno le implicazioni di tale utilizzo. Gli autori dei contributi precedentemente analizzati paiono unanimi nel conferire a queste tecniche un valore nell'accorciare anche sensibilmente i tempi di immersione necessari per il rilievo dei siti archeologici sommersi e il valore di queste nuove tecniche e dei risultanti modelli tridimensionali in un ottica di valorizzazione e fruizione del patrimonio culturale subacqueo⁴²⁶. In questo ambito ci pare interessante fare riferimento ad un progetto, in fase di sviluppo in Australia, fortemente incentrato sull'aspetto pubblico del patrimonio e sul ruolo che le tecniche CVP possono avere nel rendere l'archeologia subacquea più partecipativa, multivocale; il 3D Maritime Archaeology Project - Perth Region

⁴²³ HULOT ET AL. 2015; il team, composto da una collaborazione tra il *Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines* (DRASSM), il *Centre national de la recherche scientifique* (CNRS) e l'*Université de Renne* francesi, ha prodotto il rilievo del relitto *Erquy les Hôpitaux* nel nord della Britannia con l'utilizzo di fotogrammetria e laser scanner.

⁴²⁴ BALLETTI ET AL. 2015.

⁴²⁵ BALLETTI ET AL. 2015;

⁴²⁶ Si veda anche il contributo di MCCARTHY 2014 e, in parte, il contributo di MCCARTHY, BENJAMIN 2014.

(3DMAPPR)⁴²⁷. Analizzeremo al termine dell'ultimo capitolo le possibilità offerte dalle tecniche fotogrammetriche in archeologia subacquea, tra le quali rivestono notevole interesse proprio le prerogative nel campo della valorizzazione e fruizione del patrimonio sommerso.

⁴²⁷ EDWARDS 2015, (comunicazione personale); si ringrazia Kevin Edwards per le informazioni e la precisa descrizione del progetto. «Il 3D Maritime Archaeology Project - Perth Region (3DMAPPR) è un'iniziativa community-based della Maritime Archaeology Association of Western Australia (MAAWA, <http://www.maawa.net>) con il supporto e la supervisione del Western Australian Museum. Il progetto rappresenta la prima fase di un ampio programma di documentazione e gestione dei siti sommersi, con gli obiettivi di sviluppare un pacchetto a basso costo per la fotogrammetria e facilitare il rilievo del patrimonio culturale sommerso nella regione di Perth (WA), e offrire ai membri del MAAWA opportunità di formazione nell'utilizzo delle tecniche di rilievo fotogrammetrico e di elaborazione immagini. Attraverso lo sviluppo di metodi a basso costo ma affidabili per l'utilizzo della fotogrammetria nel rilievo del patrimonio sommerso in un contesto non specialistico, il progetto punta non solo ad espandere l'insieme di competenze e possibilità tecnologiche già esistenti tra i soci del MAAWA, ma anche ad incoraggiare la partecipazione attiva di 'cittadini scienziati' nel rilievo e monitoraggio continuo del patrimonio culturale subacqueo nell'area di Perth. In combinazione con altre iniziative del MAAWA, come l'applicazione mobile Shipwreck WA (<http://www.shipwreckswa.com>), i dati acquisiti attraverso il 3DMAPPR sono potenzialmente utilizzabili per ispirare la gestione del patrimonio sommerso nel lungo termine, ma anche servire come risorsa per la valorizzazione e l'educazione» (traduzione dell'autore).

4. SPERIMENTAZIONI SUL CAMPO: APPROCCIO, METODOLOGIA, PRATICA

Nei primi capitoli della presente tesi si è tentato di fornire un quadro generale sia teorico che metodologico relativo all'utilizzo dello strumento digitale, e in particolare della fotogrammetria (CVP), in ambito archeologico subacqueo. Come accennato nell'introduzione e nel primo capitolo, la necessità di rinsaldare il legame tra teoria e metodologia nell'utilizzazione degli strumenti tecnologici in archeologia è legata al riconoscimento della necessità di una profonda riflessione sui modi e sugli effetti che questa crescente incursione comporta nella pratica archeologica e archeologico subacquea. Il campo di applicazione del computer e delle tecnologie ad esse legate in ambito archeologico è decisamente ampio per poter essere anche solo sintetizzato in un lavoro di questo tipo.

L'obiettivo, come esplicitato altrove, è dunque quello di analizzare le tecniche e gli strumenti del rilievo fotogrammetrico (CVP) visto e pensato come strumento attivamente coinvolto nel processo interpretativo archeologico. In questo capitolo si analizzeranno alcuni casi studio che, per tipologia di contesto e caratteristiche intrinseche del sito offrono elementi di spunto per una riflessione approfondita su quanto e come la fotogrammetria si trovi a partecipare attivamente nel processo di acquisizione e analisi dei dati, interpretazione archeologica e, infine, le potenzialità che tale tecnica ha nel campo della comunicazione e fruizione del patrimonio culturale sommerso. I casi studio sono stati selezionati tra i siti oggetto d'indagine da parte del Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione dell'Università degli Studi di Sassari o, ad ogni modo, collegati alle attività da questo svolte nell'ambito dell'archeologia subacquea anche nel quadro della Scuola di Specializzazione in Archeologia Subacquea e dei Paesaggi Costieri 'Nesiotikà' dello stesso dipartimento dell'Ateneo sassarese.

Per chiarezza d'esposizione il presente capitolo offrirà una prima analisi del software utilizzato per l'elaborazione dei dati fotogrammetrici e gli accorgimenti, sia tecnici che metodologici, utili alla massimizzazione dei risultati del rilievo. Si procederà in ordine logico fornendo quell'insieme di suggerimenti che caratterizzano tutte le fasi dell'attività di rilievo tramite CVP. Tale analisi tecnico-metodologica verrà sviluppata in modo tale da

fornire una comprensione degli aspetti che influenzano l'utilizzazione della CVP in ambito archeologico subacqueo. Verrà dunque evitato l'appesantimento della trattazione con eccessive nozioni tecniche, soprattutto quando tali informazioni non risultino funzionali alla migliore riuscita del rilievo o ad arricchire la comprensione delle potenzialità archeologiche della CVP. Ad esempio, è ininfluente, al fine della comprensione dei processi coinvolti nel rilievo fotogrammetrico, conoscere in dettaglio il funzionamento di un determinato algoritmo o le stesse formule algoritmiche, o ancora conoscere in dettaglio i processi attraverso i quali l'algoritmo procede all'acquisizione dei punti dalle fotografie o alla creazione dei poligoni della mesh. Per queste informazioni si rimanda al manuale⁴²⁸ del software Agisoft Photoscan o ai numerosi manuali di *Computer Vision*, dalla quale derivano gli algoritmi di Photoscan.

⁴²⁸ AGISOFT 2015; Il manuale di Photoscan nella versione 1.1.6 è disponibile all'indirizzo web: <http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (ultimo accesso 5 novembre 2015).

4.1 GLI ASPETTI TECNICI DELLA COMPUTER VISION PHOTOGRAMMETRY (CVP): CONCETTI, HARDWARE E SOFTWARE

Come abbiamo visto nel § 3.2, un'insieme di fattori legati al rapido sviluppo tecnologico degli ultimi trent'anni, alle ricerche e innovazioni nel campo della *Computer Vision* e dell'*Artificial Intelligence* (AI) e la maggiore accessibilità di tali strumenti per la comunità scientifica, favorirono il proliferare di progetti, sperimentazioni e applicativi dedicati o, quantomeno, utili alla fotogrammetria e utilizzati nel processo di ricerca archeologica. Come con la più tradizionale fotogrammetria (analitica o digitale), la CVP si basa sull'utilizzo di immagini fotografiche per la creazione di un modello tridimensionale attraverso l'elaborazione delle immagini secondo una serie di algoritmi matematici. La combinazione di progressi che hanno portato all'invenzione dell'immagine digitale, allo sviluppo dei computer, delle *Central Processing Unit* (unità centrale di elaborazione o CPU), delle *Graphic Processing Unit* (unità di elaborazione grafica o GPU) ossia le schede video, e della *Random Access Memory* (memoria ad accesso casuale o RAM)⁴²⁹, hanno contribuito a dare una inedita spinta alla *Computer Vision* e, di conseguenza, alla CVP. Il processo della CVP risulta decisamente più semplice e intuitivo, oltreché parzialmente automatico, rispetto alla tradizionale fotogrammetria - dalla quale non si discosta per i concetti matematici e i principali strumenti impiegati - anche se quest'ultima necessitava di alcune specifiche fasi per giungere alla restituzione tridimensionale della scena rappresentata nelle immagini, che risultavano spesso complesse, necessitanti di specifiche conoscenze matematiche e comunque impegnative in termini di tempo e risorse umane.

Come per la fotogrammetria tradizionale, la CVP sfrutta le immagini digitali e, attraverso un connubio di hardware (il computer e la fotocamera digitale), software (gli applicativi) e algoritmi, produce una rappresentazione tridimensionale della scena rilevata. In questo senso, il processo di rilievo fotogrammetrico sfrutta alcuni strumenti tecnologici per ottenere il risultato finale. Al fine di ottenere un buon prodotto finale del processo CVP sono necessari tutta una serie di accorgimenti dei quali si cercherà di dar conto in questo e nei prossimi paragrafi. Per un buon risultato è sicuramente necessaria

⁴²⁹ Si veda il § 1.1.

una buona base hardware ma, come si vedrà, ancora più importante risultano gli accorgimenti metodologici.

La scelta degli hardware e dei software propedeutici all'applicazione della CVP è un momento fondamentale per la riuscita del rilievo e, in parte, ne condiziona il risultato finale. Se da una parte è ovvio che non possa esistere una configurazione standard e che le scelte - come evidenziano le esperienze in questo campo proposte nel precedente capitolo - dipendano in parte dalle possibilità, anche economiche, del gruppo di lavoro e sia spesso condizionata dal software o dalle specifiche competenze disponibili, è tuttavia fondamentale la conoscenza approfondita degli strumenti utilizzati. Una buona conoscenza della fotografia subacquea e delle sue problematiche, un buona configurazione dei parametri di presa fotografica precedentemente all'ingresso in acqua permetterà, ad esempio, di ottenere buone immagini di base sulle quali procedere all'elaborazione CVP e all'ottenimento di un modello tridimensionale della scena ripresa.

Come detto, il “dato” iniziale per procedere ad una restituzione CVP è l'immagine fotografica. Se l'invenzione della fotografia e la sensibilità di alcuni studiosi - si pensi ad esempio a Meydenbauer - intorno alla metà del XIX secolo, diede i natali alla fotografia e, in seguito, alla fotogrammetria come tecnica di rilievo geodetico o nel campo del patrimonio culturale, l'invenzione dell'immagine digitale negli anni '70 del XXI secolo produsse una vera e propria rivoluzione nel modo in cui l'immagine fotografica veniva prodotta, utilizzata e compresa. Dal punto di vista degli hardware dunque, la macchina fotografica è forse il dispositivo più importante nel processo CVP. Le esperienze in questo campo testimoniano la molteplicità di dispositivi utilizzati. Ad esempio, una tendenza molto in voga in questi ultimi anni, grazie ai costi contenuti dei dispositivi e alla semplicità d'utilizzo, è l'impiego delle *action cam* quali, ad esempio, la GoPro®⁴³⁰.

Al contrario, per quanto riguarda le fotocamere digitali, sono state prodotte sperimentazioni con varie configurazioni e differenti modelli di fotocamera. In linea con la tendenza generale in fotografia, le Nikon e le Canon risultano le marche più utilizzate, mentre per quanto concerne le custodie subacquee, le offerte sul mercato sono numerose

⁴³⁰ CAPRA ET AL. 2015; si veda, anche se non strettamente archeologica, la sperimentazione in RENDE ET AL. 2015; REPOLA ET AL. 2015; VAN DAMME 2015a, b; SCHMIDT, RZHANOV 2012.

anche se probabilmente le custodie Ikelite® Underwater Systems⁴³¹ risultano essere le più utilizzate. A prescindere da marca e modelli, la scelta della fotocamera è di importanza basilare poiché la fotografia subacquea si scontra con non poche problematiche. Fotografare sott'acqua, a differenza della fotografia di superficie, pone numerose problematiche legate alla poca visibilità causata dalla presenza di sedimento in sospensione, alla rifrazione, alla diffusione e assorbimento della luce che causa una perdita di luminosità e, infine, la perdita dei colori mano a mano che la profondità aumenta⁴³².

La scelta di fotocamera e obiettivo con determinate caratteristiche permette di ovviare ad alcune di queste complicazioni. Come regola generale, i due aspetti più importanti nella scelta della fotocamera sono la dimensione del sensore e il tipo di obiettivo. Il sensore della macchina fotografica - l'equivalente digitale della pellicola per negativi delle vecchie fotocamere manuali - rappresenta un insieme di elementi sensibili alla luce e capaci di "catturare" le informazioni che questa trasporta, fino a convertirle e registrarle in una rappresentazione digitale. Esistono due tipi di sensori definiti CCD (*Charged-Coupled Device*)⁴³³ e CMOS (*Complementary metal-oxide semiconductor*)⁴³⁴. Come regola generale, più ampia la dimensione del sensore, più informazioni del mondo reale verranno registrate⁴³⁵.

Per ovviare ad alcuni dei problemi citati poc'anzi, è necessario acquisire le fotografie il più possibile vicino alla scena da riprendere. In questo senso, un obiettivo grandangolare è solitamente preferibile per la fotografia subacquea poiché permette di avvicinarsi molto all'oggetto da riprendere pur riuscendo ad inquadrare un'ampia area. Per questo motivo è preferibile equipaggiarsi con obiettivi che dagli 11 mm possono salire fino ai 18-20 mm. Al riguardo il manuale di Photoscan suggerisce di evitare

⁴³¹ Per maggiori informazioni, si veda: <http://www.ikelite.com>.

⁴³² Quest'ultimo fenomeno è conosciuto come assorbimento selettivo della luce. Come regola generale, il colore rosso scomparirà gradualmente tra un metro e cinque metri di profondità, i colori arancio e giallo inizieranno a scomparire tra gli otto e i dodici metri, mentre all'incirca a trenta metri di profondità i colori dominanti saranno il verde e il blu. Cfr. GREEN 2004; BOWENS 2009.

⁴³³ LESSER 2014.

⁴³⁴ TURCHETTA 2014; GOVE 2014.

⁴³⁵ Anche se la capacità di registrare le informazioni trasportate dalle radiazioni elettromagnetiche (luce), dipende più dalla manifattura del sensore che non dalle dimensioni fisiche. Per un approfondimento si veda CARLSON 2002.

l'utilizzo di obiettivi ultra grandangolari e obiettivi fish-eye e di tenersi su una gamma compresa tra i 20 e gli 80mm, anche se in ambiente acquatico è spesso necessario l'utilizzo di obiettivi con angoli ampi per arginare le problematiche identificate in precedenza.

Per la CVP in generale, e così pure per la CVP subacquea, i parametri fondamentali per l'acquisizione di una buona immagine utile per il processo fotogrammetrico sono il "tempo di esposizione", la "apertura del diaframma", la "sensibilità del sensore" (ISO) e la "messa a fuoco"⁴³⁶. Il tempo di esposizione determina il tempo nel quale il sensore della macchina fotografica rimane esposto alla luce. L'apertura del diaframma determina invece la quantità di luce che attraversa l'obiettivo per raggiungere il sensore. Per una buona esposizione, i due parametri debbono risultare inversamente proporzionali, ovvero se il tempo di esposizione viene dimezzato, il diaframma dovrà essere raddoppiato, e viceversa. La messa a fuoco determina ovviamente la chiarezza dell'immagine e infine, la sensibilità del sensore, ossia l'ISO, permette di aumentare o diminuire la velocità del sensore e di raddoppiare o dimezzare la quantità di luce che investe il sensore.

Come si è visto nel secondo paragrafo del precedente capitolo, la *Computer Vision*, nata negli anni '70 si ripromette di sviluppare sistemi capaci di analizzare e interpretare il mondo esterno attraverso una descrizione estrapolata da immagini fotografiche o immagini video⁴³⁷. Ad oggi le principali applicazioni della *computer vision* risiedono nei campi industriali quali, ad esempio, l'*optical character recognition* (OCR) presente in molte stampanti e scanner commerciali, la *motion capture* (Mocap) utilizzato in molte applicazioni dell'industria dei video-game o del cinema, nell'industria automobilistica, nella biometrica, nell'industria della sicurezza etc. Lavorare con le immagini per cercare di descriverne i contenuti, pone alcune problematiche che, ovviamente, esulano dall'interesse per la *Computer Vision* di questo lavoro, poiché risultano aspetti troppo

⁴³⁶ Per un'approfondimento dei termini e dei concetti qui citati, si rimanda ad un qualunque manuale di fotografia digitale, nel quale si troveranno definizioni più tecniche ed eventuali approfondimenti.

⁴³⁷ SHAPIRO, STOCKMAN 2001, p. 13; gli autori offrono questa definizione: «L'obiettivo della computer vision è di prendere decisioni utili relativamente a oggetti e scene reali sulla base di immagini percepite». Approfondendo la definizione affermano che «[a]llo scopo di prendere decisioni relativamente agli oggetti reali, è quasi sempre necessario costruirne una qualche descrizione o modello a partire dall'immagine». Cfr. TRUCCO, VERRI 1998, p. 2 definiscono la Computer Vision come «un insieme di tecniche computazionali mirate a stimare e rendere esplicite le proprietà geometriche e dinamiche del mondo tridimensionale attraverso le immagini digitali».

tecniche e non funzionali alla comprensione dell'utilizzo di questi metodi in archeologia subacquea. Per maggiori approfondimenti tecnici, si rimanda i manuali specifici⁴³⁸. Il campo della *Computer Vision* è d'altronde molto ampio, al contrario i settori e gli aspetti che ci interessano possono essere identificati in due tecniche che, più di altre, hanno trovato un'ampia applicazione nel vasto campo del patrimonio culturale; la *Structure from Motion* (SfM) e l'*Image Based Modeling* (IBM).

La *Structure from Motion* (SfM) rappresenta uno dei principali problemi della *Computer Vision* e si occupa di stimare la struttura tridimensionale di una scena a partire da immagini bidimensionali. In questo senso la SfM è stata spesso vista come il naturale processo di estensione e automazione della fotogrammetria⁴³⁹. La *Structure from Motion* (SfM), in sintesi, è una tecnica che permette di stimare strutture tridimensionali da una sequenza di immagini bidimensionali, grazie ad algoritmi capaci di tracciare le traiettorie di specifiche peculiarità (*features*) della scena ripresa in ogni singola immagine bidimensionale al fine di ricostruire le caratteristiche tridimensionali di ciascuna *feature* e il movimento della fotocamera. Il risultato finale è una nuvola di punti, nella quale ciascun punto possiede le caratteristiche spaziali tridimensionali e le caratteristiche cromatiche sue proprie. L'*Image Based Modeling* (IBM) è invece un metodo che permette, attraverso una serie di immagini bidimensionali, di sfruttare, "leggere" e interpretare le caratteristiche della luce che si interpola con un determinato oggetto o una scena, creando un modello tridimensionale della scena. Anche qui il risultato finale è una nuvola di punti, nella quale ciascun punto possiede le caratteristiche spaziali tridimensionali e le caratteristiche cromatiche sue proprie.

Esistono numerosi software CVP che permettono di creare modelli 3D da una serie di immagini bi-dimensionali⁴⁴⁰. Tali software possono venire suddivisi in due macro-aree: softwares proprietari e FOSSs (acronimo per *Free and Open Source Softwares*)⁴⁴¹. Nella

⁴³⁸ FORSYTH, PONCE 2012; SHAPIRO, STOCKMAN 2001; In particolare sui processi di analisi delle immagini, si veda TRUCCO, VERRI 1998, pp. 15-50, per i problemi legati alla calibrazione della fotocamera alle pp. 123-138.

⁴³⁹ AANÆS 2003, p. 7; secondo lo studioso danese la SfM è «la stima della struttura 3D a partire da immagini 2D, e in questo senso può essere vista come un'automazione e estensione della fotogrammetria».

⁴⁴⁰ REMONDINO ET AL. 2012.

⁴⁴¹ Si veda al riguardo lo specifico movimento archeologico che fa riferimento all'ambiente FOSS, all'indirizzo web: <http://www.archeofoss.org> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

prima grande famiglia il software proprietario forse più conosciuto è Agisoft Photoscan, del quale si parlerà ampiamente nel prossimo paragrafo. L'altro applicativo proprietario ampiamente utilizzato in archeologia e in archeologia subacquea e del quale si è già parlato è il software EOS System PhotoModeler⁴⁴². Esistono poi altri software proprietari per la CVP, quali ad esempio 3D Zephyr Pro⁴⁴³. In questo campo sono state numerose le sperimentazioni e le comparazioni tra i vari softwares, alle quali si rimanda per ulteriori approfondimenti. Remondino e altri⁴⁴⁴ hanno ad esempio comparato Photoscan, Apero, Microsoft Photosynth, Bundler e VisualSFM per quanto riguarda i software e gli algoritmi SfM per l'orientamento di molteplici immagini (orientamento interno ed esterno). Sempre Remondino con altri colleghi ha testato in maniera comparativa alcuni software e algoritmi per la corrispondenza d'immagini ad alta densità, comparando SURE, MicMac, PMVS e Photoscan⁴⁴⁵. Thomas P. Kersten e Maren Lindstaedt hanno invece comparato Bundler/PMVS2, VisualSFM, Autodesk 123D Catch versione Beta, e Agisoft Photoscan⁴⁴⁶. Infine, Mauro Lo Brutto e Paola Meli offrono una comparazione tra Microsoft Photosynth, ARC3D, Autodesk 123Dcatch, Agisoft Photoscan⁴⁴⁷. Si rimanda a queste pubblicazioni per alcuni interessanti informazioni riguardo gli specifici software e algoritmi.

Nel campo dell'Open Source esistono alcuni pregevoli software, sia in termini di prodotto ottenibile, sia ovviamente per quanto concerne il costo di licenza (nullo), e la possibilità di ottenere continui aggiornamenti e, spesso, nuove opportunità sviluppate dalle comunità di utenti che a tali softwares fanno spesso riferimento. La ditta AutoDesk ha creato un software SfM denominato "123D Catch" che, come tutti i software SfM permette la restituzione di un modello 3D da una serie di immagini fotografiche⁴⁴⁸. Il principale e insormontabile problema legato a questo software - ragione che ha fatto scartare il suo utilizzo - è che risulta Web-based. Ovvero, le fotografie vanno caricate in

⁴⁴² <http://www.photomodeler.com/products/default.html> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

⁴⁴³ Per maggiori informazioni si veda: <http://www.3dflow.net/it/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

⁴⁴⁴ REMONDINO ET AL. 2012.

⁴⁴⁵ REMONDINO ET AL. 2014.

⁴⁴⁶ KERSTEN, LINDSTAEDT 2012.

⁴⁴⁷ LO BRUTTO, MELI 2012.

⁴⁴⁸ Per maggiori informazioni si veda: <http://www.123dapp.com/catch> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

un server online che, una volta processate le immagini, restituisce il modello tridimensionale.

Uno dei software Open Source più sperimentati in ambito archeologico è rappresentato in realtà da una combinazione di due software, Apero (*Aérotriangulation Photogrammétrique Expérimentale Relativement Opérationnelle*) e MicMac (*Multi-Images Correspondances, Méthodes Automatiques de Corrélation*)⁴⁴⁹ che producono la ricostruzione tridimensionale di immagini fotografiche riprese da posizioni arbitrarie utilizzando un gruppo di immagini e parametri della fotocamera (lunghezza focale e dimensione pixels) che devono essere noti. I software Apero e MicMac, sviluppati in Francia da una collaborazione tra vari enti di ricerca, nascono inizialmente per analisi territoriali e geo-morfologiche⁴⁵⁰. Questa coppia di software garantisce una maggiore precisione risultando tuttavia complesso nel suo utilizzo nonché nella sua installazione, dunque decisamente non user-friendly. Un'altro software Open Source spesso utilizzato in archeologia - soprattutto in ambito italiano - è il software Python Photogrammetry Toolbox (PPT)⁴⁵¹. Questo software con interfaccia grafica user-friendly è stato sviluppato combinando l'uso di un *Bundler adjustment* software, di un *Patch-based Multi-view Stereo Software* (PMVS) e di un software per il *Clustering Views for Multi-view Stereo* (CMVS)⁴⁵². Entrambi gli applicativi, PPT e Apero-MicMac, lavorano sul sistema operativo ArcheOS (Archaeological Operating System), una distribuzione GNU/LINUX sviluppata - come PPT - dall'ARC-TEAM⁴⁵³. Il fatto di operare su una distribuzione Linux, tuttavia, richiede una buona familiarità con l'ambiente Linux poiché la risoluzione dei problemi può talora risultare un compito complicato.

La SfM e la IBM si basano su alcuni specifici algoritmi, spesso citati nel presente capitolo. Si cercherà di dare delle sintetiche e non tecniche descrizioni di come questi algoritmi operino e quale sia il prodotto finale, al fine di comprendere i fondamenti logici

⁴⁴⁹ PIERROT DESSEILLIGNY, CLERY 2011; CLERY, PIERROT-DESSEILLIGNY 2011; DRAP ET AL. 2011; DRAP ET AL. 2013.

⁴⁵⁰ Sviluppato dall'*Institut National de l'Information Géographique et Forestière* francese. Per maggiori informazioni, si veda: <http://logiciels.ign.fr/?-Micmac,3-> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

⁴⁵¹ Il software è stato sviluppato attraverso una collaborazione tra il Centre for Visual Computing dell'Università Paris-Est e l'italiano ARC-TEAM. Si veda: <http://184.106.205.13/arcteam/ppt.php> (ultimo accesso, 5 novembre 2015). Cfr. MOULON, BEZZI 2011.

⁴⁵² MOULON, BEZZI 2011.

⁴⁵³ BEZZI ET AL. 2013.

e le operazioni che si verificano dietro le interfacce dei software di CVP. In particolare queste descrizioni saranno utili per meglio comprendere i processi del software scelto per le sperimentazioni di questa tesi: Agisoft Photoscan. Il *Bundler adjustment* è un processo di SfM che consente da una serie di immagini, peculiarità delle immagini e punti coincidenti nelle stesse immagini di produrre una ricostruzione tridimensionale della scena ripresa. La ricostruzione è incrementale, cioè procede per poche immagini alla volta, arrivando alla ricostruzione dell'intera scena ripresa dalle immagini fotografiche. Il PMVS è un software multi-view stereo che acquisendo una serie di immagini e i parametri dell'apparecchio fotografico utilizzato per le riprese, è capace di ricostruire la struttura tridimensionale dell'oggetto o di una scena più ampia rappresentata all'interno delle immagini, creando in definitiva una nuvola di punti densa. Il CMVS è invece un software multi-view stereo che, acquisendo l'input da un software SfM, decompone le immagini d'origine in immagini cluster con dimensioni maneggiabili, garantendo così di alleggerire i calcoli computazionali e dunque di permettere l'elaborazione di un gran numero di immagini, offrendo come prodotto finale - in combinazione con il PMVS - una nuvola di punti densa. Ovviamente questo software (e l'algoritmo ivi compreso) non può venir utilizzato singolarmente ma, piuttosto, in catena con Bundler e PMVS, come effettivamente avviene nel software Python Photogrammetry Toolbox (PPT).

Si è visto che nel caso di PPT e Apero-MicMac il risultato finale è una nuvola di punti densa, ovvero una serie di punti tridimensionali che vanno a caratterizzare e rappresentare la scena ripresa nelle immagini fotografiche. Il passo successivo, è quello di produrre da questa nuvola di punti un solido tridimensionale composto da un numero variabile di poligoni (mesh) ed eventualmente applicare una texture (caratteristiche di colore e luce) che renda il modello 3D il più possibile fotorealistico. Tuttavia, per produrre queste elaborazioni è necessario manipolare la nuvola di punti in altri software per il trattamento delle nuvole di punti e dei solidi tridimensionali. I sistemi di manipolazione di mesh più utilizzati risultano MeshLab and CloudCompare⁴⁵⁴. Entrambi i software, con alcune minime differenze permettono di importare le nuvole di punti dense e di procedere alla

⁴⁵⁴ MeshLab è stato sviluppato dal Visual Computing Lab dell'Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo" (ISTI -CNR) di Pisa. Per informazioni, si veda: <http://meshlab.sourceforge.net>. Per quanto concerne invece CloudCompare, si veda: <http://www.danielgm.net/cc/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

creazione della mesh secondo specifici algoritmi; gli applicativi permettono inoltre di produrre alcune post-elaborazioni come la revisione, la pulizia, l'ispezione delle nuvole di punti o delle mesh.

Questa sintetica analisi degli applicativi e degli aspetti tecnici degli applicativi per la CVP - particolarmente per quanto concerne PPT e MicMac - risultano funzionali alla comprensione del preliminare test prodotto su uno dei due casi studio che si presenterà a breve. Tuttavia, come si vedrà, si è rapidamente optato per l'utilizzo del software Photoscan per il completamento delle sperimentazioni e per l'analisi dei casi studio dal punto di vista del valore della CVP e dei risultanti modelli nel processo di interpretazione archeologica. Prima di proseguire nella presentazione delle sperimentazioni vere e proprie, il successivo paragrafo fornirà alcune informazioni tecniche relative al software prescelto; Agisoft Photoscan.

4.2 AGISOFT PHOTOSCAN: ASPETTI TECNICI E WORKFLOW

Come detto, i software basati su algoritmi della *Computer Vision* hanno permesso l'automazione dell'intero processo di restituzione fotogrammetrica. Tra questi, Agisoft Photoscan risulta ormai quello più utilizzato in campo archeologico, come testimoniato dai casi studio e dalla letteratura disciplinare analizzati nel precedente capitolo. Nel 2006 la società russa Agisoft LLC, sulla scia degli sviluppi nel campo della *Computer Science* e particolarmente della *Computer Vision*, inizia a fare ricerca e sviluppo (R&D) in questi campi. La prima *release* del software Agisoft Photoscan è del 2010, giunta ormai alla versione 1.1.6⁴⁵⁵. La *suite* Photoscan è in realtà un pacchetto che comprende una serie di algoritmi di calcolo per riuscire ad acquisire un modello tridimensionalmente e metricamente accurato da un gruppo di immagini fotografiche. Photoscan, anch'esso un software di *Structure from Motion and Image Based Modeling* (IMB), lavora in definitiva in modo simile ai software brevemente analizzati nel § 4.1, e viene offerto con vari tipi di licenze offrendo la possibilità, a differenza dei software precedentemente descritti, di completare la procedura di creazione, messa in scala e geo-referenziazione del modello tridimensionale all'interno dello stesso software.

Il software proprietario è offerto secondo due tipi di licenze, la *stand-alone* e l'*educational*, garantendo l'accessibilità economica ad un prezzo agevolato per le istituzioni che fanno ricerca - dunque per un uso non commerciale - fatto che ha reso Agisoft Photoscan lo strumento preferenziale per l'applicazione della CVP in un campo sempre a corto di risorse finanziarie come sono l'archeologia e l'archeologia subacquea in particolare. In aggiunta a questo, la generale accettazione della *suite* Photoscan è legata ad alcuni aspetti che ne rendono agevole l'utilizzo in campo archeologico. L'intuitività d'utilizzo, la possibilità di esaurire il processo di restituzione fotogrammetrica all'interno dello stesso software e, come abbiamo visto, il costo relativamente contenuto, lo rendono particolarmente attraente per un campo, com'è quello archeologico, nel quale l'alfabetizzazione informatica non è né comune né tantomeno avanzata, il numero di applicativi informatici è talvolta eccessivo e di difficile gestione e, non da ultimo, la

⁴⁵⁵ AGISOFT 2015.

questione economica gioca spesso un ruolo fondamentale nella scelta dei dispositivi tecnologici.

La *suite* Photoscan - a differenza dei software Open Source analizzati in precedenza - offre in effetti la possibilità di procedere dalla fase di acquisizione dei dati (le fotografie), fino all'ottenimento di una geometria tridimensionale (*mesh*) scalata e geo-referenziata attraverso un'interfaccia intuitiva e immediata. Tutti i processi intermedi sono automatizzati con la necessità di basilari conoscenze tecniche da parte dell'operatore e, fondamentale per le necessità dell'archeologia, completamente controllabili e modificabili dallo stesso operatore semi-esperto. Il rilievo si sviluppa secondo delle fasi in tutto simili al rilievo fotogrammetrico classico (analitico o digitale). Tali fasi verranno ampiamente analizzate più avanti, mentre di seguito si darà una sintetica descrizione delle loro caratteristiche generali e dei loro principali obiettivi, così da fungere da introduzione all'analisi del software scelto per questa sperimentazione. Le fasi sono dunque:

- 1) Pianificazione del rilievo;
- 2) Acquisizione dati (*data capture*);
- 3) Pre-elaborazione dati (*pre-processing* o *image manipulation*);
- 4) Elaborazione dati (*data processing*);
- 5) Post-elaborazione dati (*post-processing*);
- 6) Comunicazione (*data-sharing* e *communication*).

La prima fase è la pianificazione del rilievo nella quale, viste le caratteristiche del sito, si determina l'approccio di presa fotografica. Ciascun sito ha difatti le sue peculiari caratteristiche che, in parte, determinano la strategia di presa fotografica. Per fare un semplice esempio, un sito "piatto" con resti sul fondale caratterizzati da quote limitate, permetterà di nuotare parallelamente al di sopra del sito scattando foto a intervalli relativamente ampi. Al contrario, un sito con elevati ragguardevoli necessiterà di una strategia che preveda l'integrazione della copertura fotografica parallela al fondale, con intervalli più fitti, alla presa di alcune immagini da scattarsi sulle aree in elevato (*close-*

ups), così da permettere al software di ricostruire la geometria di quelle porzioni verticali difficilmente visibili nelle immagini scattate sulla zenitale. Un altro caso esemplare è quello del relitto moderno (solitamente ben conservato) che emerga fiero e con quote ragguardevoli dal fondale, per il quale sarà necessario procedere con una presa fotografica “circolare” attorno al sito, per così dire a 360°, a cui si devono aggiungere ulteriori immagini da scattarsi nelle zone meno esposte e/o geometricamente più complesse. Ad ogni modo, l’approccio e la strategia di rilievo, cioè l’acquisizione dei dati (presa fotografica o *data capture*), risultano piuttosto adattabili posto che i parametri “fissi” richiesti dal software CVP utilizzato siano rispettati. Questi parametri saranno analizzati per il software scelto (Agisoft Photoscan) con maggiore dettaglio più avanti; sia sufficiente dire che, come specificato nel precedente capitolo, la restituzione fotogrammetrica richiede la sovrapposizione delle immagini adiacenti per una determinata percentuale variabile da algoritmo ad algoritmo e, dunque, da software a software.

La fase di acquisizione dati (*data capture*) risulta, nel rilievo fotogrammetrico, la fase più importante, che determina - in gran parte - il livello del risultato raggiunto. Una buona copertura fotografica, con una sovrapposizione delle immagini sufficiente o più che sufficiente, la buona messa a fuoco e l’accuratezza nell’esposizione fotografica abbinati alla totale copertura della scena che si voglia restituire tridimensionalmente, sono tra i parametri ai quali dare un valore assoluto per una buona riuscita del rilievo CVP. Ciò significa che, come accade per l’occhio umano e per la percezione/cognizione visiva, i software fotogrammetrici restituiranno unicamente le aree che la fotocamera ha inquadrato e ripreso. Inoltre, per poter essere restituita tridimensionalmente, ciascun segmento/area deve essere presente in almeno due, o meglio, tre fotografie.

La fase successiva nel processo CVP è la manipolazione e aggiustamento delle immagini prima della loro elaborazione all’interno del software (*pre-processing/image manipulation*). Per questioni legate alla preservazione dei dati digitali (si veda il § 2.3), nello sviluppo dei casi studio presentati in questa tesi, si è scelto di scattare in formato “*.RAW”⁴⁵⁶, trasformando in seguito le immagini in formato “*.TIFF” per

⁴⁵⁶ Per i casi studio analizzati in seguito è stata utilizzata una fotocamera SLR Sony Alpha57 che supporta il formato proprietario .RAW denominato Alpha RaW (. ARW).

l'elaborazione con Photoscan, o in altri formati, ad esempio “**.JPEG”, per le immagini esemplificative da presentarsi in pubblicazioni scientifiche o divulgative e nella presente tesi. Scattare in formato “**.RAW” permette infatti di poter tornare al dato “grezzo” in qualsiasi momento, poiché tutte le informazioni di scatto sono conservate negli EXIF file, i metadata dell'immagine⁴⁵⁷: la carta d'identità di ogni singola immagine. Mantenere i metadata EXIF inalterati, evitando una compressione in formati quali il .JPEG, assicura infatti la possibilità di modificare in un secondo tempo parametri quali l'esposizione, le curve di livello e la nitidezza.

Una volta acquisite e pre-elaborate le immagini si può procedere alla fase di vera e propria elaborazione dati (*data processing*) che permette, attraverso un software CVP - Photoscan nel caso di questa ricerca - di passare da un set di immagini fotografiche ad un modello tridimensionale scalato e geo-referenziato. I singoli processi verranno descritti in maniera più approfondita più avanti. In sintesi, l'elaborazione dati, attraverso specifici algoritmi, procede all'orientamento interno ed esterno della macchina - tramite il riconoscimento di specifiche qualità delle immagini e dei loro valori tridimensionali relativi allo spazio virtuale interno al software - fino alla creazione di una nuvola di punti tridimensionale densa rappresentante la scena ripresa dalle immagini. Su questa potrà poi venir ricostruito il solido geometrico (*mesh*) tridimensionale composto da poligoni e superfici che connettono i punti limitrofi della nuvola di punti. La fase finale dell'elaborazione dati è la creazione di una tessitura (*texture*) - rappresentata da una sorta di patchwork creato sulla base delle immagini originali - che applicata al solido tridimensionale permette di creare un modello finale foto-realistico (*textured model*).

Una volta ottenuto il modello tridimensionale foto-realistico, questo può essere ulteriormente processato e studiato con l'utilizzo di software avanzati per l'analisi di modelli 3D. Il modello può inoltre venir ulteriormente manipolato nei software di modellazione tridimensionale, qualora la ricerca o la volontà del ricercatore richiedesse ipotesi ricostruttive tridimensionali. Ad esempio, questo potrebbe risultare necessario nel caso di relitti di imbarcazioni o di strutture architettoniche, per le quali ipotesi ricostruttive basate sulle evidenze archeologiche rilevate attraverso la CVP potrebbero

⁴⁵⁷ Gli Exchangeable Image File Format (EXIF) rappresentano i dati d'identità delle immagini scattate; a differenza di altri formati i file *.RAW infatti conservano tutti i metadata relativi all'immagine.

fornire ulteriori spunti interpretativi. Concludendo, il prodotto finale, sia esso derivante dalla CVP o ricostruito tramite software di modellazione 3D, potrà essere ulteriormente trattato nei software di animazione 3D per la creazione di animazioni *walk-through*, *fly-through* o interattive sia a fini scientifici sia di divulgazione e fruizione⁴⁵⁸.

Giungendo agli aspetti specifici relativi all'applicativo utilizzato per questa ricerca, Agisoft Photoscan procede all'elaborazione dei dati fotografici secondo quattro fasi⁴⁵⁹: i) l'allineamento delle immagini (*camera alignment*)⁴⁶⁰; ii) la creazione di una nuvola di punti densa (*dense point cloud building*); iii) la creazione della mesh (*mesh building*), ossia di una superficie geometrica formata da un numero variabile di poligoni (*faces*); e infine, iv) l'applicazione della tessitura (*texture generation*) ossia del colore, delle caratteristiche visuali ricostruite a partire dalle immagini originali⁴⁶¹.

Una volta caricate le immagini nel software (Photoscan), la prima fase di elaborazione procede al recupero della posizione della fotocamera e all'orientamento di ogni singola immagine. Attraverso una serie di algoritmi, il software estrae i parametri - in particolare la lunghezza focale - della fotocamera dai file EXIF⁴⁶². Nella seconda fase, sulla base della stima della posizione della fotocamera, prodotta nella prima fase, Photoscan calcola l'informazione della profondità per ciascuno scatto e crea una nuvola di punti densa⁴⁶³. Nella terza fase la nuvola di punti densa viene elaborata in una *mesh*, ossia un solido geometrico costituito da un numero variabile di poligoni che connettono i punti della nuvola di punti densa. Infine, l'ultima fase permette di rendere fotorealistico il solido geometrico attraverso la creazione di una *texture*, ossia una sorta di immagine "atlante" (*atlas*) rappresentata dalla scomposizione e ricomposizione delle immagini

⁴⁵⁸ FORTE, BELTRAMI 2000, pp. 275-276 e 282-283.

⁴⁵⁹ AGISOFT LLC 2015, pp. v-vi e 8-26.

⁴⁶⁰ Come suggeriscono MCCARTHY, BENJAMIN 2014, pp. 99-100, i software CVP sono «capaci di determinare le caratteristiche ottiche degli obiettivi direttamente dalle immagini senza alcuna previa calibrazione, sollevandoci da un peso significativo» anche se, come gli autori specificano, a seconda dell'occasione e della situazione inerente, la calibrazione della fotocamera potrebbe essere comunque necessaria.

⁴⁶¹ Si veda anche BALLETTI ET AL. 2015; VAN DAMME 2015a, b.

⁴⁶² REMONDINO ET AL. 2012.

⁴⁶³ REMONDINO ET AL. 2014.

originali. Si rimanda al manuale di Photoscan per le opportunità di elaborazione offerte per ciascuna di queste fasi⁴⁶⁴.

Come abbiamo visto nel § 3.2, l'applicazione della fotogrammetria precedentemente all'avvento della *Computer Vision*, richiedeva tempi e tecniche di restituzione lunghe e elaborate necessitando una competenza particolarmente avanzata, spesso demandata a tecnici informatici. Quando l'operatore non era anche archeologo, si creava una distorsione ed un distacco tra la fase di acquisizione dati, la fase di elaborazione e restituzione fotogrammetrica, quest'ultima demandata a tecnici informatici, ovviamente supervisionati dagli archeologi. Sottolineeremo e analizzeremo l'implicazione di questo distacco nel prossimo capitolo (§ 5.4), per ora sarà sufficiente sottolineare come l'impossibilità di seguire l'intero procedimento fotogrammetrico in maniera continuativa crei una sorta di interruzione del processo interpretativo che, si vuole sostenere in questo elaborato, comincia nel momento in cui l'archeologo si pone in contatto con l'evidenza archeologica e viene supportato e condizionato dall'intero processo di rilievo CVP (ossia i punti 1-6 sopra citati), offrendo la possibilità allo studioso di raffrontarsi con il sito sia in maniera diretta in fase di acquisizione dati, dovendone comprendere le parti e le loro relazioni spaziali in sede di presa fotografica affinché l'elaborazione finale possa essere il più accurata possibile, sia in maniera indiretta ma critica e razionale, attraverso il modello digitale 3D, in sede di analisi, quale passaggio nel processo di interpretazione archeologica (si veda il capitolo 5).

Come per la fotogrammetria analogica e analitica, gli aspetti da tenere in conto per l'ottenimento di un significativo modello con il rilievo CVP vertono principalmente sul momento di acquisizione dei dati fotografici e risultano dunque condizionati dalla scelta degli hardware (macchina fotografica, obiettivi, custodia subacquea etc.) e delle impostazioni di scatto. A questo si aggiungono alcuni accorgimenti caratteristici di ciascuna fase successiva, a partire dalla pianificazione e attuazione del rilievo che risulta essere - si vuole sostenere - una prima interpretazione del sito, un'istanza dell'ermeneutica archeologica. In questo paragrafo verranno analizzati alcuni aspetti legati al fondamentale momento dell'acquisizione dati, e alle successive e altrettanto importanti fasi di elaborazione e post-elaborazione dati.

⁴⁶⁴ AGISOFT 2015.

Come abbiamo visto nel precedente paragrafo (§ 4.1), la scelta dell'hardware, nel caso specifico il sistema composto da fotocamera digitale, obiettivo e custodia subacquea è fondamentale per una buona riuscita del rilievo CVP. Ancora più importante è selezionare la corretta impostazione della macchina fotografica per l'acquisizione in acqua. Non esistono ovviamente dei criteri predefiniti poiché le impostazioni sono influenzate da numerosi e variabili parametri quali, ad esempio, l'ora del rilievo e dunque la quantità e la rifrazione della luce sott'acqua, la limpidezza o torbidezza dell'acqua e dunque la presenza o meno di sedimento in sospensione e, non da ultimo, la profondità del sito. Nel prossimo paragrafo, all'interno della presentazione dei casi studio si proporranno alcune riflessioni su questi aspetti.

4.3 CASI STUDIO

I casi studio che si presentano di seguito hanno lo scopo di esemplificare gli aspetti pratici, ossia metodologici legati all'utilizzo delle tecniche CVP per il rilievo di siti archeologici subacquei ed informare l'analisi delle potenzialità interpretative insite sia nel processo di rilievo CVP che nel finale modello 3D. Si procederà dunque al resoconto dell'approccio tenuto nel rilievo CVP nei casi studio, cercando di sottolineare quali siano gli aspetti positivi e negativi riscontrati e che caratterizzano il processo di rilievo. Gli aspetti interpretativi legati all'utilizzo di queste tecniche verranno invece analizzati nel prossimo capitolo (§ 5.4). In sintesi, questo paragrafo fungerà da impianto metodologico mentre l'impianto ermeneutico verrà sviluppato nel prossimo capitolo.

4.3.1 PORTO ANTICO DI MARINA LUNGA - SOTTOMONASTERO (LIPARI, SICILIA)

Il sito sommerso, ubicato all'interno del bacino del moderno porto di Lipari, in località Marina Lunga-Sottomonastero, è stato identificato nel 2008 durante i lavori di dragaggio per l'ampliamento del bacino portuale e la costruzione di un nuovo molo per l'attracco degli aliscafi che collegano le isole dell'arcipelago Eoliano con la terraferma, Milazzo (ME) in particolare. Il sito si trova a circa 60 metri in direzione N-E dalla moderna banchina portuale e a circa 25 metri a S-E del molo di attracco degli aliscafi (Fig. 5), ad una profondità massima di circa 10 metri.

Il sito di Marina Lunga - Sottomonastero è in realtà suddiviso in due settori, descritti nel contributo di Anzidei et al. come area A e area B. In questa trattazione ci si focalizzerà sull'area A del sito, nel quale lo scrivente ha prodotto i test con Photoscan, come parte delle ricerche prodotte durante i Workshop Archeolie (2014-2015). L'area B è caratterizzata dalla presenza di ampi blocchi e di un muro con una pavimentazione che corre in direzione N-O/S-E⁴⁶⁵. Il sito A è invece caratterizzato da una pavimentazione in *opus signinum* - della quale sono stati rinvenuti due frammenti - impostata su una

⁴⁶⁵ ANZIDEI ET AL. 2015, p. 7.

fondazione in conglomerato cementizio costituito da ciottoli marini legati assieme⁴⁶⁶. Al di sopra poggiano un totale di dieci basi di colonne disposte in maniera non coerente sul piano in conglomerato cementizio (Fig. 6). L'area A ha restituito inoltre una discreta quantità di materiale ceramico, principalmente anforico, datante tra I secolo a.C. e V secolo d.C.⁴⁶⁷.



Fig. 5 - Localizzazione Geografica del sito di Marina Lunga - Sottomonastero (Immagini: Google Earth; Foto: Massimiliano Secci).

Come detto, il sito è stato identificato nel 2008 a seguito di lavori di dragaggio e si trova oggi sommerso ad una profondità di circa 10 metri. Ad una prima analisi il sito era apparso il limite estremo di una banchina portuale risalente al periodo Romano in base alle caratteristiche dei resti archeologici e della cultura materiale. Alcune indagini geomorfologiche, sulla subsidenza e sulle modificazioni del livello del mare di

⁴⁶⁶ ANZIDEI ET AL. 2015, p. 6.

⁴⁶⁷ Si ringrazia per il dato la Dott.ssa Barbara Panico, dottoranda presso il Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione dell'Università degli Studi di Sassari.

quest'area, attraverso l'utilizzo di marker archeologici - tra i quali anche il sito di Marina Lunga-Sottomonastero - pare aver confermato questa preliminare ipotesi⁴⁶⁸.



Fig. 6 - Sito sommerso di Marina Lunga - Sottomonastero (Lipari), al termine dello scavo del 2015. Sono visibili le basi di colonna, i blocchi di delimitazione dell'area e il piano in *opus signinum* (Foto: Salvo Emma).

Una serie di circostanze e conseguenti riflessioni hanno portato a decidere per la sperimentazione delle tecniche CVP. La tipologia del contesto archeologico, l'intervento di archeologia di emergenza, il contesto socio-economico dell'isola e il limitato tempo a disposizione per l'indagine archeologica - circa due settimane - hanno suggerito l'utilizzazione di questa metodologia di rilievo. Il rilievo in ambiente subacqueo rappresenta un'attività difficoltosa e esigente in termini di tempo⁴⁶⁹, mentre il tempo è un aspetto piuttosto importante nell'economia di uno scavo o di una ricognizione subacquea. In questo quadro, un primo test fotogrammetrico è stato prodotto nel mese di settembre del 2014, durante le due settimane del 2° Workshop di Archeologia, Tecnica e Scienze

⁴⁶⁸ ANZIDEI ET AL. 2015.

⁴⁶⁹ HOLT 2003; GREEN, GAINSFORD 2003

Subacquee, Archeolie 2014⁴⁷⁰, con l'utilizzo dei software Open Source PPT e della combinazione Apero-MicMac. L'obiettivo di questa preliminare sperimentazione era di verificare l'applicabilità e l'affidabilità dei due software Open Source, come visto basati sui metodi SfM e IBM. Si è parlato in precedenza delle problematiche legate alla natura Open Source di PPT e Apero-MicMac. In questo quadro, una maggiore attenzione per la semplicità e intuitività di utilizzo (*user-friendly*) è stata data a PPT, ed è il flusso di lavoro con questo software che si descriverà brevemente in questa sede, rimandando alla relativa letteratura per gli approfondimenti su Apero-MicMac⁴⁷¹. Durante la prima sperimentazione si sono prodotti due rilievi CVP; uno all'inizio delle due settimane di scavo, quando il sito era ancora ricoperto dal sedimento misto sabbia/limo depositatosi nei circa dodici mesi intercorsi dal 1° Workshop Archeolie 2013, con solo 5 colonne emergenti dal fondale, mentre il rilievo finale, con l'acquisizione ed elaborazione dei dati è stata prodotta nel penultimo giorno della campagna 2014 (Fig. 7).

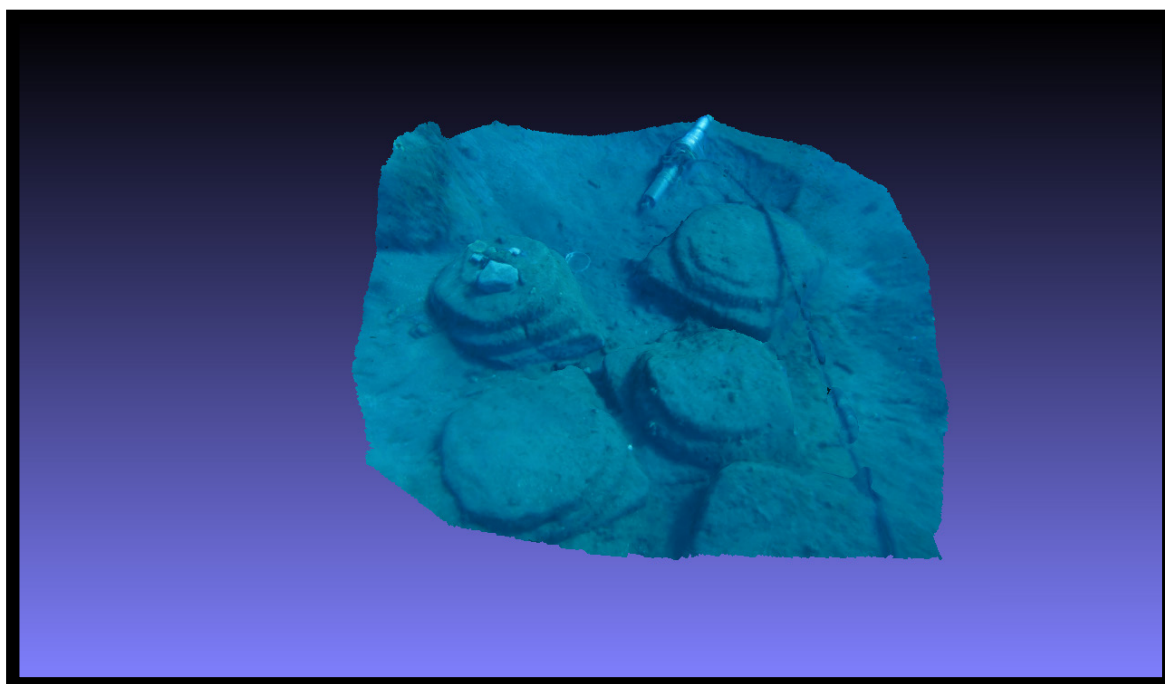


Fig. 7 - Modello 3D prodotto con PPT, precedentemente allo scavo del 2014 (elaborazione: Massimiliano Secci).

⁴⁷⁰ Il 2° Workshop Archeolie 2014 diretto dalla Soprintendenza del Mare della Regione Siciliana, dall'Università degli Studi di Sassari e dal Museo Archeologico Eoliano "Bernabò Brea", ha visto la collaborazione della Soprintendenza per i Beni culturali e ambientali di Messina, dell'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), del Comune di Lipari, del III Nucleo Sommozzatori della Capitaneria di Porto di Messina, della società di ricerca subacquea Arena Sub s.r.l. e della ditta Nautica Portelli, con il supporto logistico di alcuni diving center locali.

⁴⁷¹ PIERROT DESEILLIGNY, CLERY 2011; CLERY, PIERROT DESEILLIGNY 2011.

La fase di acquisizione dati è di gran lunga la fase più importante del processo di rilievo CVP. Come regola generale, più sono le immagini e maggiore è la sovrapposizione tra immagini limitrofe, migliore sarà il risultato⁴⁷². Ovviamente, il maggior numero di immagini fotografiche richiederà un tempo maggiore di elaborazione da parte del software. Per questo motivo bisogna porre attenzione affinché la giusta cautela nell'acquisire un numero sufficiente di foto, la copertura totale dell'aria da rilevare e la giusta sovrapposizione tra immagini, non si risolva in un'inutile sovraccarico di immagini che non apporteranno alcun sensibile miglioramento del prodotto finale, ma provocheranno sicuramente un rallentamento nella fase di elaborazione dati.

Per il rilievo finale, in fase di pianificazione si è deciso di procedere all'immersione durante le prime ore del mattino allo scopo di evitare alcuni fattori che avrebbero potuto mettere a rischio la fattibilità del rilievo o il risultato finale. Come detto, il sito si trova a meno di 100 metri dal molo di attracco degli aliscafi e il fondale è caratterizzato da un sedimento composto da sabbia e limo che, una volta smosso nella colonna d'acqua tarda a depositarsi intorbidendo notevolmente l'acqua, restringendo anche sensibilmente la visibilità. Da qui la necessità di evitare il traffico degli aliscafi e il movimento ondoso e di sedimento che questi possono creare. Inoltre, si sono volute evitare le ore centrali del giorno per eludere i raggi diretti del sole durante la presa fotografica. Ultimo fattore, si voleva evitare l'azione delle correnti e del moto ondoso che tendevano a crescere nelle tarde ore della mattinata e nelle prime ore del pomeriggio.

Per la fase di *data capture* sono state utilizzate due impostazioni hardware. Nel primo caso è stata utilizzata una Canon G11 all'interno di una custodia subacquea Isotta, mentre per il secondo è stata utilizzata una fotocamera SLR digitale Nikon D90 con custodia Ikelite® Underwater Systems⁴⁷³. L'intera copertura del sito è stata portata a compimento in una immersione di due operatori subacquei durata 30 minuti con l'acquisizione di un totale di circa 300 immagini. Si sono dunque prodotte due differenti procedure di acquisizione dati: i) una copertura a 360° gradi attorno al sito con alcuni close-up nella porzione ovest dell'area scavata del sito, in prossimità dell'alta sezione di circa 1.5 metri

⁴⁷² SKARLATOS ET AL. 2012; MCCARTHY, BENJAMIN 2014.

⁴⁷³ Si ringrazia per il supporto nella fase di acquisizione dei dati fotografici il dott. Salvo Emma della Soprintendenza del Mare della Regione Siciliana.

di altezza al di sopra del piano in *opus signinum* che occludeva la completa visione di alcune basi di colonna (Fig. 8); ii) una presa sulla zenitale del sito nelle direzioni N-S e O-E.



Fig. 8 - Vista delle colonne occlusa dalla sezione (Foto: Salvo Emma).

Mentre la prima procedura di acquisizione dati è risultata piuttosto solida, con qualche difficoltà nell'acquisire il lato delle colonne più prossime alla sezione, problematica che è stata superata con l'acquisizione di alcune immagini più prossime alle colonne; la seconda procedura è stata semplice da applicare ma si è realizzato nella fase di post-elaborazione che la copertura in solo due direzioni lungo gli assi cardinali (N-S e O-E) ha prodotto dei "buchi" nella risultante nuvola di punti. Questo per confermare come sia necessario che nella presa fotografica tutte le parti della scena da rappresentare tridimensionalmente siano visualizzate nelle fotografie e come la mancata visualizzazione nelle fotografie risulti un vuoto nella nuvola di punti finale. Tuttavia, i problemi riscontrati sono stati in parte superati integrando i due metodi (360° e presa zenitale) in modo da massimizzare la copertura del sito. Complessivamente, i metodi impiegati sono

risultati efficaci, anche se ci si è resi conto che un numero maggiore di immagini fotografiche, una maggiore sovrapposizione e la presa fotografica più prossima al sito avrebbe garantito un maggiore dettaglio del finale modello 3D. Un altro problema, già identificato da McCarty e Benjamin⁴⁷⁴, è stato la difficoltà di mettere a fuoco con la fotocamera compatta Canon G11, particolarmente a causa di un ritardo dello scatto e l'effetto delle correnti - fatto che ha causato la cattiva messa a fuoco di alcune immagini fotografiche - e che non si è verificato con la Nikon D90 grazie alla possibilità di scattare in modalità continua. Come è stato precedentemente suggerito, la fase di elaborazione dati in PPT permette la creazione della nuvola di punti densa. Il test è stato prodotto con un totale di 152 immagini scattate con la Nikon D90 (Fig. 9).



Fig. 9 - Una delle immagini della serie, scattate con la Nikon D90, utilizzata per l'elaborazione con PPT (Foto: Salvo Emma).

L'elaborazione dati attraverso la GUI di PPT, come accennato più volte, è consistita in due semplici fasi: 1) il *Bundler*; e 2) il processo CMVS/PMVS⁴⁷⁵. L'interfaccia GUI di

⁴⁷⁴ MCCARTHY, BENJAMIN 2014, p. 100.

⁴⁷⁵ Specificatamente a PPT, si veda MOULON, BEZZI 2011; Cfr. SKARLATOS ET AL. 2012; REMONDINO ET AL. 2012.

PPT permette di seguire questi due processi in una maniera piuttosto intuitiva e Pierre Moulon e Alessandro Bezzi⁴⁷⁶ spiegano in maniera semplice ma dettagliata i processi tecnici del software, per cui non ci si soffermerà sulla loro descrizione, alla quale si rimanda per meglio comprendere il necessario workflow. La nuvola di punti densa prodotta attraverso la fase di elaborazione all'interno del software PPT è stata in seguito post-elaborata con l'ausilio dei software MeshLab e Cloud Compare.

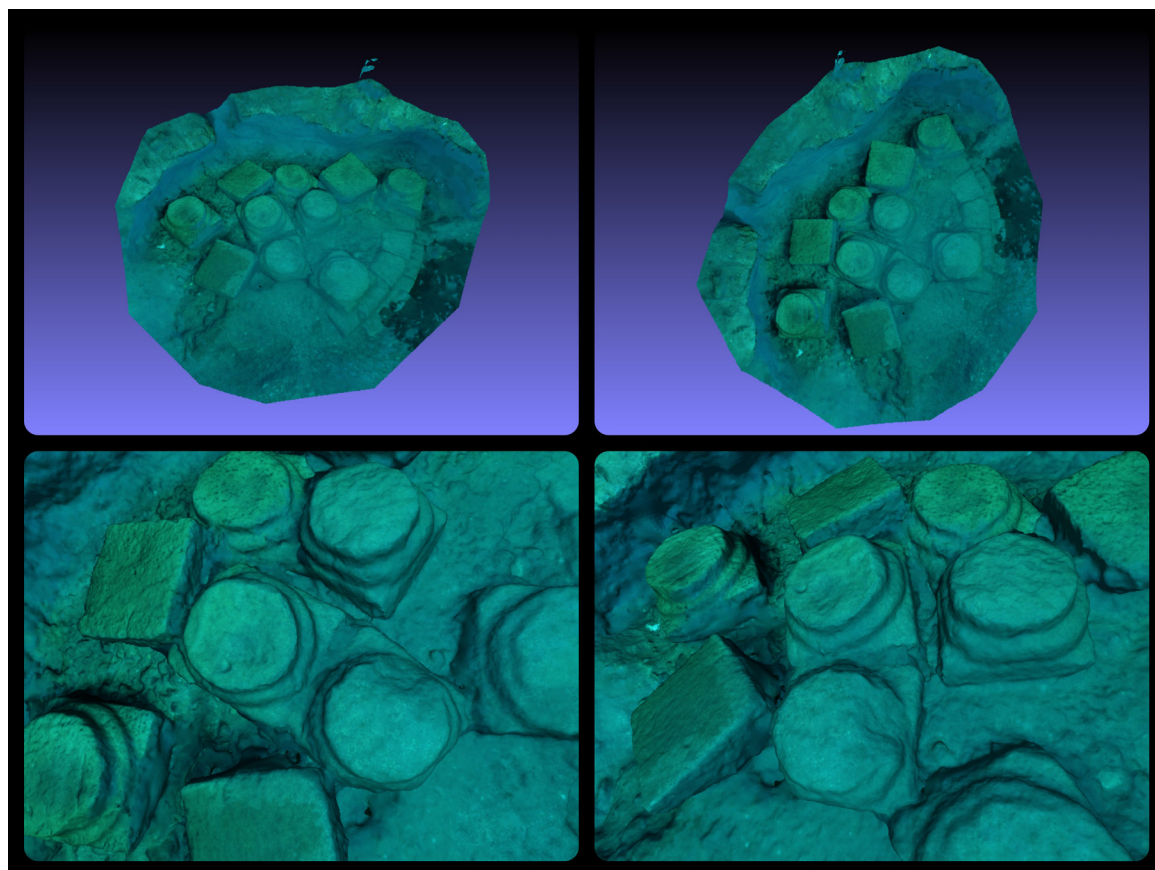


Fig. 10 - Modello tridimensionale prodotto con PPT (Elaborazione: Massimiliano Secci).

È stata prodotta una prima pulizia della nuvola di punti dal “rumore” rappresentato da falsi punti nello spazio, attraverso il software Cloud Compare che fornisce uno strumento di pulizia della nuvola di punti - definito “segment” - ritenuto più pratico di quello di MeshLab. Una volta pulita la nuvola di punti si è ricostruita la geometria attraverso l’uso dell’algoritmo Poisson Reconstruction di Cloud Compare. A questo punto Cloud Compare permette di esportare i modelli 3D (nuvola di punti o mesh) in vari formati, tra i

⁴⁷⁶ MOULON, BEZZI 2011.

quali lo Stanford Polygon File Format (.ply) uno dei più comunemente usati in ambiente 3D. Infine, il file esportato nell'estensione .ply è stato importato all'interno di MeshLab insieme al file *bundle.out* prodotto da PPT - contenente i parametri della fotocamera (calibrazione interna ed esterna) e dunque delle immagini, così come la geometria della scena⁴⁷⁷ - al fine di permettere la creazione e applicazione della texture sul solido geometrico. I risultati del processo CVP sono rappresentati in Fig. 10.

L'impiego di PPT - e in definitiva anche di Apero-MicMac - è stato tuttavia rapidamente accantonato a seguito di una serie di riflessioni metodologiche che si esporranno brevemente qui di seguito. Per quanto l'opportunità di utilizzare tecnologie hardware e software *low cost* e Open Source sia più che auspicabile in ambito archeologico, per svariati motivi che vanno dall'abbattimento di alcuni costi fino alla possibilità di favorire la circolazione di processi e dati insiti nella ricerca archeologica prodotta con una filosofia Open Data⁴⁷⁸, tali dispositivi risultano spesso macchinosi. Pur non volendo generalizzare, nella presente esperienza, ad esempio, l'utilizzo della piattaforma Linux ha richiesto il coinvolgimento a varie riprese di un esperto del sistema operativo per la risoluzione di minimi problemi. È chiaro come questa problematica sia ascrivibile alle conoscenze e competenze dell'operatore - lo scrivente per intenderci - piuttosto che ai dispositivi software come Linux, PPT o Apero-MicMac; tuttavia, la volontà di impiegare un impianto tecnologico di semplice utilizzo, fluido e intuitivo ha reso difficoltoso l'utilizzo di dispositivi che richiedono una approfondita alfabetizzazione informatica⁴⁷⁹. Inoltre, la necessità di lavorare su un insieme di software rende i processi di elaborazione e post-elaborazione dei dati lievemente più macchinosi.

A prescindere dalla questione prettamente tecnica, si sono riscontrate anche delle problematiche di tipo metodologico relative, principalmente, alla fase di acquisizione e di elaborazione dei dati fotografici. Come si è accennato, i problemi della presa fotografica sono stati in parte superati grazie al numero di immagini fotografiche e alla combinazione dei vari metodi di acquisizione. Per quanto riguarda invece la fase di elaborazione, nel caso di PPT il processo è piuttosto intuitivo e automatico grazie all'interfaccia GUI

⁴⁷⁷ MOULON, BEZZI 2011.

⁴⁷⁸ EUROPEAN COMMISSION 2015a; EUROPEAN COMMISSION 2015b; MOSCATI 2012.

⁴⁷⁹ Questo è particolarmente vero per quanto riguarda Apero-MicMac nel quale i procedimenti di elaborazione avvengono attraverso un'interfaccia a riga di comando.

sviluppata dall'Arc-Team, per quanto concerne invece MicMac - a causa della necessaria competenza informatica - il processo è stato più macchinoso e meno automatico, richiedendo la presenza e il monitoraggio costante da parte dell'operatore⁴⁸⁰.

Durante Archeolie 2014 è stato inoltre sperimentato un processo di acquisizione dati che coniuga il rilievo CVP con il rilievo strumentale tramite GPS Differenziale (DGPS)⁴⁸¹. Per il rilievo strumentale è stato utilizzato un DGPS GeoMax Zenith10 (72 canali) dotato di stazione fissa (a terra) e rover (in acqua), connessi al sistema di correzione differenziale nazionale (Fig. 11).



Fig. 11 - Il sistema Differential Global Positioning System (DGPS) (Foto: Massimiliano Secci).

⁴⁸⁰ Ripetiamo che queste problematiche sono definitivamente ascrivibili all'alfabetizzazione informatica dello scrivente piuttosto che ai software PPT e MicMac. Photoscan in questo, pur a costo di una licenza software, risulta più agevole da utilizzare poiché i processi sono utilizzabili intuitivamente attraverso una semplice interfaccia grafica e notevolmente automatizzati.

⁴⁸¹ Il merito dell'intuizione di un possibile rilievo congiunto CVP/DGPS è da attribuirsi a Giulia Nieddu, archeologa subacquea specializzanda presso il curriculum di archeologia subacquea di "Nesiotikà - Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici" dell'Università degli Studi di Sassari. L'autore è inoltre in debito con il dott. Gabriele Galletta anch'egli specializzando presso l'Università di Sassari, e con il dott. Salvo Emma della Soprintendenza del Mare della Regione Siciliana per il supporto nell'acquisizione delle immagini fotografiche. Si ringraziano inoltre i proff. Pier Giorgio Spanu, Sebastiano Tusa per il cortese supporto alla ricerca e i numerosi partecipanti ai Workshop Archeolie 2014 e 2015 per l'assistenza durante lo svolgimento dei test.

A questo scopo, è stata utilizzata una zattera galleggiante costituita da una piattaforma con un foro centrale all'interno della quale potesse essere inserita l'antenna *rover* dello strumento. Alla base dell'asta dell'antenna è stata quindi fissata una lenza zavorrata che permettesse di proiettare il punto sul fondale lungo la sua zenitale, fino alla superficie e in asse con l'antenna *rover*. Un operatore a terra ha operato il sistema DGPS attraverso il tablet e il software proprietario fornito dalla GeoMax, mentre due operatori in assetto da apnea in superficie fungevano da comunicazione tra l'operatore DGPS e l'operatore in immersione sul sito. La presenza dei due operatori in superficie fungeva anche da salvaguardia dello strumento e favoriva lo spostamento della zattera al di sopra del sito.

La proiezione dei punti in superficie è stata effettuata attraverso una lenza da cantiere (diametro 0.2 cm) legata all'asta dell'antenna galleggiante, piombata sul fondo e tenuta in tensione sulla verticale dall'operatore subacqueo per ridurre al minimo l'errore dato dalla corrente. Si è scelto, per una maggior sicurezza e per verificare l'attendibilità dell'errore strumentale, di agganciare i punti presi in acqua a 4 punti presi a terra sulle banchine ed immediatamente individuabili sulla carta tecnica regionale (CTR). Si è inoltre scelto di effettuare la battuta dei punti nell'arco di circa un'ora per permettere allo strumento di agganciare gli stessi satelliti sia per i punti a terra che per quelli in mare. Attraverso questo workflow, si è ottenuto un posizionamento GPS con errore costante a terra di ± 2 cm e in acqua di ± 30 cm. Si noti che il sito sommerso è distante circa 60 metri dalla banchina dell'odierno porto di Lipari. Il promettente risultato della sperimentazione del 2014 - data la situazione contingente, con la zattera di fortuna approntata con i materiali disponibili e il sistema di proiezione dei punti sul fondale anch'esso di fortuna - ha suggerito l'opportunità di elaborare un migliore sistema di rilievo congiunto CVP/DGPS, del quale si renderà conto a breve.

A seguito dell'esperienza del 2014 si è tuttavia evidenziata l'esigenza di approntare un miglioramento alla metodologia di rilievo, sia dal punto di vista degli strumenti che del procedimento. A questo riguardo, si sono acquisiti alcuni strumenti utili alla migliore riuscita della sperimentazione, tra i quali un obiettivo grandangolare Tokina AT-X 116 Pro DX AF 11-16mm f/2.8 per una fotocamera SLR Sony Alpha57, e la relativa custodia subacquea TTL della Ikelite® Underwater Systems con oblò emisferico (*Modular 8-inch Dome*) e modulo di estensione per lo specifico obiettivo (*Modular 3.5-inch Lens*

Extension), si è inoltre realizzata la zattera per l'utilizzo del DGPS in acqua⁴⁸². Le immagini fotografiche sono state acquisite con ottica a 11mm, ISO 100 e priorità di diaframma (f/2.8). Come accennato precedentemente, l'obiettivo grandangolare permette di acquisire le immagini a breve distanza dalla scena garantendo così di attenuare alcuni degli effetti identificati in precedenza - quali il sedimento in sospensione - e di ottenere immagini più chiare. Si è inoltre potuta approntare una zattera in vetro-resina con un sistema composto da cuscinetto oscillante, asta per l'antenna rover e cima zavorrata per la proiezione dei punti dal fondale (cima indeformabile di 1.7 mm di spessore; Fig. 12).



Fig. 12 - La zattera costruita per permettere l'utilizzo del sistema DGPS (Foto: Salvo Emma).

⁴⁸² La sperimentazione fa parte di un più ampio progetto finanziato dalla *Honor Frost Foundation* (HFF). Per maggiori informazioni sulla Honor Frost Foundation, si veda l'indirizzo web: <http://honorfrostfoundation.org/index.php/about-hff/>. Per informazioni si veda il progetto finanziato all'indirizzo web: <http://honorfrostfoundation.org/index.php/massimiliano-secci-computer-vision-photogrammetry-cvp-for-maritime-archaeology-research-and-public-outreach/> (ultimo accesso 5 novembre 2015).

La procedura di rilievo sviluppata durante il 3° Workshop Archeolie 2015⁴⁸³ sul sito di Marina Lunga - Sottomonastero (Lipari), è stata realizzata similmente a quanto avvenuto nella prima sperimentazione prodotta durante il 2° Workshop Archeolie 2014. Tuttavia, viste le problematiche riscontrate nelle sperimentazioni con PPT e MicMac, nel 2015, per la fase di elaborazione dati, si è optato per l'utilizzo del software Agisoft Photoscan. Il rilievo CVP/DGPS ha richiesto l'impiego di una persona su un gommone in prossimità del sito per operare il sistema DGPS, un operatore in superficie che fungesse da sistema di comunicazione tra operatore sul gommone e subacqueo in immersione e da sistema di sicurezza per la zattera e l'antenna (Fig. 13)⁴⁸⁴; infine, il subacqueo ha operato in immersione sia il rilievo CVP sia quello strumentale, supportato nelle diverse fasi dall'operatore in superficie e da un secondo subacqueo in immersione.

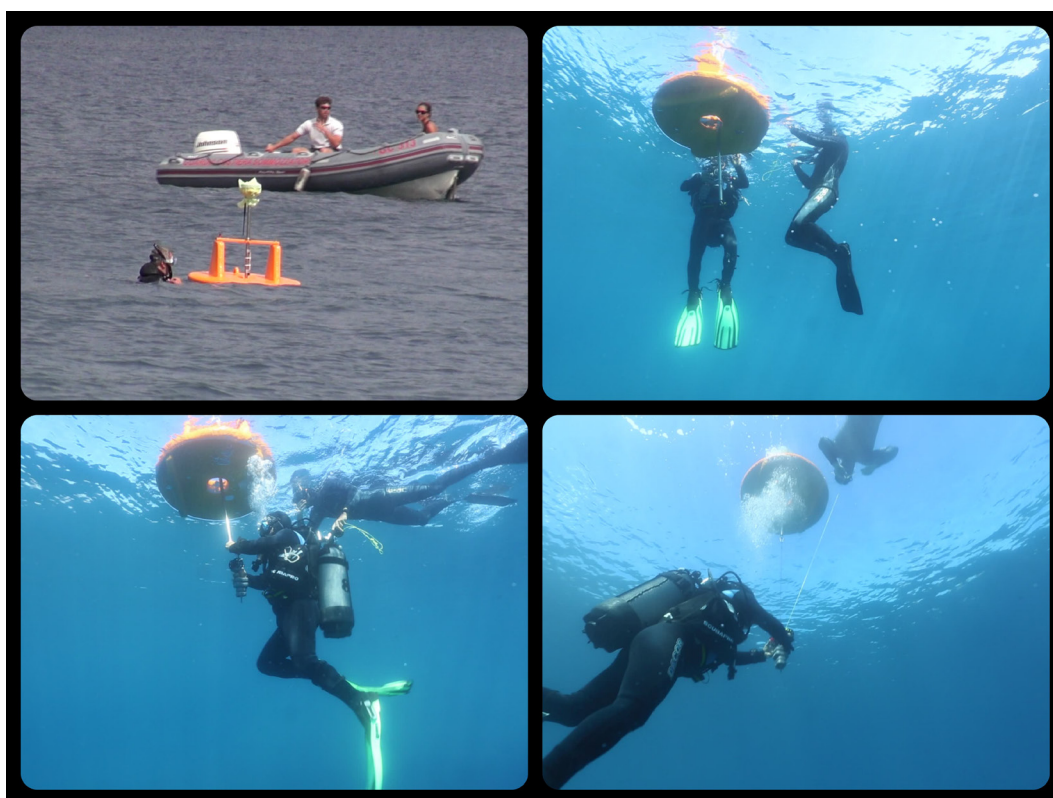


Fig. 13 - Montaggio del sistema di rilievo DGPS con zattera e cima zavorrata (Foto: Salvo Emma).

⁴⁸³ Il 3° Workshop Archeolie 2015 diretto dalla Soprintendenza del Mare della Regione Siciliana, dall'Università degli Studi di Sassari, e dall'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ha visto la collaborazione tra della Soprintendenza per i Beni culturali e ambientali di Messina, del Comune di Lipari, del Museo Archeologico Eoliano "Bernabò Brea", del III Nucleo Sommozzatori della Capitaneria di Porto di Messina, della società di ricerca subacquea Arena Sub s.r.l. della ditta Nautica Portelli, e di alcuni diving center locali.

⁴⁸⁴ La comunicazione tra operatore in immersione e operatore in superficie è avvenuta attraverso una sagola, la cui estremità libera era tenuta dall'operatore in superficie e l'altra estremità, raccolta in un rocchetto, tenuta dal subacqueo in immersione.

Durante la penultima giornata di cantiere (25 settembre 2015), si è proceduto a preparare il sito per il rilievo con il sistema CVP/DGPS⁴⁸⁵; si è fatta la totale pulizia del sito prima di smontare la strumentazione di scavo (sorbona, ceste per i materiali e simili) così da avere l'area libera da interferenze durante l'acquisizione dei dati fotografici. L'opportunità di procedere al rilievo combinato contestualmente durante la stessa immersione ha suggerito la necessità di procedere in maniera sistematica, onde evitare l'emersione e i relativi tempi di sosta in superficie prima della successiva immersione. In primis, si sono posizionati i *coded targets* (CT)⁴⁸⁶ utili nel processo di elaborazione dati all'interno del software Photoscan e come punti rilevanti per la geo-referenziazione del modello tridimensionale (Fig 14).

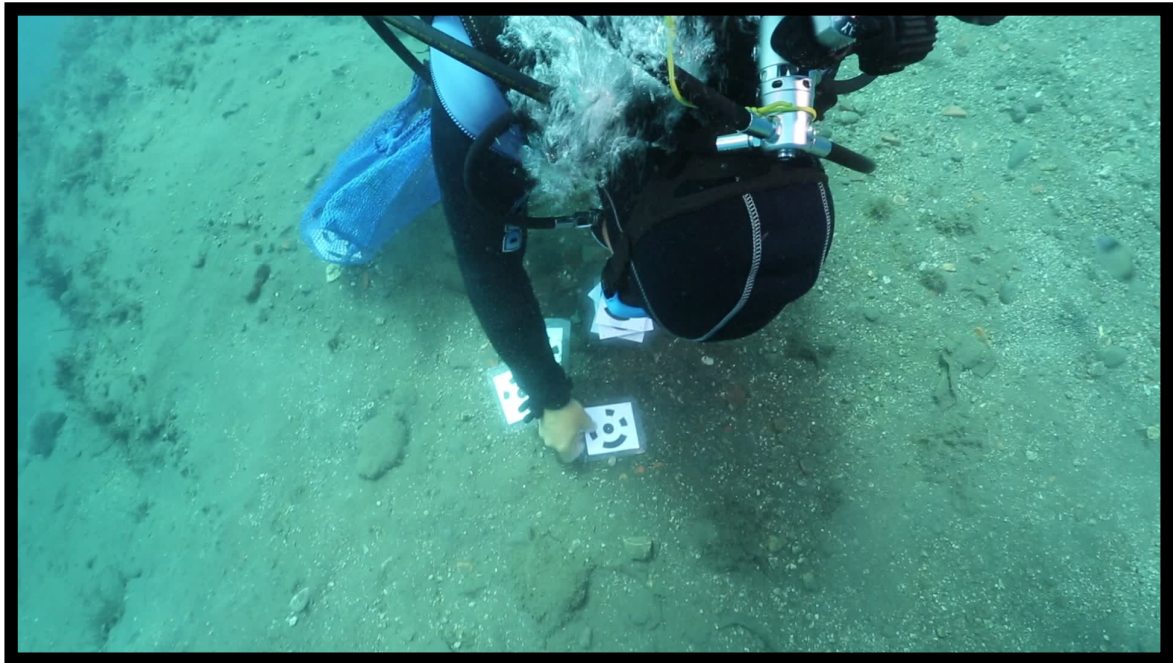


Fig. 14 - L'operatore subacqueo posiziona i *coded targets* intorno al sito (Foto: Salvo Emma).

In seguito al posizionamento dei marker si è deciso di procedere inizialmente al rilievo strumentale con il GPS Differenziale. L'operazione di rilievo con il DGPS infatti rischia

⁴⁸⁵ Anche per questo secondo test si ringraziano la dott.ssa Giulia Nieddu il dott. Gabriele Galletta, il dott. Salvo Emma, i proff. Pier Giorgio Spanu e Sebastiano Tusa, oltre ai numerosi partecipanti ai Workshop Archeologie 2015 per l'assistenza durante lo svolgimento del test.

⁴⁸⁶ Photoscan permette di stampare *coded targets* direttamente in formato *.pdf, si veda AGISOFT 2015 e i tutorial nel sito ufficiale Agisoft LLC all'indirizzo web: <http://www.agisoft.com/support/tutorials/beginner-level/> (ultimo accesso 5 novembre 2015).

di produrre un seppur lieve spostamento dei *targets*, cosicché, rilevare inizialmente con il DGPS e in seguito con la CVP, assicura che i CT acquisiti nelle immagini fotografiche - utili all'elaborazione con Photoscan - risultino nell'identica posizione in entrambi i rilievi, evitando così di sommare errori dovuti al loro movimento.

Come già brevemente accennato, il rilievo strumentale è stato prodotto da tre operatori - uno sul gommone di supporto, uno in immersione e uno in superficie - con l'utilizzo della zattera sulla quale era montata l'antenna rover. Precedentemente al rilievo in acqua, sono stati rilevati tre punti a terra - facilmente identificabili in una carta tecnica regionale (CTR) -, ai quali agganciare i punti presi in acqua (Fig. 15).

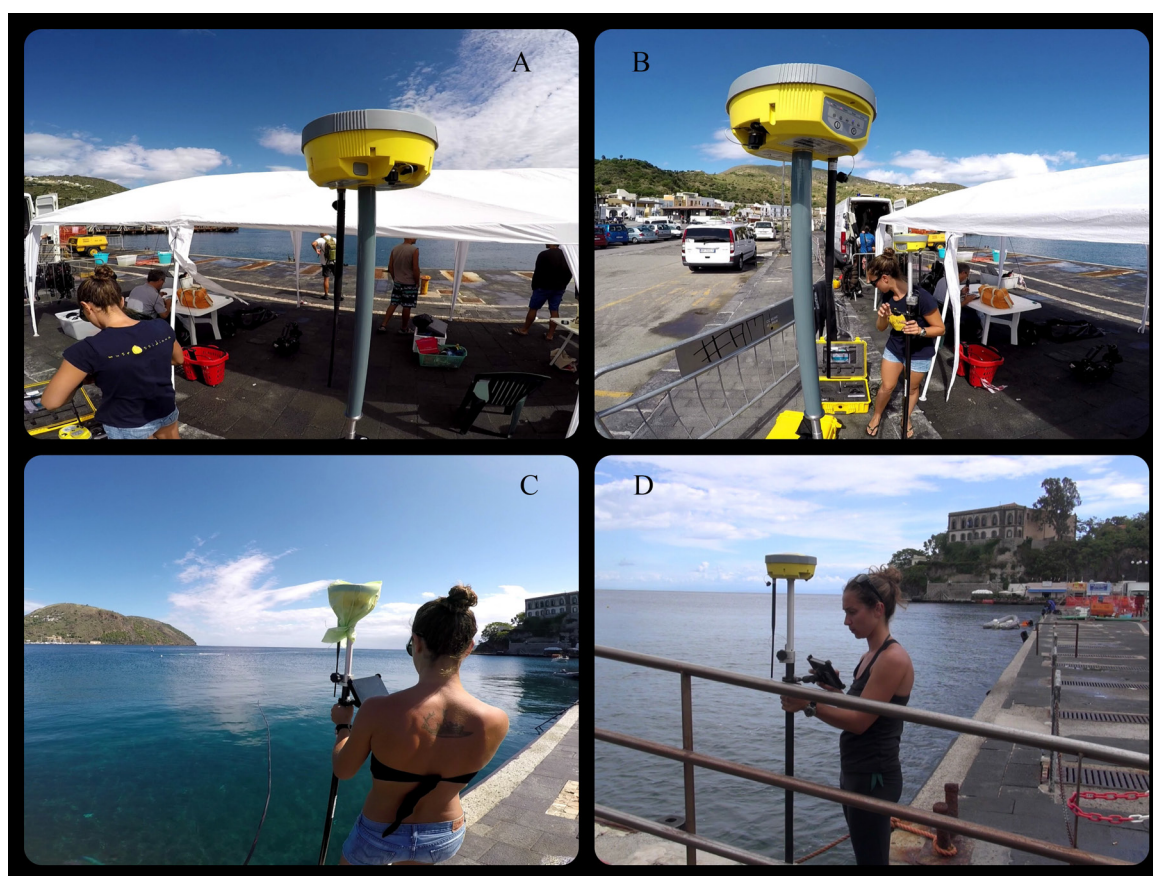


Fig. 15 - Posizionamento della base del sistema DGPS (A-B) e presa dei punti di controllo a terra (C-D) (Foto: Salvo Emma; Rilievo punti: Giulia Nieddu).

Si sono infine rilevati i CT in acqua con la proiezione del punto sul fondale attraverso il sistema di antenna rover, zattera, e cima zavorrata con “puntatore” per posizionare il sistema, posto totalmente in asse con l'antenna al centro del CT di riferimento. Il procedimento di rilievo è stato eseguito per tutti gli undici *target* preliminarmente disposti

attorno al sito da rilevare. In concreto, una volta posizionato il “puntatore” del sistema zattera-cima zavorrata sul CT da rilevare il subacqueo in immersione comunica all’operatore in superficie tramite alcuni strappi sulla sagola e, una volta stabilizzata la zattera e posta l’asta con l’antenna in bolla, quest’ultimo dà la sua approvazione con una comunicazione simile, cosicché il subacqueo in immersione possa verificare un’ultima volta il “puntatore” confermando con un conclusivo strappo la presa del punto che viene comunicata dall’operatore in superficie a quello sul gommone (Fig. 16). Questo meccanismo, lungo da spiegare a parole, si svolge nella realtà nell’arco di pochi secondi limitando il movimento del sistema e lo spostamento del suo asse. Questo procedimento è dunque ripetuto per ciascuno dei CT posizionati nell’area da rilevare.



Fig. 16 - Operatore in immersione rileva il punto/coded target con il sistema zattera-cima zavorrata. Si noti la sagola gialla per la comunicazione con la superficie (Foto: Salvo Emma).

Successivamente all’acquisizione dei punti con il DGPS, si può dunque procedere alla copertura fotografica dell’intero sito con gli scatti fotografici acquisiti dall’operatore subacqueo con un nuoto parallelo al sito da rilevare. Nel caso in esame, per evitare la ridotta visibilità l’operatore ha dovuto seguire la morfologia del sito mantenendo una distanza pressoché costante dal fondale di circa 1.5 metri. L’operatore ha dunque nuotato per linee parallele in direzione S-O/N-E e viceversa, mantenendo una corretta

sovrapposizione delle successive immagini sia in avanti sia lateralmente; approssimativamente nell'ordine dell'80% in avanti e del 60% lateralmente, come suggerito dal manuale di Photoscan⁴⁸⁷. Alle direttrici S-O/N-E, si è aggiunta la presa fotografica secondo le direttrici S-E/N-O, così da riuscire a coprire l'intero sito in tutte le direzioni. Durante i circa 60 minuti di immersione sono state acquisite oltre 600 immagini fotografiche, per un'area di circa 15x20 metri. Inoltre, allo scopo di scalare il modello e come verifica dell'affidabilità del rilievo con DGPS sono state prese alcune misure con il metodo della trilaterazione⁴⁸⁸.

Concluso il rilievo in acqua, si è prodotta una pre-elaborazione delle immagini fotografiche, sia per convertirne il formato da *.RAW a *.TIFF e agevolare l'elaborazione in Photoscan, sia per attenuare alcune caratteristiche dell'immagine legate all'ambiente acquatico. Attraverso il software di elaborazione di immagini digitali Adobe® Photoshop CC si è prodotta la conversione e si sono modificati alcuni parametri dell'immagine così da renderla più chiara e favorire sia l'elaborazione che la finale texturizzazione del modello. Per far ciò si sono utilizzati gli strumenti Script > Elaboratore Immagini per la conversione e Automatizza > Batch per applicare una azione comune a tutte le immagini prescelte. Alle immagini selezionate per l'elaborazione si sono dunque applicati il tono, contrasto e colore automatico (Fig. 17). Una volta modificati tali parametri si è proceduto con l'elaborazione dei dati all'interno di Photoscan nel modo in cui è stato brevemente descritto nel precedente paragrafo per cui non ci soffermeremo ulteriormente. Il risultato finale è, come detto più volte, un modello tridimensionale con tutte le caratteristiche spaziali acquisite dall'elaborazione delle immagini fotografiche (Fig. 18). Il rilievo attraverso trilaterazione ha inoltre permesso di dimensionare il modello 3D in base alle misurazioni prese sul campo.

⁴⁸⁷ AGISOFT 2015.

⁴⁸⁸ RULE 1989; HOLT 2003; si veda anche BALLETTI ET AL. 2015.

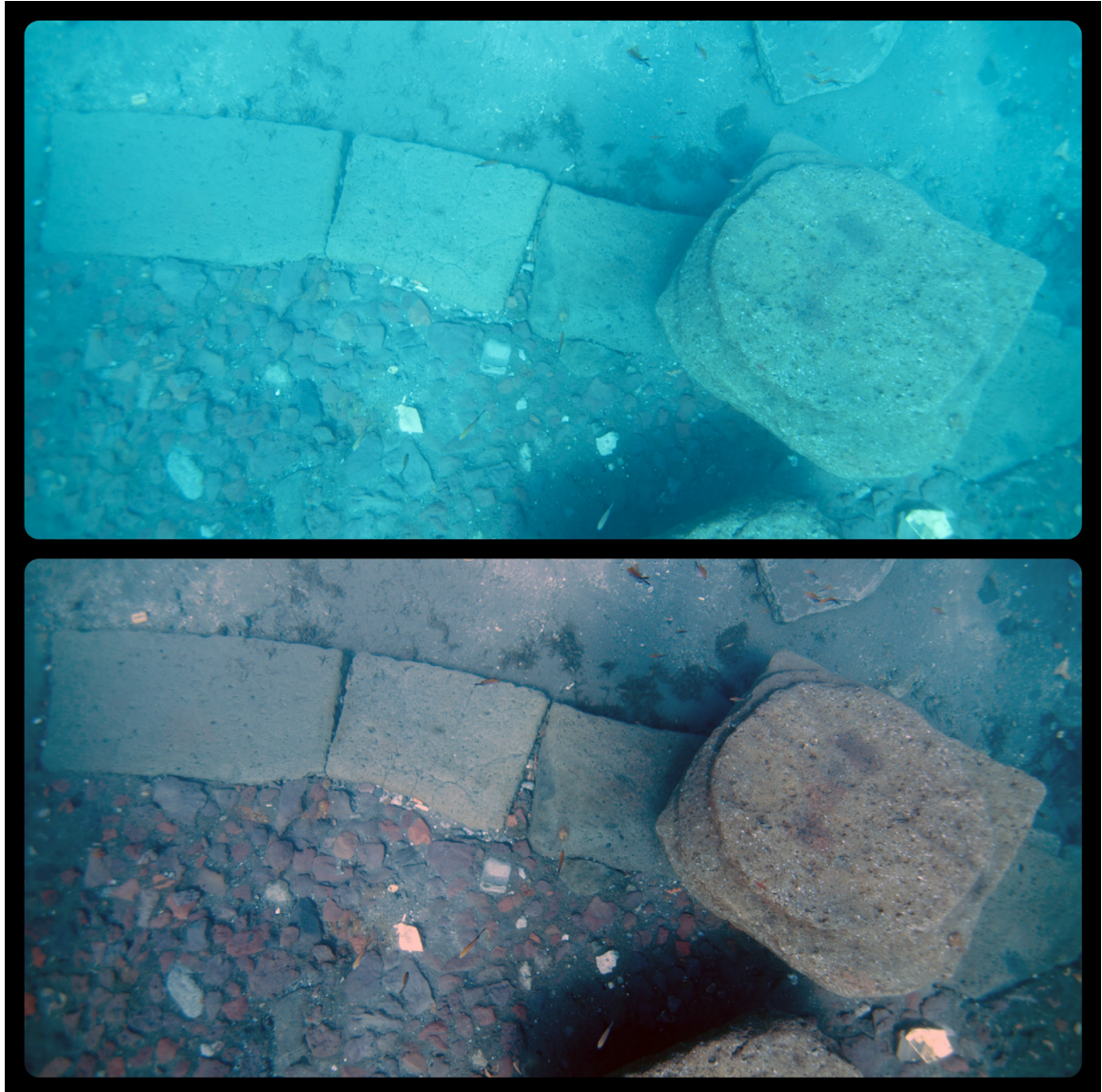


Fig. 17 - Esempio di immagine modificata: in alto l'immagine fotografica originale, in basso la stessa immagine a seguito dell'applicazione di tono, contrasto e colore automatici (Foto e elaborazione: Massimiliano Secci).

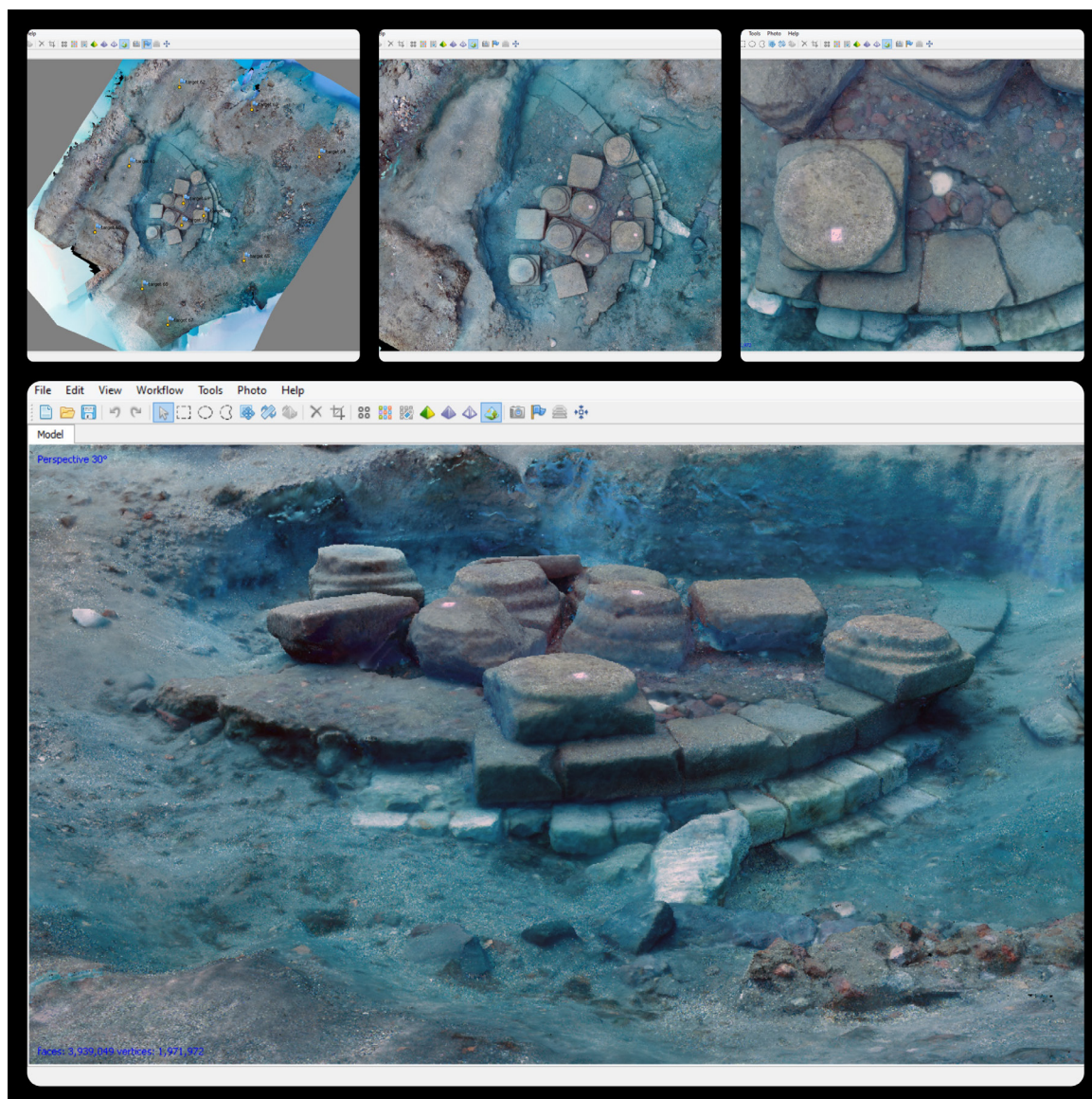


Fig. 18 - Modello 3D con texture del sito sommerso presso Marina Lunga - Sottomonastero, Lipari (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).

La *suite* Photoscan permette, una volta creato il solido geometrico, di esportare i risultati in vari formati adatti alla post-elaborazione in vari applicativi. Permette ad esempio di esportare il modello risultante in formato Stanford PLY (*.ply) per l'ulteriore elaborazione nei software di manipolazione di mesh come MeshLab o Cloud Compare, in formato Autodesk DXF (*.dxf) per l'elaborazione all'interno degli applicativi vettoriali come i CAD, permette di esportare ortofoto (in formato GeoTIFF, JPG o PNG), modelli digitali del terreno (DSM/DTM) e modelli in formato KML/KMZ per l'integrazione in Google Earth, oltre a numerosi formati tridimensionali quali Wavefront OBJ (*.obj) per

l'importazione in software di modellazione 3D (ad esempio Blender o Rhinoceros), o i modelli STL (*.stl), il formato file privilegiato dalle stampanti tridimensionali. Per quanto concerne questa sperimentazione, il modello tridimensionale finale è stato esportato come ortofoto (GeoTIFF e KML) e in formato Autodesk DXF (*.dxf) per ulteriori analisi. L'ortofoto in GeoTIFF (Fig. 19) ad esempio - similmente a quanto accade con la più tradizionale planimetria archeologica - propone interessanti possibilità di analisi ma anche alcune problematiche che verranno analizzate nel successivo capitolo (§ 5.4).

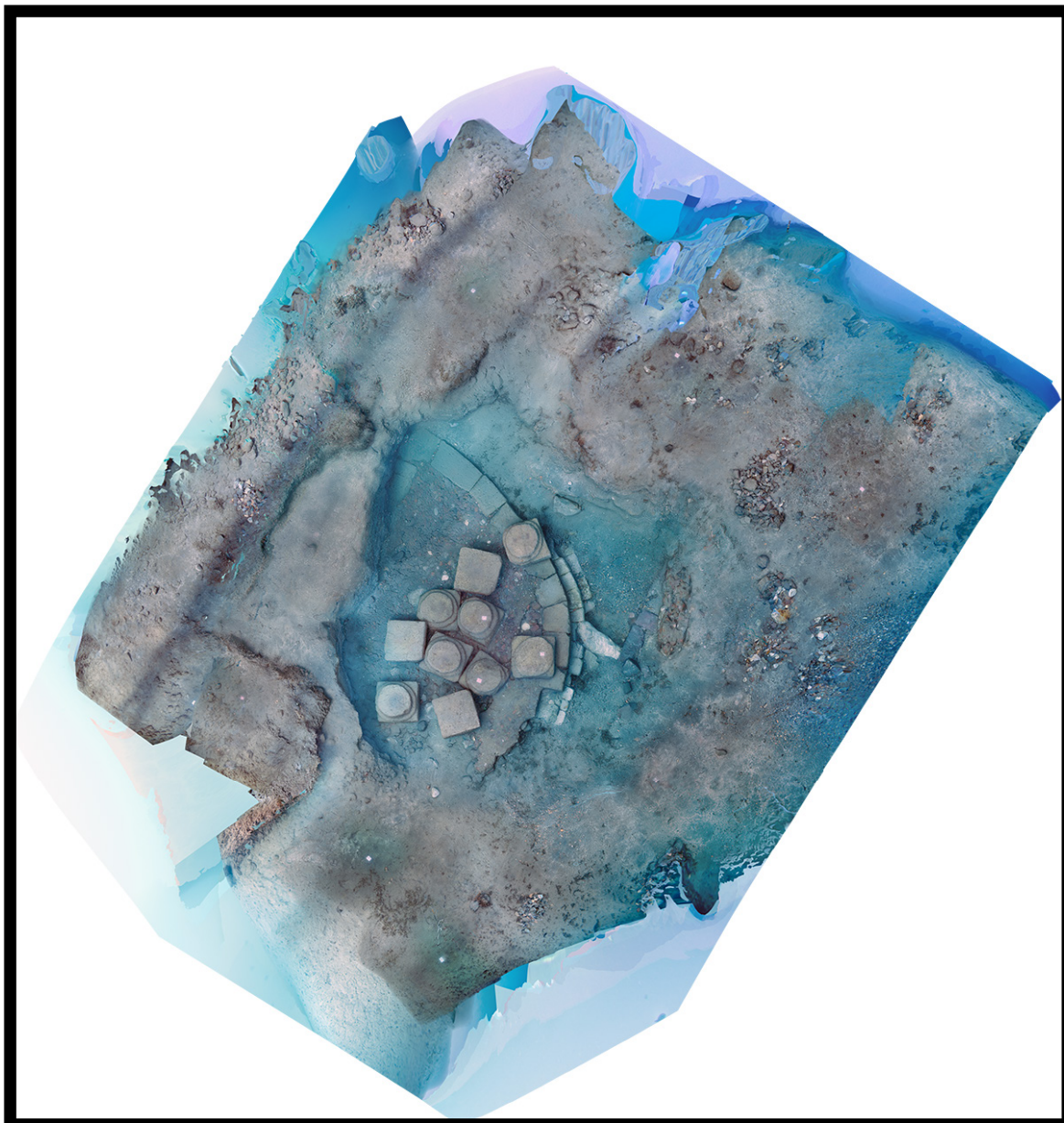


Fig. 19 - Ortofoto prodotta con Photoscan del sito sommerso di Marina Lunga - Sottomonastero, Lipari (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).

Una funzione interessante offerta da Photoscan è l'esportazione del modello 3D direttamente come file *.PDF navigabile (ALLEGATO A). Questa funzionalità permette ad esempio di poter visualizzare il modello, di interagirci con alcuni strumenti quali ad esempio le misure lineari, la visualizzazione vettoriale, la visualizzazione della sezione del modello e altri. Anche le potenzialità di questa funzionalità verranno analizzate nel § 5.4, al quale si rimanda. Infine, la creazione di un modello 3D attraverso il processo CVP permette di utilizzare il modello digitale acquisito in altri software per la ricostruzione tridimensionale o per l'animazione 3D. In questo ambito esistono numerosi software per la manipolazione di immagini vettoriali, quali il modello 3D, sia per ipotesi ricostruttive, sia per l'animazione tridimensionale della rappresentazione tridimensionale. Applicativi come Blender o Rhinoceros NURBS 3D permettono ad esempio di importare i solidi geometrici tridimensionali per produrre la modellazione 3D di ipotesi ricostruttive che si basano sulle esistenti evidenze materiali. Questo aspetto è molto comune nelle ricerche di virtual archeology e si rimanda alla letteratura richiamata in questo elaborato per maggiori informazioni⁴⁸⁹. Inoltre, il modello 3D CVP offre possibilità per l'analisi congiunta ad altri fonti di dati in ambiente GIS. Ad esempio in GIS *site-specific* come ad esempio il già richiamato Site Recorder⁴⁹⁰.

4.3.2 BAIA SOMMERSA (BACOLI, CAMPANIA)

Il territorio dei Campi Flegrei, che costituisce l'area più a nord dell'ampio Golfo di Napoli, rappresenta un'area ricca di evidenze archeologiche di assoluta rilevanza e rara bellezza. La storia di questo territorio è estremamente interessante e - alla luce, e nonostante, le vicende naturali che ne hanno caratterizzato e ancora ne caratterizzano l'evoluzione - i resti archeologici che si sono conservati fino a noi risultano spesso ben preservati e di estremo interesse. Per quanto concerne l'insediamento stabile nell'area, per il 770 a.C. è testimoniato un primo scalo commerciale presso *Pithecusa* (la moderna Ischia) e la fondazione di *Kyme* (Cuma), prima colonia greca d'occidente. Nel VI secolo

⁴⁸⁹ Si veda ad esempio BARCELÓ, FORTE, SANDERS 2000; FORTE 2014.

⁴⁹⁰ GREEN 2004; BALLETTI ET AL. 2015; si veda inoltre al termine del presente paragrafo il lavoro portato avanti da Kotaro Yamafune.

a.C. Cuma si scontrerà con gli Etruschi, mentre nel 194 a.C. al suo posto i Romani fondarono la città di *Puteoli* (Pozzuoli). In questo ampio territorio, l'antica Baiae ha rappresentato per secoli un centro di villeggiatura e di riposo prediletto dall'aristocrazia romana, grazie al clima mite, all'aria salubre e alla presenza di un ricco sistema di acque termali. Qui, a partire dal I secolo a.C. gli aristocratici romani legati alla corte imperiale⁴⁹¹ costruirono sontuose ville marittime, spesso dotate di peschiere per l'allevamento del pesce⁴⁹², mentre l'inizio della crisi dell'impero romano portò, intorno al III secolo d.C. al rapido abbandono del centro. Il declino di Baia è tuttavia da ascrivere ad una serie di concause, culturali e naturali; il declino dell'impero, come abbiamo visto, e l'effetto di fenomeni bradisismici che, a partire perlomeno dal III secolo d.C. dovettero sommergere alcune aree dell'abitato⁴⁹³. La porzione dell'area archeologica oggi sommersa si estende approssimativamente dal moderno abitato di Pozzuoli, a sud, fino al Capo Miseno, a nord, e conserva i resti di numerose strutture afferenti a complessi termali, ville marittime, peschiere e, il sito sommerso forse più noto, il Ninfeo dell'Imperatore Claudio.

La porzione sommersa della città Romana di Baia è, similmente a Pompei, oltremodo suggestiva. I resti sommersi delle strutture conservano un fascino evocativo, fatto che ha da sempre reso l'area interessante, sia dal punto di vista ricreativo che dal punto di vista archeologico. Le prime ricerche subacquee nell'area si devono a Nino Lamboglia e Amedeo Maiuri nel 1959⁴⁹⁴; i due studiosi avevano il progetto ambizioso di indagare approfonditamente l'area al largo di Punta dell'Epitaffio. Sfortunatamente la mancanza di finanziamenti e complicazioni burocratiche fecero presto abbandonare il progetto. Nel 1981-1982 l'indagine dell'area venne ripresa da Piero Alfredo Gianfrotta e Bernard Andrae, con la Soprintendenza Archeologica per le Province di Napoli e Caserta e la collaborazione del Centro Studi Subacquei di Napoli⁴⁹⁵. Lo scavo al largo di Punta dell'Epitaffio permise di portare alla luce l'intera struttura rimanente del Ninfeo di

⁴⁹¹ TOCCO SCIARELLI 1983, p. 18.

⁴⁹² BENINI 2004.

⁴⁹³ ZEVİ 1983, p. 13; BENINI 2004, p. 36.

⁴⁹⁴ LAMBOGLIA 1971.

⁴⁹⁵ TOCCO SCIARELLI 1983; GIANFROTTA 1983; ANDRAE 1983a; ANDRAE 1983b.

Claudio e alcune statue *in situ*⁴⁹⁶. All'inizio della seconda metà degli anni '80 del XX secolo, alcuni volontari si impegnarono nella estesa mappatura dei resti archeologici Baia sommersa (Fig. 20)⁴⁹⁷. All'inizio del nuovo millennio invece, un decreto interministeriale del Ministero dell'Ambiente e del Ministero dei beni culturali istituisce il Parco Sommerso di Baia ai fini di tutela del patrimonio archeologico e naturale, per la valorizzazione e fruizione del patrimonio ambientale e culturale e per la realizzazione di programmi di ricerca scientifica e lo sviluppo socio-economico dell'area⁴⁹⁸.

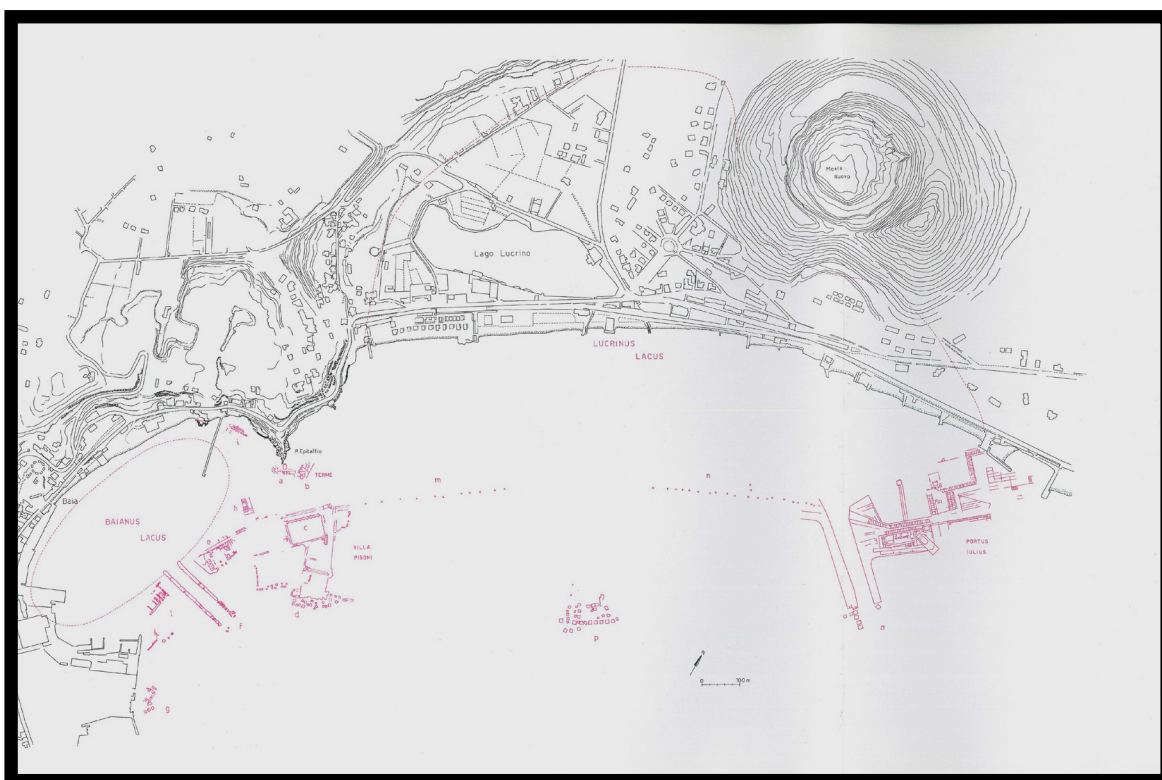


Fig. 20 - Topografia di Baia sommersa (SCOGNAMIGLIO 2002).

Nel 1997, il già Istituto Centrale per il Restauro (ICR), ora Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR), conscio della «importanza e complessità delle corrette procedure di recupero e conservazione dei ritrovamenti archeologici»⁴⁹⁹,

⁴⁹⁶ GIANFROTTA 1983; ANDRAE 1983b.

⁴⁹⁷ DI FRAIA ET AL. 1985-1986; DI FRAIA 1993; LOMBARDO 1993a, b; SCOGNAMIGLIO 1993, 1997, 2002, 2006.

⁴⁹⁸ DAVIDDE 2002.

⁴⁹⁹ PETRIAGGI 2002.

istituisce il Nucleo per gli Interventi di Archeologia Subacquea (NIAS), diretto dal Dott. Roberto Petriaggi e ora dalla Dott.ssa Barbara Davidde. Il NIAS, composto da archeologi, restauratori, biologi e chimici, ha l'obiettivo di fornire assistenza tecnica e scientifica negli aspetti che riguardano la conservazione e il restauro dei beni archeologici rinvenuti in ambiente acquatico. Fin dalla sua istituzione il NIAS ha rappresentato un punto di riferimento nel quadro dell'archeologia subacquea in Italia producendo numerosi progetti per il restauro, la stabilizzazione e la preservazione *in situ* dei siti e manufatti archeologici subacquei. In questa ormai quasi ventennale attività, il sito archeologico di Baia sommersa ha rappresentato il palcoscenico privilegiato per la sperimentazione di metodologie, tecnologie e materiali per la conservazione del patrimonio sommerso.

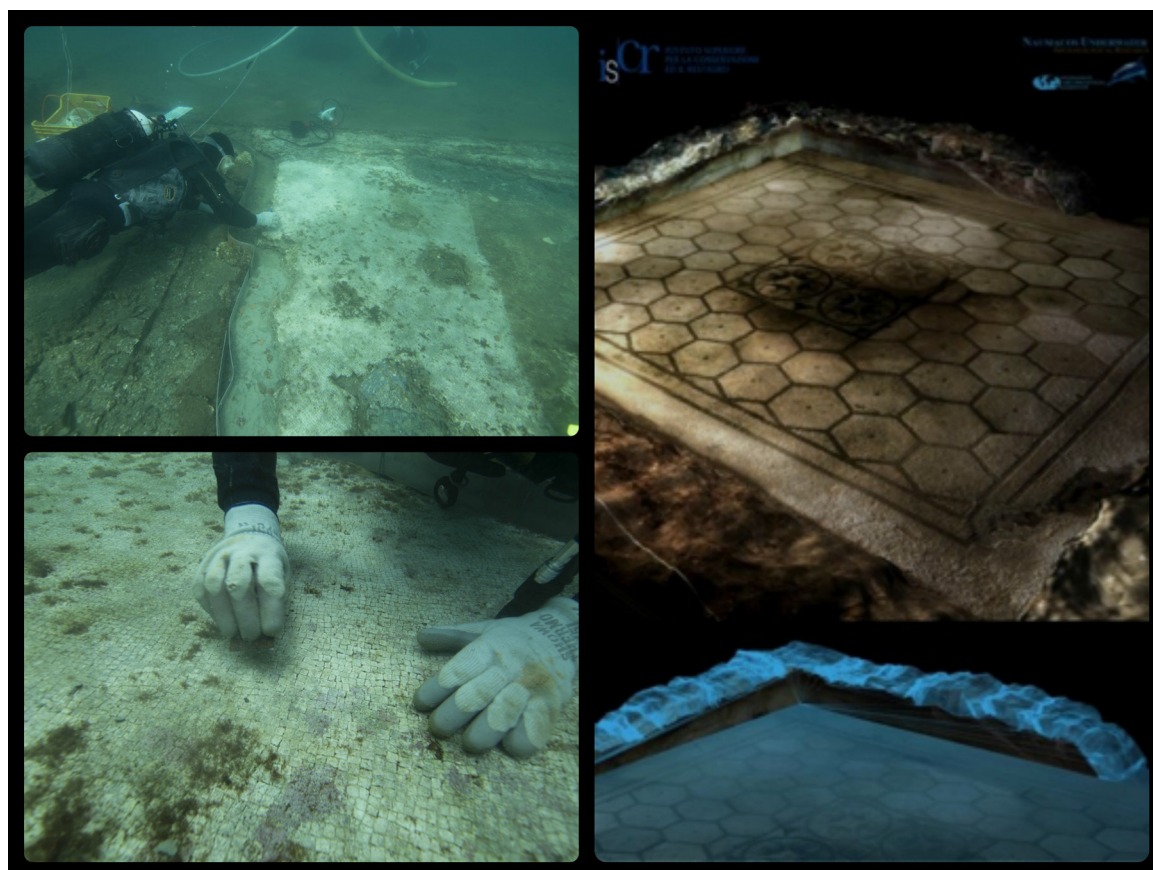


Fig. 21 - Attività di restauro e rilievo con laser scanner subacqueo Naumacos 1, nelle attività del NIAS (Foto: Massimiliano Secci; Modello 3D: DAVIDDE PETRIAGGI, GOMEZ DE AYALA 2015).

Tra queste attività il progetto *Restaurare Sott'acqua* rappresenta un unicum in Italia⁵⁰⁰. Nella cornice di questo progetto, il NIAS ha avuto l'opportunità di testare materiali e tecniche per il rilievo⁵⁰¹ e per il restauro subacqueo⁵⁰², di sviluppare un sistema di *Schedatura Analitica di Manufatti Archeologici Sommersi* (SAMAS)⁵⁰³, e di testare metodi sostenibili per la fruizione *in situ* dei contesti subacquei, in particolare dei pannelli illustrativi inclusi all'interno di un box in acciaio inossidabile (Fig. 21)⁵⁰⁴.

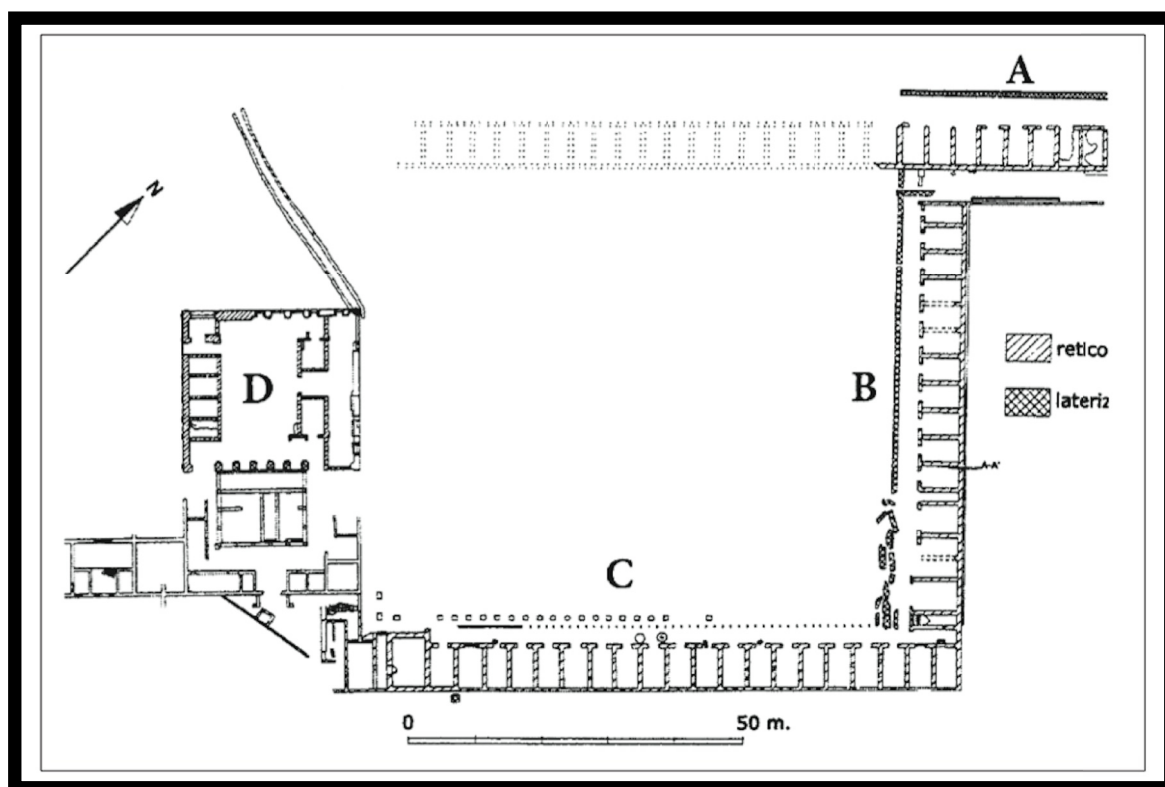


Fig. 22 - Planimetria del Portu Iulius (GIANFROTTA 2012).

In linea e all'interno di queste progetto, si è istituita una collaborazione con il NIAS e in particolare con la dott.ssa Barbara Davide, per la sperimentazione del rilievo

⁵⁰⁰ PETRIAGGI, DAVIDDE 2012; PETRIAGGI, DAVIDDE 2008; PETRIAGGI, DAVIDDE 2007b; il progetto diretto dalla dott.ssa Barbara Davide è finanziato dal Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo (MiBACT).

⁵⁰¹ DAVIDDE PETRIAGGI, GOMEZ DE AYALA 2015; nello specifico, tra il 2011 e il 2013 il NIAS ha sperimentato il Laser Scanner subacqueo *Naumacos Laser Scanner*, progettato da Gabriele Gomez de Ayala, nelle sue fasi di evoluzione che dalla prima versione del 2011 hanno portato alla terza versione del 2013.

⁵⁰² PETRIAGGI, DAVIDDE 2007b, pp. 133 - 138.

⁵⁰³ PETRIAGGI, DAVIDDE 2007b, pp. 128 - 131.

⁵⁰⁴ PETRIAGGI, DAVIDDE 2012, p 197.

strumentale con DGPS, nelle acque di Baia sommersa⁵⁰⁵. L'area prescelta per la sperimentazione si trova nel settore settentrionale del *Portus Iulius* (Fig. 22), e in particolare all'interno nella porzione N-O del complesso D, nella planimetria di Gianfrotta. Il complesso D, è identificato dal Gianfrotta come possibile *horrea* ma con caratteristiche differenti rispetto al settore B; l'intero complesso rilevato e presentato in Gianfrotta risulta ascrivibile all'età Claudia (I secolo d.C.)⁵⁰⁶. Il settore prescelto si trova a circa 100-120 metri dall'odierna linea di riva. L'area è rappresentata da una serie di ambienti riferibili a *horrea*, nei quali a basse creste di strutture murarie in laterizio e opera reticolata preservati per un'altezza di circa 1.5-2.0 metri, si affiancano pilastri in laterizio ancora in posizione ma solo parzialmente preservati, con una profondità massima del sito di circa 3.5 metri; mentre la suddivisione degli ambienti è ancora piuttosto evidente, sono presenti numerose situazioni di crollo. Per quanto concerne gli studi sulla topografia del *Portus Iulius*, si rinvia al recente lavoro di sintesi di Piero Alfredo Gianfrotta⁵⁰⁷ e alla bibliografia ivi citata.

Le sperimentazioni sono state sviluppate durante il mese di settembre 2015 (8-11 settembre). Anche in questo caso si è prodotto il rilievo congiunto CVP/DGPS, con una configurazione simile a quella utilizzata per Marina Lunga-Sottomonastero (Lipari). Per la configurazione del rilievo ci si è avvalsi di tre operatori. Uno, in immersione, addetto al posizionamento dei CT, al rilievo dei punti con DGPS e alla presa fotografica per il processo di restituzione tramite CVP. Il secondo, in superficie, addetto alla comunicazione tra operatore subacqueo e operatore a terra, oltre che al controllo e movimentazione della zattera. Il terzo, a terra, addetto all'acquisizione dei punti con il DGPS. Il primo e il secondo operatore si sono trasferiti sul sito via mare con una imbarcazione di supporto, portando con loro il sistema zattera-antenna, mentre il terzo, si

⁵⁰⁵ Al riguardo si ringraziano la dott.ssa Barbara Davidde e il dott. Paolo Caputo della Soprintendenza per i Beni Archeologici di Napoli (Ufficio Archeologico di Cuma) per aver acconsentito alla collaborazione, il dott. Gabriele Gomez de Ayala per il supporto nelle operazioni e il dott. Luca Sanna, dottorando presso il Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione dell'Università di Sassari, per il supporto nel rilievo con DGPS, e tutti i partecipanti alla ricerca a Baia per conto del NIAS per la loro cordiale accoglienza e il loro gentile supporto. Il progetto ancora in fase di completamento ha l'obiettivo di comparare i risultati dei rilievi prodotto con il sistema CVP/DGPS e con il Laser Scanner subacqueo *Naumacos 1*.

⁵⁰⁶ GIANFROTTA 2012, p. 15; «[I]a planimetria ne rivela la natura di *horreum* consona alla sede portuale. Presenta caratteristiche idonee ad esigenze di custodia e di controllo: muri perimetrali chiusi, ambienti aperti su una corte interna centrale, rari e stretti ingressi dall'esterno per accedere all'area centrale».

⁵⁰⁷ GIANFROTTA 2012.

è mosso via terra posizionando la base del sistema DGPS sulla spiaggia; in realtà sulla piattaforma dello stabilimento balneare posto di fronte al sito archeologico. Si riporta questa notizia poiché, nel momento di approntare il rilievo ci si è resi conto che la distanza tra antenna (base) e antenna (rover) non permetteva di stabilire una solida comunicazione tra i due, con la base che risultava perdere continuamente il segnale. Per questo motivo si è provveduto a connettere saldamente base e rover a terra per poi, con una piccola imbarcazione a motore (e remi), trasportare il sistema zattera-antenna e operatore a terra direttamente sul sito da rilevare (Fig. 23).

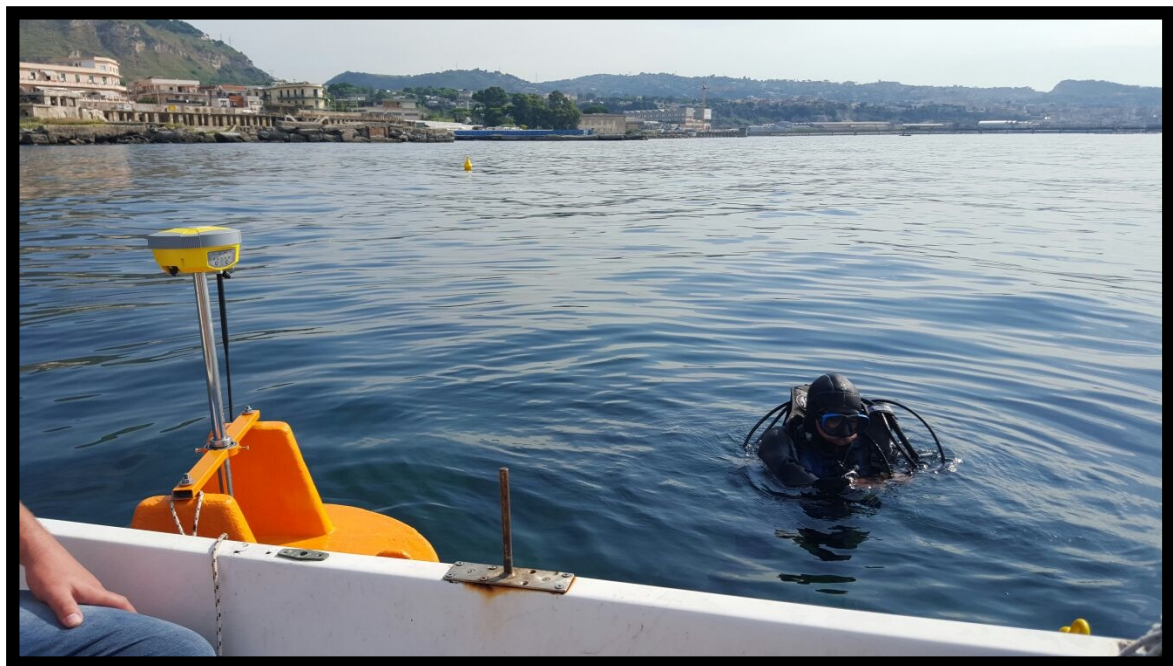


Fig. 23 - Il sistema di rilievo DGPS utilizzato a Baia sommersa. Il subacqueo pronto all'immersione e i due operatori in superficie sulla piccola barca di supporto (Foto: Luca Sanna).

Il sistema di rilievo ha poi proceduto in maniera del tutto simile a quello impiegato a Lipari, con l'unica differenza che la limitata profondità ha permesso di impostare un sistema di comunicazione diretto tra il subacqueo in immersione e l'operatore del sistema DGPS situato sull'imbarcazione di supporto. Il subacqueo ha dunque proseguito con il posizionamento dei *coded targets*, ha proceduto al rilievo con GPS differenziale e infine al rilievo fotogrammetrico. Per quanto riguarda quest'ultimo, la complessità volumetrica dell'area da rilevare ha richiesto una specifica accortezza nell'acquisizione delle immagini fotografiche. In aggiunta al metodo di rilievo utilizzato anche a Lipari, si sono

acquisite delle immagini fotografiche di prossimità (close-ups), a 360°, attorno alle strutture murarie più imponenti e ai pilastri - avendo cura di “agganciare” queste foto alla copertura fotografica generale - in modo tale da comprendere nelle immagini anche le aree del sito più piccole o nascoste. Come per il caso studio di Lipari, si è utilizzata una fotocamera SLR Sony Alpha57 all’interno della custodia subacquea TTL della Ikelite® Underwater Systems con oblò emisferico (*Modular 8-inch Dome*) e modulo di estensione (*Modular 3.5-inch Lens Extension*) per l’obiettivo grandangolare Tokina AT-X 116 Pro DX AF 11-16mm f/2.8., con ottica a 11mm, ISO 100 e f/stop tra f/2.8 e f/4.5. Anche in questo caso si è scattato in formato *.RAW per poi convertire i file in formato *. TIFF, per l’elaborazione in Photoscan, e in formato *.JPEG per l’utilizzo delle immagini all’interno di pubblicazioni - questa tesi ad esempio - e a fini divulgativi per la pubblicazione sul web o in opere digitali e/o cartacee.

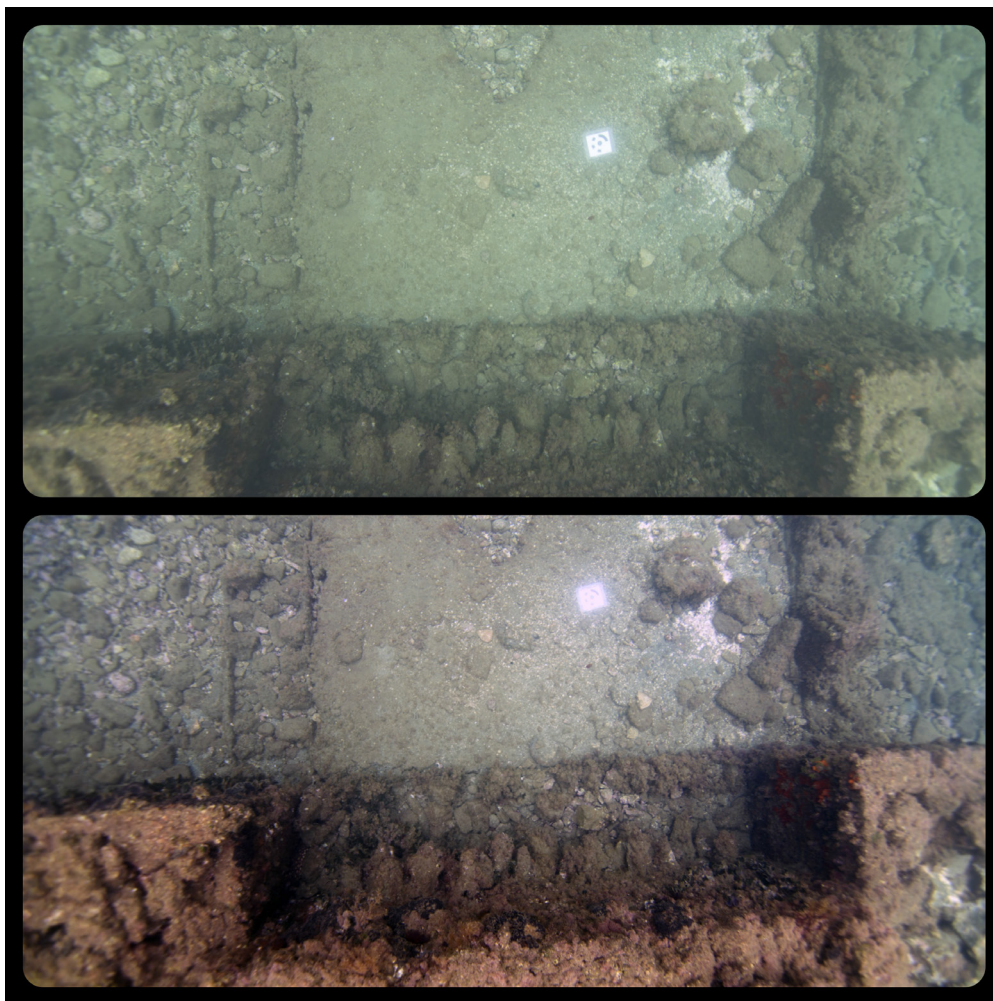


Fig. 24 - Immagini fotografiche: in alto l’originale, in basso l’immagine modificata (Foto e elaborazione: Massimiliano Secci).

Oltre alla conversione dei file fotografici digitali, come per il set di dati di Marina Lunga (Lipari), si è proceduto a modificare alcuni parametri delle immagini come il tono, il colore e il contrasto automatico (Fig. 24), al fine di favorire l'elaborazione in Photoscan e di ottenere un modello più preciso e una texture più foto-realistica. Si è inoltre proceduto ad una selezione delle immagini eccedenti o di bassa qualità dal punto di vista tecnico. Appare infatti intuibile come durante l'acquisizione dati in immersione, la massimizzazione del tempo sia di primaria importanza; è inoltre evidente come in acqua la verifica delle singole foto e l'eliminazione di eventuali immagini di bassa qualità possa risultare difficoltoso e portare a numerosi tempi morti. D'altronde riuscire ad acquisire un set di foto completo e attendibile è fondamentale per la buona riuscita dell'elaborazione CVP ed è altresì auspicabile così da non dover ritornare sul sito e ripetere l'acquisizione dati; un'eventualità non sempre disponibile. È dunque verosimile che durante un'immersione si acquisiscano foto pressoché simili poiché non si è confidenti sull'accuratezza o qualità di una foto. Conseguenzialmente, non tutte le immagini fotografiche risultano indispensabili all'elaborazione su Photoscan; per questo motivo si è prodotta una pre-selezione delle immagini al fine di eliminare foto fuori fuoco o eventuali duplicati. Terminata la fase di pre-elaborazione, le foto sono state elaborate all'interno di Photoscan ottenendo un finale modello tridimensionale con relativa texture, e scalato con alcune misurazioni lineari prese durante l'immersione (Fig. 25). Il modello 3D è stato infine esportato come ortofoto in *.GeoTIFF (Fig. 26), come modello CAD (*.dxf), e come modello in estensione proprietaria di Google Earth® (*.KMZ) - per l'inclusione nel visualizzatore grafico tridimensionale della società di Mountain View (California, USA) - con la possibilità di procedere ad ulteriori analisi. Anche in questo caso il file è stato esportato direttamente come file *.PDF navigabile (ALLEGATO B). Come per il caso studio di Lipari, questa funzionalità verrà analizzata nel § 5.4, al quale si rimanda.

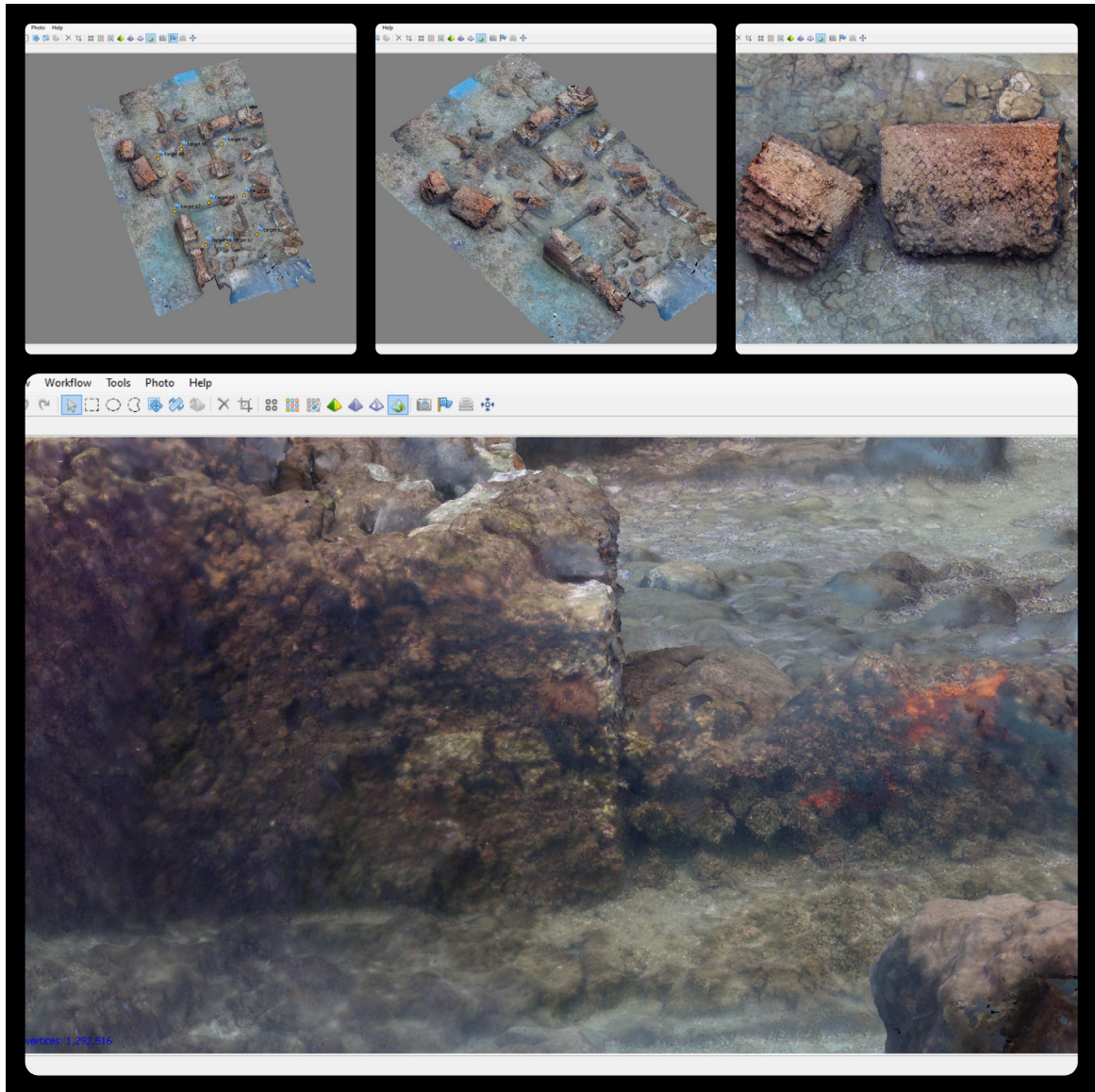


Fig. 25 - Modello 3D con texture di Baia sommersa (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).

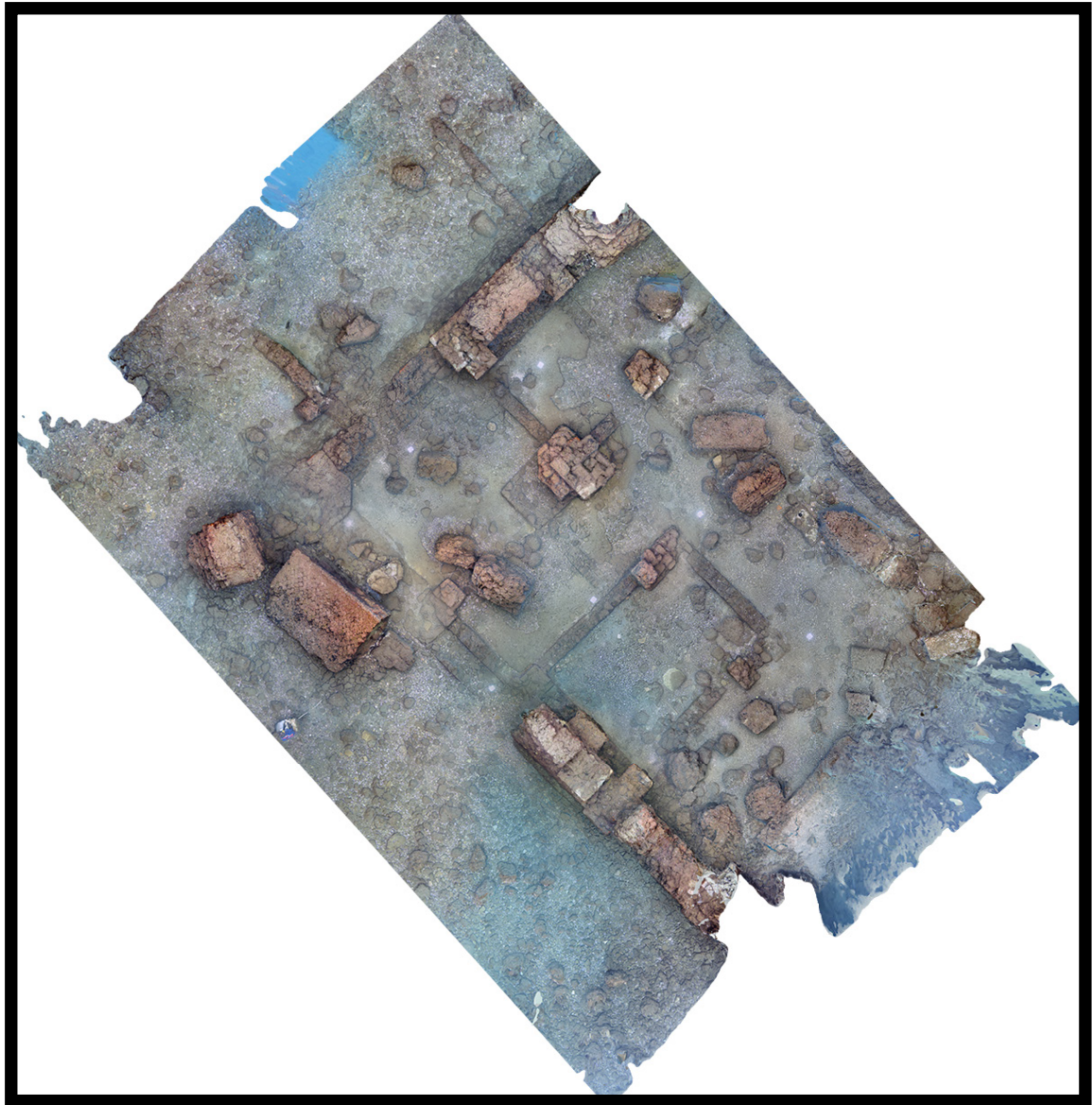


Fig. 26 - Ortofoto di Baia sommersa (Immagini e elaborazione: Massimiliano Secci).

Nei precedenti paragrafi si è sinteticamente analizzato l'approccio e alcune accortezze di tipo metodologico che si sono avvisati durante le sperimentazioni sul campo, nei due casi studio presi in esame. Ci si è trattenuti dall'avanzare riflessioni che esulassero dagli aspetti prettamente metodologici poiché, per coerenza espositiva, questi verranno sviluppati in una forma più ampia, articolata e contestualizzata nel § 5.4. Inoltre, ci si è limitati nel descrivere gli aspetti tecnico-metodologici poiché l'obiettivo del presente lavoro verte maggiormente verso un'analisi teorico e interpretativa piuttosto che metodologica in senso stretto. Come si è detto, l'obiettivo del presente elaborato non è

quella di analizzare l'intero workflow favorito dal rilievo CVP, né di approfondire le possibilità offerte dal modello 3D per lo studio dei siti archeologici sommersi. In questo stesso quadro, si sono brevemente descritte le sperimentazione con CVP/DGPS senza approfondire il discorso poiché il fine ultimo del presente elaborato è quello di analizzare il rilievo fotogrammetrico. Per quanto riguarda il rilievo CVP/DGPS, si precisa che la sperimentazione di Marina Lunga - Sottomonastero, Lipari (Archeolie 2015) e di Baia sommersa hanno evidenziato un miglioramento nella precisione del rilievo rispetto al primo test prodotto a Lipari (Archeolie 2014), e che il rilievo dei punti in acqua ha raggiunto una precisione ± 10 cm per il caso di Baia e ± 20 cm per il caso di Lipari, anche se risulta necessaria un'analisi più approfondita dei dati che, ripetiamo, esula dal contesto generale di questa trattazione⁵⁰⁸. A questo riguardo, Koutaro Yamafune dottorando presso il *Richard J. Steffy Ship Reconstruction Laboratory* presso il *Center for Maritime Archaeology and Conservation* della *Texas A&M University* (College Station, USA), nel suo lavoro di dottorato in corso di completamento analizza proprio questi aspetti; si rimanda quindi a questo lavoro per gli approfondimenti più tecnici e metodologici, e per il workflow sviluppato dall'autore e dal team presso il *Richard J. Steffy ShipLAB* (Fig. 27)⁵⁰⁹.

⁵⁰⁸ Sono in preparazione alcuni contributi nei quali tali sperimentazioni verranno trattati con maggiore approfondimento e ai quali si rimanda.

⁵⁰⁹ YAMAFUNE 2015, (comunicazione personale); «In anni recenti le applicazioni di Computer Vision Photogrammetry sono divenute popolari in archeologia navale. Questa tecnologia è stata ripetutamente testata in ricognizioni e scavi archeologici, sia in ambiente asciutto che sommerso, tuttavia esistono ancora discussioni riguardo l'efficienza e l'accuratezza dei modelli fotogrammetrici. Con un team del Nautical Archaeology Program dell'Anthropology Department della Texas A&M University, l'autore ha sviluppato una metodologia per documentare e analizzare siti di relitti sommersi con un software standard [Agisoft Photoscan]. La metodologia utilizza una tecnica chiamata Computer Vision Photogrammetry. Come modificazione della tradizionale fotogrammetria, la Computer Vision Photogrammetry non richiede il tradizionale allestimento con due fotocamere. Al contrario, utilizza una serie di immagini indipendenti con una certa sovrapposizione. Questa metodologia produce dati archeologici affidabili in un modello fotogrammetrico in scala 1:1. Esempi di dati che possono esser prodotti includono planimetrie bidimensionali, disegni di manufatti e legni del fasciame, profili e sezioni dei relitti e la ricostruzione delle linee dello scafo, databases archeologici georeferenziati, sistemi di monitoraggio dei siti, modelli digitali frammentari per l'analisi dello scafo, e vari stili di modelli 3D dei relitti, tutti in un formato facilmente condivisibile». Si vedano inoltre CASTRO 2013, 2014, 2015.



Fig. 27 - Workflow sviluppato da Kotaro Yamafune e Rodrigo De Oliveira Torres dello ShipLab per l'utilizzo della fotogrammetria all'interno del processo di studio dei relitti (Immagine cortesemente resa disponibile da: Kotaro Yamafune).

Al contrario, i paragrafi precedenti hanno inteso offrire un resoconto critico degli aspetti metodologici da tener di conto nell'approccio al rilievo fotogrammetrico e, nel caso specifico, al rilievo congiunto CVP/DGPS. Se gli aspetti prettamente tecnici del software, o dei software testati rivestono una importanza e valore relativo - vista anche la veloce evoluzione, e altrettanto repentina obsolescenza alla quale sono costretti dal

progresso tecnologico - si è ritenuto più importante, in un'ottica di analisi del peso rivestito da questi approcci tecno-metodologici in archeologia subacquea, di analizzare l'approccio alla tecnica o metodo CVP piuttosto che alla tecnologia che questo sottintende. Proseguendo in quest'ottica, il prossimo capitolo offrirà un inquadramento del processo CVP e la congiunzione dei metodi di rilievo CVP/DGPS all'interno del processo di interpretazione archeologica, cercando di evidenziare in che modo e secondo quali istanze il rilievo così prodotto intervenga nel processo interpretativo e quale sia l'effetto dell'immagine e della tridimensionalità in questo percorso.

5. LA COMPUTER VISION PHOTOGRAMMETRY (CVP) NEL PROCESSO DI RICERCA ARCHEOLOGICA SUBACQUEA. L'EFFETTO DELLA TECNOLOGIA: TRA SCIENZA DELLA PERCEZIONE, SCIENZA DELLA COGNIZIONE E RETORICA DELLA RAPPRESENTAZIONE

L'essere umano possiede una caratura biologica che non gli permette di essere totalmente autosufficiente, come invece accade per altri esseri viventi. Egli deve costruire, si potrebbe dire artificialmente, rappresentazioni e sistemi che gli permettano di sopperire a tale mancanza. Come alcuni studiosi hanno evidenziato⁵¹⁰, la nascita della cultura risulta intimamente legata ad una concatenazione di evoluzioni che hanno portato l'uomo, attraverso l'acquisizione della posizione eretta (lo sviluppo del piede, come sottolinea André Leroi-Gourhan) all'emancipazione della mano ora libera di produrre strumenti utili a vari scopi e dunque alla nascita del lavoro (come sottolinea Giulio Angioni) e della tecnologia, con la conseguenza di produrre uno sviluppo del sistema nervoso a livello centrale (particolarmente il cervello, come suggerisce Clifford Geertz) portando «a sostenere che il cervello non è soltanto fattore, condizione o causa efficiente della cultura (tesi che nessuno si sognerebbe di negare), ma che è anche un suo prodotto», come puntualizza Francesco Remotti⁵¹¹.

Lo studio del rapporto tra ambiente biologico (umano) e ambiente simbolico (mondo esterno e sue rappresentazioni) ha pervaso lo sviluppo della scienza moderna, nel tentativo di comprendere le Parti che compongono il Tutto, per riuscire a dominarle e

⁵¹⁰ LEROI GOUHRAN 1974 [1981], p. 63; REMOTTI 1996, pp. 11 – 19; GEERTZ 1973 [1998], pp. 60 – 66; ANGIONI 2011, pp. 19 – 39.

⁵¹¹ REMOTTI 1996, p. 13; Remotti esplicita brillantemente che «[u]na concezione della natura umana come struttura piena non fornisce alcun motivo per l'esistenza stessa della cultura. Una concezione invece che ponga in luce le carenze e i limiti della strutturazione biologica dell'uomo offre specifiche motivazioni per i processi di elaborazione sia della cultura, sia – più in particolare – dei modelli di identità», REMOTTI 1996, p. 12; in questo quadro si pone anche Clifford Geertz (GEERTZ 1973 [1998], pp. 59 – 60) il quale, rifacendosi a «G. H. Mead ed altri», definisce «simboli significanti» - che ci paiono piuttosto assimilabili ai «symbolates» di Eliot e rappresentati da «qualunque cosa che sia avulsa dalla sua semplice realtà e usata per conferire significato all'esperienza» utilizzati per dar corso ad una comprensione del mondo circostante e per dar forma ad una esistenza umana che possa tener fronte alla sua burrascosa e strepitante natura. Egli difatti afferma ulteriormente come i «symbolates» di Eliot, ovvero i «simboli significanti» di Mead, partecipino a «fornire un'interpretazione degli avvenimenti che costituiscono la sua vita [...]. L'uomo ha bisogno di queste fonti simboliche di illuminazione per trovare la sua strada nel mondo, perché quelle di tipo non simbolico, inserite nel suo corpo costituzionalmente, gettano una luce troppo soffusa». Per quanto riguarda un'interessante teoria sulle intelligenze multiple e sul ruolo partecipativo di aspetti biologici e aspetti culturali nello sviluppo delle differenti 'intelligenze', si veda GARDNER 1987 [2013].

influenzarle, così da dominare e modellare il futuro⁵¹². A partire da Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) e dal suo «sistema filosofico», filosofia e scienza moderne si sono trovate ad affrontare e analizzare il rapporto intercorrente tra mente e natura. In questa visione, la comprensione della realtà fattuale - l'*idea* di Platone⁵¹³ - e la comprensione dei meccanismi stessi della cognizione, il *pensiero*, divengono «element[i] in cui la realtà si costituisce»⁵¹⁴. In questo passo fondamentale nella storia della riflessione occidentale, la mente, i suoi percetti, le regole di composizione dell'informazione, i suoi processi cognitivi⁵¹⁵, e infine i procedimenti epistemologici e/o ermeneutici di creazione della conoscenza e di genesi dell'azione, trovano un'attenzione e un'elaborazione senza precedenti⁵¹⁶.

L'essere umano acquisisce ed elabora una comprensione del mondo attraverso l'utilizzo dei propri sensi; le capacità fisiologiche degli organismi di fornire dati (percetti)

⁵¹² SEVERINO 1997, pp. 10-11; FORTE, BELTRAMI 2000.

⁵¹³ Platone in effetti distingue tra, *fenomeno*, ossia la comprensione derivante dalla semplice osservazione (percezione), ed una conoscenza derivante dal ragionamento, ossia il *noumeno*. La distinzione, fatta propria anche da Descartes e Kant, con il primo che distingueva la *res cogitans* (esperienza diretta) dalla *res extensa* (esperienza indiretta), ed il secondo che distingueva all'interno del *noumeno*, la realtà cognita (interna all'osservatore) e la realtà, la cosa, in sé (esterna all'osservatore). In quest'ottica «Descartes, nella sua sesta Meditazione, definiva l'uomo come "una cosa che pensa," al quale il ragionamento veniva naturale; mentre la rappresentazione, l'attività dei sensi, richiedeva uno sforzo speciale e non era in nessun modo necessaria alla natura o essenza umana» (ARNHEIM 1980, p. 489).

⁵¹⁴ SEVERINO 1997, p. 11; Secondo Severino, «[a]ffermando che la filosofia greca è solamente comprensione dell'idea, Hegel intende che per tale filosofia l'idea (la realtà intelligibile) è l'essenziale, mentre il pensiero umano che la considera (o in cui essa appare) è l'accidentale, l'inessenziale, che anche se non esistesse lascerebbe inalterata la realtà. Per la filosofia greca non è essenziale che l' "idea" rifletta su di sé e si faccia così "spirito"».

⁵¹⁵ A questo punto è necessario precisare cosa si intende con il termine informazione, poiché comparirà nel seguito di questo capitolo, in due delle sue accezioni: percettiva e cognitiva. Dal punto di vista percettivo, l'informazione rappresenta i dati acquisiti dal nostro cervello relativamente alla scena osservata nel mondo esterno; dal punto di vista cognitivo, invece, l'informazione rappresenta l'elemento base del processo cognitivo, funzione indispensabile per la produzione di nuova conoscenza. Dal punto di vista percettivo, l'informazione è rappresentata da raggi elettromagnetici (luce) (GORDON 2004), per quanto riguarda il processo cognitivo invece l'informazione è composta da rappresentazioni (FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, pp. 3-9). Con informazione si intende dunque sia il dato acquisito dal punto di vista percettivo sia il dato in elaborazione dal punto di vista cognitivo.

⁵¹⁶ In realtà già nel Medioevo Dante Alighieri affermava come «l'operazione propria del genere umano preso nella sua totalità è attuare sempre tutta la potenza dell'intelletto possibile, in primo luogo per un'attività speculativa e in secondo luogo, per sua estensione, per un'attività in servizio di essa» (Dante, De Monarchia, lib. I, cap. 4, in Opere Minori [4], p. 621), mentre nel Seicento Francesco Bacone nel suo *Nuova Atlantide* usa la metafora di un'isola utopica governata da una grande società dedicata alla ricerca scientifica (la Casa di Salomone) per far pronunciare queste parole al sovrano, rivolgendosi al capo dei visitatori: «Io ti darò la gemma più preziosa che possiedo: ti svelerò infatti, per amore di Dio e degli Uomini, la vera organizzazione della Casa di Salomone... Fine della nostra istituzione è la conoscenza delle cause e dei segreti movimenti delle cose per allargare i confini del potere umano verso la realizzazione di ogni possibile obiettivo» (Bacone 1975, in GARDNER 1983 [2013], p. 31). Si veda inoltre YATES 1966 [1993], pp. 342-362; si precisano queste pagine, ma in realtà tutto il trattato sull'arte della memoria di Frances A. Yates delinea molti degli sviluppi che porteranno a crescenti riflessioni, basate sul Metodo Scientifico, relative al rapporto intercorrente tra mente e natura.

ai processi percettivi. Classicamente si è ritenuto che l'essere umano possedesse cinque sensi - vista, udito, gusto, olfatto e tatto - nonostante recentemente a questi si sono aggiunti ulteriori sensi come, ad esempio, equilibrio, cinesi, temperatura. In questa esposizione tratteremo particolarmente della vista, e di come questa contribuisca alla percezione e elaborazioni visive⁵¹⁷ e, infine, come questa percezione coadiuvi la codificazione e l'elaborazione delle informazioni agevolando l'ermeneutica dell'immagine e della scena visualizzata, ossia la sua interpretazione. Questo processo è particolarmente rilevante in archeologia poiché molte delle inferenze prodotte dall'archeologo risultano mediate o perlomeno stimolate dalle percezioni visiva, senza tuttavia sconfessare l'importanza degli altri sensi, come ad esempio il tatto, nel processo di contatto con l'evidenza archeologica⁵¹⁸.

Pur senza pretese di risultare esaustiva, su una tematica talmente ampia e non consueta dal punto di vista archeologico, tale premessa fornirà elementi utili per meglio analizzare come le attività di rilievo CVP possano innescare quei processi percettivi e cognitivi funzionali all'interpretazione archeologica. Si cercherà di raggiungere questo obiettivo

⁵¹⁷ La percezione visiva è caratterizzata da due processi generali, definibili come categorizzazione e identificazione: il primo permette di inserire l'oggetto percepito all'interno di una categoria di oggetti, mentre il secondo processo favorisce appunto l'identificazione dell'oggetto come quell'oggetto e non un altro all'interno della categoria precedentemente identificata. Tale processo avviene attraverso due tipi di stimoli: stimolo distale e stimolo prossimale. Lo stimolo distale è la percezione dell'oggetto fisico che sta davanti all'osservatore, mentre lo stimolo prossimale permette di acquisire quell'insieme di informazioni che garantisce il raggiungimento dello stimolo distale e dunque la rappresentazione dell'oggetto. Il passo successivo è la cognizione dell'oggetto che può avvenire secondo numerosi meccanismi ma che fondamentalmente si basa su una serie di *rappresentazioni* che, essendo portatrici di informazioni percettive, favoriscono la comprensione dell'oggetto. FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, p. 3 ben definiscono il processo cognitivo nei termini seguenti: «l'informazione è "input" nelle nostre menti attraverso la percezione - ciò che vediamo o sentiamo. È immagazzinato nelle nostre memorie e processato in forma di pensiero. I nostri pensieri possono infine servire come base per gli "outputs", quali il linguaggio o i comportamenti fisici»

⁵¹⁸ Al contrario, si vuole contrastare la spaccatura tra visuale e altri sensi identificata da MCLUHAN, MCLUHAN 1988, pp. 13 - 21 ove, gli autori, suggeriscono come tale separazione avvenuta nel mondo greco con la «trasformazione fonemica in termini visuali», che fece diventare l'alfabeto «un universale, astratto e statico contenitore di insignificanti suoni», creando una «spaccatura tra il conscio e l'inconscio [...] una mimesi della dissociazione delle sensibilità percettive (della visione dagli altri sensi), che è inerente nella forma dell'alfabeto fonetico». Si vedano ad esempio le critiche al cosiddetto *ocularcentrism* in THOMAS, OLIVEIRA JORGE 2008; THOMAS 2008; per alcune interessanti riflessioni del processo di genesi di questa supremazia della visione nella filosofia e scienza moderne, si veda JAY 1988, ove viene inoltre finemente analizzato l'interesse contemporaneo per l'ermeneutica, capace di rivalutare questa supposta supremazia della vista rispetto agli altri sensi.

attraverso alcune riflessioni derivanti dalle scienze percettive⁵¹⁹ e cognitive⁵²⁰ senza tuttavia voler definire gli strumenti di rilievo tridimensionale in archeologia come strumenti per un archeologia cognitiva⁵²¹. Al contrario, l'analisi che segue ha il proposito di suggerire come l'approccio al rilievo CVP, al tridimensionale e al processo di interpretazione e conoscenza archeologica basate su questi media possano ritenersi al contempo dei processi cognitivi, contestuali e interpretativi senza per questo necessariamente richiederne l'asservimento disciplinato all'una o all'altra delle correnti teoriche in archeologia.

⁵¹⁹ MERLEAU-PONTY 2005, p. xi; così Maurice Merleau-Ponty definisce la percezione: «[l]a percezione non è una scienza del mondo, non è neanche un'atto, un prendere posizione deliberatamente; è il contesto dal quale tutti gli atti derivano, ed è presupposto da questi ultimi».

⁵²⁰ La scienza cognitiva è in realtà un insieme eterogeneo di scienze empiriche e metodi deduttivi e induttivi di ragionamento accomunati, in un'ottica post-disciplinare, dallo studio della mente e del 'funzionamento' del pensiero, a partire dalla percezione (input), attraverso la cognizione (elaborazione di dati e informazioni), fino a giungere alla formulazione di una soluzione funzionale ad una specifica decisione (cinetica, gnoseologica/epistemologica etc).

⁵²¹ RENFREW 1982; RENFREW 1998.

5.1 ALCUNE ANNOTAZIONI SU PERCEZIONE E COGNIZIONE

Come abbiamo visto l'essere umano, per dare significato al mondo che lo circonda, per comprendere l'essenza e i meccanismi dei fenomeni osservabili e per, infine, «prevedere il loro corso e modificarli a piacimento»⁵²², fa uso dei sensi in suo possesso come una sorta di porta d'ingresso per l'immissione dei dati a favore dei processi percettivi e cognitivi. L'interesse scientifico per la percezione visiva risale alla Grecia classica con gli studi di Euclide, Tolomeo, Aristotele e Galeno. Nel Medioevo, come abbiamo visto, gli studi di Alhazen Ibn Al-Aitham e, tra XV e XVI secolo, di Leonardo da Vinci e di Albrecht Dürer, portarono alla comprensione e teorizzazione della prospettiva⁵²³. Nel XVII secolo, Gottfried Wilhelm von Leibniz e, a metà del XVIII secolo Johan Heinrich Lambert, sviluppano i principi matematici della prospettiva, mentre nella prima metà del XIX secolo Sir Charles Wheatstone porta avanti gli studi sulla visione binoculare che approderanno nell'invenzione dello stereoscopio e la sua presentazione alla *Royal Society* di Londra nel 1838. È tuttavia nel XX secolo che gli studi su percezione e cognizione trovano un rinnovato interesse da parte della comunità scientifica. A questo punto interessa analizzare quali siano gli schemi teorici, concettuali e pratici secondo i quali percezione e cognizione dell'immagine favoriscono il processo di analisi dell'informazione utile in un'ottica epistemologica e ancor più ermeneutica alla creazione di conoscenza archeologica.

Nel campo della conoscenza scientifica, l'insieme dei processi percettivi e cognitivi che descriveremo a breve, favoriscono quei processi epistemologici che dalla consapevolezza di un problema, attraverso la sua analisi portano fino alla sua soluzione. All'interno di questi processi epistemologici trovano spazio tutta una serie di percezioni, elaborazioni, conoscenze *a priori* e interazioni percettive e cognitive che attraverso il processo interpretativo archeologico (spirale ermeneutica archeologica) partecipano alla creazione di conoscenza archeologica. Quanto segue tenterà di fornire alcune nozioni di base sui processi di percezione e cognizione, mentre si rimanda alla bibliografia per eventuali approfondimenti. Nel processo di comprensione della percezione e cognizione

⁵²² FORTE, BELTRAMI 2000, p. 294.

⁵²³ Per un'approfondimento si rinvia il lettore al § 3.1.

dell'immagine, e dell'immagine tridimensionale in particolare, è necessario tuttavia partire da quella corrente di pensiero che per prima ha affrontato in maniera strutturata l'analisi della percezione visiva e del come l'uomo si rapporti e dia senso al mondo che lo circonda. Tale corrente di pensiero, conosciuta come *Gestaltpsychologie*⁵²⁴ (Psicologia della Gestalt), risulterà inoltre funzionale all'analisi dell'essenza del tridimensionale in archeologia, anche attraverso la lente di Marshall McLuhan e della sua teoria sui media che si svilupperà nel proseguo di questo capitolo.

Alcuni concetti risultano fondamentali nella teoria Gestaltiana della percezione visiva. La percezione visiva del mondo da parte di un osservatore è resa possibile da specifiche qualità possedute dall'oggetto, scena o ambiente osservato. Queste *Gestaltqualitäten*⁵²⁵ rappresentano, in sintesi, la contestualizzazione degli elementi che compongono l'insieme, ove il contesto è superiore all'insieme degli elementi. In questa visione l'insieme di elementi «presenta proprietà non riscontrabili nelle sue parti costitutive isolate»⁵²⁶, mentre queste ultime nel momento in cui vanno a partecipare dell'insieme acquisiscono, perdono o modificano alcune loro caratteristiche⁵²⁷. Dunque, secondo i teorici della Gestalt, la percezione visiva dell'ambiente che circonda un'osservatore

⁵²⁴ GORDON 2004, pp. 7-54; la *Gestaltpsychologie*, letteralmente *psicologia della forma o della rappresentazione*, nacque come reazione agli approcci strutturalisti e comportamentali in psicologia, tipici della temperie culturale romantica seguita alla teoria evuzionista Darwiniana. L'approccio strutturalista allo studio della mente umana (e della percezione visiva), sosteneva che la comprensione delle leggi che ne regolano il funzionamento divengono intelligibili unicamente attraverso lo studio delle sue parti, del loro funzionamento e delle loro relazioni funzionali. La percezione del mondo era dunque acquisita attraverso la ricostruzione di un mosaico percettivo fatto di singoli stimoli. L'approccio comportamentale, al contrario, basava la sua visione della percezione come il risultato della relazione stimolo-risposta, cosicché gli stimoli rappresentavano l'oggetto di studio attraverso un'attività di introspezione da parte del ricercatore. I comportamentalisti sostenevano inoltre la potenziale oggettività delle osservazioni introspettive basate sul rapporto stimolo-risposta.

⁵²⁵ VON EHRENFELS 1937 [1988], p. 93; Christian von Ehrenfels definendo il concetto di *qualità formale* (qualità Gestaltica) afferma che «con una *qualità Gestaltica* noi intendiamo un contenuto positivo della presentazione legato consciamente alla presenza di complessi di elementi mutualmente separabili (i.e. presentabili indipendentemente). Quel complesso di presentazioni che è necessario per l'esistenza di una data qualità Gestaltica, la chiamiamo *fondamento* [*Grundlage*] di quella qualità» (enfasi nell'originale). L'esempio fornito da von Ehrenfels è il caso di una melodia nella quale, pur modificando la tonalità (gli elementi dell'insieme melodia), quest'ultima rimane riconoscibile mentre, al contrario, modificando uno solo degli elementi (singolo tono), la risultante melodia diverrà irriconoscibile. La qualità formale è dunque data dall'insieme dei toni contestualizzati in una data melodia.

⁵²⁶ METZGER 1980, ENCICLOPEDIA TRECCANI, s.v. *psicologia della forma*. [http://www.treccani.it/enciclopedia/psicologia-della-forma_\(Enciclopedia_del_Novecento\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/psicologia-della-forma_(Enciclopedia_del_Novecento)/) (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

⁵²⁷ Cfr. SMITH 1994, p. 272; GORDON 2004; Edwin Rausch, altro esponente della scuola filosofica della Gestalt, nel tentativo di elaborare una sintesi tra i vari indirizzi di pensiero interni alla scuola gestaltiana - nello specifico la corrente austriaca (Graz) e quella tedesca (Berlino) - offre un'interpretazione del concetto di qualità formali (*Gestaltqualitäten*), come speciali tipologie di proprietà possedute dall'insieme e con *Gestalten* specifiche tipologie di insiemi aventi particolari *Gestaltqualitäten*.

funziona secondo alcune leggi. La percezione è per questi un processo dinamico, organizzato secondo diversi stadi percettivi. Questi stadi percettivi funzionano secondo alcune leggi di categorizzazione inconsce, le leggi di formazione delle unità fenomeniche. Se l'unità ha più valore dell'insieme delle parti, ne consegue che la percezione non lavora sui singoli elementi visibili ma su una strutturazione organizzata di tali elementi secondo le suddette leggi. Questa strutturazione organizzata deve possedere delle qualità formali (*Gestaltqualitäten*) che si formano, appunto, secondo le seguenti leggi di formazione delle unità fenomeniche: a) la legge della vicinanza; b) della somiglianza⁵²⁸; c) della continuità di direzione o del destino comune; d) della chiusura; e) della buona forma o della pregnanza (*Die Prägnanz*); f) dell'articolazione senza resti; g) dell'esperienza passata; e h) la legge della figura/sfondo⁵²⁹. In base a queste leggi, la percezione dell'ambiente, di un oggetto o di una scena, costituiti da un'insieme di singoli elementi vengono percepiti dall'osservatore come insiemi unitari. Un tavolo non viene percepito come un'associazione di linee verticali e orizzontali, di legno del piano e, magari, metallo delle gambe, viene piuttosto percepito come un'unità che, per convenzione linguistica, definiamo tavolo.

Per meglio comprendere le leggi di formazione delle unità fenomeniche, definiremo sinteticamente e cercheremo di esemplificare ciascuna legge. L'applicazione pratica dei concetti percettivi e cognitivi nel quadro dell'analisi del rilievo fotogrammetrico, al contrario, verrà affrontata nell'ultimo paragrafo del presente capitolo. L'ambiente, il mondo che ci circonda è un'insieme stabile e coerente che sperimentiamo nella vita di tutti i giorni attraverso la vista, ma non solo la vista si vedrà più avanti. In questo senso, per i gestaltisti, la questione fondamentale risiede nella domanda: «perché le cose appaiono come appaiono?»⁵³⁰. Si è visto che esistono unità (*Gestalten*) che si offrono alla percezione grazie alle loro specifiche qualità (*Gestaltqualitäten*). In un'ambiente in cui gli elementi costitutivi non posseggono una coerenza formale - circostanza non inverosimile in un sito archeologico a causa dei processi di formazione - la percezione di forme

⁵²⁸ Si veda HODDER, HUTSON 2003, p. 173.

⁵²⁹ Le prime sei leggi della forma vennero formulate da Wertheimer nel 1912 nel fondamentale lavoro *Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung* tradotto e ristampato nel 2012 all'interno del volume curato da Lothar Spillman (SPILLMAN 2012, pp. 1 - 92).

⁵³⁰ GORDON 2004.

coerenti sarà funzionale della minore distanza che separa gli elementi costitutivi, ovvero saranno percepite come forme coerenti quegli elementi che sono più vicini tra loro.

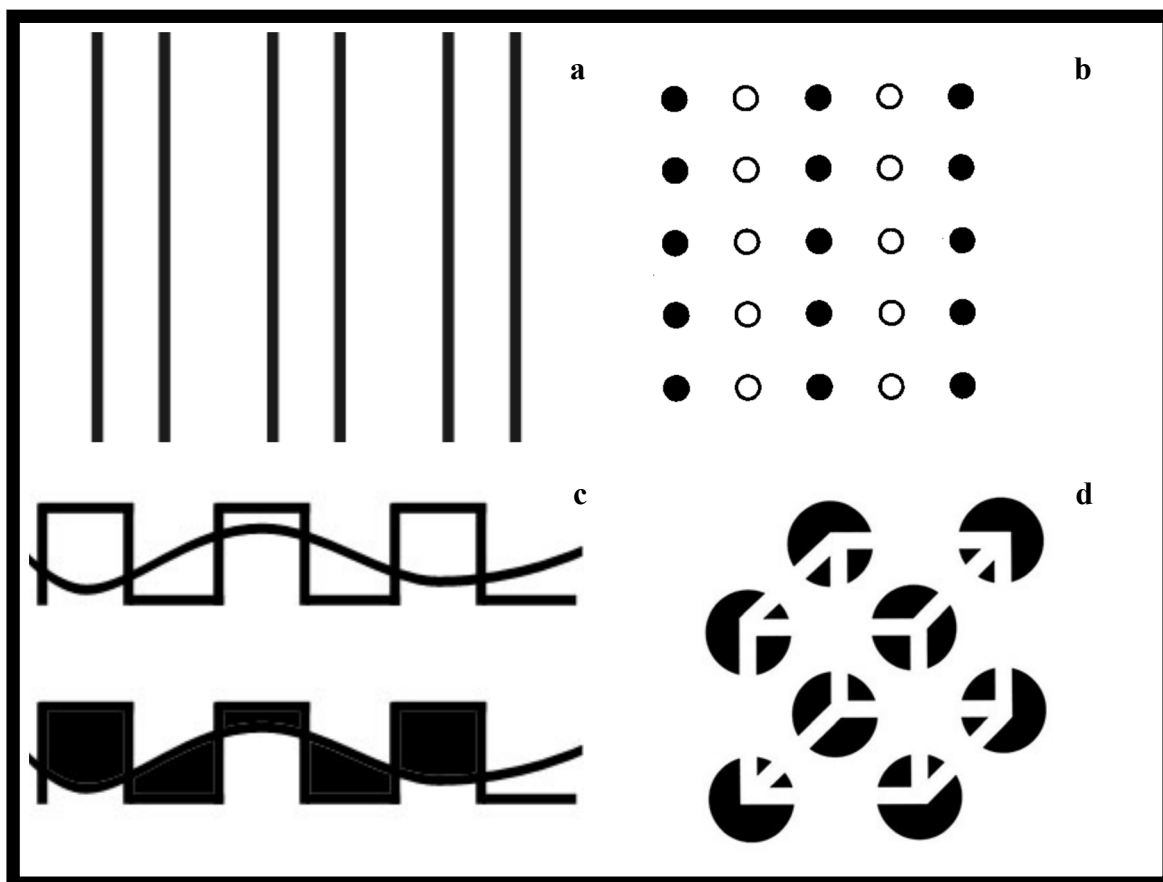


Fig. 28 - Esempi delle leggi di formazione delle unità fenomeniche gestaltiane: a) legge della vicinanza; b) della somiglianza; c) della continuità di direzione o del destino comune; d) della chiusura.

Questo processo di assimilazione o, meglio, di raggruppamento consente in qualche modo di dare senso a forme altrimenti frazionate in innumerevoli elementi. L'esempio classico è quello di un insieme di linee verticali (Fig. 28, a), ove le coppie più ravvicinate verranno percepite come rappresentanti una forma coerente, una unità. Nel caso di elementi incoerenti, essi vengono uniti in una forma coerente in base alla loro somiglianza, in una sorta di tipologizzazione inconscia. Nel caso dello schema in figura (Fig. 28, b), percepiamo tre gruppi di pallini in alternanza pieni, vuoti, pieni. L'insieme è determinato da quegli elementi che presentano proprietà simili. Ancora, gli elementi che hanno un movimento o direzione simile, e differente dal restante ambiente, vengono uniti in forme (Fig. 28, c). Inoltre, gli elementi posti in sequenza vengono percepiti e uniti in

una forma singola lungo la direttrice che li accomuna. Infine, gli elementi che formano o suggeriscono delle forme chiuse tendono ad essere percepiti come unità formali (Fig. 28, d).

Ad ogni modo, la più conosciuta di tali regole e, sicuramente, la più evidente è la legge della buona forma o della pregnanza. La forma che si costituisce dall'unione degli elementi è tanto buona quanto consentito dalle circostanze date. A questa regola si lega il cosiddetto *principio del minimo sforzo o della minima azione (the law of least action or the minimum principle)*⁵³¹; tale principio, derivato dalle lunghe riflessioni culminate nelle argomentazioni dei fisici dei secoli XVII-XVIII, afferma che il cambiamento coinvolgente un corpo o un sistema fisico, in natura, avviene attraverso la minima quantità d'azione possibile. In sintesi il raggiungimento di una percezione pregnante avviene attraverso il minimo sforzo, secondo il *principio di omogeneità massimale* proposto da Cesare Luigi Musatti⁵³².

Al contrario, la legge forse più influente, e che in un certo qual modo include tutte le altre, è la legge della figura/sfondo (Fig. 29). Secondo il suo enunciato, la percezione visiva agisce attraverso la separazione della figura dal suo sfondo, rappresentanti entrambi le unità minime della percezione.

⁵³¹ GORDON 2004, pp. 8-10. Il principio venne esplicitato in legge dal fisico e matematico francese Pierre-Louis de Maupertius (1698-1759) nel suo *Principio della minima quantità d'azione per la meccanica* del 1744, secondo la forma: «l'azione è proporzionale al prodotto della massa per la velocità e lo spazio. Ecco dunque il principio così saggio, così degno dell'Essere Supremo: appena si verifica un qualche cambiamento nella Natura, la quantità d'azione impiegata per questo cambiamento è sempre la minore possibile».

⁵³² PINNA 2005, p. 216. Secondo lo studioso sardo, «[p]er Köhler (1920) i processi percettivi si sviluppano e si evolvono nella direzione della minima energia all'interno di una struttura. Pngnanza equivale in questo caso a "principio di economia" o "legge di minimo". Sulla falsariga di Metzger e Köhler, Musatti propone il *principio di omogeneità massimale* (1931), che riconduce tutti i fattori di unificazione percettiva ad un'unica legge» (enfasi nell'originale).

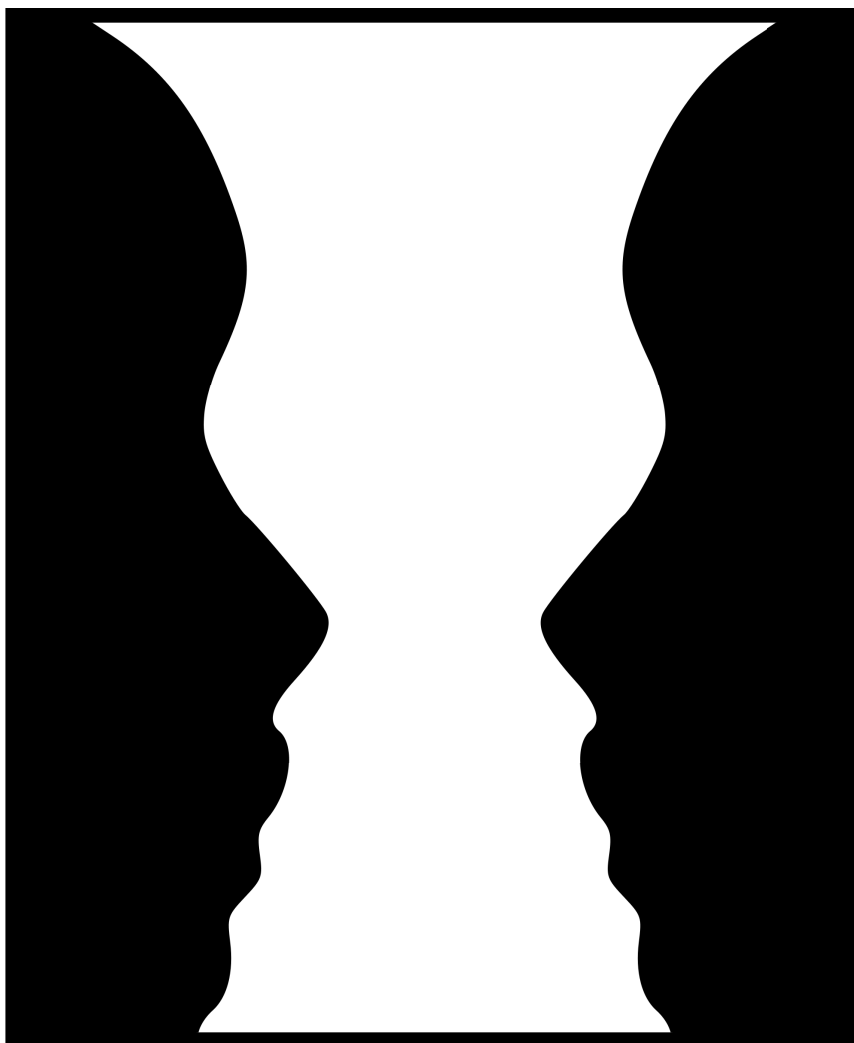


Fig. 29 - Il Vaso di Rubin, anche noto come volto Rubin o figura-sfondo vaso è stata ideata intorno al 1915 dallo psicologo danese Edgar Rubin, è spesso utilizzata per esemplificare il concetto di figura/sfondo.

Nel caso della Fig. 29, ad esempio, qual è la relazione tra le figure ravvisabili nell'immagine? Quale tra i visi e il vaso si trova sullo sfondo? La separazione, e dunque il riconoscimento dell'esistenza di due unità fenomeniche distinte, agisce anch'essa secondo una semplice regola formulata da Petter e Kanisza: nel rapporto figura/sfondo, nel caso di un oggetto non direttamente visibile perché coperto da un altro oggetto - secondo un processo definito completamente amodale - risulterà in primo piano «la figura che richieda la minore lunghezza dei contorni amodali per essere completata»⁵³³ (Fig. 30).

⁵³³ PETTER 1956; Cfr. PINNA 2005, p. 222.

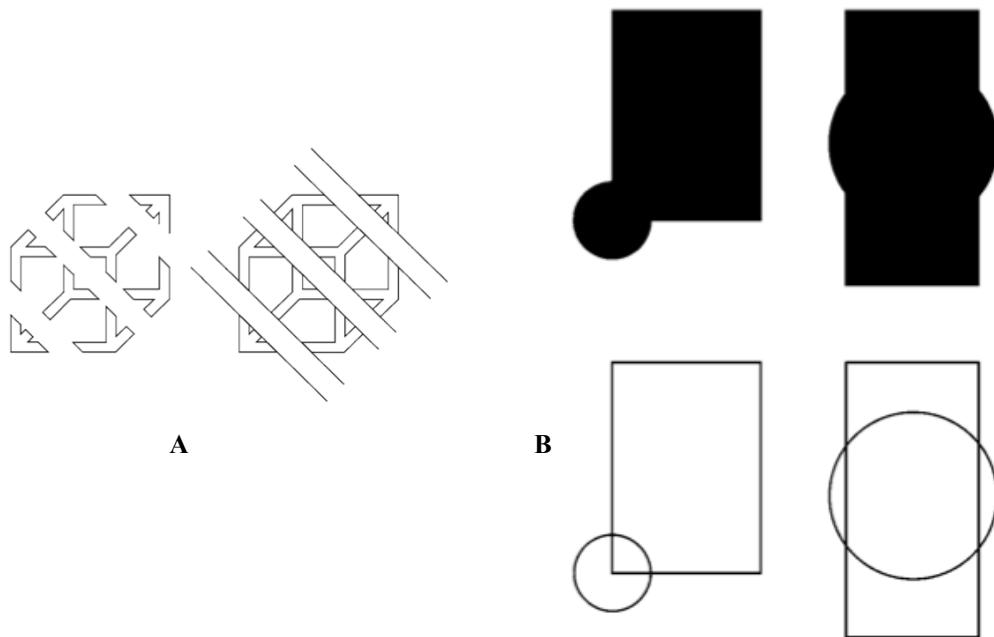


Fig. 30 - Dimostrazione visiva del completamento amodale, secondo Kanizsa (A) e secondo Petter (B) (GORDON 2004, p. 42).

La teorizzazione della legge figura/sfondo ha rappresentato un passo basilare nel tentativo di sviluppare macchine che potessero estrapolare determinate *shapes*, figure appunto, dallo sfondo di immagini fotografiche o video, delineando un'evoluzione sostanziale verso la nascita della *Computer Vision*. Particolarmente come concetto base per sviluppare la capacità degli algoritmi di isolare specifiche qualità, aspetti o caratteristiche all'interno di un'immagine. Questo fatto rappresenta un'ulteriore indizio dell'interconnessione esistente tra le scienze analizzate in questo lavoro che, seppur trattate con la doverosa sintesi dettata dal contesto di questa dissertazione, testimoniano ancora una volta la necessità di procedere ad analisi post-disciplinari⁵³⁴ al fine di delineare e comprendere il quadro di sviluppo e di affermazione di specifici paradigmi, siano essi teorici, metodologici o tecnologici. Un'analisi gestaltica del processo archeologico e del suo rapporto con l'arte, in quella che ci pare una analisi molto fine e ispirante, è stata offerta da Robert Wenger che offre un parallelo tra arti visuali e processo archeologico (di scavo)⁵³⁵.

⁵³⁴ Si veda la conclusione del § 2.2.1 e, in particolare, la nota 136.

⁵³⁵ WENGER 1997.

La teoria empirica della percezione visuale⁵³⁶, che vedeva la percezione legata a stadi intermedi veicolati dai sensi, è stata fortemente criticata prima dalla teoria della «percezione visiva diretta» dello psicologo statunitense James J. Gibson (1904-1979), e in seguito dalla teoria computazionale della percezione visiva del neuro-scienziato e psicologo britannico David Courtnay Marr (1945-1980). Gibson durante la Seconda Guerra Mondiale si trovò a lavorare per l'aeronautica militare degli Stati Uniti e a osservare come il movimento fosse fondamentale nel processo percettivo⁵³⁷. Nel suo lavoro *The Perception of the Visual World* lo psicologo statunitense formulò le sue teorie - legate a quelle iniziali osservazioni - definite ottica ecologica e percezione diretta (non mediata). In breve Gibson sosteneva come il mondo che circonda l'osservatore sia percepito da quest'ultimo senza una mediazione sensoriale (sistema visivo) ma, piuttosto, attraverso l'acquisizione di informazioni dirette sull'ambiente in cui si trova e sulla scena che sta osservando⁵³⁸. Ambiente e osservatore risultano dunque due sistemi interagenti, e la percezione del primo da parte del secondo avviene attraverso un processo attivo e in maniera diretta senza mediazione alcuna⁵³⁹. La teoria dell'ottica ecologica di Gibson propone infatti che l'ambiente sia composto da una disposizione strutturata di luce

⁵³⁶ GORDON 2004, p. 121; La corrente empirica - il cui principale esponente è Hermann von Helmholtz (1821-1894) - sostiene che «tra le sensazioni (quando i nostri sensi dapprima registrano gli effetti degli stimoli) e la nostra percezione cosciente del mondo reale, devono esserci processi intermedi di natura costruttiva. Questi processi rassomigliano il pensiero, e particolarmente il pensiero inferenziale, e a causa loro la percezione può andare oltre le testimonianze dei sensi - testimonianze spesso inadeguate o distorte». In effetti la teoria empirica, di lunga tradizione nella filosofia occidentale, può essere sintetizzata dalla massima di John Locke (1632-1704) «[n]iente è nella comprensione, che non sia prima nei sensi» (RUSSELL, NORVIG 1995, p. 9).

⁵³⁷ GORDON 2004, p. 144; l'autore cita un passo di Gibson sulla sua esperienza in aeronautica ove si legge: «...come ho potuto realizzare, nulla di valore pratico era conosciuto dagli psicologi rispetto alla percezione del movimento, o del movimento nello spazio, o dello spazio stesso. Le classiche idee sulla profondità erano legate ai dipinti o agli stereoscopi da salotto, mentre i problemi pratici per l'aviazione militare avevano a che fare con il decollo e l'atterraggio...»

⁵³⁸ GIBSON 1950, 1960, 1978, 1986; Gibson stesso così definisce il suo approccio, in opposizione alle precedenti teorie sulla percezione: «[f]ino ad ora, tutte le teorie hanno dato per scontato che la percezione visiva di un *mondo* stabile, illimitato e permanente possa essere spiegato solamente da un processo di correzione e compensazione delle sensazioni instabili, limitate e fuggevoli che raggiungono il cervello dalle immagini create sulla retina. Vale a dire, tutte le teorie esistenti sono basate sulle sensazioni. La teoria qui avanzata suppone l'esistenza di uno stimolo-informazione stabile, illimitato e permanente nella gamma di ambienti ottici. E suppone che il sistema visuale possa esplorare e localizzare questa informazione. La teoria è basata sull'informazione, non sulla sensazione» (GIBSON 2002, p. 77).

⁵³⁹ GIBSON 1986; In questo senso le riflessioni di Gibson si pongono in estrema antitesi alle proposte della corrente empirica, capitanata da Hermann Helmholtz (1821-1894) che sosteneva come «tra le sensazioni (quando i nostri sensi registrano gli effetti della stimolazione) e la nostra percezione cosciente del mondo reale, debbano esserci processi intermedi di natura costruttiva. Questi processi assomigliano al pensiero, in particolare al pensiero inferenziale, e grazie a loro la percezione può andare oltre l'evidenza dei sensi - evidenza che è spesso inadeguata o distorta» (GORDON 2004, p. 121).

(*ambient optic array*) rispetto al punto di osservazione, la posizione dell'osservatore⁵⁴⁰, e che quest'ultimo acquisisca direttamente le informazioni sull'ambiente circostante attraverso delle strutture invariante senza alcuna mediazione cognitiva. L'ambiente è dunque pregno di informazioni. Attraverso numerose *affordances*⁵⁴¹ proprie dell'ambiente, l'osservatore risulta informato relativamente alle opportunità d'azione garantite dall'ambiente stesso. In estrema sintesi, la teoria della percezione visiva di Gibson si fondava sull'informazione presente in qualsiasi scena osservabile e sulla capacità di tale informazione (*affordances*) di offrire conoscenza e dunque possibilità d'azione all'osservatore.

La teoria computazionale di David Courtnay Marr, venne fortemente influenzata dalle sue conoscenze trasversali in matematica, psicologia e *Computer Science*, e dalle suggestioni prodotte dagli sviluppi nei campi della teoria dell'informazione, della cibernetica e dalla costruzione di computer sempre più potenti⁵⁴². La visione di Marr si inserisce dunque nel più ampio campo dell'Intelligenza Artificiale (AI)⁵⁴³. Secondo Marr la visione è un processo che da un insieme di informazioni bidimensionali elabora una rappresentazione tridimensionale del mondo che ci circonda. La definizione esplicita di Marr⁵⁴⁴ è:

⁵⁴⁰ GIBSON 1986, pp. 65-92; secondo Gibson l'*ambient optic array* rappresenta la sistemazione strutturata della luce rispetto ad un punto di osservazione che può risultare statico o dinamico, occupato o inoccupato da un osservatore.

⁵⁴¹ GIBSON 1986, pp. 127-146; con *affordances* Gibson intende quell'insieme di caratteristiche fisiche degli oggetti che suggeriscono all'osservatore la possibilità di azione. «Le *affordances* dell'ambiente sono ciò che offrono all'animale, cosa *fornisce* o *provvede*, sia di buono che di cattivo». Un esempio: «[s]e una superficie terrestre è pressoché orizzontale (invece che inclinata), pressoché piatta (piuttosto che convessa o concava), e sufficientemente estesa (relativamente alla dimensione dell'animale) e la sua sostanza è rigida (relativamente al peso dell'animale), allora la superficie *permette il supporto*. Rappresenta una superficie di supporto, e la chiamiamo un substrato, terreno, o pavimento. È possibile starci sopra, permettendo una postura verticale per quadrupedi e bipedi. Permette dunque di camminarci, e correrci sopra. Non permette di affondare come una superficie d'acqua o un acquitrino che, dunque, non è per animali terrestri pesanti».

⁵⁴² GORDON 2004, p. 184. La teoria dell'informazione, sviluppata da Claude Shannon nel 1948, «rese possibile quantificare l'informazione corrente attraverso qualunque sistema, sia che il sistema fosse un telefono a cavo, un canale televisivo, o una persona che legge un testo: la misura era essenzialmente neutrale in relazione al contenuto del messaggio». La cibernetica, sempre nelle parole di Gordon risulta «l'applicazione della matematica a vari sistemi, particolarmente quelli che mostrano autoregolazione», ove l'autoregolazione è la capacità dei sistemi di controllare i propri impulsi, rappresentando perciò una competenza critica e intenzionale.

⁵⁴³ Si veda il § 2.2.3. Cfr. MINSKY 1961; Secondo RUSSELL, NORVIG 1995, p. 3, la «AI tenta di comprendere le entità intelligenti. Quindi, una ragione per studiarla è di comprendere noi stessi. Ma a differenza della filosofia e della psicologia, che si occupano di intelligenza, l'AI ambisce a *costruire* entità intelligenti oltre che a comprenderle»

⁵⁴⁴ MARR 1982.

La rappresentazione definisce il sistema formale per rendere esplicite certe entità o tipi di informazione, insieme alla specificazione di come il sistema realizza tale sistema. E definirei il risultato di usare una rappresentazione per descrivere una data entità una descrizione dell'entità in tale rappresentazione.

Dunque la nostra percezione visiva elabora le informazioni impresse sulla retina per produrre una rappresentazione delle informazioni attraverso l'uso di simboli⁵⁴⁵. Questo sistema informativo utilizza le rappresentazioni al fine di giungere ad una descrizione dell'ambiente. Appare chiaro come la posizione di Marr, come pure quella di Gibson, risultano particolarmente importanti per i processi di elaborazione dell'informazione (*information processing*) e di *problem-solving*⁵⁴⁶. Non stupisce che la teoria computazionale di Marr sia divenuta così importante nel campo delle scienze cognitive, come vedremo a breve.

In effetti Marr concepiva la visione come un sistema di elaborazione dell'informazione. Questo processo di elaborazione avveniva secondo tre livelli d'analisi: a) la teoria computazionale; b) l'algoritmo; e c) l'implementazione hardware⁵⁴⁷. La sistematica di Marr infatti sosteneva che, per essere compreso pienamente, l'atto del vedere dovesse essere analizzato secondo questi tre livelli o fasi. La computazione rispondeva alla domanda: cosa fa il sistema e perché? Quali sono i problemi che risolve e

⁵⁴⁵ KITCHER 1988, p. 5. GORDON 2004, pp. 188-189, così esemplifica il concetto di rappresentazione e descrizione: «[d]alla fotografia satellitare di un territorio noi tracciamo i contorni di una mappa. Supponi che le ottiche del satellite abbiano un grande potere di risoluzione e che possono stimare la massima quota per ciascuna area di 10 chilometri quadrati, assegnando a ciascuna un valore numerico di quota. Ora possiamo selezionare e aggiungere alla mappa tutti i punti con quote di 200 metri, 400 metri, e così via, ciascuno rappresentato da un puntino colorato. L'unione dei punti di un colore particolare (rappresentanti una quota particolare) tramite linee diritte genererà una cruda carta delle linee di livello del territorio. Poi, sono acquisiti dati concernenti la distribuzione di persone nel territorio e un singolo puntino è inserito per rappresentare ciascun migliaio. Si possono aggiungere linee per rappresentare strade e fiumi. Infine, aggiungiamo alcuni contrassegni per indicare, ad esempio, il tasso di natalità in varie regioni. A questo punto è stata creata una mappa del territorio dalla quale possono essere tratte alcune conclusioni; per esempio, che più persone vivono nelle valli, le strade serpeggiano attorno alle aree collinari, e le persone che vivono nelle aree più elevate sono più feconde. Ora, nonostante abbiamo descritto una singola mappa, è ovvio che cinque distinte *rappresentazioni* (contorno, quota, densità di popolazione, fiumi, strade) sono state utilizzate per ottenere cinque *descrizioni*: la mappa può essere vista come la sovrapposizione di cinque trasparenze» (enfasi nell'originale).

⁵⁴⁶ Un'interessante contributo che analizza le convergenze concettuali tra l'approccio ecologico (Gibson) e l'approccio computazionale (Marr) in relazione all'informazione ed alla sua elaborazione è CHERMERO 2003; Per il concetto di *problem-solving*, si veda THAGARD 2005, pp. 10-22; Cfr. KANISZA 1973.

⁵⁴⁷ GORDON 2004, pp. 189-193; KITCHER 1988.

per quale ragione tali problemi si presentano e vengono superati? Il livello dell'algoritmo o della rappresentazione risponde alla domanda sul come vengono risolti i problemi, come vengono manipolate le rappresentazioni così da giungere a delle descrizioni piene? E infine, la fase di implementazione invece fornisce le basi per l'azione, per la messa in pratica delle descrizioni/informazioni acquisite attraverso l'algoritmo.

Se questi livelli rappresentano l'infrastruttura per l'analisi della visione da un punto di vista computazionale, e dunque appaiono più strumenti per la comprensione che non comprensione stessa, Marr intendeva il processo di percezione visiva come sviluppantesi secondo quattro stadi rappresentativi:

- L'immagine;
- Lo schizzo primitivo;
- Lo schizzo $2_{1/2}$ D;
- Il modello di rappresentazione 3D.

L'immagine nell'accezione di David Marr è la rappresentazione dell'intensità di luce che rimane impressa nell'immagine retinica durante l'atto del vedere, essa rappresenta di fatto il punto di partenza della visione. A seguito di questa prima "impressione", lo stadio successivo permette di esplicitare determinate figure informative contenute nell'immagine, abbozzando appunto un primo schizzo del mondo reale. In questa fase l'osservatore percepisce le distribuzioni spaziali e geometriche. Le caratteristiche spaziali e geometriche vengono ulteriormente specificate attribuendo all'ambiente visualizzato caratteristiche di orientamento e di profondità relative alla posizione dell'osservatore, in questo senso è da leggersi la designazione di «schizzo $2_{1/2}$ D». Nell'ultimo stadio della percezione visiva computazionale di Marr, gli schizzi $2_{1/2}$ D vengono organizzati indipendentemente dall'immagine retinica e l'osservatore perviene alla reale percezione della tridimensionalità del mondo esterno⁵⁴⁸.

⁵⁴⁸ GORDON 2004, pp. 192-193; KITCHER 1988, pp. 5-8.

L'approccio computazionale alla visione si inserisce nel più ampio movimento della psicologia cognitiva che, fin dagli anni '60 del XX secolo, ha impiegato la metafora del computer - e dunque della computazione - per «descrivere il funzionamento dei processi mentali in termini di rappresentazione e computazione. [...] la mente, come il computer, può essere compresa in termini di elaborazione dell'informazione»⁵⁴⁹. D'altronde, la scienza cognitiva, branca della più ampia scienza dell'Intelligenza Artificiale (AI), si pone come incontro tra le diverse discipline che hanno come oggetto della loro indagine la mente e il suo funzionamento. In quest'ottica, il funzionamento della mente umana è visto come un processo computazionale al cui centro si trova l'informazione, come la si è intesa in precedenza. Esplicitato in maniera molto schematica, il processo cognitivo procede da un input (la percezione), attraverso l'elaborazione dell'informazione (processo computazionale, creazione della rappresentazione), fino a giungere alla cognizione (pensiero) utile all'azione (linguaggio, movimento, comportamento in generale)⁵⁵⁰.

Il processo computazionale della cognizione si basa sul concetto di «rappresentazione». Come abbiamo già visto, secondo David Marr la rappresentazione è un «sistema formale per rendere esplicite certe entità o tipi di informazione, insieme alla specificazione di come si realizza tale sistema»⁵⁵¹. Le rappresentazioni forniscono dunque l'infrastruttura significativa⁵⁵² nel processo di comprensione del mondo, fungendo da strumento per la “descrizione” significativa dell'ambiente osservato. Nel passaggio tra la percezione del mondo esterno e la sua conoscenza (cognizione), la mente umana procede attraverso una serie di espedienti che definiamo rappresentazioni del reale. Secondo la scienza cognitiva, queste rappresentazioni si presentano alla mente umana secondo alcune categorie che definiscono la tipologia di rappresentazione e la sua funzionalità. Il *concetto* identifica una rappresentazione di una singola entità o gruppo di entità; le parole rappresentano un buon esempio di questo tipo di rappresentazione. La *proposizione* è invece un'asserzione sul mondo che può venir illustrata attraverso delle frasi. Le *regole*

⁵⁴⁹ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, p. 17.

⁵⁵⁰ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, p. 3.

⁵⁵¹ MARR 1982.

⁵⁵² Nell'accezione del termine fornito da Ferdinand de Saussure, cfr. PREUCEL 2006, pp. 21-43, particolarmente p. 28.

rappresentano le relazioni tra proposizioni e, infine, l'*analogia* permette di produrre dei confronti tra situazioni simili⁵⁵³.

Dunque la mente struttura il mondo esterno attraverso queste tipologie rappresentative. Affinché le rappresentazioni possano fornire significato (informazione significativa) debbono tuttavia realizzarsi alcune regole generali che permettano alla mente dell'osservatore di elaborare tali rappresentazioni dandogli significato. Fondamentale affinché la rappresentazione abbia luogo è l'esistenza di ciò che Jay Friedenberg e Gordon Silverman definiscono «detentore della rappresentazione»⁵⁵⁴. Questi non è altro che il «referente», ovvero colui che formula la rappresentazione cercando di dare senso al mondo che lo circonda. In questo processo il referente conferisce «contenuto» a tale rappresentazione realizzando il requisito di «fondatezza», che la definisce e circoscrive in base ad una relazione tra il referente e la stessa rappresentazione. Ovviamente tale raffigurazione del mondo reale deve poter essere comunicata e risultare intelligibile da un interprete. Difatti, analogamente a quanto avviene nel linguaggio verbale e figurativo⁵⁵⁵, così come nelle più ampie dinamiche culturali, in accordo con Geertz e Mead⁵⁵⁶, le rappresentazioni appaiono delle creazioni, dei modelli, che delineano qualcos'altro attraverso un gioco di «simboli» e di «significati» in stretta relazione («intenzionalità») con ciò che rappresentano⁵⁵⁷. Le rappresentazioni infine possono essere suddivise in tre categorie: 1) rappresentazioni digitali; 2) rappresentazioni analogiche; e 3) rappresentazioni proposizionali. Nella prima ipotesi, l'informazione è codificata secondo

⁵⁵³ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, pp. 3 e 21-24; le tipologie di rappresentazione sono inoltre ampiamente analizzate da THAGARD 2005, pp. 43-109 ove, tuttavia, a differenza di Friedenberg e Silverman, l'autore indica come tipologie di rappresentazioni mentali «le regole, i concetti, le immagini, e le analogie» (p. 4).

⁵⁵⁴ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, p. 4.

⁵⁵⁵ THAGARD 2005, p. 95; «numerose considerazioni computazionali, psicologiche e neurologiche suggeriscono che la mente pensi per immagini oltre che per parole». Un eco del dibattito relativo a quale carattere ascrivere alle rappresentazioni mentali, siano esse basate sulla "parola" o sulla "immagine", può essere rintracciato in PAIVIO 1991; NIRENBURG, WILKS 2001; PYLYSHYN 1980, 2002.

⁵⁵⁶ Si veda l'incipit del presente capitolo. D'altronde Chris Jenks, (JENKS 1993, pp. 11–12) afferma come il concetto di cultura possa essere inquadrato e definito come una «*categoria celebrale o perlomeno cognitiva*».

⁵⁵⁷ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, pp. 4-6; THAGARD 2005. Tale intenzionalità possiede due peculiari caratteristiche così definite: «isomorfismo», ossia una somiglianza tra la rappresentazione ed il suo referente, e un «adeguato rapporto casuale» tra il referente e l'azione prodotta a seguito del processo algoritmico applicato alla rappresentazione.

valori definiti e separati (è il caso delle rappresentazioni verbali), nella seconda invece essa è formalizzata in maniera continua (nel caso delle rappresentazioni figurative).

D'altro canto, sia la teoria della Gestalt, sia le *affordances* di Gibson che infine il processo computazionale di Marr fanno pieno uso della memoria come strumento per dar significato al mondo che ci circonda. In questa direzione, Allan Paivio⁵⁵⁸, facendo largo uso delle osservazioni di Frances A. Yates nel suo *L'arte della memoria*⁵⁵⁹, propone una *teoria della doppia codificazione* dell'informazione secondo la quale i processi cognitivi fanno largo uso di due distinti sottosistemi, uno verbale e uno non verbale (figurativo). Nei due sottosistemi, secondo Paivio, le rappresentazioni interne vengono definite *logogeni* e *immageni*, a seconda che siano basate su raffigurazioni verbali o figurative. Applicazioni pratiche di questa teoria, molto apprezzata in ambito educativo, è l'utilizzo di rappresentazioni visive per l'apprendimento dell'alfabeto nei primi anni di scuola, o per l'apprendimento di concetti relativamente complessi attraverso l'ausilio di immagini; ad esempio, la rappresentazione di un cane per imparare il termine "cane", attraverso un processo associativo tra nome convenzionale e rappresentazione figurativa. Paivio ritiene che tali sottosistemi agiscano indipendentemente o in maniera cooperativa e che non si possa parlare di una cognizione basata unicamente su una sola di tali raffigurazioni (verbale o figurativa). La cognizione è piuttosto una «mutua interazione» tra questi due sottosistemi rappresentativi⁵⁶⁰. Infine, le rappresentazioni proposizionali si mostrano sotto forma di una relazione logica tra gli elementi costitutivi, aprendo la possibilità per la descrizione del significato elementare di idee complesse, definendo dunque le relazioni tra concetti⁵⁶¹.

È a questo punto che, nella genesi della scienza cognitiva, la teoria computazionale di David Marr offre lo strumento principe per l'interpretazione dei processi cognitivi.

⁵⁵⁸ PAIVIO 1991; CLARK, PAIVIO 1991.

⁵⁵⁹ YATES 1966 [1993], pp. 3-4; Al riguardo è interessante la citazione riportata da Yates del *De Oratore* (II, LXXXVI, 351-54) di Cicerone, nel quale Simonide - poeta e oratore - presenta questa riflessione sulla necessità di una sistematicità per ampliare le capacità mnemoniche: «[e]gli dedusse che persone desiderose di addestrare questa facoltà [la memoria] devono scegliere alcuni luoghi e formarsi immagini mentali delle cose che desiderano ricordare, e collocare quelle immagini in quei luoghi, in modo che l'ordine dei luoghi garantisca l'ordine delle cose, le immagini delle cose denotino le cose stesse, e noi possiamo utilizzare i luoghi e le immagini rispettivamente come la tavoletta cerata e le lettere scritte su di essa»

⁵⁶⁰ PAIVIO 1991.

⁵⁶¹ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, p. 8.

Secondo Marr dunque la mente umana sarebbe assimilabile a un computer. Analizzato secondo la metafora del computer, il sistema visuale riceve l'immagine di un oggetto e, portati a termine una serie di algoritmi computazionali (operazioni mentali), acquisisce la cognizione (il riconoscimento) di un oggetto⁵⁶². Questi processi, come si è accennato, risultano fondamentali nei processi di elaborazione dell'informazione insita nella percezione visiva del mondo esterno, e differiscono in base al tipo di operazione prodotta o al tipo di informazione manipolata. In generale, la manipolazione dell'informazione funge da *medium* per la comprensione del mondo esterno utile alla successiva "reazione" al mondo siffatto. Alcune di queste operazioni mentali producono effetto in vari campi e possono essere definite - senza peraltro essere esaustivi - come, sensazione, percezione, memoria, linguaggio, ragionamento logico, processo decisionale (*decision-making*) e risoluzione di un problema (*problem-solving*)⁵⁶³.

L'analisi della percezione visiva e della cognizione che precede, funge da struttura concettuale per l'analisi del processo interpretativo in archeologia subacquea, con particolare attenzione al ruolo che in esso gioca la visualizzazione tridimensionale di siti e/o manufatti archeologici. Difatti, strettamente affini alle riflessioni psicologiche sulla percezione visiva, le riflessioni della scienza cognitiva aiutano a identificare gli archetipi utili all'analisi delle rappresentazioni tridimensionali in archeologia e all'approfondimento del loro valore nel processo interpretativo archeologico. Da un punto di vista archeologico infatti, i principi poc'anzi analizzati appaiono pregnanti nel rappresentare alcune dinamiche mentali che si innescano nel processo di interpretazione archeologica. Questi aspetti si analizzeranno più avanti nel § 5.4.

⁵⁶² MARR 1982.

⁵⁶³ FRIEDENBERG, SILVERMAN 2006, p. 9; KANIZSA 1973, p. 35; lo psicologo triestino Gaetano Kanizsa (1913-1993), così definisce il concetto di problema: «Un problema sorge quando un essere vivente, motivato a raggiungere una meta, non può farlo in forma automatica o meccanica, cioè mediante un'attività istintiva o attraverso un comportamento appreso».

5.2 IL RUOLO DELL'IMMAGINE E DELLA RAPPRESENTAZIONE NEL PROCESSO DI RICERCA ARCHEOLOGICA

Il valore dell'immagine - fotografica in particolare - nel processo di ricerca archeologica è ampiamente analizzato in letteratura. Sono infatti numerosi gli studi sul valore della fotografia nel registrare il processo di scavo, le attività di cantiere o i manufatti rinvenuti durante lo scavo⁵⁶⁴. In questo quadro, analizzare il rilievo tridimensionale in archeologia subacquea, significa analizzare *in primis* l'immagine e come essa si manifesti e venga percepita e compresa dall'osservatore. Ad ogni modo, fermarsi alla sola comprensione dell'immagine, per quanto compito già di per se complesso, non porterebbe vantaggi all'esplicitata volontà di trovare il ruolo attivo dell'immagine (tridimensionale) nel processo ermeneutico archeologico. In quest'ottica, l'analisi dell'immagine (modello/rappresentazione) tridimensionale verrà incorporata nell'esame del processo interpretativo archeologico, cercando di identificare, scomporre e caratterizzare la relazione che intercorre tra rappresentazione visiva e ragionamento archeologico.

La rappresentazione tramite immagine nelle sue varie forme - fotografie, schizzi, disegni, planimetrie, sezioni, disegni di materiali, video - costituisce ormai un elemento stabile e probabilmente insostituibile nel processo di ricerca archeologica. La registrazione delle attività di scavo, la descrizione delle peculiarità di uno strato, di un paesaggio o di un singolo manufatto, sono fortemente connotate dalla componente visuale dell'immagine rappresentativa; tuttavia, come si è visto, sia l'archeologia sia l'ambito scientifico in generale sono costellati di critiche, anche severe, alla supremazia della visione sugli altri sensi (*ocularcentrism*)⁵⁶⁵. In un quadro più generale, l'immagine o la rappresentazione visuale gioca nel processo di ricerca archeologica un ruolo

⁵⁶⁴ PIGGOTT 1965; Il volume curato da Brian Leigh Molyneux (MOLYNEUX 1997) offre un'interessante gamma di interventi, tra i quali particolarmente interessanti sono Moser, Gamble 1997, pp. 184-212, sul ruolo dell'immagine nel modellare la percezione della storia e del passato, e Shanks 1997, pp. 77-107, sulla potenzialità dell'immagine fotografica all'interno del discorso archeologico. Una penetrante analisi del ruolo dell'immagine in archeologia è offerta inoltre nel volume miscelaneo, Smiles, Moser 2005; per un'analisi della fotografia archeologica, si veda BOHRER 2005, ove l'autore conclude che «una serie di domande possono venir generate dalle negoziazioni tra pubblico e privato, tra interesse e disinteresse, tra passato e presente, inerenti nel matrimonio tra archeologia e fotografia» (p.190); per una critica della realtà virtuale in archeologia e dell'effetto di mimesi delle ricostruzioni virtuali, si veda GILLINGS 2005.

⁵⁶⁵ THOMAS, OLIVEIRA JORGE 2008; THOMAS 2008; JAY 1988.

fondamentale nel sollecitare quei processi interpretativi che si innescano nel momento stesso in cui l'evidenza archeologica è portata alla luce da secoli di isolamento. Tuttavia, il singolo dato portato alla luce dall'attività di ricerca (scavo o ricognizione), risulta nondimeno muto fino a quando la sua individualità non è posta in relazione con la sua attinenza spaziale, fino a quando dunque il singolo elemento (dato archeologico) non è posto in relazione con l'unità degli elementi costituenti il sito archeologico; ossia ciò che convenzionalmente è definito contesto. Anche nell'ermeneutica del sito archeologico, l'unità ha più valore dell'insieme delle parti⁵⁶⁶. Nel processo d'indagine la costituzione di tale unità è prodotta attraverso operazioni di selezione, rimozione, separazione e/o contestualizzazione, che vengono prodotte dal ricercatore sulla base di capacità legate alla percezione - non solamente visuale - delle relazioni che intercorrono tra le componenti elementari. Il complesso compito del ricercatore è dunque quello di ri-costruire⁵⁶⁷ il passato attraverso l'interpretazione dei caratteri di «similarità, continuità, prossimità e grado di chiusura negli elementi visuali che rimangono»⁵⁶⁸. Le relazioni esistenti tra gli elementi definiscono dunque il contesto.

D'altro canto, la ricerca archeologica sul campo e, ancor più, quella a tavolino fa largo uso della visione. La comprensione degli elementi che compongono il contesto archeologico, e la ricerca dell'unità tra questi elementi, procede attraverso una visione diretta sul campo e una visione mediata a tavolino. In questo senso, l'archeologo interpreta immagini "reali", o direttamente percepite, quando sul campo discerne cambiamenti di consistenza, di trama o di colore negli strati che porta via via alla luce, quando rimuovendo il sedimento accumulatosi nel tempo segue i limiti di una unità stratigrafica o quando segue i limiti di una struttura o di un manufatto la cui forma, quando parzialmente esposta, può solo essere congetturata. Egli lavora invece su immagini rappresentative quando, a tavolino, esamina la propria documentazione di scavo (grafica, fotografica o video) o riesamina quella prodotta da altri gruppi di ricerca. In questo senso l'immagine ha un ruolo fondamentale nel porre il ricercatore in contatto semiotico con l'evidenza archeologica. Ovviamente l'esperienza dei resti archeologici da

⁵⁶⁶ WENGER 1997, p. 36. Si veda inoltre il § 3.1.

⁵⁶⁷ SHANKS, TILLEY 1987a

⁵⁶⁸ WENGER 1997, p. 39.

parte del ricercatore, non si limita alla sola conoscenza visiva. Su questa base, il processo ermeneutico archeologico ha luogo grazie a un congiunto di esperienze presenti e passate legate alla vista, al tatto, e non ultimo alla memoria. Come ben identificato da Ian Hodder⁵⁶⁹, l'ermeneutica archeologica è essa stessa un processo contestuale. L'interpretazione si contestualizza nel suo stesso manifestarsi. Il processo di "lettura" delle evidenze archeologiche diviene interpretazione, ermeneutica contestuale, solo quando il ricercatore, l'archeologo (il lettore), tiene conto della totalità dei dati disponibili e con essi instaura un rapporto dialogico. A questa accezione di contesto si aggiunge quella che Hodder definisce come «le contemporanee condizioni economiche, politiche e sociali della ricerca», che condizionano l'agente (l'archeologo) in cerca di significati⁵⁷⁰.

Per quanto concerne l'immagine, similmente a quanto sostenuto da James Gibson⁵⁷¹, Ernst Gombrich asserisce che la rappresentazione non è una copia accurata dell'esperienza visuale ma, al contrario, costituisce un fedele modello relazionale⁵⁷². Tale modello relazionale è portatore di informazioni attraverso un processo retorico (discorso),

⁵⁶⁹ HODDER 1986, 1991; HODDER, HUTSON 2003, p. 190; In effetti Hodder riconosce che il concetto di contesto è centrale in archeologia ma che esso spesso prende diversi significati. Egli afferma che «la preoccupazione per il contesto è divenuta una questione metodologica importante nelle procedure di scavo», ma anche che «[i]l contesto della cultura materiale è non solo astratto e concettuale ma anche pragmatico e non-arbitrario». In ultima analisi, nella sua metafora testuale, Hodder sostiene che il «contesto può riferirsi a quelle parti di un documento scritto che vengono immediatamente prima e dopo un particolare passaggio, così strettamente connessi nel significato con quest'ultimo che il suo senso non è comprensibile senza di essi».

⁵⁷⁰ HODDER, HUTSON 2003, pp. 169-170; gli autori aggiungono «[l]a vita stessa è base e condizione sufficiente per le ermeneutiche storiche».

⁵⁷¹ Come abbiamo visto, la concezione empirica della percezione è stata rivista dalle correnti della Gestalt, dalla teoria ecologica di Gibson e, anche se solo parzialmente, ripresa da David Marr nella sua teoria computazionale della visione. Tuttavia, abbracciando la teoria di James Gibson, la percezione è accordata dalle informazioni acquisite direttamente attraverso l'osservazione del mondo che ci circonda. Difatti, Gibson (GIBSON 2002, p. 88-89) afferma che «[o]ra è perfettamente vero che quando un osservatore guarda un dipinto, una fotografia, una scultura, o un modello, esso acquisisca una percezione visuale *indiretta*, un'esperienza *mediata*, una conoscenza di *seconda mano*, di qualunque cosa sia rappresentato. Un manufatto umano di tal sorta è un'immagine nel senso originale del termine. Si tratta a pieno titolo di un oggetto che riflette la luce ma esibisce informazioni per precisare un oggetto del tutto diverso (Gibson, 1966, Ch. 11). Un'immagine secondo questo inequivocabile significato è qualcosa da guardare, e deve essere guardato, naturalmente, con gli occhi. Così ci può essere una percezione diretta del ritratto di un uomo accompagnata da una percezione indiretta dell'uomo stesso. La fallacia delle comuni teorie sulla percezione consiste nel prendere come modello per la visione il tipo di percezioni visuali indirette che utilizza le immagini come sostituti delle cose».

⁵⁷² Gombrich 1956, citato in MOSER, SMILES 2005, p. 3.

tra l'immagine stessa e l'osservatore⁵⁷³. In questo processo retorico, l'immagine si fa portatrice di simboli, convenzioni che possono divenire comprensibili solo attraverso l'analisi del linguaggio dell'immagine: la retorica dell'immagine⁵⁷⁴ appunto.

In accordo con questa posizione, Roland Barthes⁵⁷⁵ sostiene che l'immagine - fotografica nella specifica analisi - rappresenta un messaggio; risulta dunque portatrice di informazione. Tale messaggio appare inquadrato in una infrastruttura composta da una fonte di emissione (la macchina e presa fotografica), da un canale di trasmissione (la fotografia stessa) e infine dal punto di ricezione (l'osservatore). Il percorso del messaggio tra fonte di emissione e punto di ricezione è fortemente connotato da elementi percettivi e cognitivi. In questo percorso i codici connotativi⁵⁷⁶ dell'immagine fotografica ottengono significato solo e in funzione di una conoscenza *a priori* da parte dell'osservatore. La scena, proposta nell'immagine, acquisirà senso solo se l'osservatore avrà conoscenza dei vari elementi che la compongono e saprà attribuirgli una *significazione*⁵⁷⁷ che sarà, a sua volta, influenzata dalla realtà storico-sociale propria dell'osservatore. Secondo Barthes dunque la percezione dell'immagine risulta un processo empirico⁵⁷⁸ che necessita di una esperienza precedente, ossia una conoscenza *a priori*, dunque fortemente inquadrata nel contesto socio-culturale dell'osservatore.

Similmente, Michael Shanks ritiene che l'immagine, il *photowork* come lo definisce l'autore, rappresenti «un aspetto di come l'archeologo possa accogliere i resti del passato e lavorare su di essi»⁵⁷⁹. Egli critica la presunta obiettività e il supposto realismo dell'immagine in archeologia, sostenendo che il *photowork* riesce a garantire

⁵⁷³ BARTHES 1964 [2002], 1980 [2003], 1982; ECO 1982; BURGIN 1982; In realtà gli studi di semiotica dell'immagine di cui Roland Barthes e Umberto Eco sono principali rappresentanti, hanno per lungo tempo sostenuto che la comprensione e significazione dell'immagine procedesse analogamente a quanto avviene per il linguaggio parlato; in termini semiotici, rispettivamente, linguaggio visuale e linguaggio naturale. Secondo questa concezione, esistevano dei codici analogici per cui le immagini rappresentavano effettivamente gli oggetti nel mondo reale, attraverso dei codici connotativi (BARTHES 1982, ECO 1982) denotanti un secondo sistema di significati e, infine, attraverso i codici di giustapposizione degli elementi interni alla fotografia o fra fotografie adiacenti.

⁵⁷⁴ BARTHES 1982.

⁵⁷⁵ BARTHES 1982.

⁵⁷⁶ BARTHES 1982; per il linguista e semiologo francese, i codici connotativi sono: gli effetti trucco, la posa, gli oggetti, la fotogenia, l'esteticismo e la sintassi.

⁵⁷⁷ Per Barthes la *significazione* rappresenta «il movimento dialettico che risolve la contraddizione tra uomo culturale e uomo naturale».

⁵⁷⁸ Per l'approccio empirico alla percezione visiva, si veda GORDON 2004, pp. 117-141.

⁵⁷⁹ SHANKS 1997, p. 73.

«un'aderenza all'apparenza delle cose, una replica delle caratteristiche esterne»⁵⁸⁰, ma questo è ben lontano dal rendere un'immagine realistica, ben lungi dunque dal raffigurare una copia esatta della scena reale che pretende di rappresentare. Secondo l'autore, un'immagine per divenire realistica deve essere contestualizzata nel tempo, solo così, attraverso una retorica dell'immagine⁵⁸¹ all'interno del discorso archeologico, l'immagine può divenire strumento utile al processo ermeneutico. L'immagine, in tutte le sue forme (fotografia aerea, fotografia dei materiali, disegni, planimetrie etc.), non rappresenta una obiettiva e realistica reiterazione del mondo tangibile, essa è piuttosto prodotta. È prodotta nel senso che, per acquisire significato, venire interpretata e fornire conoscenza, essa deve entrare in un rapporto dialogico con altre parti e altri significanti, deve insomma creare connessioni e contesti.

Questo significato non è dunque insito nell'immagine, ma è acquisito nel rapporto di questa con il contesto nel quale è impiegata, contesto che - secondo Shanks - include anche il produttore, cioè l'archeologo ed il suo ambiente socio-culturale⁵⁸². L'ermeneutica dell'immagine ha tuttavia ragion d'essere solamente in un processo temporale che produce «la non arbitraria congiunzione dei presenti: il presente del passato, l'istante della fotografia e il tempo della lettura»⁵⁸³. Ne consegue che, come giustamente sostenuto e finemente analizzato da Brian L. Molyneaux e altri⁵⁸⁴, le immagini possiedono una vita culturale coincidente e sopravvanzante la loro stessa ermeneutica. O per meglio dire, la vita culturale delle immagini risulta il prodotto del continuo rapporto dialogico che con

⁵⁸⁰ SHANKS 1997, p. 78.

⁵⁸¹ SHANKS 1997, p. 80; BARTHES 1977; Secondo Barthes, la retorica dell'immagine favorisce la fusione tra naturalismo e realismo, attraverso la significazione che risiede totalmente nel prodotto visuale (p. 10; Cfr. BARTHES 1982; pp. 206-207). L'osservatore riceve «allo stesso tempo» i tre messaggi insiti nell'immagine: il messaggio linguistico, quello simbolico codificato e quello simbolico non codificato (p. 36). In questo processo, l'osservatore non isola il messaggio percettivo (naturale) da quello culturale (simbolico). Al riguardo Bruno Latour (LATOURE 1986, p. 10) afferma che «[l]a maggiore qualità del nuovo spazio è non di essere "obiettivo" come spesso sostiene una definizione naïve di realismo, ma piuttosto di avere coerenza ottica». Il nuovo spazio è quello acquisito attraverso la teorizzazione della prospettiva, la cultura visuale teorizzata da Svetlana Alpers, ossia l'ingresso prorompente dell'immagine nelle dinamiche culturali e nel discorso scientifico.

⁵⁸² SHANKS 1997, pp. 80-83; L'ermeneutica archeologica rappresenta dunque un processo interpretativo in cerca di contesto. In questo quadro l'immagine è un elemento dell'unità gestaltica che può fruttare solo in un ambiente ricco di dati (si veda Jean-Claude Gardin e Paul Reilly nel § 3.1).

⁵⁸³ SHANKS 1997, p. 88. Secondo Michael Shanks esistono tre categorie del tempo fotografico in archeologia: «il momento fermato, la data, e la continuità dal passato attraverso il presente».

⁵⁸⁴ MOLYNEAUX 1997; MOSER, GAMBLE 1997; MOSER, SMILES 2005, p. 5; Stephanie Moser and Sam Smiles definiscono questa temporalità dell'immagine - particolarmente quella futura - come l'*aldilà* dell'immagine. Ci pare tuttavia che questo aldilà sia concettualmente affine al concetto di vita culturale definita in particolare da Molyneaux.

esse instaura l'osservatore, ossia l'archeologo nel caso delle rappresentazioni archeologiche⁵⁸⁵. L'immagine è continuamente ridiscussa, rivalutata, reinterpretata e comunicata sulla base di quello che potrebbe esser definito un sistema di codici connotativi archeologici⁵⁸⁶, finendo per rappresentare al contempo uno strumento simbolico e comunicativo⁵⁸⁷. Questo è ancora più vero se - come rileva il sociologo francese Bruno Latour⁵⁸⁸ - la potenza delle incisioni (immagini) risiede nella capacità di fungere da strumento per «radunare sul posto il maggior numero di ben allineati e fedeli alleati». In altre parole, il valore delle immagini è quello di fungere da strumento persuasivo capace di «convincere qualcun altro ad accettare un'affermazione, promuoverla, renderla più di un fatto, e riconoscere la proprietà e originalità dell'autore»⁵⁸⁹.

Per Bruno Latour la rappresentazione (immagine) agisce come agente filtrante e semplificante della realtà fisica, una semplificazione che avviene attraverso una primaria interpretazione dell'immagine reale al fine di trasformarla in un'immagine più facilmente intelligibile⁵⁹⁰. Così l'immagine ha la capacità di persuadere grazie a due suoi potenziali attributi: la mobilità e l'immutabilità⁵⁹¹. In questa visione l'immutabilità o «consistenza

⁵⁸⁵ Non solo l'archeologo in realtà. Quando le immagini archeologiche penetrano il modo reale, questa vita culturale diviene fondamentale per comprendere il "messaggio" che esse trasportano e autorizzano, si veda ad esempio MOSER, GAMBLE 1997.

⁵⁸⁶ Sia la percezione diretta (sul campo) o indiretta (attraverso l'immagine) di un contesto archeologico, procedono secondo alcuni specifici parametri. L'immagine, ad esempio, sia essa prodotta per la documentazione di scavo, per la registrazione e catalogazione di manufatti, o per la visualizzazione di aree ricognite, segue determinate regole, o meglio determinati codici che la connotano come immagine archeologica e che le attribuiscono contenuto e abilità discorsiva. Tra questi codici rientrano ad esempio i codici di scala, di orientamento, di contesto che favoriscono la decifrazione dell'immagine secondo dei parametri codificati. Similmente, nel caso della percezione diretta, l'archeologo si trova, nell'osservare un contesto archeologico, ad applicare un insieme di codici connotativi che, spesso dettati dall'esperienza e dalla conoscenza pregressa, definiscono specifici elementi come archeologicamente determinati e rilevanti.

⁵⁸⁷ MOSER, SMILES 2005, p. 5; È importante sottolineare ulteriormente come simbolo e comunicazione rappresentino parte fondante del processo ermeneutico e del discorso archeologico, soprattutto nell'ambito delle riflessioni di alcuni post-processualisti e delle correnti definite archeologica contestuale e interpretativa (HODDER 1986, 1991; HODDER, HUTSON 2003; SHANKS 1992).

⁵⁸⁸ LATOUR 1986, p. 5.

⁵⁸⁹ LATOUR 1986, p. 5.

⁵⁹⁰ LATOUR 1986, p. 15.

⁵⁹¹ L'analisi della "rivoluzione scientifica" e dei motivi alla base del passaggio sostanziale da un'epoca pre-scientifica ad una pienamente scientifica, che Latour chiama il «Grande Spatiacque», è causato da alcuni cambiamenti nel modo di osservare e di rappresentare la natura. In questo processo, l'invenzione della stampa ha giocato un ruolo fondamentale. Grazie a questo mezzo, «l'immutabilità è assicurata dal processo di stampa di numerose copie identiche; la mobilità dal numero di copie, dalla carta e dai caratteri mobili», e ancora, «la prospettiva *più* la stampatrice *più* l'acquaforte rappresenta la combinazione realmente importante poiché i libri ora possono portare con se le immagini realistiche delle quali parlano» (LATOUR 1986, p. 10).

ottica» delle immagini è garantita sulla base di una sorta di linguaggio visuale comune, una formalizzazione che permetta la mobilitazione delle rappresentazioni senza che su di esse avvenga alcuna trasformazione (immutabilità)⁵⁹². Solo quando queste due principali condizioni sono rispettate, l'immagine diviene comprensibile e autorevole. Ovviamente tali rappresentazioni possono essere modificate nelle loro proporzioni interne, riprodotte, combinate, sovrapposte e finanche connesse ad un testo scritto, così che «il testo e lo spettacolo del mondo finiscono per avere lo stesso carattere»⁵⁹³. Tuttavia, tali trasformazioni non modificano la coerenza interna dell'immagine, non ne modificano il significato ma, al massimo, ne ampliano lo spettro retorico e discorsivo.

Le rappresentazioni, le immagini, acquisiscono dunque potenza, attraverso un «processo di puntualizzazione che ottiene alcuni indicatori da molte tracce», unicamente quando queste tracce sono «riassunte»⁵⁹⁴ da qualche parte. La possibilità di accedere e dominare quest'insieme di tracce da un'unica posizione è ciò che rende l'agente filtrante (l'immagine) così valevole in un processo ermeneutico. Ancora una volta, si ripropongono in questo scenario i concetti di scala e di contesto al fine di comprendere la portata dell'immagine come accumulatore di informazioni e strumento persuasivo⁵⁹⁵. È la capacità dell'immagine di dominare la misura delle cose e la possibilità di contestualizzarle in un unico luogo che favorisce, come abbiamo già visto, la comprensione della «totalità dell'ambiente rilevante, ove 'rilevante' si riferisce ad una significativa relazione con l'oggetto - cioè, una relazione necessaria al discernimento del significato dell'oggetto» (enfasi nell'originale)⁵⁹⁶.

Le immagini appaiono dunque nodo fondamentale di una fitta rete comunicativa, rappresentando la fase finale di un processo di mobilitazione e semplificazione, sulle quali successive analisi, interpretazioni e inferenze vengono prodotte e testate ampliando la portata retorica (il discorso scientifico delle immagini). Attraverso queste caratteristiche le immagini, per mezzo della loro intrinseca caratteristica di «consistenza

⁵⁹² Come abbiamo sottolineato nel § 3.1, nota 300, per Bruno Latour il «formalismo è l'accelerazione di spostamento senza trasformazione» (enfasi nell'originale).

⁵⁹³ LATOUR 1986, p. 20; Cfr. LATOUR, BASTIDE 1983, 1985.

⁵⁹⁴ LATOUR 1986, p. 26.

⁵⁹⁵ BURRI, DUMIT 2008.

⁵⁹⁶ HODDER, HUTSON 2003, p. 188.

ottica» - da non confondere con una presunta oggettività dell'immagine (si veda sopra) - posseggono la capacità di fungere da «arte della dominazione», ove con dominazione si intende non l'accezione sociale attribuita al termine da Latour⁵⁹⁷ ma, piuttosto, l'attitudine a dar vita ad un'interpretazione prodotta attraverso un continuo processo discorsivo che si realizza tra il consumatore dell'immagine e i messaggi e le informazioni che essa custodisce.

Un'interessante prospettiva per la comprensione dell'immagine e della visualizzazione giunge dal vasto ambito disciplinare degli studi sulla scienza e la tecnologia (*Science and Technology Studies* - STS)⁵⁹⁸ e, in particolare lo studio sociale dell'immagine e della visualizzazione scientifica (*Scientific Imaging and Visualization* - SIV). Come Regula Valérie Burri e Joseph Dumit affermano nel loro contributo⁵⁹⁹, il valore dell'approccio SIV alle rappresentazioni visive nell'ambito scientifico risulta dal tipo di analisi proposta da questo approccio; le immagini, le rappresentazioni, non sono analizzate secondo la loro intrinseca natura ma piuttosto secondo la dimensione sociale e le implicazioni nell'uso di tali rappresentazioni. Burri e Dumit suggeriscono come il SIV sia interessato alle «pratiche epistemiche della produzione, interpretazione e utilizzo delle immagini scientifiche»⁶⁰⁰.

In maniera simile a quanto proposto da Michael Shanks, Brian L. Molyneux e altri⁶⁰¹ dunque, la comprensione della visualizzazione in ambito scientifico è per questo approccio una funzione dell'analisi e conoscenza dei meccanismi e degli effetti tipici dei processi attraverso i quali la vita culturale dell'immagine scientifica si dispiega. In questo quadro, gli autori affermano come non sia sufficiente descrivere le informazioni contenute nell'immagine scientifica o gli inerenti significati; al contrario, è necessario focalizzare sulle strutture testuali, discorsive e contestualizzanti all'interno delle quali la visualizzazione scientifica è utilizzata. Le immagini posseggono una tensione

⁵⁹⁷ LATOUR 1986, p. 26.

⁵⁹⁸ Questo ambito disciplinare è nato intorno alla metà degli anni '70 del XX secolo, la cui pietra miliare può essere riconosciuta nel volume edito da Ina Spiegel-Rösing e Derek J. de Solla Price dal titolo *The Handbook of Science, Technology, and Society*. (HACKETT ET AL. 2008).

⁵⁹⁹ BURRI, DUMIT 2008, p. 298.

⁶⁰⁰ BURRI, DUMIT 2008, p. 298.

⁶⁰¹ Si veda la nota 584.

interpretativa⁶⁰² poiché «le rappresentazioni non sono mai completamente auto-esplicative, e sono poli-vocali, o aperte a molti significati». Esse posseggono una potenza persuasiva ma questa persuasività è incompleta, esse hanno ragione del *modello incompleto* che rappresentano solo attraverso un processo interpretativo⁶⁰³.

È evidente che tale visione dell'immagine si trova perfettamente in linea con la visione ermeneutica tipica dell'archeologia post-processuale e particolarmente dell'archeologia interpretativa. L'immagine tridimensionale (il modello 3D) diviene in questo modo uno "schema" incompleto che è necessario contestualizzare, mettere in relazione, in dialogo con gli altri "schemi" incompleti (i numerosi dati archeologici) così da poter giungere ad una «thick description», e partecipare alla scienza interpretativa in cerca di significato⁶⁰⁴. D'altronde è proprio l'originaria incompletezza dell'evidenza archeologica a richiedere un sempre maggiore quantitativo di dati - «l'ambiente ad alto contenuto di dati» di Gary Lock⁶⁰⁵ - che richiede a sua volta, a gran voce, uno sforzo interpretativo per giungere a dar senso agli originali dati⁶⁰⁶.

⁶⁰² BURRI, DUMIT 2008, p. 306.

⁶⁰³ Jordanova 2004, p. 446, citato in BURRI, DUMIT 2008, p. 308; l'autrice si riferisce «alla creativa apertura dei modelli: essi sono vincolanti e suggestivi al tempo stesso, "implicando l'esistenza di qualcosa d'altro, in virtù del quale il modello ha un senso. Come risultato ci sono lacune interpretative che gli osservatori devono riempire, 'la quota di chi guarda' nelle parole di Gombrich».

⁶⁰⁴ GEERTZ 1973 [1998], pp. 12 e 58.

⁶⁰⁵ LOCK 2003, p. 1, si cfr. nota 287.

⁶⁰⁶ HODDER 1992, p. 185, si cfr. nota 297.

5.3 LE TECNICHE DI RILIEVO CVP COME *MEDIA* NEL PROCESSO ARCHEOLOGICO

Come si è visto nello svolgimento del presente elaborato, l'archeologia è da sempre contrassegnata, in maniera più o meno marcata a seconda della corrente teorica nella quale si posizionava il singolo ricercatore, da un certo «determinismo tecnologico»⁶⁰⁷, un «feticismo tecnologico»⁶⁰⁸ che spesso ha visto nell'applicazione deterministica della tecnologia il fine ultimo e il vantaggio del suo utilizzo. La tecnologia vista come feticcio diviene dunque il metro per misurare la valenza del prodotto finale, e questo prodotto diviene acriticamente magnificato perdendo di vista «cosa c'è sotto»⁶⁰⁹. Vengono persi di vista quali siano gli effetti che la tecnologia ha sulla stessa attività per la quale è impiegata. La tecnologia diviene simultaneamente presupposto, ragione, e fine della sua stessa utilizzazione, diviene archetipo - nel senso etimologico del termine - di un nuovo paradigma leibniziano nel quale lo strumento tecnologico è il paradigma stesso, valore assoluto capace di mettere ordine nel caos.

5.3.1 MARSHALL McLUHAN, IL CONCETTO DI MEDIA E GLI EFFETTI PROTESICI E NARCOTICI DELLA TECNOLOGIA

In un ambiente culturale pre-informatico e pre-computazionale, Lewis Mumford⁶¹⁰ sosteneva che i progressi tecnologici non rappresentano una questione prettamente tecnica, o meglio, che il loro pieno utilizzo e eventuale successo non abbia una dipendenza meramente tecnica; al contrario, è necessario un cambiamento mentale. Il consolidamento di un nuovo paradigma tecnologico non è dunque una questione

⁶⁰⁷ ZUBROW 2006, p. 12.

⁶⁰⁸ HUGGETT 2004, p. 89; «[f]allire in questo dialogo significa permettere alla tecnologia di divenire, o forse rimanere, una entità discreta e reificata: autonoma, ubiquita, con il suo proprio slancio al quale noi possiamo solo reagire. Questa stessa è una forma di feticismo tecnologico (Robins, Webster 1999, 51)».

⁶⁰⁹ HUGGETT 2012a.

⁶¹⁰ MUMFORD 1934, p. 3; «dietro tutte le grandi invenzioni materiali dell'ultimo secolo e mezzo non vi era solo un lungo e interno sviluppo delle tecniche: ci fu anche un cambiamento della mente. Prima che i nuovi processi industriali potessero prendere piede su vasta scala, fu necessario un riorientamento dei desideri, delle abitudini, delle idee e degli obiettivi». Cfr. Valéry 1964, citato in BENJAMIN 2006, p. 18.

unicamente tecnica ma piuttosto un convergere di volontà e potenzialità tecniche e mentali. D'altronde, il rischio, come suggerisce McLuhan⁶¹¹, è quello di travisare le possibilità offerte dal nuovo strumento tecnologico con l'impressione «di abbracciare e possedere la terra», similmente a quanto accadde agli uomini nell'età delle esplorazioni. In realtà, abbiamo visto una posizione simile da parte di Bruno Latour nel precedente paragrafo⁶¹². Con alcune differenze sostanziali. Da una parte, Bruno Latour ci illumina sul ruolo giocato dall'immagine, la rappresentazione, nel processo di espansione delle società europee a partire dal XV secolo e sulla «arte della dominazione» definita dal sociologo francese, come quel meccanismo sostenuto dalle incisioni (immagini/rappresentazioni) per mezzo del quale in ambiente scientifico, e non solo, il referente crea una cerchia di devoti alleati; ossia, di sostenitori della tesi che egli vuole sostenere nel discorso spalleggiato dalle rappresentazioni simboliche.

D'altro canto, McLuhan propone una visione della “volontà di dominio” come una spinta dell'essere umano - come si è visto in varie parti del presente elaborato - a cercare di comprendere e padroneggiare il mondo che lo circonda. Un processo nel quale la tecnologia, dal punto di vista dell'essere umano che brama, risulta essere il mezzo “dispotico” nel raggiungimento dei propri obiettivi. Se generalmente la tecnologia è vista come mezzo atto a raggiungere un fine, come si vedrà a breve, per McLuhan essa risulta essere contemporaneamente mezzo e messaggio, risolvendosi nel celebre paradosso del sociologo canadese «il medium è il messaggio»⁶¹³. In questo processo la riproduzione meccanica (stampa), la *Galassia di Gutenberg* secondo il titolo della celebre opera di McLuhan, o la «rivoluzione nella comunicazione» come la definisce Bill Kovarik, «ha permesso la diffusione della conoscenza e di sfidare l'autorità consentendo una comunicazione di massa tra le persone che erano state precedentemente legate solo dalla comunicazione interpersonale o tra piccoli gruppi»⁶¹⁴. Mentre la stampa permise di passare da un mondo a “bassa definizione” ad uno continuo e razionale, l'automazione - il

⁶¹¹ MCLUHAN 1964 [2015], p. 306.

⁶¹² Si veda nota 591.

⁶¹³ MCLUHAN 1964 [2015], pp. 29 - 41.

⁶¹⁴ KOVARIK 2011, p. 13. Cfr. MCLUHAN 1964 [2015], p. 154 «[l]a principale caratteristica della stampa [sta] nell'essere una dichiarazione pittorica che può venire ripetuta con precisione a all'infinito [...] La ripetibilità è il nocciolo del principio meccanico che ha dominato il mondo soprattutto a partire dalla tecnologia di Gutenberg»

computer e l'ambiente digitale in generale - ha prodotto, all'opposto, la scomparsa delle dicotomie tra lavoro e competenza, tra «tecnologia e cultura, tra arte e commercio», ponendo inoltre termine alle «materie differenziate nel mondo del sapere; non però, naturalmente, al mondo del sapere»⁶¹⁵. La stampa e ancor più l'automazione hanno dunque favorito l'istantaneo recupero dell'informazione attraverso l'utilizzo di tutte le facoltà disponibili all'essere umano, comprimendo e accumulando il tempo e lo spazio offerto all'osservatore⁶¹⁶. Questa compressione tuttavia non è senza conseguenze. In quest'ottica, diviene chiara la necessità da parte dell'archeologia - nel momento in cui si pone in relazione con la tecnologia - di «pensare al di là dello strumento», come suggerito da alcuni⁶¹⁷, in maniera tale da comprendere il reale effetto dell'impianto tecnologico sull'attività coinvolta.

Marshall McLuhan affermava come i media - che egli definiva come qualsiasi mezzo che possa creare un'estensione del corpo o della mente umani, e tra questi dunque anche la tecnologia in senso lato - agiscano come *agenti di cambiamento* nell'esperienza e comprensione, sia individuale che sociale, del mondo che ci circonda⁶¹⁸. Con il paradosso *il medium è il messaggio* - titolo del primo dei brevi capitoli che compongono il suo influente lavoro *Gli strumenti del comunicare* - McLuhan intendeva sostenere l'importanza dei *media*, piuttosto che dei messaggi dei quali sono portatori, al fine di comprendere il loro impatto sociale (o disciplinare per quanto ci riguarda). In definitiva McLuhan spingeva per il riconoscimento, e l'analisi, delle implicazioni che lo sfruttamento dei *media* portava - particolarmente a livello individuale (i sensi), ma di conseguenza anche a livello collettivo - in qualsiasi area della società e della cultura. Si è visto che McLuhan concepisce i media come agenti di cambiamento e non di conoscenza;

⁶¹⁵ MCLUHAN 1964 [2015], p. 309.

⁶¹⁶ Cfr. MCLUHAN 1964 [2015]; LATOUR 1986; BENJAMIN 2006. Ad esempio McLuhan (pp. 306-307) sostiene che «[p]oiché la nuova tecnologia elettrica non è un'estensione del nostro corpo, ma del nostro sistema nervoso centrale, possiamo vedere in tutte le tecnologie, linguaggio compreso, dei mezzi per elaborare esperienze nonché per immagazzinare e accelerare informazioni», al quale si affianca Latour (p. 11) «[i] nuovi scienziati [...] non sono diversi dai vecchi, ma essi guardano ora ad un nuovo materiale che tiene traccia di numerosi luoghi e tempi», e Paul Valéry, citato in Benjamin (p. 18), conclude affermando che «negli ultimi vent'anni né la materia, né lo spazio e neanche il tempo è stato come era da tempo immemorabile».

⁶¹⁷ Al riguardo si veda CHRYSANTHI ET AL. 2012a, con particolare enfasi su CHRYSANTHI ET AL. 2012b e HUGGETT 2012a.

⁶¹⁸ MCLUHAN 1964 [2015], p. 64; Per l'autore i media agiscono dunque come estensioni dell'uomo per ««far accadere» le cose piuttosto che [...] «darne coscienza»».

questa conoscenza del cambiamento e delle cose è compito dell'essere senziente, l'essere umano con la sua capacità riflessiva.

In questa prospettiva, l'analisi della tecnologia applicata all'archeologia subacquea, particolarmente in questi ultimi tempi in cui lo sviluppo tecnologico pervade la società e lo specifico ambito disciplinare, risulta necessario al fine di comprendere quali implicazioni questi *media* abbiano nello sviluppo della ricerca e nel processo archeologico. In sintesi, se si vuole accettare o si è convinti dell'impossibilità della tecnologia di guidare autonomamente il proprio apporto all'evoluzione umana è necessario che l'uomo, quale essere razionale, si ponga necessariamente quale 'direttore artistico' nell'allestire lo scenario operativo teorico e pratico della tecnologia. Comprendere il modo in cui la tecnologia funziona - gli aspetti prettamente tecnici - è giusto e doveroso ma, al contempo, risulta di fondamentale importanza valutare quali reali implicazioni la tecnologia abbia nel modo in cui ci si accosta al processo archeologico, in definitiva nel modo in cui si fa archeologia. La storia dell'archeologia è ricca di esempi di "ossessione" tecnologica, in base alla quale il nuovo articolo tecnologico diventa un catalizzatore d'attenzione, quasi innalzandosi a *deus ex machina* per e nella ricerca archeologica. Insomma, se credo di ben interpretare McLuhan, la tecnologia è un *medium*, e come tale deve essere affrontata, comprendendone sia la potenzialità sia l'ascendente che essa ha sul modo in cui si pratica il mestiere dell'archeologo. D'altronde, come giustamente affermava Jeremy Huggett, nell'utilizzo del computer in archeologia e in contrapposizione all'imperante «feticismo tecnologico» che caratterizza l'impiego del digitale nell'ambito disciplinare si domandava chi sarà, se non noi archeologi, a comprendere le implicazioni e gli effetti della tecnologia che impieghiamo?⁶¹⁹

Poiché i media non consentono di capire i meccanismi che essi stessi innescano, poiché l'informazione che essi accelerano - particolarmente con il medium informatico - non veicola la comprensione ma semplicemente attua il sistema di immagazzinamento e trasferimento dell'informazione, è necessario che il referente e con questi, l'osservatore, applichino le loro capacità intellettive verso l'elaborazione di una sintesi che possa chiarire gli effetti del medium. A questo scopo, all'interno dell'architettura del suo

⁶¹⁹ HUGGETT 2004, p. 89.

ragionamento sui media, Marshall McLuhan propone una *tetrade* di leggi «analogiche» (enfasi nell'originale) dei media⁶²⁰. Jeremy Huggett nel già citato lavoro, applica tali leggi per un'analisi dell'applicazione del GIS in campo archeologico⁶²¹. Queste leggi, agiscono secondo McLuhan come meccanismi del ragionamento, come schemi concettuali⁶²² utili ad analizzare i media e i loro effetti. Tale processo di ragionamento si basa dunque su quattro concetti e relative domande alle quali lo studioso, nel tentativo di comprendere l'oggetto dell'analisi, deve rispondere.

Che capacità sono estese, ampliate, intensificate o migliorate dall'utilizzo del medium? Quale vecchia forma oscura e sostituisce? Quali potenzialità precedentemente messe da parte riporta invece in auge? Quale capovolgimento crea quando sfruttato al suo massimo potenziale?⁶²³. Gli autori continuano affermando che questa tetrade di effetti delle tecnologie e manufatti non si presenta come un processo sequenziale, ma piuttosto come quattro processi simultanei⁶²⁴. D'altronde, è evidente da queste domande come i media abbiano la capacità di potenziare, ampliare e intensificare, in un effetto protesico⁶²⁵ sulle capacità alle quale si applicano ma, al contempo, hanno anche la predisposizione a provocare un capovolgimento, e perfino ad avere un effetto narcotico⁶²⁶, una sorta di auto-amputazione del "senso" incrementato⁶²⁷.

In linea con le riflessioni di McLuhan e Huggett per quanto concerne l'ambito archeologico, si pongono anche Angeliki Chrysanthi, Patricia Murrieta Flores e

⁶²⁰ MCLUHAN 1975; MCLUHAN 1976; MCLUHAN ET AL. 1978; MCLUHAN 2008.

⁶²¹ HUGGETT 2012a.

⁶²² MCLUHAN 2008, p. 25.

⁶²³ MCLUHAN, MCLUHAN 1988, pp. 98-99; la precisa forma delle domande poste da Marshall e Eric McLuhan è: «[1] Cosa amplifica o intensifica o rende possibile o accelera il manufatto? Questo può essere domandato relativamente a un cestino, un dipinto, un rullo compressore a vapore, una cerniera lampo, così come relativamente a una proposizione di Euclide o a una legge della fisica. Può essere domandato circa qualsiasi parola o frase in qualunque linguaggio. [2] Se qualche aspetto di una situazione è ampliato o intensificato, simultaneamente la vecchia condizione o la situazione non intensificata è spostata così. Cos'è messo da parte o reso obsoleto dal nuovo 'organo'? [3] Quale ricorrenza o recupero di azioni e servizi precedenti è portato in gioco simultaneamente dalla nuova forma? Quale vecchio, precedentemente obsoleto piano è riportato in auge ed è inerente nella nuova forma? [4] Quando spinta ai limiti del suo potenziale (un'altra azione complementare), il nuovo modulo tenderà a invertire quella che erano state le sue originali caratteristiche. Qual è il potenziale di inversione della nuova forma?».

⁶²⁴ MCLUHAN, MCLUHAN 1988, p. 99.

⁶²⁵ MCLUHAN 1964 [2015], pp. 29 - 50.

⁶²⁶ MCLUHAN 1964 [2015], pp. 50 - 63.

⁶²⁷ MCLUHAN 1964 [2015], p. 58.

Constantinos Papadopoulos⁶²⁸, che riconoscono giustamente come gli applicativi digitali, e più specificatamente i metodi computazionali «funzionino come protesi del nostro corpo e della nostra mente costruendo filoni di ricerca, conoscenza e percezione». In quest'ottica, l'utilizzo di una tecnologia, di un applicativo, non è mai una questione puramente tecnica e/o metodologica. L'effetto protesico esistente nel rapporto tra l'agente umano (referente) e lo strumento tecnologico utilizzato, crea un nuovo ambiente all'interno del quale i processi fisici, psicologici e mentali sono significativamente trasformati. A questo riguardo, in modo da evitare una “decadente” resa ad una «archeologia arborea»⁶²⁹, estremamente positivista e processualista, è necessario integrare la tecnologia in un continuum teorico, tecnico e metodologico riflessivo che possa infine consentire di costituire i presupposti utili allo sviluppo di una tecnologia *per* l'archeologia e, nello specifico, di una informatica *per* l'archeologo⁶³⁰. Come per il rapporto tra tecnologia e società nel suo complesso, anche il rapporto tra tecnologia e ambito disciplinare archeologico, non può comprendersi se non nell'inquadramento storico del processo di acquisizione, sviluppo e affermazione di una determinata tecnologia nello specifico reame disciplinare. D'altronde, come Robin Williams e David Edge suggeriscono, «la struttura e l'architettura della contemporanea tecnologia dell'informazione è essa stessa il prodotto di processi storici di modellazione sociale ed economica»⁶³¹. Gli stessi Marshall e Eric McLuhan⁶³² basano la loro analisi dei media e della tecnologia sul concetto gestaltico che si è analizzato all'inizio di questo capitolo; la legge figura/sfondo. McLuhan vede infatti la possibilità di analizzare un qualunque problema nel quadro della sua relazione con altre componenti dello stesso sistema; la «contrapposizione tra due situazioni [...] utilizzando ciascuna come strumento per vedere l'altra»⁶³³.

⁶²⁸ CHRYSANTHI ET AL. 2012b, p. 9.

⁶²⁹ SHANKS 1992, pp. 17 - 20.

⁶³⁰ Si confronti con D'ANDREA, NICCOLUCCI 2001.

⁶³¹ WILLIAMS, EDGE 1996.

⁶³² MCLUHAN, MCLUHAN 1988.

⁶³³ MCLUHAN 2008, p. 29; McLuhan, Parker 1968, citati in MCLUHAN 2008, p. 30; Eric McLuhan continua citando un passo di Marshall McLuhan ove si legge che «[p]aradossalmente, gli spazi e le situazioni connesse escludono la partecipazione mentre la discontinuità offre spazio per un coinvolgimento. Lo spazio visuale è connesso e crea distacco ed estraneità. Tende inoltre ad escludere la partecipazione di altri sensi».

D'altronde, è solo all'interno di un inquadramento più ampio - si direbbe storico - che i cambiamenti prodotti da una innovazione tecnologica possono essere compresi nella loro ampia portata. In questo senso, per McLuhan «il «messaggio» di un medium o di una tecnologia è nel mutamento di proporzioni, di ritmo o di schemi che introduce nei rapporti umani», ed è l'anticipazione di questi mutamenti che «assicura il potere di deflettere e controllare una forza»⁶³⁴. Per McLuhan le leggi dei media devono essere viste come strumento utile al controllo del mutamento⁶³⁵. Affinché l'effetto della tecnologia possa esser compreso, anticipato e indirizzato, è dunque necessario concentrarsi, non come avviene talvolta sul contenuto del medium - spesso rappresentante un distinto medium - ma piuttosto sul carattere trasformativo del medium stesso; in questo senso, il paradosso di McLuhan «il medium è il messaggio»⁶³⁶. McLuhan dunque argomenta la necessità di guardare oltre il preliminare e ovvio effetto di un nuovo medium, ma piuttosto di ricercare i mutamenti non-ovvii, le trasformazioni inaspettate che un medium porta con sé; chiede insomma di ascoltare il medium e il messaggio di cui esso è portatore.

⁶³⁴ MCLUHAN 1964 [2015], p. 30 e p. 187.

⁶³⁵ MCLUHAN 1964 [2015], p. 187; il controllo del mutamento consiste «non nel muoversi di fianco a esso ma nel precederlo».

⁶³⁶ MCLUHAN 1964 [2015], p. 187.

5.4 IL RILIEVO CVP NEL PROCESSO ERMENEUTICO ARCHEOLOGICO

Nei precedenti capitoli si è cercato di dare un ampio quadro degli aspetti che influenzano l'utilizzo della tecnologia digitale, e particolarmente della fotogrammetria in ambito archeologico e archeologico subacqueo. Come si è visto, la relazione tra riflessione archeologica e tecnologie informatiche ha visto un preliminare e forte coinvolgimento dell'archeologo verso le potenzialità del computer, in linea e sotto l'influenza della spinta neo-positivistica della New Archaeology, fino ad arrivare all'acquisizione dei GIS e della realtà virtuale all'interno dell'ambiente ricco di dati che caratterizza l'archeologia contestuale, interpretativa, riflessiva e multi-vocale sostenuta da molte delle correnti post-processualiste. Da quanto si è analizzato appare chiaro quante e quali siano le variabili da tenere in conto nell'utilizzo di una serie di applicativi tecnologici all'apparenza espliciti e trasparenti nelle loro varie implicazioni. L'archeologia è un processo creativo che, per poter raggiungere la sua piena realizzazione, non può prescindere da una auto-riflessione continua che tenti di comprendere quali siano le implicazioni del suo evolversi e dei processi che la contraddistinguono. La riflessività post-processualista non è altro che questo: una continua interrogazione del come e del perché la disciplina si evolve in una determinata direzione, attraverso determinati strumenti teorici, tecnici e metodologici, e come queste evoluzioni si relazionino con la ricerca e la ricostruzione del passato. Dunque, prima ancora di interpretare le evidenze archeologiche e ricostruire il passato, la moderna archeologia deve interpretare se stessa attraverso una auto-analisi che possa dar conto, giustificare criticamente e mettere pienamente a frutto gli sforzi, anche economici, che la caratterizzano. Solo dopo aver fatto ciò, l'archeologia può realisticamente aspirare a divenire un esercizio con una intrinseca valenza sociale. Solo una volta acquisita una sistematica interna, una intrinseca razionalità, potrà esserci un pieno riconoscimento della valenza socio-culturale e anche economica del patrimonio culturale e delle discipline che si adoperano per comprenderlo e tutelarlo. In questo quadro si imposta l'analisi della presente trattazione, nel tentativo di comprendere l'effetto della tecnologia nel modo in cui opera la moderna archeologia.

D'altronde, come si è suggerito in più punti nel presente lavoro, l'utilizzo della tecnologia digitale impone numerose scelte all'archeologo, richiede numerosi accorgimenti e attenzioni affinché il suo utilizzo sia funzionale alla ricostruzione del passato e non disfunzionale ad essa. In modo tale che la tecnologia diventi realmente strumento utile al processo di interpretazione archeologica e che non ne inibisca le potenzialità. Per far ciò è dunque necessario conoscere pregi e difetti, opportunità e limitazioni, di modo che l'utilizzazione della tecnologia possa essere conscia e informata, cosicché l'archeologo sia pronto ad operare scelte, consapevoli degli effetti di tali deliberazioni.

Come accade per i meccanismi di interpretazione del linguaggio parlato o del linguaggio scritto, così nel processo archeologico l'ermeneutica del sito ha inizio nel momento stesso in cui il ricercatore si pone in contatto sensibile con l'evidenza archeologica. Come abbiamo accennato, l'uomo si appropria della realtà del mondo materiale e simbolico attraverso dei procedimenti che fanno pieno affidamento sull'apparato sensoriale. Il primo approccio dell'archeologo verso l'evidenza archeologica è dunque appannaggio della percezione sensoriale della realtà materiale che costituisce il dato significativo archeologico. Rimuovere gli strati archeologici depositati nel tempo, riconoscere gli elementi che compongono il contesto, seguire un segno distintivo nel suo svolgersi all'interno del sito - ad esempio seguire il limite di una unità stratigrafica (US), i limiti di una struttura muraria, di un manufatto - comportano delle decisioni che fanno leva - tra gli altri fattori - su alcuni dei processi gestaltici che si sono analizzati nel primo paragrafo del presente capitolo.

Questi processi partecipano appieno, nell'ottica della spirale ermeneutica suggerita da Ian Hodder (si veda il § 3.1), ad una preliminare interpretazione del sito, in una continua dialettica tra il ricercatore e il dato, cercando di allineare ogni specifica caratteristica con l'insieme delle caratteristiche che la circondano. Il processo ermeneutico comincia dunque nel momento stesso in cui l'archeologo si pone in stretto rapporto con l'evidenza archeologica, così come essa si presenta ai suoi occhi, attraverso l'osservazione, la percezione e la cognizione dell'unità minima informativa (dato), ossia ciò che si palesa alla conoscenza. Similmente, nel pianificare il rilievo CVP, l'archeologo cerca di identificare le informazioni rilevanti e il modo migliore per dargli voce attraverso la

rappresentazione tridimensionale (modello 3D). D'altronde, un sito archeologico con le sue componenti appare caratterizzato da un insieme di codici connotativi che - in un parallelo forse audace - appaiono concettualmente affini alle *affordances* teorizzate da James J. Gibson. Appare ora necessario approfondire ulteriormente questo concetto.

Abbiamo definito le *affordances*, di cui parla James J. Gibson, come la rappresentazione delle cose che suggeriscono la possibilità di azione⁶³⁷. In questo senso, i codici connotativi archeologici risultano delle *affordances* per il processo interpretativo; essi suggeriscono all'archeologo, in fase di scavo, le possibilità d'azione per la prosecuzione dello stesso o, in fase di analisi (ad esempio del modello tridimensionale), la possibilità di interpretare una determinata disposizione di manufatti, di un crollo, di un insieme stabilizzato, statico e disorganizzato di elementi⁶³⁸. Un esempio semplicistico ma che può rendere bene l'idea, è quello dei vecchi giocattoli in legno per l'infanzia, nei quali dei piccoli mattoni di varie forme e dimensioni trovano un solo alloggiamento per l'inserimento all'interno della scatola anch'essa in legno. Nel procedimento di ricerca del foro adatto al determinato mattoncino, il bambino acquisisce consapevolezza della forma dei mattoncini e dei fori sulla scatola. Tuttavia, è solo la combinazione di esatta forma ed esatto spazio che permettono al bambino di inserire il mattone all'interno della scatola. Ed è solo la comprensione delle *affordances* del mondo esterno - del mattone e del rispettivo foro - a permettere al bimbo di inserire il giusto mattone nel giusto spazio. Ovviamente, in questo processo di apprendimento risulta fondamentale il ruolo della memoria e del riconoscimento delle forme e delle loro rispettive relazioni. È attraverso l'esperienza *del* gioco che il bambino riuscirà a padroneggiare l'esercizio mentale, percettivo e cognitivo. Sarà dunque l'esperienza che permetterà al bambino di comprendere appieno le possibilità d'azione concesse dai mattoni e dai fori sulla scatola. Allo stesso modo, sono le conoscenze pregresse e l'esperienza delle *affordances* dell'evidenza archeologica a favorire nell'archeologo la comprensione del contesto e a permettergli di interpretare il sito in maniera specifica e dettagliata. È infine, a seguito di questi riconoscimenti che il ricercatore può approntare determinate scelte.

⁶³⁷ COSTALL 2006, p. 16. Cfr. note 280 e 541 del presente lavoro.

⁶³⁸ MUCKELROY 1978, pp. 216 ss.

Nel caso specifico del rilievo CVP, l'archeologo si trova a dover attuare tali decisioni, affinché la fase di acquisizione dati possa avere successo. Egli deve dunque badare a che la copertura fotografica del sito sia completa; deve riconoscere, nelle caratteristiche peculiari del sito, tutti quegli aspetti che nell'ottica della CVP acquistano importanza fondamentale - ad esempio, la copertura fotografica di tutti gli angoli, anche i più nascosti - affinché il prodotto finale sia completo e non vadano persi elementi fondamentali. Deve, ad esempio, come accaduto nel caso studio di Baia, porre attenzione affinché l'*opus reticulatum* nella porzione di muratura crollata sia chiaramente "rappresentato" e "percepibile" nell'immagine fotografia - in realtà in più immagini - così da risultare poi visibile nel modello tridimensionale finale (Fig. 31).

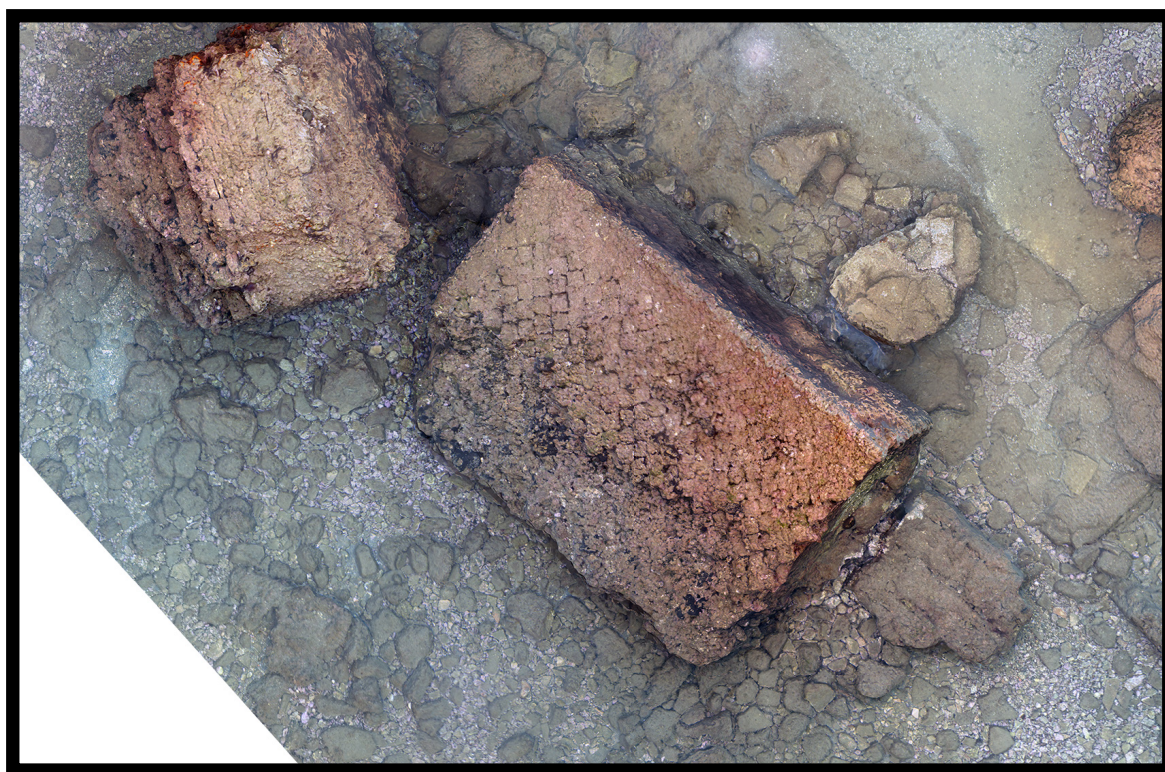


Fig. 31 - Dettaglio dell'ortofoto di Baia sommersa con in primo piano la porzione di muro in *opus reticulatum* crollato (Elaborazione: Massimiliano Secci).

Viene da se che per far ciò l'archeologo debba porsi in un rapporto dialogico con i resti materiali. In un certo qual modo egli deve interrogare il sito in riferimento a quali siano gli elementi archeologicamente rilevanti. In questo processo decisionale, lo studioso si pone domande relativamente all'evidenza archeologica che ha davanti nel tentativo di

comprenderne - anche se preliminarmente - le individuali caratteristiche e le connessioni esistenti tra le parti, in un processo gestaltico, interpretativo e contestualizzante. Si troverà ad esempio a valutare la vicinanza, il destino comune e l'eventuale possibile chiusura di determinati componenti del sito, al fine di fornire una coerenza formale ad un insieme confuso di singole componenti. Ovviamente questo processo percettivo formalizzante si trova in archeologia inserito in un frangente in cui alla percezione visiva delle forme costituenti il sito si affianca una cognizione delle caratteristiche prettamente archeologiche degli elementi costitutivi, quelli che potremmo definire *affordances* archeologiche e abbiamo già definito codici connotativi archeologici⁶³⁹. Va tuttavia precisato che, in un processo passivo e remoto com'è il rilievo tramite CVP, l'effetto protesico garantito dal rilievo visivamente pregno e rappresentativamente carico, si affianca ad una certa narcosi degli altri sensi e, in particolare, del tatto. Nel rilievo tradizionale l'archeologo è posto in contatto fisico e diretto con l'evidenza archeologica.

L'eventualità di porsi in diretto contatto con i resti archeologici innesca dei meccanismi mentali, una certa materializzazione del processo e una certa identificazione con il sito che stimola i processi interpretativi. In questo senso, la distanza creata dal processo di rilievo remoto amputa in un certo modo la connessione con il sito, crea un certo grado di incorporeità. Nel caso della documentazione tramite CVP durante le attività di scavo, ad esempio, il rilevatore si troverà davanti a scelte relative a quali aree coprire con il rilievo in previsione di un'ampliamento dell'area di scavo così da poter successivamente integrare i rilievi diacronici e costruire una stratigrafia tridimensionale del sito. In questo caso le scelte, basate sull'applicazione delle leggi di formazione delle unità fenomeniche gestaltiane, porterà il rilevatore a completare mentalmente le unità fenomeniche del sito archeologico visibile.

Nel caso di Lipari (Sottomonastero), ad esempio, l'allineamento di blocchi squadrati (Fig. 32) potrebbe far supporre la sua continuazione al di sotto della sezione verticale, anche se la presenza di due blocchi trasversali orientati in direzione S-E potrebbe anche presupporre il termine del piano in conglomerato cementizio. In questo caso il ricercatore dovrà fare una scelta più o meno meditata, che applichi o meno la legge del destino comune o un concorso di questa con la legge della pregnanza. L'allineamento continua in

⁶³⁹ Si rimanda alla nota 586 del presente lavoro.

direzione S-O proseguendo secondo un'andamento circolare o, come potrebbero suggerire gli altri due blocchi, questi determinano il limite estremo della struttura? È chiaro che tale decisione sia contemporaneamente ascrivibile alle strategia di scavo e a quella di rilievo. L'archeologo rilevatore, nell'utilizzo della CVP dovrà dunque avanzare una preliminare ipotesi interpretativa del sito in esame.

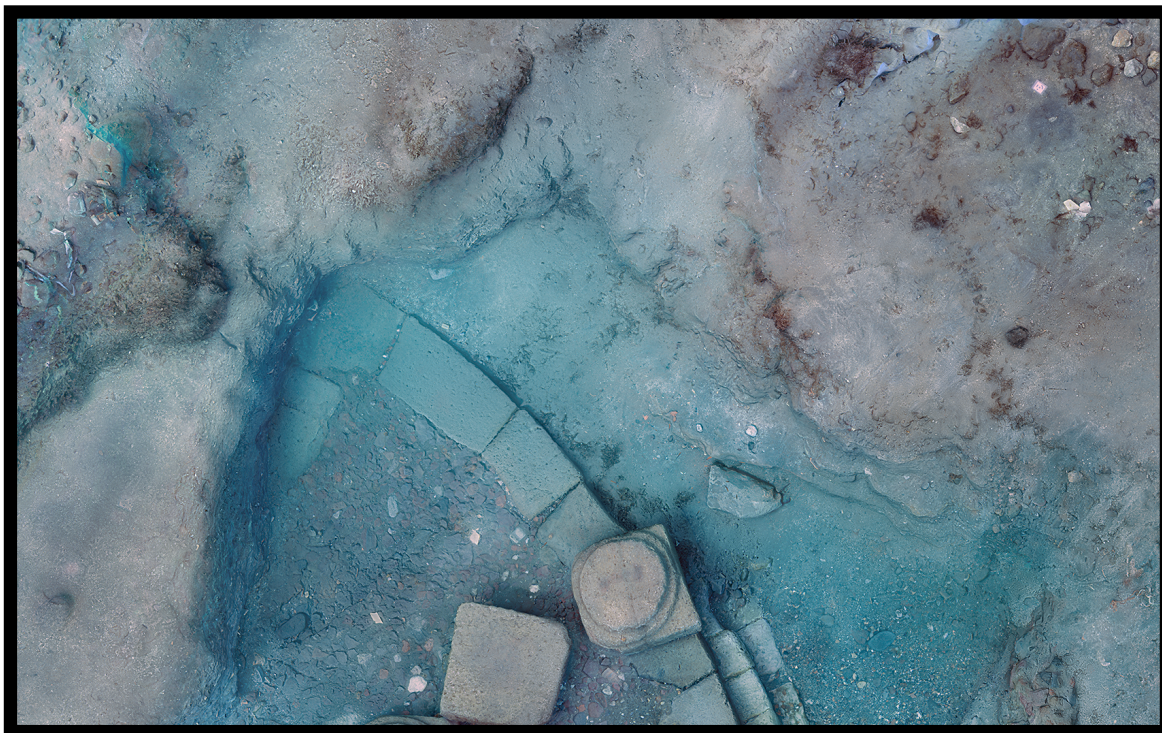


Fig. 32 - Dettaglio dell'ortofoto di Marina Lunga - Sottomonastero, con l'allineamento di blocchi ai piedi della sezione (Elaborazione: Massimiliano Secci).

Questa preliminare interpretazione sarà necessariamente ipotetica e soggettiva, decisamente funzionale alla contestualizzazione del rilievo temporalmente posizionato all'interno del processo di ricerca archeologica, e fondamentalmente determinata dalla familiarità dell'archeologo-rilevatore con i codici connotativi archeologici sia generali sia specifici; ovvero legati alla tipologia, cronologia del contesto e alle sue intrinseche caratteristiche. Nel caso specifico di Lipari, ad esempio, la scelta è stata di coprire con il rilievo CVP un'area più ampia in direzione S-O supponendo una continuazione della struttura in questa direzione, cosicché un futuro eventuale ampliamento dell'area scavata e il relativo rilievo CVP possa essere integrato senza difficoltà e, in definitiva senza che elementi informativi vadano perduti. La scelta è ovviamente soggettiva e dettata sia dalla

determinazione percettiva e cognitiva, sia dall'esperienza pregressa dell'archeologo. La conoscenza di strutture simili e il riconoscimento di una "forma" familiare, permettono di informare il processo decisionale. In questo senso, come si è accennato precedentemente, l'acquisizione, elaborazione e comprensione del mondo circostante e, nel caso specifico dell'archeologo del sito indagato, avverrà attraverso un sincronismo di considerazioni percettive, cognitive e mnemoniche attraverso le quali l'informazione tangibile viene elaborata in un proposito per l'azione.

Queste considerazioni portano tra l'altro a reputare imprescindibile l'esecuzione del rilievo da parte di un archeologo. Non tanto perché si ritiene che un tecnico non possa rilevare un contesto archeologico in modo soddisfacente, al contrario poiché si vuole sostenere che la fase di rilievo con CVP sia esso stesso uno stadio nel processo di comprensione e interpretazione del sito. Per questo motivo, la realizzazione del rilievo innesca nell'archeologo quei processi percettivi, cognitivi e in generale mentali che risultano parte dell'ermeneutica del sito archeologico. In questa direzione, la computer vision e la CVP, con le sue caratteristiche di automazione, intuitività e facilità di utilizzo, agevolano - a differenza del passato - la partecipazione attiva e indipendente dell'archeologo nell'utilizzo delle tecniche fotogrammetriche, accrescendo la possibilità di controllare il processo di restituzione fotogrammetrica e dunque di indirizzare tali attività secondo specifiche esigenze, rendendo l'intero processo più diretto e gestibile in termini archeologici.

Nello sviluppare tale primaria elaborazione il ricercatore fa delle scelte producendo ovviamente una chiara distinzione tra ciò che è rilevante e ciò che non lo è, ovvero ciò che è meno rilevante; a tal fine, egli porrà particolare attenzione alla presa fotografica nelle zone di maggior interesse - anche in relazione all'originale quesito di ricerca - mentre porrà minor attenzione, o escluderà completamente, quelle aree ritenute meno rilevanti o che non rientrano nell'originario obiettivo della specifica ricerca. Per far ciò è ovviamente presupposto necessario che l'archeologo pre-interpreti il sito, che determini quali siano gli aspetti rilevanti cui garantire maggiore attenzione. Questa pre-interpretazione - ove pre- sta per preliminare - rientra rigorosamente nella spirale ermeneutica se, con Hodder, riteniamo che la procedura interpretativa comincia nel preciso istante in cui l'archeologo si pone in diretto contatto con la testimonianza

archeologica. D'altro canto, questo processo selettivo si inquadra in quella soggettività del ricercatore e del dato registrata dalla corrente post-processualista.

Si potrebbe obiettare che questo aspetto renda faziosa ogni pre-interpretazione e, consecutivamente, ogni successiva e più ampia interpretazione archeologica, e con esse lo stesso rilievo CVP. Il problema è ovviamente di difficile soluzione ma, come suggerito da più parti, la spirale ermeneutica, possibile solo in un ambiente multi-vocale e discorsivo, garantisce alcuni principi fondamentali della ricerca scientifica, ossia il confronto e la riconsiderazione dei dati e delle interpretazioni, vale a dire delle compilazioni e delle spiegazioni secondo la terminologia di Jean Claude Gardin. La rappresentazione tridimensionale ottenuta tramite CVP, in definitiva il modello tridimensionale, favorisce questi processi di confronto e riconsiderazione grazie alla sua capacità di entrare in dialogo con il ricercatore, fungendo da simbolo all'interno di un contesto fatto di altri simboli. Il modello 3D rappresenta, simboleggia il sito archeologico con le sue caratteristiche fisiche e dimensionali, ma lo simboleggia, come già accennato, attraverso una rappresentazione parziale, semplificata, «attraverso la selettiva eliminazione dei dettagli accidentali rispetto allo scopo del modello»⁶⁴⁰. Lo rappresenta anche e unicamente relativamente alle sue peculiarità visive e spaziali, mancando le altre componenti quali le caratteristiche sintattiche e identificative che sono interamente demandate alla conoscenza del lettore esperto, l'archeologo. La parzialità del modello 3D tuttavia non va recepita in maniera negativa. La parzialità del modello 3D, sintatticamente simile alla parzialità del disegno planimetrico, trova la sua retorica nell'integrazione con gli altri simboli (dati) che, congiuntamente, rappresentano il record archeologico.

Nel § 3.1 si è brevemente definito il dato analitico⁶⁴¹ come quell'insieme di rilevamenti metrici e spaziali che caratterizzano un determinato sito archeologico. Nello stesso paragrafo si è tuttavia precisata e esemplificata la complessità dei dati che costituiscono la piattaforma informativa utile all'archeologo nel processo di interpretazione del passato. Come si è visto, il dato analitico partecipa, congiuntamente alle altre macro-tipologie di dati, ad identificare un sito archeologico fornendo quell'insieme di parametri che favoriscono il processo interpretativo mirato alla creazione

⁶⁴⁰ CLARKE 1972, p. 2.

⁶⁴¹ Si veda LOCK, MOLYNEAUX 2006b, p. 8.

di conoscenza archeologica. Dunque il dato analitico è partecipe di un contesto più ampio di dati che compongono l'intero record archeologico. Solamente un confronto dialettico tra ricercatore e complessità dei dati può avere ragione di un processo di acquisizione di conoscenza. Ed è «l'appropriazione teoretica dei dati», come giustamente affermano Michael Shanks e Christopher Tilley⁶⁴², che garantisce una fluida ermeneutica. In questo quadro, il dato analitico acquisito con la CVP diviene la teoretica appropriazione del reale che, unicamente nella sua messa a circuito insieme alle altre appropriazioni teoretiche - i dati costituenti il record archeologico - trova pieno significato e incisività.

Sempre nel § 3.1 si è visto come unicamente la connessione fra le macro-tipologie di dati possa render conto appieno del contesto archeologico e come la possibilità di confrontare e riesaminare i dati sia fondamentale per un'archeologia contestuale e interpretativa. Il rilievo CVP e il modello tridimensionale rappresentano ovviamente uno degli elementi della documentazione archeologica adoperabile nel processo ermeneutico. Affermare che il rilievo CVP è uno strumento tra gli strumenti disponibili per il ricercatore nel percorso di acquisizione di conoscenza, potrebbe apparire un'ovvietà; è tuttavia necessario affermarlo poiché, come si vedrà in maniera più specifica a breve, tale asserzione ha conseguenze nel modo in cui tali tecniche possono e debbono essere analizzate al fine di comprenderne il pieno significato, il ruolo e l'influenza per il processo di ricerca archeologica. Si potrebbe suggerire che, l'aumento della portata retorica nella rappresentazione (immagine) tridimensionale, si posiziona tra le maglie simboliche dei dati archeologici riuscendo a fornire basi più solide al ragionamento limitandone tuttavia altre. Esiste una tensione nell'ermeneutica, ben esemplificata da Martin Jay - ad esempio - tra la rappresentazione visuale e il testo scritto, tra il senso della vista e l'udito, che egli risolve suggerendo:

Poiché è nell'interazione notevolmente fluida e complessa dei due che uno dei grandi motori della cultura umana può essere individuato. Umiliare l'immagine non è il

⁶⁴² SHANKS, TILLEY 1987b, p. 110.

rimedio all'umiliazione della parola. E molto più sano nutrirsi in quello che viene meglio definito un reciproco rispetto⁶⁴³

Questo paradigmatico attrito tra immagine e testo - archetipo del contrasto tra vista e altri sensi - ci pare possa essere risolta solo attraverso la piena integrazione della rappresentazione all'interno dell'insieme di dati costituenti il record archeologico e attraverso la coesistenza delle prerogative di mobilità e immutabilità, cosicché l'immagine possa guadagnare un potere descrittivo rispetto al sito che rappresenta. È unicamente nella sua contestualizzazione e nell'agevolare la sua vita culturale che si afferma quella potenza ermeneutica che rende la rappresentazione visuale - il modello 3D nel nostro caso specifico - portatrice di informazioni e capace di stimolare processi interpretativi dei codici connotativi archeologici. Tuttavia, è proprio in questo quadro che si pongono, ci pare, i maggiori problemi per una compiuta incisività delle rappresentazioni tridimensionali. Abbiamo infatti visto nel § 3.1, insieme con Jean-Claude Gardin e Sebastian Rahtz, quale sia la tensione esistente tra dati e interpretazione, tra compilazione (Cc) e spiegazione (Ce), e come sia auspicabile «promuovere un modello avanzato di presentazione di un'argomento archeologico» favorendo la contestualizzazione della sintesi (ad es. il modello) con la «visualizzazione 'diretta' dei dati depositati negli archivi»⁶⁴⁴. Questo tuttavia non è di semplice attuazione.

Gioverà principiare con un esempio concreto. Nei casi studio di Lipari e Baia sommersa, la mole di dati acquisita ed elaborata per la creazione di un modello tridimensionale ammonta a svariate Gigabyte. I dati grezzi, le immagini fotografiche per intenderci, occupano rispettivamente circa 36 GB e 50 GB di memoria ciascuno. Le elaborazioni finali, ossia i modelli con texture scalati e georeferenziati, ammontano rispettivamente a 1.09 GB e 755 MB di spazio di memoria. Le ortofoto generate hanno

⁶⁴³ JAY 1988, p. 309; lo storico statunitense afferma che «il campo è stato preparato per l'accoglienza dell'ermeneutica, per cui se poniamo la buona questione ermeneutica. “per quale domanda l'ermeneutica è la risposta?,” un candidato plausibile sarebbe: su quale senso possiamo contare, se la visione non è più il più nobile dei sensi? Nientemeno che un'autorità come Hans-Georg Gadamer ha la risposta: “la supremazia dell'udito è la base del fenomeno ermeneutico” (1975: 420). In altre parole, il nostro crescente interesse nella verità delle interpretazioni piuttosto che il metodo di osservazione rivela un rinnovato rispetto per l'orecchio sull'occhio come organo di più grande valore».

⁶⁴⁴ DALLAS 2015a, p. 182.

rispettivamente dimensioni di 2.16 e 1.34 GB (Fig. 19 e 26)⁶⁴⁵. E così via. È chiaro come queste dimensioni non agevolino la condivisione dei dati grezzi e che, spesso, si sia anzi costretti a limitare drasticamente anche i prodotti finali, l'ortofoto ad esempio, riducendone le dimensioni e dunque anche la risoluzione e la portata informativa. Ovviamente, in questo discorso entrano le problematiche legate al numero limitato di sedi per il deposito e l'archiviazione dei dati digitali grezzi (le cosiddette Digital Libraries)⁶⁴⁶.

Nell'ottica di un processo ermeneutico archeologico che possa sfruttare l'applicazione tridimensionale e il modello CVP, le limitazioni prodotte dalle difficoltà di condivisione dei dati grezzi e dei dati elaborati rappresenta al momento l'ostacolo principale alla piena fruizione di questo strumento. Le potenzialità sono sicuramente enormi, vista la capacità insita in questi modelli di fornire una visione completa e complessa del contesto archeologico. D'altronde, le possibilità d'analisi garantite dallo strumento CVP appaiono condizionate dalla difficoltà di far circolare sia i dati grezzi sia i risultati finali delle elaborazioni. In un processo che abbiamo più volte definito discorsivo e contestualizzante, la complessità di condivisione delle unità minime informative⁶⁴⁷ condiziona e in parte inibisce il necessario confronto tra ricerche e tra ricercatori. Questo in antitesi con il valore fondamentale della raffigurazione (immagini) che, come abbiamo visto particolarmente nel § 5.2, è rappresentato dalla loro abilità di avere un passato, un presente e un futuro, di essere mobili ma immutabili, di permettere una rilettura nel tempo senza che il loro potere simbolico e comunicativo sia intaccato.

Questi inconvenienti sono in parte attenuati dall'utilizzo della funzionalità offerta da Photoscan di esportazione in *.PDF del modello 3D. Le versioni più recenti di Adobe® Acrobat (XI) permettono infatti di inserire all'interno del Portable Document Format (*.PDF) un modello tridimensionale completamente navigabile. Oltre alla possibilità di interagire con il modello, l'operatore può sfruttare alcuni strumenti che permettono, ad esempio, di ricavare misurazioni lineari dal modello, di visionare le sezioni verticali o orizzontali del modello stesso. Ovviamente questa funzionalità in parte mitiga la difficoltà di trasferimento e condivisione del modello 3D. Il sempre più ampio sfruttamento di

⁶⁴⁵ Ovviamente le immagini in questo lavoro - in particolare le ortofoto - sono state ridotte ad una dimensione plausibile per poter essere inserite nel testo e permettere la circolazione del file digitale.

⁶⁴⁶ Specifico per l'archeologia navale, si veda MONROY ET AL. 2006; si Cfr. AUSTIN ET AL. 2000.

⁶⁴⁷ D'ANDREA 2006.

internet, sia dal punto di vista scientifico (pubblicazioni peer-review online), sia dal punto di vista divulgativo (come si vedrà a breve), rendono uno strumento del genere promettente per lo scambio di dati e dei modelli 3D in particolare. Ovviamente, l'esportazione in *.PDF limita in parte la definizione visiva del modello ma, mantenendo intatte le caratteristiche metriche e spaziali, rappresenta comunque uno strumento interessante per condividere le informazioni tra membri di uno stesso team o tra equipe diverse.

Gli allegati A e B offrono un'esempio navigabile di questa funzionalità con i modelli di Marina Lunga - Sottomonastero (A) e Baia sommersa (B). Con l'aumento delle pubblicazioni digitali, la crescita delle riviste online o delle riviste cartacee con componenti basate sul web, la possibilità di pubblicare modelli fruibili e, almeno parzialmente, interrogabili diventa interessante al fine di favorire lo scambio di informazioni. D'altronde, in linea con le conclusioni di Martin Jay riportate in precedenza, il connubio tra testo e immagine rappresenta uno dei più grandi motori della cultura umana. Poter combinare modello 3D, rappresentazione visiva del sito archeologico, e discorso sullo stesso (testo) - sia esso una sintesi (Ce) o una serie di proposizioni descrittive i dati archeologici (Cc; catalogo materiali, descrizione della stratigrafia) - apre potenzialmente la strada ad una maggiore integrazione tra il modello e le restanti unità minime informative.

Lo si è detto più volte, l'ermeneutica archeologica è intensificata dal connubio e dalla coesistenza - cioè dalla possibilità di analisi congiunta e sincrona - del più ampio ventaglio di unità informative. Si è detto più volte che «affermazioni e interpretazioni o proposizioni sul passato risultano da azioni pratiche o sforzi teorici che connettano il soggetto e l'oggetto e vadano al di là di entrambi»⁶⁴⁸ ossia, come suggerito da Shanks e Tilley, ma anche Ian Hodder e altri⁶⁴⁹, la continua interazione e dialettica tra ricercatore e dati all'interno della *praxis* archeologica (archeologia come mestiere)⁶⁵⁰, garantisce di collocare entrambi - dati e ricercatore - all'interno di un processo di creazione di conoscenza.

⁶⁴⁸ SHANKS, TILLEY 1987b, p. 114.

⁶⁴⁹ Si vedano § 2.2.1 e 3.1.

⁶⁵⁰ SHANKS, MCGUIRE 1996, p. 77.

Ad ogni modo, la possibilità di acquisire modelli tridimensionali in scala 1:1 fornisce notevoli opportunità per l'analisi del contesto archeologico, sia per quanto riguarda la pianificazione degli interventi di scavo, sia per quanto riguarda le opportunità per la tutela e il monitoraggio del sito o la pianificazione di interventi di restauro conservativo. In questi ultimi casi, ad esempio, è necessario prevedere un sistema che permetta la ripetibilità del rilievo con gli stessi punti fissi - necessariamente esterni al sito (ad esempio i *coded targets*) - in maniera tale da avere sempre lo stesso sistema di riferimento per la comparazione dei modelli tridimensionali diacronici. Nel caso di Baia, ad esempio, l'utilizzazione del rilievo CVP per il monitoraggio del sito nel tempo, richiederebbe la sistemazione di coded targets che risultino fissi e duraturi, in modo tale da poterli utilizzare in rilievi CVP successivi e distanti nel tempo.

Nei § § 2.2.1 e 2.2.2 si è argomentata l'importanza dei *site formation processes* per la comprensione dell'evidenza archeologica. Si è più volte evidenziato come la comprensione di questi processi sia di fondamentale importanza per determinare il deterioramento e lo stato di conservazione dei siti archeologici subacquei. In questo quadro il rilievo CVP offre la possibilità di acquisire modelli tridimensionali del sito in maniera diacronica garantendo la possibilità di monitorare il sito e di approntare strategie di preservazione e gestione *in situ* del patrimonio culturale subacqueo⁶⁵¹. Ovviamente, per sfruttare a pieno questa possibilità è di fondamentale importanza «valutare la risoluzione [accuratezza], ripetibilità, riproducibilità e l'incertezza delle misurazioni»⁶⁵² delle tecniche CVP. È infatti palese come per comprendere i continui processi di formazione o di modificazione a cui sono sottoposti i siti sommersi, sia necessario utilizzare strumenti che possano essere precisamente comparabili. Per poter essere utilizzabile in sede comparativa infatti, il modello 3D dovrà ovviamente basarsi su parametri metrici comuni e immodificabili che possano rendere conto delle modifiche avvenute sul sito o sul suo contesto. Ad ogni modo, affinché queste tecniche possano definitivamente acquisire un ruolo di standard nel rilievo e nell'acquisizione di dati spaziali, è necessario lo sviluppo di standard sia per l'acquisizione dati che per i sistemi di gestione e condivisione delle grandi quantità di dati che tali sistemi generano. Come conseguenza e

⁶⁵¹ Si veda in particolare la parte finale del § 2.2.2.

⁶⁵² TOSCHI ET AL. 2014, p. 377; Cfr. REMONDINO ET AL. 2012; KERSTEN, LINDSTAEDT 2012.

presupposto necessario a tale gestione e condivisione appare necessario, come abbiamo visto nel § 3.1, trovare dei formalismi, delle ontologie e degli standard condivisi, affinché i prodotti possano divenire effettivamente comunicanti, compatibili e interpretabili. Dal punto di vista della ricerca, le rappresentazioni tridimensionali (modello 3D), una volta vinte le problematiche tecniche relative alla gestione e diffusione dei dati (peraltro fondamentali), hanno la potenzialità di favorire la rivalutazione e reinterpretazione della ricerca, sia all'interno della stessa equipe che tra differenti equipe che si occupano della stessa tematica o dello stesso sito.

Abbiamo analizzato come la rappresentazione - tridimensionale nel caso specifico - fornisca un fedele modello relazionale e informativo attraverso un processo retorico tra l'osservatore e l'immagine stessa. Nel caso specifico, il modello tridimensionale (Figg. 18 e 25) porta con sé una serie di informazioni spaziali, qualitative e relazionali che ne arricchiscono lo spettro retorico, rispetto ad esempio ad una classica planimetria archeologica. Ovviamente questo non significa la morte della planimetria bidimensionale come strumento informativo. Anzi. Le problematiche descritte in precedenza e relative alla difficoltà di gestire grandi volumi di dati, rendono le rappresentazioni bidimensionali ancora utili e necessarie al processo archeologico. D'altronde, come succede spesso con l'avvento di nuove tecniche e nuovi strumenti, bisogna evitare l'utilizzo indiscriminato del nuovo strumento per attività ugualmente risolvibili con il "vecchio" dispositivo; una circostanza su cui ha messo l'accento anche Gary Lock⁶⁵³, affermando che «è normale per i primi utilizzatori di una nuova tecnologia di utilizzarla inizialmente per continuare a fare le cose a cui erano abituati». Ugualmente, va evitato un atteggiamento estremamente positivista verso queste tecniche, viste come panacea e utilizzate unicamente perché lo strumento è lì a disposizione. In termini di tempo, o meglio, di considerazione del rapporto tra tempo necessario e prodotto finale acquisibile, non sempre l'ago della bilancia pende verso le tecniche CVP. Ciò vuol dire che non sempre la scelta di utilizzare la CVP per rilevare un sito è la migliore. Quel che si vuole sostenere è la necessità, come con tutti gli altri strumenti a disposizione dell'archeologo, di una valutazione attenta degli obiettivi del rilievo e dell'effettiva necessità di utilizzo della CVP; in una parola, una maggiore riflessività.

⁶⁵³ LOCK 2009, p. 79.

Infine, le rappresentazioni tridimensionali hanno inoltre un vasto campo di applicazione che si trova nell'esatta interfaccia tra l'archeologia e il grande pubblico. Gli strumenti tridimensionali, le rappresentazioni 3D, le animazioni virtuali e tutti gli applicativi che ruotano attorno alla grafica 3D, alla realtà virtuale e alla realtà aumentata, rappresentano dei medium di forte impatto sul grande pubblico. Come visto in precedenza tuttavia⁶⁵⁴, anche in questo campo l'applicazione della tecnologia si scontra con numerosi problematiche che rischiano di rendere il prodotto controproducente rispetto agli intenti originali.

Infine, il tridimensionale, i modelli 3D dei siti hanno la capacità di creare un'interfaccia con il vasto pubblico, di divenire uno strumento utile alla divulgazione del patrimonio culturale subacqueo per veicolare informazioni utili ad accrescere la conoscenza del passato e la sensibilità verso le necessità della tutela di tale patrimonio. Internet offre notevoli opportunità in questo ambito ma, anche qui, al ricercatore è richiesta una certa riflessività nell'utilizzo degli strumenti virtuali. L'utilizzo del virtuale come strumento di divulgazione in ambito archeologico è una tematica più volte analizzata nella letteratura scientifica. Tali analisi sono principalmente mirate all'uso delle ricostruzioni 3D, nelle quali subentrano aspetti legati alla trasparenza del dato originale e delle interpretazioni proposte nel processo ricostruttivo, una tematica decisamente ampia per essere trattata in questo contesto. Va tuttavia precisato che i modelli 3D posseggono enormi potenzialità nell'agevolare la veicolazione di messaggi a favore della tutela e per il godimento del patrimonio da parte del pubblico, particolarmente per quanto concerne il patrimonio sommerso, per il quale lo specifico ambiente fisico - con le sue leggi - preclude spesso l'accesso ai siti, particolarmente ad un pubblico di non subacquei. In questo senso, la virtualizzazione del sito, come accade con le video-riprese subacquee⁶⁵⁵, permette al pubblico di apprezzare i resti archeologici sommersi pur non potendo accedervi direttamente, sia per impossibilità pratiche (nel caso di non subacquei) sia perché pressanti necessità di tutela ne precludono l'accesso. Vi è dunque una promettente

⁶⁵⁴ Si veda la bibliografia relativa alla Virtual Archaeology BARCELÓ 2001a, b; BARCELÓ, FORTE E SANDERS 2000; e in particolare HUGGETT 2004, 2012a; CHRYSANTHI et al. 2012a, b.

⁶⁵⁵ Si pensi ad esempio al sistema video dell'itinerario subacqueo nel sito archeologico sommerso di Cala Gadir, Isola di Pantelleria (Sicilia), installato dalla Soprintendenza del Mare della Regione Siciliana, le cui immagini sono trasmesse attraverso il sito istituzionale della Soprintendenza. Si veda TUSA ET AL. 2003.

opportunità di democratizzare l'archeologia⁶⁵⁶ e di accrescere il rapporto tra l'archeologia e il «là fuori»⁶⁵⁷. In questo campo internet offre diverse possibilità, tra le quali, molto interessante e particolarmente utilizzata in ambito archeologico è Sketchfab, un sito web per la visualizzazione e condivisione online di contenuti 3D⁶⁵⁸. In questo ambito Photoscan offre la possibilità di esportare il modello 3D direttamente all'interno del sito web di Sketchfab favorendo la divulgazione dei modelli 3D⁶⁵⁹.

In definitiva, come tutti i medium - secondo l'accezione di McLuhan - anche le potenzialità del tridimensionale e del rilievo CVP, non solo si scontrano con delle limitazioni ancora esistenti e legate alle tecnologie disponibili e alle loro intrinseche capacità, ma si trovano a produrre delle amputazioni nello stesso processo di interpretazione archeologica. Vi è dunque la necessità di analizzare questi medium con sempre maggiore attenzione al fine di comprendere quali siano i loro effetti. In questo senso, nel presente elaborato si è cercato di esaminare il rilievo CVP, visto come applicazione di una, o meglio, diverse tecnologie, spogliando le stesse della loro presupposta oggettività e ridimensionando la proprietà paradigmatica che spesso gli viene impropriamente attribuita. Si è cercato di fare questo attraverso l'analisi degli aspetti che caratterizzano il suo impiego in ambito archeologico subacqueo e delle correlazioni che tali strumenti tecnologici instaurano con gli approcci teorici e metodologici del processo di ricerca archeologica.

⁶⁵⁶ HUGGETT 1995.

⁶⁵⁷ EDWARDS-INGRAM 1997.

⁶⁵⁸ SI veda <https://sketchfab.com> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

⁶⁵⁹ Il sito è largamente usato, ad esempio, dai colleghi del progetto 3DMAPPR, del quale abbiamo brevemente parlato nel § 3.3, nota 428.

6. CONCLUSIONI

Adottare un medium tecnologico significa *in primis* comprenderne le generali implicazioni; comprendere gli effetti positivi (protesici) e negativi (amputazioni). Acquisire un qualsiasi strumento tecnologico all'ambito archeologico significa, a parere di chi scrive, valutare con analisi il più possibile approfondite le conseguenze del suo utilizzo, comprendere in che modo esse si relazionino con il più ampio processo di comprensione del passato e quali siano le problematiche oltre che i pregi del loro impiego. Oltre dieci anni fa Gary Lock suggeriva uno stato liminale nell'utilizzo delle ICT in campo archeologico; «come molte altre situazioni liminali essa risulta colma di potenziali pericoli associati al muoversi verso l'ignoto così come di possibili opportunità e circostanze da sfruttare»⁶⁶⁰. Entrambe le posizioni richiedono a gran voce la necessità d'azione. Sia che ci si intenda premunire contro i potenziali pericoli o ci si voglia preparare a sfruttare le opportunità e le circostanze favorevoli, è necessario comprendere appieno quali siano gli effetti dell'utilizzo della tecnologia in un campo come l'archeologia.

In questo contributo si è tentato di offrire alcuni spunti per approfondire le valutazioni degli effetti del rilievo tridimensionale tramite CVP nel campo dell'archeologia subacquea. Gli aspetti coinvolti sono numerosi e difficili da affrontare da un solo punto di vista e da parte di una sola persona, ancor più difficile è includere in una sede come la presente il necessario grado di approfondimento per ciascun aspetto. L'intenzione di questo lavoro era piuttosto di approntare una messa a fuoco degli aspetti che coinvolgono e influenzano l'utilizzo della CVP e come questi si rapportino al processo interpretativo archeologico. Si è consci della necessità di ulteriori e più approfondite analisi per le quali questo contributo vorrebbe agire da base concettuale. In definitiva, il soffuso messaggio che questo lavoro vorrebbe trasmettere risiede nel suggerire la necessità di un'attenta considerazione dell'applicazione di una tecnologia o di un approccio metodologico in ambito archeologico, tenendo presente non solo gli aspetti tecnici ma anche e soprattutto le implicazioni pratiche e finanche filosofiche.

⁶⁶⁰ LOCK 2003, p. 263.

Come abbiamo cercato di evidenziare, la tecnologia ha il potere di avvicinare e di ampliare ma, al contempo, anche di allontanare e limitare. Abbiamo esempi di questo processo nella vita di tutti i giorni come all'interno della disciplina. Accade, ad esempio, con tablet e smartphone; la globale e virtuale vicinanza prodotta da questi dispositivi - la possibilità di accedere a internet, di scambiare messaggi con conoscenti residenti dall'altra parte del globo - provoca talvolta una lontananza irreal e surreale con l'amico seduto, in quello medesimo istante, allo stesso tavolo del ristorante o del bar. Come insegna McLuhan, la tecnologia, ad esempio il computer in ambito archeologico, pare estendere le capacità del ricercatore all'infinito includendo un grande volume di dati in un'unica sede, questo accrescimento tuttavia non è l'unico effetto del computer.

Si è cercato di identificare alcuni di questi effetti amputativi, se possiamo definirli così, o perlomeno di individuare le complicazioni che alcuni aspetti determinano nei confronti di un fluido processo di ricerca e interpretazione archeologica. La disciplina archeologica, perlomeno per alcuni settori e aspetti dell'utilizzo del computer, ha iniziato a interrogarsi sugli effetti di questa tecnologia. Molto è stato fatto per esempio nel campo della realtà virtuale, come pure per l'utilizzo del GIS. La popolarità a cui sta andando in contro la CVP nell'attimo stesso in cui si sta scrivendo questo elaborato, ha portato l'autore ad avvertire la necessità di una analisi quale quella presentata in questa sede. D'altronde, le circostanze e opportunità da sfruttare, come affermava Gary Lock, sono effettivamente tante e diversificate; tuttavia, queste opportunità potranno essere chiare a patto che la tecnologia venga vista sia come strumento tecnologico, sia come attore "sociale" all'interno della pratica archeologica. Teoria e pratica archeologiche non sono entità distinte e indipendenti, l'atto pratico della ricerca archeologica, la *praxis*, si sviluppa tra le maglie di una teoria, di uno schema concettuale sulla base del quale il ricercatore acquisisce, analizza e interpreta le evidenze del passato; al contempo, l'applicazione di una teoria, di un paradigma, nello sviluppo del mestiere dell'archeologo rappresenta un'attività con un forte risvolto pratico. Infine, è solo attraverso la registrazione della maggior quantità di dati nel maggior numero di supporti - favoriti da dispositivi e standard che ne permettano il fluido spostamento tra equipe - che potrà raggiungersi una contestualità, riflessività e discorsività del processo archeologico utile ad una interpretazione compiuta e alla creazione di una solida conoscenza del passato.

7. BIBLIOGRAFIA

- AANÆS H., *Methods for Structure from Motion*, Unpublished PhD Thesis, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby 2003.
- ADAMS J., *Ships and Boats as Archaeological Source Material*, in 'World Archaeology', Vol. 32, No. 3, 2001, pp. 292 - 310.
- ADAMS J., *Ships, Innovation and Social Change: Aspects of Carvel Shipbuilding in Northern Europe 1450-1850*. Stockholm Marine Archaeology Reports No. 3, Stockholm, 2003.
- ADAMS J., *Alchemy or Science? Compromising Archaeology in the Deep Sea*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 2, 2007, pp. 48 - 56.
- AGISOFT LLC, *Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.1*, Agisoft LLC, St. Petersburg, 2015. Disponibile online: <http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- AJIOKA O., HORI Y., *Application of SfM and Laser Scanning Technology to the Description of Mosaics Piece by Piece*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5, 2014, pp. 23 - 28.
- ALBERTZ J., *Albrecht Meydenbauer - Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage*, in 'Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001', September 18 - 21, Potsdam 2001, pp. 19 - 25.
- ALYILMAZ C., ALYILMAZ S., YAKAR M., *Measurement of Petroglyphs (Rock of Arts) of Qobustan with Close Range Photogrammetry*, in 'International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Vol. XXXVIII, Part 5, 2010, pp. 29 - 32.
- ANDERSON R., PHILIPPOU C., HARVEY P., *Innovative Approaches in Underwater Cultural Heritage Management*, in STANIFORTH M., NASH M. (eds), *Maritime Archaeology: Australian Approaches*, Springer, New York 2006, pp. 137 - 150.
- ANDRAE B., *Le sculture*, in TOCCO SCIARELLI L. (ed.), *Baia. Il Ninfeo Imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Banca Sannitica, 1983a, pp. 49 - 66.
- ANDRAE B., *L'Imperatore Claudio a Baia*, in TOCCO SCIARELLI L. (ed.), *Baia. Il Ninfeo Imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Banca Sannitica, 1983b, pp. 67 - 72.
- ANGIONI G., *Fare, dire, sentire. L'identico e il diverso nelle culture*, Il Maestrale, Nuoro 2011.
- ANZIDEI M., BOSMAN A., CASALBORE D., TUSA S., LA ROCCA R., *New insights on the subsidence of Lipari island (Aeolian islands, southern Italy) from the submerged Roman age pier at Marina Lunga*, in 'Quaternary International', 2015, (in corso di stampa).
- ARGENTIERI S., *Creatività, vandalismo e restauro nella dimensione intrapsichica*, in 'Psicoanalisi', Volume 9, Numero 2, 2005.
- ARNHEIM R., *A plea for visual thinking*, in 'Critical Inquiry', 6, 3, 1980, pp. 489 - 497.
- ASCHER R., *Experimental Archeology*, in 'American Anthropologist', 63, 1961, pp. 793 - 816.
- ASCHER R., *Time's Arrow and the Archaeology of a Contemporary Community*, in Chang K. C. (ed.), *Settlement Archaeology*, National Press Books, Palo Alto 1968, pp. 43 - 52.
- ASPRAY W., *Computers Before Computers*, Iowa State University Press, Ames 1990.
- ATKINSON A. D. J., DE SANJOSÉ BLASCO J. J., DE MATIAS BEJARANO J., *Applied 3D Photogrammetric Studies for the Historical Heritage of Extremadura (Spain)*, in 'International Archives of

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Vol. XXXVIII, Part 5, pp. 51 - 54.

- AUSTIN D., THOMAS J., *The "proper study" of medieval archaeology: a case study*, in AUSTIN D., ALCOCK L. (eds) *From the Baltic to the Black Sea: Studies in medieval archaeology*, Unwin Hyman, London 1990, pp. 43 – 78.
- AUSTIN T., ROBINSON D., WESTCOTT K., *A Digital Future for our Excavated Past*, in STANČIČ Z., VELJANOVSKI T. (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. CAA 2000. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 28th Conference, Ljubljana, April 2000 (BAR International Series 931)*, Archaeopress, Oxford, pp. 289 - 296.
- BABITS L. E., VAN TILBURG H. (eds), *Maritime Archaeology. A Reader of Substantive and Theoretical Contributions*, Plenum Press, New York 1998.
- BALBI G., MAGAUDDA P., *Storia dei media digitali: rivoluzioni e continuità*, Laterza, Roma 2014.
- BALLETTI C., BELTRAME C., COSTA E., GUERRA F., VERNIER P., *Underwater Photogrammetry and 3D Reconstruction of Marble Cargos Shipwreck*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W5, 2015, pp. 7 - 13.
- BAKER P. E., GREEN J. N., *Recording techniques used during the excavation of the Batavia*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration', 5, 2, 1976, pp. 143 - 158.
- BANDIERA A., ALFONSO C., AURIEMMA R., *Active and Passive 3D Imaging Technologies Applied to Waterlogged Wooden Artifacts from Shipwrecks*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W5, 2015, pp. 15 - 23.
- BARAZZETTI L., BINDA L., SCAIONI M., TARANTO P., *Photogrammetric survey of complex geometries with low-cost software: Application to the 'GI' temple in Myson, Vietnam*, in 'Journal of Cultural Heritage', 12, 2011, pp. 253 - 262.
- BARCELÓ J. A., *Virtual Reality for Archaeological Explanation. Beyond "Picturesque" Reconstruction*, in 'Archeologia e Calcolatori', 12, 2001a, pp. 221 - 244.
- BARCELÓ J. A., *Virtual Reality and Scientific Visualization. Working with Models and Hypotheses*, in 'International Journal of Modern Physics', 12, 4, 2001b, pp. 569 - 580.
- BARCELÓ J. A., *The Birth and Historical Development of Computational Intelligence Applications in Archaeology*, in 'Archeologia e Calcolatori', 20, 2009a, pp. 95 - 109.
- BARCELÓ J. A., *Computational Intelligence in Archaeology*, Information Science Reference, London 2009b.
- BARCELÓ J. A., FORTE M., E SANDERS D. H. (eds), *Virtual reality in archaeology*, Archaeopress, Oxford 2000.
- BARCELÓ J. A., PALLARÉS M., *Beyond GIS: The Archaeology of Social Spaces*, in 'Archeologia e Calcolatori', 9, 1998, pp. 47 - 80.
- BARRETT J. C., *Agency, the Duality of Structure, and the Problem of the Archaeological Record*, in HODDER I. (ed.), *Archaeological Theory Today*, Polity Press, Oxford 2001, pp. 140 – 64.
- BARTHES R., *Eléments de sémiologie*, Éditions du Seuil, Paris 1964 (trad. it., *Elementi di semiologia*, Einaudi, Torino 2002).
- BARTHES R., *Rhetoric of the Image*, in HEATH S. (ed.), *Image, Music, Text*, Fontana Press, London 1977, pp. 152 - 163.

- BARTHES R., *La chambre claire. Note sur la photographie*, Éditions Gallimard - Seuil, Paris 1964 (trad. it., *La camera chiara. Nota sulla fotografia*, Einaudi, Torino 2003).
- BARTHES R., *The Photographic Message*, in SONTAG S. (ed.), *A Barthes Reader*, Hill and Wang, New York 1982, pp. 194 - 210.
- BARTOLI D., CAPULLI M., E HOLT P., Creating a GIS for the Underwater Research Project "Anaxum": the Stella 1 Shipwreck, in FOZZATI L., ROBERTO V. (eds), *The New Technologies for Aquileia. Proceedings of the 2nd Workshop on The New Technologies for Aquileia Aquileia, Italy, June 25, 2012*. Disponibile online: <http://ceur-ws.org/Vol-948/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- BARTOŠ K., PUKANSKÁ K., SABOVÁ J., *The Application of Open-Source and Free Photogrammetric Software for the Purposes of Cultural Heritage Documentation*, in 'GeoScience Engineering', 60, 2, 2014, pp. 17 - 24.
- BASS G. F., *Archaeology Under Water*, Thames and Hudson, London 1966 (trad. it., *Archeologia Sub. Rilevamenti, recupero, conservazione*, Mursia, Milano 1974).
- BASS G. F., ROSENCRANTZ D. M., *The Asherah—a pioneer in search of the past*, in GEYER R. A. (ed.), *Submersibles and their use in oceanography and ocean engineering*, Elsevier, Amsterdam 1977, pp. 335 - 351.
- BASS G. F., THROCKMORTON P., DU PLAT TAYLOR J., HENNESSY J. B., SHULMAN A. R., BUCHOLZ H-G., *Cape Gelidonya: A Bronze Age Shipwreck*, in 'Transactions of the American Philosophical Society', New Series, 57, 8, 1967, pp. 1 - 177.
- BATES R. C., LAWRENCE M., DEAN M., ROBERTSON P., *Geophysical Methods for Wreck-Site Monitoring: the Rapid Archaeological Site Surveying and Evaluation (RASSE) programme*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 40, 2, 2011, pp. 404 - 416.
- BAUDRILLARD J., *The Precession of Simulacra*, in Durham M. G., Kellner D. M. (eds), *Media and cultural studies. Keywords*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford 2006, pp. 453 - 481.
- BAUMAN Z., *Modernità Liquida*, Laterza, Bari 2011.
- BELL J., *Underwater Stereophotogrammetric Recording: A Pilot Project: Red Bay, Labrador*, in 'Bulletin of the Association for Preservation Technology', 18, 1/2, 1986, pp. 112 - 114.
- BELTRAME C., *Archeologia marittima del Mediterraneo. Navi, merci e porti dall'antichità all'età moderna*, Carocci, Roma 2012.
- BELTRAME C., MANFIO S., *Alcune proposte metodologiche per l'impiego di un GIS intra-site nella documentazione di un relitto: l'applicazione sul Brick Mercurio (Punta Tagliamento, Italia)*, in 'Archeologia e Calcolatori', 25, 2014, pp. 113 - 129.
- BENINI A., *Storia, archeologia e tutela dei beni archeologici sommersi: l'esempio dei Campi Flegrei*, in GIACOBELLI M. (a cura di), *Lezioni Fabio Faccenna: Conferenze di archeologia subacquea (III - V ciclo)*, Edipuglia, Bari 2004, pp. 35 - 43.
- BENJAMIN W., *The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction*, in DURHAM G. M., KELLNER D. M. (eds) *Media and Cultural Studies KeyWorks*, 2006, pp. 18 - 40.
- BEVAN A., LI X., MARTINÓN-TORRES M., GREEN S., XIA Y., ZHAO K., ZHAO Z., MA S., CAO W., REHREN T., *Computer vision, archaeological classification and China's terracotta warriors*, in 'Journal of Archaeological Science', 49, 2014, pp. 249 - 254.
- BEVAQUA R., *Archaeological Survey of Sites relating to the Batavia shipwreck*. Unpublished Report prepared for the Western Australian Museum, no. 81, Fremantle 1974.
- BEZZI A., BEZZI L., FURNARI F., FRANCISCI D., *ArcheOS 4.0 - "Ceasar": novità e aspetti della distribuzione GNU/LINUX dedicata all'archeologia*, in 'Archeologia e Calcolatori', Supplemento 4, 2013, pp. 165 - 173.

- BIANCHI BANDINELLI R., *Introduzione all'archeologia come storia dell'arte antica*, Editori Laterza, Roma-Bari, 1976 (XIX edizione 2003).
- BIANCHINI M., *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Aracne, Roma 2008.
- BIANCO G., GALLO A., BRUNO F., MUZZUPAPPA M., *A Comparative Analysis between Active and Passive Techniques for Underwater 3D Reconstruction of Close-Range Objects*, in 'Sensors', 13, 2013, pp. 11007 - 11031.
- BIJKER W. E., HUGHES T. P., PINCH T., E DOUGLAS D. G. (eds), *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*, MIT press, Cambridge 2012.
- BIJORNSTAAD M., *The ICOMOS International Committee on Archaeological Heritage Management (ICAHM)*, in H. CLEERE (ed.), *Archaeological Heritage Management in the Modern World*, Unwin & Hyman, London 1989, pp. 70 – 75.
- BINFORD L. R., *Archaeology as Anthropology*, in "American Antiquity", 28, 2, 1962, pp. 217 – 225.
- BINFORD L. R., *Archaeological Systematics and the Study of Culture Process*, in 'American Antiquity', 31, 2, 1965, pp. 203 – 210.
- BINFORD L. R., *Organization and Formation Processes: Looking at Curated Technologies*, in 'Journal of Anthropological Research', 35, 1979, pp. 255 - 273.
- BINFORD L. R., *Behavioral archaeology and the "Pompeii premise"*, in 'Journal of Anthropological Research', 37, 3, 1981, pp. 195 – 208.
- BINFORD L. R., *Working at Archaeology*, Academic Press, New York 1983.
- BINFORD S. R., BINFORD L. R., *New Perspectives in Archaeology*, Aldine Publishing Company, Chicago 1968.
- BINTLIFF J. L., EARLE T. K., PEEBLES C. S. (eds), *A Companion to Archaeology*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford 2006.
- BLOCH M., *Apologie pour l'histoire ou Métier d'historien*, Armand Colin Éditeur, Paris 1993 (trad. it., *Apologia della Storia o Mestiere dello Storico*, Einaudi, Torino 2009).
- BOHRER F. N., *Photography and Archaeology: The Image as Object*, in SMILES S., MOSER S. (eds), *Envisioning the Past Archaeology and the Image*, Blackwell Publishing, Oxford 2005, pp. 180 - 191.
- BOLOGNESI M., FURINI A., RUSSO V., PELLEGRINELLI A., RUSSO P., *Accuracy of Cultural Heritage 3D Models by RPAS and Terrestrial Photogrammetry*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5, 2014, pp. 113 - 119.
- BOURDIEU P., *Homo academicus*, Éditions de Minuit, Paris 1984 (trad. it., *Homo academicus*, Edizioni Dedalo, Bari 2013).
- BOWENS A. (ed.), *Underwater Archaeology: the NAS Guide to Principles and Practice*, Nautical Archaeology Society, Blackwell Publishing, Portsmouth 2009.
- BOYD W. E., PATHIRANA S., E BELL G., *A Contribution to the management of the buried historical shipwreck heritage: a GIS risk assessment model for the River Richmond mouth, northern New South Wales*, in 'The Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology', 20, 2, 1996, pp. 57 - 70.
- BRAUDEL F., *Histoire et Sciences sociales : La longue durée*, in 'Annales. Économies, Sociétés, Civilisations', 13, 4, 1958, pp. 725 – 753.

- BRAUDEL F., *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*, Arthaud, Parigi 1979 (trad. it. *Civiltà materiale, economia e capitalismo*, Einaudi, Torino 1982).
- BROADWATER D. J., *The USS Monitor: In situ Preservation and Recovery*, in GRENIER G., NUTLEY D., COCHRAN I. (eds) *Underwater cultural heritage at risk: managing natural and human impacts*, Heritage at risk special edition. ICOMOS, München 2006, pp. 79 – 81.
- BROADWATER D. J., NUTLEY D., *The Management of Marine Archaeological Sites *In Situ* and Site Sustainability*, in ‘Conservation and Management of Archaeological Sites’, 11, 1, 2009, pp. 70 – 77.
- BROMLEY A. G., *Analog Computing Devices*, in ASPRAY W., *Computers Before Computers*, Iowa State University Press, Ames 1990, pp. 156 - 199.
- BRUNO F, BIANCO G., MUZZUPAPPA M., BARONE S., RAZIONALE A. V., *Experimentation of structured light and stereo vision for underwater 3D reconstruction*, in ‘ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing’, 66, 2011, pp. 508 – 518.
- BUCHLI V., LUCAS G. (eds), *Archaeologies of the Contemporary Past*, Routledge, London/New York 2001.
- BURGIN V., *Looking at Photographs*, in BURGIN V. (ed.), *Thinking Photography*, MacMillan Press Ltd Houndmills 1982, pp. 142 - 153.
- BURKE P., *What is Cultural History?*, Polity Press, Cambridge 2008 (trad. it., *La storia culturale*, Mulino, Bologna 2009).
- BURRI, R. V., DUMIT J., *Social Studies of Scientific Imaging and Visualization*, in HACKETT E. J., AMSTERDAMSKA O., LYNCH M., E WAJCMAN J. (eds), *The handbook of science and technology studies*, The MIT Press, Cambridge 2008, pp. 297 - 317.
- CABRELLES M. SEGUÍ A. E., NAVARRO S., GALCERÁ S., PORTALÉS C., LERNA J. L., *3D Photorealistic Modeling of Stone Monuments by Dense Image Matching*, in ‘International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences’, Vol. XXXVIII, Part 5, 2010, pp. 121 - 124.
- CANCIANI M., GAMBOGI P., E DRAP P., *Web archaeological data management system from underwater photogrammetry. An application on two roman wrecks*, in ‘International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences’, 34, 5, 2002, pp. 327 - 332.
- CANCIANI M., GAMBOGI P., ROMANO F. G., CANNATA G., E DRAP P., *Low cost digital photogrammetry for underwater archaeological site survey and artefact insertion. The case study of the Dolya Wreck in Secche della Meloria - Livorno - Italia*, in ‘ISPRS Workshop Vision Techniques for digital architectural and archaeological archives’, 2003, pp. 95 - 100.
- CAPRA A., DUBBINI M., BERTACCHINI E., CASTAGNETTI C., MANCINI F., *3D Reconstruction of an Underwater Archaeological Site: Comparison between Low Cost Cameras*, in ‘The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences’, Volume XL-5/W5, 2015, pp. 67 - 72.
- CARANDINI A., *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico*, Einaudi, Torino 1991.
- CARVALE A., *La catalogazione informatica del patrimonio archeologico*, in ‘Archeologia e Calcolatori’, 20, 2009, pp. 179 – 187.
- CARLSON B. S., *Comparison of modern CCD and CMOS image sensor technologies and systems for low resolution imaging*, in ‘Sensors’, 1, IEEE, 2002, pp. 171 - 176.
- CASTRO F., J. *Richard Steffy Ship Reconstruction Laboratory*, in ‘Centre for Maritime Archaeology and Conservation (CMAC) News and Reports’, 1, 1, 2009, pp. 6 - 10.

- CASTRO F., *The Cyber-Resurrection of Our Lady of the Martyrs*, in EVANGELISTA J. (ed.), *Surveyor. A Quarterly Magazine from ABS*, 2011, pp. 27 - 31.
- CASTRO F. (ed.), *ShipLAB Research Portfolio 2013*, Centre for Maritime Archaeology and Conservation, Nautical Archaeology Program, Department of Anthropology, Texas A&M University, College Station 2013.
- CASTRO F. (ed.), *ShipLAB Research Portfolio 2014*, Centre for Maritime Archaeology and Conservation, Nautical Archaeology Program, Department of Anthropology, Texas A&M University, College Station 2014.
- CASTRO F. (ed.), *ShipLAB Research Portfolio 2015*, Centre for Maritime Archaeology and Conservation, Nautical Archaeology Program, Department of Anthropology, Texas A&M University, College Station 2015.
- CERUZZI P. E., *Relay Calculators*, in ASPRAY W., *Computers Before Computers*, Iowa State University Press, Ames 1990a, pp. 200 - 222.
- CERUZZI P. E., *Electronics Calculators*, in ASPRAY W., *Computers Before Computers*, Iowa State University Press, Ames 1990b, pp. 223 - 249.
- CHEMERO A., *Information for Perception and Information Processing*, in 'Minds and Machines', 13, 2003, pp. 577 – 588.
- CHILDE V. G., *The Future of Archaeology*, in 'Man', 44, 1944, pp. 18 – 19.
- CHILDE V. G., *The Dawn of European Civilization*, Knopf, New York 1956.
- CHRISTIE N., YOUNG R., *Reflections on the old and sterile debate: archaeology and history. What relationship?*, 'Medieval History', 1996, 4, pp. 170 – 86.
- CHRYSANTHI A., MURRIETTA FLORES P. AND PAPADOPOULOS C. (eds.), *Thinking Beyond the Tool: Archaeological Computing and the Interpretative Process*, BAR International Series 2344, Archaeopress, Oxford 2012a.
- CHRYSANTHI A., MURRIETTA FLORES P. AND PAPADOPOULOS C., *Introduction. Archaeological Computing: Towards Prosthesis or Amputation?*, in CHRYSANTHI A., MURRIETTA FLORES P. AND PAPADOPOULOS C. (eds.), *Thinking Beyond the Tool: Archaeological Computing and the Interpretative Process*, BAR International Series 2344, Archaeopress, Oxford 2012b, pp. 7 - 13.
- CHURCH R. A., WARREN D. J., *Sound Methods: The Necessity of High-resolution Geophysical Data for Planning Deepwater Archaeological Projects*, in 'International Journal of Historical Archaeology', 12, 2008, pp. 103 - 119.
- CLARK K., *The workshop of the world. The industrial revolution*, in HUNTER J., RULSTON I. (eds), *The Archaeology of Britain. An introduction from the Upper Palaeolithic to the Industrial Revolution*, Routledge, London/New York 1999, pp. 280 – 296.
- CLARKE D. L., *Analytical Archaeology*, Methuen, London 1968.
- CLARKE D. L., *Models and Paradigms in Contemporary Archaeology*, in CLARKE D. L. (ed.), *Models In Archaeology*, Methuen, London 1972, pp. 1 - 60.
- CLARKE D., *Archaeology: The Loss of Innocence*, in 'Antiquity', 47, 185, 1973, pp. 6 – 18.
- CLARK J. M., PAIVIO A., *Dual coding theory and education*, in 'Educational psychology review', 3, 3, 1991, pp. 149 - 210.
- CLEERE H. (ed.), *Approaches to the archaeological heritage*, Cambridge University Press, London 1984.
- CLEERE H., *Managing the archaeological heritage*, in 'Antiquity', 67, 1993, pp. 400 - 402.

- CLÉRY I., PIERROT-DESEILLIGNY M., *An ergonomic interface to compute 3D models using photogrammetry*, in 'Proceedings du XXIIIe symposium de la CIPA', Prague, 2011, pp.
- COCKRELL W. A., *A Trial Classificatory Model for the Analysis of Shipwrecks*, in GOULD R. (ed.), *Shipwreck Anthropology*, University of New Messico Press, Santa Fe 1983.
- CONAN DOYLE A., *Sherlock Holmes. Tutti i racconti*, Einaudi, Torino 2015.
- CONSOLE A., *Progetto ARCHEOMAR: GIS per la tutela del patrimonio archeologico sommerso*. Contributo presentato alla 'IX Conferenza Utenti ESRI', 5-6 Aprile 2006, Auditorium Massimo, Rome, pp. 1 - 7.
- COSTALL A., *On Being the Right Size: Affordances and the Meaning of Scale*, in LOCK G., MOLYNEAUX B. L. (eds), *Confronting Scale in Archaeology. Issues of Theory and Practice*, Springer, New York 2006, pp. 15 - 26.
- DALLAS C., *Archaeological Knowledge, Virtual Exhibitions and the Social Construction of Meaning*, in 'Archeologia e Calcolatori', 1, 2007, pp. 31 - 63.
- DALLAS C., *Curating Archaeological Knowledge in the Digital Continuum: from Practice to Infrastructure*, in 'Open Archaeology', 1, 2015a, pp. 176 - 207.
- DALLAS C., *Jean-Claude Gardin on Archaeological Data, Representation and Knowledge: Implications for Digital Archaeology*, in 'Journal of Archaeological Method and Theory', (first online 25 February 2015), 2015b, pp. 1 - 26.
- D'AMICO A., PITTENGER R., *A Brief History of Active Sonar*, in 'Aquatic Mammals', 34, 4, 2009, pp. 426 - 434.
- D'ANDREA A., *Modelli GIS nel Cultural Resource Management*, in 'Archeologia e Calcolatori', 11, 2000, pp. 153 - 170.
- D'ANDREA A., *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*, Collana del Centro Inter-dipartimentale di Servizi di Archeologia, Università degli Studi di Napoli L'Orientale, 2006.
- D'ANDREA A., NICCOLUCCI F., *L'Archeologia computazionale in Italia: orientamenti, metodi e prospettive*, in 'Archeologia e Calcolatori', 11, 2000, pp. 13 - 31.
- D'ANDREA A., NICCOLUCCI F., *L'informatica dell'archeologo: alcune istruzioni per l'uso*, in 'Archeologia e Calcolatori', 12, 2001, pp. 199 - 220.
- DARK K. R., *Theoretical Archaeology*, Cornell University Press, New York 1995.
- DAVIDDE B., *Underwater archaeological parks: a new perspective and a challenge for conservation – the Italian Panorama*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 31, 1, 2002, pp. 83 – 88.
- DAVIDDE PETRIAGGI B., GOMEZ DE AYALA G., *Laser Scanner Reliefs of Selected Archaeological Structures in the Submerged Baiae (Naples)*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W5, 2015, pp. 79 - 83.
- DEAN M., FERRARI B., OXLEY I., REDKNAP M., E WATSON K. (eds), *Archaeology Underwater. The NAS Guide to Principles and Practice*, Nautical Archaeology Society, Archetype Press, London 1992.
- DELGADO J. P., *Encyclopedia of Underwater and Maritime Archaeology*, Yale University Press, New Heaven 1998.
- DELGADO J. P., *Underwater Archaeology at the Dawn of the 21th Century*, in 'Historical Archaeology', 34, 4, 2000, pp. 9 - 31.

- DELLINO-MUSGRAVE V. E., *Maritime Archaeology and Social Relations. British Action in the Southern Hemisphere*, Springer, New York 2006.
- DELL'UNTO N., WALLERGÅRD M., DELLEPIANE M., LINDGREN S., ERIKSSON J., PETERSSON B., PAARDEKOOPEL R., An Experiment of Integrated Technologies in Digital Archaeology: Creation of New Pipelines to Increase the Perception of Archaeological Data, in Contreras F., Farjas M., e Melero F. J. (eds), *Fusion of Cultures. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Granada, Spain, April 2010, BAR International Series 2494, 2013.
- DE LUSENET Y., WINTERMANS V. (eds), *Preserving the digital heritage. Principles and policies*, Netherlands National Commission for UNESCO European Commission on Preservation and Access, The Hague 2007.
- DEMESTICHA S., *The 4th-Century-BC Mazotos Shipwreck, Cyprus: a preliminary report*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 40, 1, 2011, pp. 39 – 59.
- DEMESTICHA S., SKARLATOS D., NEOPHYTOU A., *The 4th-century B.C. shipwreck at Mazotos, Cyprus: New techniques and methodologies in the 3D mapping of shipwreck excavations*, in 'Journal of Field Archaeology', 39, 2, 2014, pp. 134 - 150.
- DE REU J., PLETS G., VERHOEVEN G., DE SMEDT PH., BATS M., CHERRETTÉ B., DE MAEYER W., DECONYNCK J., HERREMANS D., LALOO P., VAN MEIRVENNE M., DE CLERCQ W., *Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage*, in 'Journal of Archaeological Science', 40, 2013, pp. 1108 - 1121.
- DE SOLLA PRICE D., *Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C.*, in 'Transactions of the American Philosophical Society', New Series, Vol. 64, No. 7, 1974, pp. 1 - 70.
- DIAMANTI E., GEORGOPOULOS A., E VLACHAKI F., *Geometric documentation of underwater archaeological sites*, in 'Geoinformatics FCE CTU', 11, 2013, pp. 37 - 48.
- DIAMANTI E., VLACHAKI F., *3D Recording of Underwater Antiquities in the South Euboean Gulf*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W5, 2015, pp. 93 - 98.
- DI FRAIA G., *Baia sommersa. Nuove evidenze topografiche e monumentali*, in GIANFROTTA P. A., PELAGATTI P. (ed.), *Archeologia subacquea. Studi, ricerche e documenti I*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1993, pp. 21 - 48.
- DJINDJIAN F., *Gis Usage in Worldwide Archaeology*, in 'Archeologia e Calcolatori', 9, 1998, pp. 19 - 29.
- DJINDJIAN F., *The Golden Years for Mathematics and Computers in Archaeology (1965-1985)*, in 'Archeologia e Calcolatori', 20, 2009, pp. 61 - 73.
- DOLWICK J. S., *'The Social' and Beyond: Introducing Actor-Network Theory*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 4, 2009, pp. 21 - 49.
- DONGMING L., YUNHE P. (eds), *Digital Preservation for Heritages. Technologies and Applications*, Zhejiang University Press, Springer, Hangzhou-London-New York 2010.
- DRAP P., ARCHAEOLOGY DATA SERVICE (ADS), *Preservation Handbook*, 2009. Disponibile online: http://archaeologydataservice.ac.uk/attach/venus/VENUS_Preservation_Handbook.pdf (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- DRAP P., MERAD D., BOÏ J.-M., BOUBGUIRA W., MAHIDDINE A., CHEMISKY B., SEGUIN E., ALCALA F., BIANCHIMANI O., *ROV-3D, 3D Underwater Survey Combining Optical and Acoustic Sensor*, in DELLEPIANE M., NICCOLUCCI F., PENNA SERNA S., RUSHMEIER H., VAN GOOL L. (eds), *The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, 2011, pp. 177 - 184.

- DRAP P., MERAD D., BOÏ J. M., SEINTURIER J., PELOSO D., REIDINGER C., VANNINI G., NUCCIOTTI M., E PRUNO, E., *Photogrammetry for medieval archaeology: A way to represent and analyse stratigraphy*, in '18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM),IEEE, 2012, pp. 157 - 164.
- DRAP P., MERAD D., MAHIDDINE A., SEINTURIER J., PELOSO D., BOÏ J. M., CHEMISKY B., LONG L., *Underwater Photogrammetry for Archaeology. What Will Be the Next Step?*, in 'International Journal of Heritage in the Digital Era', 2, 3, 2013, pp. 375 - 394.
- DUCKE B., SCORE D., REEVES J., *Multiview 3D reconstruction of the archaeological site at Weymouth from image series*, in 'Computers & Graphics', 35, 2011, pp. 375 - 382.
- EARL G., *Modeling in Archaeology: Computer Graphic and other Digital Pasts*, in 'Perspective on Sciences', 21, 2, 2013, pp. 226 - 244.
- EARLE T. K., PREUCEL R. W., BRUMFIEL E. M., CARR C., W. F., CHIPPINDALE C., GILMAN A., HODDER I., JOHNSON G. A., KEEGAN W. F., KNAPP B. A., POTTER JR. P. B., ROLLAND N., ROWLETT R. M., TRIGGER B. G., ZEITLIN R. N., *Processual Archaeology and the Radical Critique [and Comments and Reply]*, in 'Current Anthropology', 28, 4, 1987, pp. 501 – 538.
- ECO U., *Critique of the Image*, in BURGIN V. (ed.), *Thinking Photography*, MacMillan Press Ltd Houndmills 1982, pp. 32 - 38.
- EDWARDS-INGRAM Y., *Toward "True Acts Of Inclusion": The "Here" and the "Out There" Concepts in Public Archaeology*, in 'Historical Archaeology', 31, 3, 1997, pp. 27 – 35.
- EL-HAKIM S. F., BERARDIN A. J., PICARD M. GODIN G., *Detailed 3D Reconstruction of Large-Scale Heritage Sites with Integrated Techniques*, in 'Computer Graphics and Applications', IEEE, 24, 3, 2004, pp. 21 - 29.
- ELIA R. J., *US Protection of underwater cultural heritage beyond the territorial sea: problems and prospects*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 29, 2000, pp. 43 – 56.
- ENGELS C., STEWÉNIUS H., AND NISTÉR D., *Bundle adjustment rules*, in 'Photogrammetric computer vision', 2, 2006, pp. 124 - 131.
- ENSMENGER N., *The digital construction of technology: Rethinking the history of computers in society*, in 'Technology and Culture', 53, 4, 2012, pp. 753 - 776.
- EUROPEAN COMMISSION, *Guidelines on Open Access to Scientific Publications and Research Data in Horizon 2020*, Directorate-General for Research & Innovation, 2015a, pp. 1 - 6.
- EUROPEAN COMMISSION, *Guidelines on Data Management in Horizon 2020*, Directorate-General for Research & Innovation, 2015b, pp. 1 - 9.
- FAHLANDER F., OESTIGAARD T. (eds), *Material Culture and Other Things. Post-Disciplinary Studies in the 21st Century*, Department of Archaeology, University of Gothenburg 2004.
- FARR H., *Seafaring as Social Action*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 1, 1, 2006, pp. 85 - 99.
- FELICI E., *Archeologia Subacquea, metodi, tecniche e strumenti*, Istituto poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 2002.
- FELICI E., *Il relitto della Madrague de Giens. Un'esperienza di 40 anni fa*, in 'L'Archeologo Subacqueo', 18, 2, 2012, pp. 11 - 16.
- FIORINI A., *Nuove possibilità della fotogrammetria. La documentazione archeologica del Nuraghe di Tanca Manna (Nuoro)*, in 'Archeologia e Calcolatori', 24, 2013, pp. 341 - 354.
- FIORINI A., URCIA A., ARCHETTI V., *The Digital 3D Survey as Standard Documentation of the Archaeological Stratigraphy*, in DELLEPIANE M., NICCOLUCCI F., PENA SERNA S., RUSHMEIER

- H., E VAN GOOL L. (eds), *The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, 2011, pp. 145-152.
- FLATMAN J., *Cultural biographies, cognitive landscapes and dirty old bits of boat: 'theory in maritime archaeology'*, in 'International Journal of Nautical Archaeology', 32, 2, 2003, pp. 143 – 157.
- FLORIDI L. (ed.), *The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford 2004.
- FOLEY B., MINDELL D. A., *Precision Survey and Archaeological Methodology in Deep Water*, in 'ENALIA - The Journal of the Hellenic Institute of Marine Archaeology', 6, 2002, pp. 49 - 56.
- FONSTAD M. A., DIETRICH J. T., COURVILLE B. C., JENSEN J. L., CARBONNEAU P. E., *Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement*, in 'Earth Surface Processes and Landforms', 38, 2013, pp. 421 - 430.
- FORREST C. J. S., *Defining underwater cultural heritage*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 31.1, 2002, pp. 3 – 11.
- FORSYTH D. A., PONCE J., *Computer Vision: A Modern Approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs 2012.
- FORTE M., *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, edizioni MondoGis, Roma, 2002.
- FORTE M., BELTRAMI R., *A proposito di Virtual Archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità*, in 'Archeologia e Calcolatori', 11, 2000, pp. 273 - 300.
- FORTE M., *Virtual Reality, Cyberarchaeology, Teleimmersive Archaeology*, in REMONDINO F., CAMPANA S. (eds), *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage Theory and best practices*, BAR International Series 2598, Archeopress, Oxford 2014, pp. 113 - 127.
- FRANCOVICH R., MANACORDA D. (a cura di), *Dizionario di Archeologia*, Editori Laterza, Bari 2007.
- FRIEDENBERG J., SILVERMAN G., *Cognitive Science. An Introduction to the Study of Mind*, SAGE Publications Inc., 2006.
- FRIGERIO A., *L'entrata in vigore in Italia della Convenzione UNESCO 2001 sulla protezione del patrimonio culturale subacqueo*, in 'Aedon', 2, 2010. Disponibile online: www.aedon.mulino.it (ultimo accesso 5 novembre 2015).
- FRONZA V., *Principi di Database Management in Archeologia: L'Esperienza Senese*, in FIORILLO R., PERDUTO P. (a cura di), *Atti III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, Castello di Slarena, Complesso di Santa Sofia (Salerno, 2-5 ottobre 2003)*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2003, pp. 629 - 632.
- FRYER J. G., *A Simple System for Photogrammetric Mapping in Shallow Waters*, in 'Photogrammetric Record', 11, 62, 1983, pp. 203 - 208.
- FURUKAWA Y., PONCE J., *Accurate camera calibration from multi-view stereo and bundle adjustment*, in 'Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)', IEEE, 2008, pp. 1 - 8.
- FURUKAWA Y., PONCE J., *Accurate, dense, and robust multiview stereopsis*, in 'Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence', IEEE, 32, 8, 2010, pp. 1362 - 1376.
- FURUKAWA Y., CURLESS B., SEITZ S. M., SZELISKI R., *Towards Internet-scale multi-view stereo*, in 'Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)', IEEE, 2010, pp. 1434 - 1441..
- FUSSELL A., *Terrestrial Photogrammetry in Archaeology*, in 'World Archaeology', 14, 2, Photogrammetry/Miscellany 1982, pp. 157 - 172.

- GAINES B. R., *Knowledge acquisition: Past, present and future*, in 'International Journal Human-Computer Studies', 71, 2013, pp. 135 - 156.
- GARABELLO R., *La Convenzione UNESCO sulla Protezione del Patrimonio Culturale Subacqueo*, Giuffrè Editore, Milano 2004.
- GARCÍA-GAGO J., GONZÁLEZ-AGUILERA D., GÓMEZ-LAHOZ J., SAN JOSÉ-ALONSO J. I., *A Photogrammetric and Computer Vision-Based Approach for Automated 3D Architectural Modeling and Its Typological Analysis*, in 'Remote Sensing', 6, 2014, pp. 5671 - 5691.
- GARDIN J. C., *Four Codes for the Description of Artifacts: An Essay in Archeological Technique and Theory*, in 'American Anthropologist', 60, 1958, pp. 335 - 357.
- GARDIN J. C., *Archaeological Constructs: An Aspect of Theoretical Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 1980.
- GARDIN J. C., *Artificial intelligence and the future of semiotics: an archaeological perspective*, in 'Semiotica', 77, 1-3, 1989, pp. 5 - 26.
- GARDIN J. C., *La révolution cognitive et l'archéologie*, in MOSCATI P. (ed.), *III Convegno Internazionale di Archeologia e Informatica (Roma 1995)*, in 'Archeologia e Calcolatori', 7, 1996, pp. 1221 - 1230.
- GARDIN J. C., *Les Modèles Logico-Discoursifs en Archéologie*, in 'Archeologia e Calcolatori', 12, 2002, pp. 19 - 30.
- GARDNER H., *Frames of Mind, The Theory of Multiple Intelligences*, Basic Books, Inc., New York 1983 (trad. it. *Formae mentis. Saggio sulla pluralità dell'intelligenza*, Feltrinelli, Milano 2013).
- GARRISON E. G., *Recent Advances in Close Range Photogrammetry for Underwater Historical Archaeology*, in 'Historical Archaeology', 26, 4, 1992, pp. 97 - 104.
- GEERTZ C., *The Interpretation of cultures*, Basic Books Inc., New York 1973 (trad. it., *Interpretazione di culture*, il Mulino, Bologna 1998).
- GEORGOPOULOS A., AGRAFIOTIS P., *Documentation of a submerged monument using improved two media techniques*, in 'Virtual Systems and Multimedia (VSMM)', 18th International Conference on. IEEE, 2012.
- GHOSH S. K., *History of Photogrammetry - Analytical Methods and Instruments*, in 'International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing', XXXIX, B6-VI, 1992, pp. 311 - 327.
- GHOSH S. K., *Fundamentals of Computational Photogrammetry*, Concept Publishing Company, New Dehli 2005.
- GIANFROTTA P. A., *L'indagine archeologica e lo scavo*, in TOCCO SCIARELLI L. (ed.), *Baia. Il Ninfeo Imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Banca Sannitica, 1983, pp. 25 - 39.
- GIANFROTTA P. A., POMEY P., *Archeologia subacquea: storia, scoperte e relitti*, Mondadori, Milano 1981.
- GIANFROTTA P. A., *Ricerche nell'area sommersa del "Portus Iulius" (1988-'90 e successive): un riepilogo*, in 'Atlante Tematico di Topografia Antica - ATTA', 22, 2012, pp. 1 - 20.
- GIANNICCHEDDA E., *Archeologia Teorica*, Carocci, Roma 2002.
- GIBBINS D., *Analytical approaches in maritime archaeology: a Mediterranean perspective*, in 'Antiquity', 64, 1990, pp. 376 - 389.
- GIBBINS D., ADAMS J., *Shipwrecks and maritime archaeology*, in 'World Archaeology', 32, 3, 2001, pp. 279 - 291.

- GIBBS M., *Cultural Site Formation Processes in Maritime Archaeology: Disaster Response, Salvage and Muckelroy 30 Years on*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 35, 1, 2006, pp. 4 - 19.
- GIBSON J. J., *The Perception of the Visual World*, The Riverside Press, Cambridge 1950.
- GIBSON J. J., *Pictures, Perspective, and Perception*, in 'Daedalus', 89, 1, 1960, pp. 216 - 227.
- GIBSON J. J., *The Information Available in Pictures*, in 'Leonardo', 4, 1, 1971, pp. 27 - 35.
- GIBSON J. J., *The Ecological Approach to the Visual Perception of Pictures*, in 'Leonardo', 11, 1978, pp. 227 - 235.
- GIBSON J. J., *The Ecological Approach to the Visual Perception*, Psychology Press, New York 1986.
- GIBSON J. J., *A Theory of Direct Visual Perception*, in NOË A. (ed.), *Vision and mind: Selected readings in the philosophy of perception*, MIT Press, Cambridge 2002, pp. 77 - 90.
- GILLINGS M., *The Real, the Virtually Real, and the Hyperreal: The Role of VR in Archaeology*, in SMILES S., MOSER S. (eds), *Envisioning the Past Archaeology and the Image*, Blackwell Publishing, Oxford 2005, pp. 223 - 239.
- GIULIANO M. G., *Cultural Heritage: an Example of Graphical Documentation with Automated Photogrammetric Systems*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5, 2014, pp. 251 - 255.
- GOLDSTINE H. H., *A Brief History of the Computer*, in 'Proceedings of the American Philosophical Society', Vol. 121, No. 5, 1977, pp. 339 - 345.
- GONZÁLEZ A. W., O'KEEFE P., WILLIAMS M., *The UNESCO Convention on the Protection of Underwater Cultural Heritage: A Future for Our Past?*, in 'Conservation and Management of Archaeological Sites', 11, 1, 2009, pp. 54 - 69.
- GORDON I. E., *Theories of Visual Perception*, Psychology Press, New York 2004.
- GOULD R. (ed.), *Shipwreck Anthropology*, University of New Mexico Press, Santa Fe 1983a.
- GOULD R., *Looking Below the Surface. Shipwreck Archaeology as Anthropology*, in GOULD R. (ed.), *Shipwreck Anthropology*, University of New Mexico Press, Santa Fe 1983b.
- GOVE R. J., *Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) image sensors for mobile devices*, in DURINI D. (ed.), *High Performance Silicon Imaging: Fundamentals and Applications of CMOS and CCD sensors*, Woodhead Publishing, Elsevier, Cambridge 2014, pp. 191 - 234.
- GREEN J. N., *An underwater archaeological survey of Cape Andreas, Cyprus, 1969-70: a preliminary report*, in 'Marine archaeology' 1973, pp. 141 - 179.
- GREEN J. N., *Maritime Archaeology. A Technical Handbook*, Academic Press, London 1990.
- GREEN J. N., *Maritime Archaeology. A Technical Handbook*, Elsevier Academic Press, London 2004.
- GREEN J. N., DUNCAN A., *Report on the 1998 evaluation trials of the High Precision Acoustic Surveying System (HPASS)*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 28, 1, 1999, pp. 85 - 93.
- GREEN J., GAINSFORD M., *Evaluation of underwater surveying techniques*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 32, 2003, pp. 252 - 261.
- GREEN J. N., HENDERSON G., *Marine Archaeology at the Western Australian Museum*, in 'Australian Archaeology', 1, 1974, pp. 15 - 17.

- GREEN J. N., SOUTER C., *Archaeological application of the HPASS (High Precision Acoustic Surveying System) to surveys of the HMS Pandora wreck-site and the Roman bridge at Maastricht*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 31, 2, 2002, pp. 273 - 282.
- GREEN J. N., BAKER P. E., RICHARDS B., E SQUIRE D. M., *Simple Underwater Photogrammetric Techniques*, in 'Archaeometry', 13, 1971, pp. 221 - 232.
- GREEN J. N., MATTHEWS S., TURANLI T., *Underwater archaeological surveying using PhotoModeler, VirtualMapper: different applications for different problems*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 31, 2, 2002, pp. 283 - 292.
- GRIMM A., *Der Ursprung des Wortes Photogrammetrie*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', XXIII, B10, 1980, pp. 323 - 330.
- GROOM D., OXLEY I., *Maritime Fife, managing Fife's underwater heritage: a feasibility study for a maritime archaeological GIS*, in WHEATLEY D., EARL G., E POPPY S. (eds), *Contemporary themes in archaeological computing*, University of Southampton Archaeology Monograph No.3, Oxbow Books, Oxford 2002, pp. 50 - 57.
- GRUNER H., *Photogrammetry 1776-1976*, in 'Photogrammetry, Engineering and Remote Sensing', 43, 5, 1977, pp. 569 - 574.
- GUERMANDI M. P., *Dalla base dati alla rete: l'evoluzione del trattamento di dati archeologici*, in 'Archeologia e Calcolatori', 10, 1999, pp. 89 - 99.
- GUIDI G., RUSSO M., ANGHELEDDU D., *3D survey and virtual reconstruction of archaeological sites*, in 'Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage', 1, 2014, pp. 55 - 69.
- GUSICK A. E., FAUGHT M. K., *Prehistoric Archaeology Underwater: A Nascent Subdiscipline Critical to Understanding Early Coastal Occupations and Migration Routes*, in BICHO N. F., HAWS J. A., E DAVIS L. G. (eds), *Trekking the Shore: Changing Coastlines and the Antiquity of Coastal Settlement*, Springer, New York 2011, pp. 27 - 50.
- HACKETT E. J., AMSTERDAMSKA O., LYNCH M., E WAJCMAN J. *Introduction*, in HACKETT E. J., AMSTERDAMSKA O., LYNCH M., E WAJCMAN J. (eds), *The handbook of science and technology studies*, The MIT Press, Cambridge 2008, pp. 1 - 7.
- HAMILTON D. L., *A Decade of Excavations at Port Royal, Jamaica*, in BROADWATER J. D. (ed.), *Underwater Archaeology Proceedings from the Society for Historical Archaeology Conference*, Richmond, Virginia 1991, pp. 90 - 94.
- HAMILTON D. L., *Port Royal, Jamaica: Archaeological Past and Development Potential*, in GRENIER R., NUTLEY D., COCHRAN I. (eds), *Underwater Cultural Heritage at Risk: Managing Natural and Human Impacts*, ICOMOS, 2006, pp. 49 - 51.
- HARPSTER M., *Maritime archaeology and maritime heritage protection in the disputed territory of Northern Cyprus*, in *Journal of Maritime Archaeology*, 3, 2008, pp. 3 - 13.
- HARRIS E., *Principles of Archaeological Stratigraphy*, Academic Press, London 1979. (trad. it. *Principi di stratigrafia archeologica*, Carocci, Roma 2009).
- HENDERSON J. C., GALLOU CH., FLEMMING N. C., E SPONDYLIS E., *The Pavlopetri Underwater Archaeology Project: investigating an ancient submerged town*, in BENJAMIN J., BONSALE C., PICKARD C., FISCHER A. (eds), *Submerged Prehistory*, Oxbow Books, Oxford 2011, pp. 207 - 218.
- HENDERSON J. C., GALLOU CH., *Pavlopetri, an Early Bronze Age harbour town in south-east Laconia*, in 'Pharos', 18, 1, 2012, pp. 79 - 104.

- HESNARD A., CARRE M. B., RIVAL M., DANGRÉAUX B., THINON M., BLAUSTEIN DUMONTIER M., CHÉNE A., FOLIOT PH., BERNARD-MAUGIRON H., *L'épave romaine Grand Ribaud D (Hyères, Var)*, in 'Archaeonautica', 8, 1988, pp. 5 - 180.
- HODDER I., Archaeology in 1984, in 'Antiquity', 58, 1984, pp. 25 – 32.
- HODDER I., *Interpretive Archaeology and Its Role*, in 'American Antiquity', 56, 1, 1991, pp. 7 – 18.
- HODDER I., *Theory and Practice in Archaeology*, Routledge, New York/London 1992.
- HODDER I., *The Archaeological Process: An Introduction*, Blackwell, Oxford 1999.
- HODDER I., *Reading the past: current approaches to interpretation in archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 1986 (trad. it., *Leggere il Passato: Tendenze attuali dell'archeologia*, Einaudi, Torino 1992).
- HODDER I., *Archaeological Theory Today*, Blackwell Publisher Ltd., Cambridge 2001.
- HODDER I., BINFORD, L. R., STONE N. M., *Archaeology and Theory*, in 'Man', New Series, 23, 2, 1988, pp. 373 – 376.
- HODDER I., HUTSON S., *Reading the Past. Current approaches to interpretation in archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 2003.
- HOLMES, D., *Communication theory: Media, technology and society*, SAGE, Los Angeles 2005.
- HOLT P., *An assessment of quality in underwater archaeological surveys using tape measurements*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 31, 2, 2003, pp. 246 - 251.
- HUGGETT J., *Democracy, Data and Archaeological Knowledge*, in HUGGETT J., RYAN N. (eds.), *CAA94. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1994*, BAR International Series 600, Tempus Reparatum, Oxford 1995, pp. 23 - 26.
- HUGGETT J., *The past in bits: towards an archaeology of information technology*, in 'Internet Archaeology', 15, 2004. Disponibile online: <http://intarch.ac.uk/journal/issue15/4/toc.html> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- HUGGETT J., *What lies beneath: lifting the lid on archaeological computing*, in CHRYSANTHI A., MURRIETTA FLORES P., E PAPADOPOULOS C. (eds.), *Thinking Beyond the Tool: Archaeological Computing and the Interpretative Process*, Archaeopress, Oxford 2012a, pp. 204 - 214.
- HUGGETT J., *Disciplinary issues: challenging the research and practice of computer applications in archaeology*, in EARL G., SLY T., CHRYSANTHI A., MURRIETTA-FLORES P., PAPADOPOULOS C., ROMANOWSKA I., E WHEATLEY D. (eds.), *Archaeology in the Digital Era: Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Southampton, 26-29 March 2012*, Amsterdam University Press, Amsterdam 2013, pp. 13 – 24.
- HULOT O., JAUEN M., BARREAU J.-B., BERNARD Y., PETIT Q., GAUGNE R., GOURANTON V., *Study of a Wreck in Foreshore Context*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W5, 2015, pp. 131 - 138.
- INGELMAN-SUNDBERG C., *The V.O. C. Ship Batavia 1629 Report on the Third Season of Excavation*, in 'Australian Archaeology', 3, 1975, pp. 45 - 53.
- JAMESON J. H. JR., *Public Archaeology in the United States*, in MERRIMAN N. (ed.), *Public Archaeology*, Routledge, London/New York 2004, pp. 21 – 58.
- JAMESON J. H. JR., SCOTT-IRETON D. A. (eds.), *Out of the Blue: public interpretation of maritime cultural resources*, Springer, New York 2007.

- JAY M., *The Rise of Hermeneutics and the Crisis of Ocularcentrism*, in 'Poetics Today', 9, 2, 1988, pp. 307 - 326.
- JENKS C., *Culture*, Routledge, London/New York 1993.
- JOHNSEN H., OLSEN B., *Hermeneutics and Archaeology: On the Philosophy of Contextual Archaeology*, in 'American Antiquity', 57, 3, 1992, pp. 419 – 436.
- JOHNSON M. H., *On the nature of theoretical archaeology and archaeological theory*, in 'Archaeological Dialogues', 13, 2, 2006, pp. 117 – 132.
- JOKILETHO J. (selected by), *Definition of Cultural Heritage: References to documents in History*, International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM), Rome 2005.
- KANIZSA G., *Il problem solving nella psicologia della Gestalt*, in MOSCONI G., D'URSO V. (a cura di), *La soluzione dei problemi*, Giunti-Barbera, Firenze 1973.
- KERSTEN T. P., LINDSTAEDT M., *Image-Based Low-Cost Systems for Automatic 3D Recording and Modelling of Archaeological Finds and Objects*, in IOANNIDES M., FRITSCH D., LEISSNER J., DAVIES R., REMONDINO F., CAFFO R. (eds.), *Progress in Cultural Heritage Preservation, Proceeding of the 4th International Conference, EuroMed 2012, Lemessos, Cyprus, October 29 - November 3, 2012*, pp. 1 - 10.
- KINTIGH K., *The Promise and Challenge of Archaeological Data Integration*, in 'American Antiquity', 71, 3, 2006, pp. 567 - 578.
- KITCHER P., *Marr's Computational Theory of Vision*, in 'Philosophy of Science', 55, 1, 1988, pp. 1 - 24.
- KLEJN L. S., *Metaarchaeology*, in 'Acta Archaeologica', 72, 1, Suppl. 3, Blackwell-Munksgaard, Copenhagen, 2001, pp. 1 – 149.
- KONECNY G., *Geoinformation Remote sensing, photogrammetry and geographic information systems*, Taylor and Francis, London 2003.
- KOUTSOUDIS A., VIDMAR B., ARNAOUTOGLU F., *Performance evaluation of a multi-image 3D reconstruction software on a low-feature artefact*, in 'Journal of Archaeological Science', 40, 2013, pp. 4450 - 4456.
- KOUTSOUDIS A., VIDMAR B., IOANNAKIS G., ARNAOUTOGLU F., PAVLIDIS G., CHAMZAS C., *Multi-image 3D reconstruction data evaluation*, in 'Journal of Cultural Heritage', 15, 2014, pp. 73 - 79.
- KOVARIK B., *Revolutions in Communication: Media History from Gutenberg to the Digital Age*, Continuum, Bloomsbury 2011.
- KUHN T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago 1962 (trad. it., Kuhn, Mondadori, Milano 2008, contiene *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*).
- LAFFERTY B., QUINN R., E BREEN C., *A side-scan sonar and high-resolution Chirp sub-bottom profile study of the natural and anthropogenic sedimentary record of Lower Lough Erne, northwestern Ireland*, in 'Journal of Archaeological Science', 33, 2006, pp. 756 - 766.
- LAFLIN S., *Twenty Five Years of Computer Applications in Archaeology*, in DINGWALL L., EXON S., GAFFNEY V., LAFLIN S., E VAN LEUSEN M. (eds.), *Archaeology in the Age of the Internet. CAA97. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 25th Anniversary Conference, University of Birmingham, April 1997 (BAR International Series 750)*. Archaeopress, Oxford 1997a, pp. 3 - 4. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1997/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- LAFLIN S., *Twenty Five Years of the CAA Conference: a Personal View*, in DINGWALL L., EXON S., GAFFNEY V., LAFLIN S., E VAN LEUSEN M. (eds.), *Archaeology in the Age of the Internet. CAA97. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the*

- 25th Anniversary Conference, University of Birmingham, April 1997 (BAR International Series 750). Archaeopress, Oxford 1997b, pp. 11 - 12. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1997/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- LAMBOGLIA N., *Inizio dell'esplorazione di Baia sommersa (1959 e 1960)*, in 'Atti del terzo Congresso Internazionale di Archeologia Sottomarina', Barcellona 1961, Bordighera, 1971, pp. 225 - 252.
- LATOUR B., *Visualization and Cognition: Drawing Things Together*, in KUKLICK H. (ed.), *Knowledge Society. Studies in the Sociology of Culture Past and Present*, Fai Press, Vol. 6, 1986, pp. 1 - 40.
- LATOUR B., *Science in action*, Harvard University Press, Cambridge 1987.
- LATOUR B., *On actor-network theory: a few clarifications*, in 'Soziale welt', 47, 1996, pp. 369 - 381.
- LATOUR B., *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford University Press, New York 2005.
- LATOUR B., BASTIDE F., *Essai de science-fabrication*, in 'Études françaises', 19, 2, 1983, pp. 111 - 126.
- LATOUR B., BASTIDE F., *Science-fabrication*, in CALLON M., LAW J., RIP A. (eds), *Qualitative Scientometrics: Studies in the Dynamics of Science*, MacMillan, London 1985, pp.
- LEATHERDALE J. D., TURNER D. J., 1983, Underwater Photogrammetry in the North Sea, in 'Photogrammetric Record', 11, 62, pp. 151 - 167.
- LEAVITT D., *The Man Who Knew Too Much: Alan Turing and the Invention of the Computer*, W. W. Norton & Company, New York 2006 (trad. it., *L'uomo che sapeva troppo: Alan Turing e l'invenzione del computer*, Codice, Torino 2007).
- LE BOEUF P., DOERR M., ORE C. E., STEAD S. (eds), *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model*, ICOM/CIDOC CRM Special Interest Group 2003.
- LEROI-GOURHAN A., *Les voies de l'histoire avant réécriture*, in LE GOFF J., NORA. P. (sous la direc. de), *Faire de l'Histoire*, NRF-Gallimard, Paris 1974, pp. 93 - 105 (trad. it., *Le vie della storia prima della scrittura*, in LE GOFF J., NORA. P. (a cura di), *Fare Storia*, Einaudi 1981, pp. 59 - 72).
- LESHIKAR-DENTON M. E., *Problems and Progress in the Caribbean*, in RUPPÉ C. V., BARSTAD J. F. (eds), *International Handbook of Underwater Archaeology*, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York 2002, pp. 279 - 298.
- LEVY T. E., PETROVIC V., WYPYCH T., GIDDING A., KNABB K., HERNANDEZ D., SMITH N. G., SCHLULZ J. P., SAVAGE S. H., KUESTER F., BEN-YOSEF E., BUITENHUYTS C., BARRETT C. J., NAJJAR M., DEFANTI T., *On-Site Digital Archaeology 3.0 and Cyber-Archaeology: Into the Future of the Past - New Developments, Delivery and the Creation of a Data Avalanche*, in FORTE M. (ed.), *Cyber-Archaeology*, BAR International Series 2177, Archaeopress, Oxford 2010, pp. 135 - 153.
- LERMA J. L., NAVARRO S., CABRELLES M., VILLAVERDE V., *Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpallo as a case study*, in 'Journal of Archaeological Science', 37, 2010, pp. 499 - 507.
- LESSER M., *Charge coupled device (CCD) image sensors*, in DURINI D. (ed.), *High Performance Silicon Imaging: Fundamentals and Applications of CMOS and CCD sensors*, Woodhead Publishing, Elsevier, Cambridge 2014, pp. 78 - 97.
- LISEIN J., PIERROT-DESEILLIGNY M., BONNET S. LEJEUNE PH., *A Photogrammetric Workflow for the Creation of a Forest Canopy Height Model from Small Unmanned Aerial System Imagery*, in 'Forests', 4, 2013, pp. 922 - 944.
- LO BRUTTO M., MELI P., *Computer vision tools for 3D modelling in archaeology*, in 'International Journal of Heritage in the Digital Era' 1. Supplement 1, 2012, pp. 1 - 6.

- LOCK G., *Using Computers in Archaeology. Towards virtual pasts*, Routledge, London 2003.
- LOCK G., *Archaeological Computing Then and Now: Theory and Practice, Intentions and Tensions*, in 'Archeologia e Calcolatori', 20, 2009, pp. 75 - 84.
- LOCK G., MOLYNEAUX B. L. (eds), *Confronting Scale in Archaeology. Issues of Theory and Practice*, Springer, New York 2006a.
- LOCK G., MOLYNEAUX B. L., *Introduction: Confronting Scale*, in LOCK G., MOLYNEAUX B. L. (eds), *Confronting Scale in Archaeology. Issues of Theory and Practice*, Springer, New York 2006b, pp. 1 - 14.
- LOMBARDO N., *Un documento epigrafico dalla «Villa dei Pisoni» a Baia*, in GIANFROTTA P. A., PELAGATTI P. (ed.), *Archeologia subacquea. Studi, ricerche e documenti I*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1993a, pp. 49 - 53.
- LOMBARDO N., *Le terme di Punta dell'Epitaffio a Baia*, in GIANFROTTA P. A., PELAGATTI P. (ed.), *Archeologia subacquea. Studi, ricerche e documenti I*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1993b, pp. 55 - 63.
- LUDVIGSEN M., EUSTICE R., SINGH H., *Photogrammetric models for marine archaeology*, in 'OCEANS 2006', IEEE, 2006, pp. 1 - 6.
- LUNA ERREGUERENA P., *Mexico. A Country with a Rich Underwater Legacy*, in RUPPÉ C. V., BARSTAD J. F. (eds), *International Handbook of Underwater Archaeology*, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York 2002, pp. 269 - 278.
- MAHIDDINE A., SEINTURIER J., BOI D. P. J., DRAP P., MERAD D., E LONG L., *Underwater image preprocessing for automated photogrammetry in high turbidity water: An application on the Arles-Rhone XIII roman wreck in the Rhodano river, France*, in '2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)', IEEE, 2012, pp. 189 - 194.
- MAHON I., PIZARRO O., JOHNSON-ROBERSON M., FRIEDMAN A., WILLIAMS S. B., E HENDERSON J. C., *Reconstructing Pavlopetri: Mapping the World's Oldest Submerged Town using Stereo-vision*, in 'International Conference on Robotics and Automation', Shanghai International Conference Center May 9-13, 2011, Shanghai, China, IEEE, 2011, pp. 2315 - 2321.
- MANACORDA D., *Prima lezione di archeologia*, Editori Laterza, Bari 2004.
- MANACORDA D., *Lezioni di Archeologia*, Laterza, Bari 2008.
- MANDERS M., *In Situ Preservation: 'the preferred option'*, in 'Museum International', 240, 60, 4, 2008, pp. 31 - 41.
- MANISCALCO, F., *Il Parco sommerso di Baia*, in MANISCALCO, F. (a cura di), *Mediterraneum - Tutela, Conservazione e Valorizzazione del Patrimonio Culturale Subacqueo*, Massa Editore, Napoli 2004, pp. 195 - 199.
- MARR D., *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*, W. H. Freeman, San Francisco, 1982.
- MARTOS LOPEZ L. A., *Underwater Archaeological Exploration of the Mayan Cenotes*, in 'Museum International', 60, 4, 2008, pp. 100 - 110.
- MARX R. F., *The Drowned City of Port Royal*, in 'UNESCO Courier - Underwater Archaeology', 1975, pp. 28 - 29.
- MATHER I. R., WATTS G. P. JR., *Geographic information systems for submerged cultural resource management and site specific investigation*, in BABITS L. E., FACH C., HARRIS R. (eds), *Underwater Archaeology Proceedings of the Society for Historical Archaeology*, Tucson 1998, pp. 3 - 13.

- MATHER I. R., WATTS G. P. JR., *Geographic information systems*, in RUPPÉ C. V., BARSTAD J. F. (eds), *International Handbook of Underwater Archaeology*, Kluwer Academic & Plenum Publishers, New York 2002, pp. 679 - 696.
- MCCARTHY J., *Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement*, in 'Journal of Archaeological Science', 43, 2014, pp. 175 - 185.
- MCCARTHY J., BENJAMIN J., *Multi-image Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording: An Accessible, Diver-Based Approach*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 9, 2014, pp. 95 - 114.
- MCGRAIL S., *Aspects of Experimental Boat Archaeology*, in MCGRAIL S. (ed.), *Sources and Techniques in Boat Archaeology: Papers Based on Those Presented to a Symposium at Greenwich in September 1976*, BAR Supplementary Series No. 29. British Archaeological Reports, Oxford 1977, pp. 23 - 45.
- MCGUIRE R. H., *Archaeology as a Political Action*, University of California Press, Los Angeles 2008.
- MCLUHAN M., *McLuhan's Laws of the Media*, in 'Technology and Culture', 16, 1, 1975, pp. 74 - 78.
- MCLUHAN M., *Misunderstanding the Media's Laws*, in 'Technology and Culture', 17, 2, 1976, p. 263.
- MCLUHAN E., *Marshall McLuhan's Theory of Communication: The Yegg*, in 'Global Media Journal - Canadian Edition', 1, 1, 2008, pp. 25 - 43.
- MCLUHAN M., HUTCHON K., MCLUHAN E., *Multi-Media: The Laws of the Media*, in 'The English Journal', 67, 8, 1978, pp. 92 - 94.
- MCLUHAN M., MCLUHAN E., *Laws of the Media. The New Science*, University of Toronto Press, Toronto 1988.
- MCKENZIE I., SHANKS M., *Archaeology: Theories, Themes and Experience*, in MACKENZIE I., *Archaeological Theory: Progress or Posture?*, Avebury, London 1993.
- MCLUHAN M., *Understanding Media: The Extensions of Man*, McGraw-Hill Book Company, New York 1964 (trad. it., *Gli strumenti del comunicare*, Il Saggiatore, Milano 2015).
- MCMANAMON F. P., HATTON A. (eds), *Cultural Resource Management in Contemporary Society. Perspectives on managing and presenting the past*, Routledge, London/New York 2000.
- MELINE A., TRIBOULET J., JOUVENCEL B., *A camcorder for 3D underwater reconstruction of archeological objects*, in 'OCEANS 2010', IEEE, pp. 1 - 9.
- MELINE A., TRIBOULET J., JOUVENCEL B., *Comparative study of two 3D reconstruction methods for underwater archaeology*, in 'IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)', IEEE, 2012, pp. 740 - 745.
- MERLEAU-PONTY M., *Phenomenology of Perception*, Routledge, New York 2005.
- MERTES J., THOMSEN T., GULLEY J., *Evaluation of Structure from Motion Software to Create 3D Models of Late Nineteenth Century Great Lakes Shipwrecks Using Archived Diver-Acquired Video Surveys*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 9, 2014, pp. 173 - 189.
- MERTON R. K., *On Theoretical Sociology*, Free Press, New York, 1968.
- MESCHINI A., PETRUCCI E., ROSSI D., SICURANZA F., *Point Cloud-Based Survey for Cultural Heritage. An Experience of Integrated use of Range-Based and Image-Based Technology for the San Francesco Convent in Monterubbiano*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5, 2014, pp. 413 - 420.
- MIÑANO DOMÍNGUEZ A. I., MATALLANA F. F., CASABÁN BANCLOCHA J. L., *Métodos de Documentación Arqueológica Aplicados en Arqueología Subacuática: el Modelo Fotogramétrico y el*

- Fotomosaico del Pecio Fenicio Mazarrón-2 (Puerto de Mazarrón, Murcia), in 'Sagvntvm', 44, 2012, pp. 99 - 109.
- MINDELL D. A., CROFT K. L., *Deep Water; Archaeology and Technology Development*, in 'MTS Journal', 36, 3, 2002, pp. 13 - 20.
- MINIERO P., *Baia: dallo scavo subacqueo, al museo, al parco archeologico sottomarino. E le prospettive di tutela?*, in GIANFROTTA P. A., MANISCALCO F. (a cura di), *Forma Maris. Forum Internazionale di Archeologia Subacquea*, Pozzuoli, Napoli 2001, pp. 29 - 35.
- MINIERO, P., *Il parco sommerso di Baia: da sito archeologico ad area marina protetta*, in GRAVINA F. (ed.), *Comunicare la memoria del Mediterraneo: strumenti, esperienze e progetti di valorizzazione del patrimonio culturale marittimo*, Naples and Aix-en-Provence 2007, pp. 197 - 204.
- MINSKY M., *Steps toward artificial intelligence*, in 'Proceedings of the IRE', 49, 1, 1961, pp. 8 - 30.
- MOLYNEAUX B. L. (ed.), *The Cultural Life of Images. Visual Representation in Archaeology*, Routledge, London 1997.
- MONROY C., PARKS N., FURUTA R., E CASTRO F., *The nautical archaeology digital library*, in GONZALO J., THANOS C., VERDEJO M. F., E CARRASCO R. C. (eds), *Research and Advanced Technology for Digital Libraries: 10th European Conference*, Springer, Berlin Heidelberg 2006, pp. 544 - 547.
- MOORE G. E., *Cramming More Components onto Integrated Circuits*, in 'Electronics', 1965, pp. 114 - 117.
- MOORE J., *Underwater Photogrammetry*, in 'Photogrammetric Record', 8, 48, 1976, pp. 748 - 763.
- MOSCATI P., *GIS applications in Italian archaeology*, in 'Archeologia e Calcolatori', 9, 1998, pp. 191 - 236.
- MOSCATI P., *Open Science e Archeologia*, in CANTONE F. (ed.), *ArcheoFOSS 2011. 6° Workshop Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica*, Quaderni del Centro Studi Magna Grecia, 13, Napoli, Naus, 2012, pp. 35 - 36.
- MOSCATI P., *Jean-Claude Gardin (Parigi 1925-2013). Dalla Meccanografia all'Informatica Archeologica*, in 'Archeologia e Calcolatori', 24, 2013, pp. 7 - 24.
- MOSER S., GAMBLE C., *Revolutionary images: the iconic vocabulary for representing human antiquity*, in MOLYNEAUX B. L. (ed.), *The Cultural Life of Images. Visual Representation in Archaeology*, Routledge, London 1997, pp. 184 - 218.
- MOSER S., SMILES S., *Introduction: The Image in Question*, in SMILES S., MOSER S. (eds), *Envisioning the Past Archaeology and the Image*, Blackwell Publishing, Oxford 2005, pp. 1 - 12.
- MOUGET A., LUCET G., *Photogrammetric Archaeological Survey with AUV*, in 'ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume II-5, 2014, pp. 251 - 258.
- MOULON P., BEZZI A., *Python Photogrammetry Toolbox: A free solution for Three-Dimensional Documentation.*, in 'ArcheoFoss', Jun 2011, Napoli, Italy. pp. 1 - 12.
- MUCKELROY K., *Maritime Archaeology*, Cambridge University Press, New York 1978.
- MUMFORD L., *Technics and Civilizations*, Harcourt, Brace and Company, New York 1934.
- MURPHY L., *Shipwrecks as Data Base for Human Behavioral Studies*, in GOULD R. (ed.), *Shipwreck Anthropology*, University of New Messico Press, Santa Fe 1983, pp. 65 - 89.

- NEX F., RINAUDO F., *Photogrammetric and Lidar Integration for the Cultural Heritage Metric Survey*, in 'International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Vol. XXXVIII, Part 5, 2010, pp. 490 - 495.
- NIRENBURG S., WILKS Y., *What's in a symbol: ontology, representation and language*, in 'Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence', 13, 1, 2001, pp. 9 - 23.
- NOCERINO E., FIORILLO F., MINTO S., MENNA F., REMONDINO F., *A Non-Conventional Procedure for the 3D Modelling of WWI Forts*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5, 2014, pp. 457 - 464.
- NUMERICO T., VESPIGNANI A., *Informatica per le scienze umanistiche*, Il mulino, Bologna 2003.
- O'KEEFE P., *Protecting the Underwater Cultural Heritage: the International Law Association Draft Convention*, in 'Marine Policy', 20, 4, 1996a, pp. 297 - 307.
- O'KEEFE P., *Protection of the underwater cultural heritage: developments at UNESCO*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 25, 3 and 4, 1996b, pp. 169 - 176.
- OLIVEIRA A., OLIVEIRA J. F., PEREIRA J. M., DE ARAÚJO B. R., BOAVIDA J., *3D modelling of laser scanned and photogrammetric data for digital documentation: the Mosteiro da Batalha case study*, in 'Journal of Real-Time Image Processing', 9, 2014, pp. 673 - 688.
- ORTIZ SANZ J., GIL DOCAMPO M., MARTÍNEZ RODRÍGUEZ S., REGO SANMARTÍN M. T., MEIJIDE CAMESELLE G., *A simple methodology for recording petroglyphs using low-cost digital image correlation photogrammetry and consumer-grade digital cameras*, in 'Journal of Archaeological Science', 37, 2010, pp. 3158 - 3169.
- PAGANI A., GAVA C., CUI Y., KROLLA B., HENGEN J-M., STRICKER D., *Dense 3D point cloud generation from multiple high-resolution spherical images*, in Dellepiane M., Niccolucci F., Pena Serna S., Rushmeier H., e Van Gool L. (eds), *The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST* (2011).
- PAIVIO A., *Dual coding theory: Retrospect and current status*, in 'Canadian Journal of Psychology/ Revue canadienne de psychologie', 45, 3, 1991, pp. 255 - 287.
- PALLARES F., *Nino Lamboglia e l'archeologia subacquea*, in 'Rivista di Studi Liguri', 63 - 64, 1997 - 1998, pp. 21 - 56.
- PALMER M., NEAVERTON P., *Industrial Archaeology. Principles and practice*, Routledge, London/New York 1998.
- PANICO B., SECCI M., TORNATORE E., *Etica e Archeologia: alcune riflessioni sul carattere della disciplina*, in BRANCATO R., BUSACCA G., MASSIMINO M. (eds), *Archeologi in Progress. Il cantiere dell'archeologia di domani. Atti del Convegno, Catania 23-26 maggio 2013*, Bradypus Editore, Bologna 2015, pp. 577 - 586.
- PAPATHEODOROU G., STEFATOS A., CHRISTODOULOU D., E FERENTINOS G., *Remote sensing in submarine archaeology and marine cultural resources management: an ancient shipwreck outside Zakynthos port, Greece*, in 'Proceeding of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology', Ermoupolis, Syros island, Greece, 2001, pp. 377 - 385.
- PAPATHEODOROU G., GERAGA M., E FERENTINOS G., *The Navarino Naval Battle Site, Greece —an Integrated Remote-Sensing Survey and a Rational Management Approach*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 34, 1, 2005, pp. 95 - 109.
- PAPATHEODOROU G., GERAGA M., CHALARI A., CHRISTODOULOU D., IATROU M., FAKIRIS E., KORDELLA ST., PREVENIOS, M. E FERENTINOS G., *Remote sensing for underwater archaeology: case studies from Greece and Eastern Mediterranean sea*, in 'Bulletin of the Geological Society of Greece', 44, 2011, pp. 100 - 115.

- PARTHESIUS R., *The Batavia Project: an experimental reconstruction of a 17th century East Indiaman*, in 'The Bulletin of the Australian Institute of Maritime Archaeology', 18, 2, 1994, pp. 25 - 32.
- PARSONS T., *The Position of Sociological Theory*, in 'American Sociological Review', 13, 1948, pp. 156 - 164.
- PARSONS T., *The Prospects of Sociological Theory*, in 'American Sociological Review', 16, 1950, pp. 3 - 16.
- PATERSON A., FRANKLIN D., *The 1629 mass grave for Batavia victims, Beacon Island, Houtman Abrolhos Islands, Western Australia*, in 'Australasian Historical Archaeology', 22, 2004, pp. 71 - 78.
- PAVLIDIS G., KOUTSOUDIS A., ARNAOUTOGLU F., TSIUKAS V., CHAMZAS C., *Methods for 3D digitization of Cultural Heritage*, in 'Journal of Cultural Heritage', 8, 2007, pp. 93 - 98.
- PETRIAGGI R., *The role of the Italian Central Institute of Restoration in the field of underwater archaeology*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 31, 1, 2002, pp. 74 - 82.
- PETRIAGGI R., DAVIDDE B., *Archeologia sott'acqua. Teoria e pratica*, in 'Archeologia Maritima Mediterranea', 2, Fabrizio Serra Editore, Pisa - Roma 2007a.
- PETRIAGGI R., DAVIDDE B., *Restaurare sott'acqua: cinque anni di sperimentazione del NIAS-ICR*, in 'Bollettino dell'Istituto Centrale per il Restauro', nuova serie, 14, 2007b, pp. 127 - 141.
- PETRIAGGI R., DAVIDDE B., *The ISCR Project 'Restoring Underwater': An Evaluation of the Results After Ten Years*, in 'Conservation and Management of Archaeological Sites', 14, 1-4, 2012, pp. 193 - 200.
- PETRIAGGI R., DAVIDDE B., *Restauration subaquatique: le bilan de cinq années de travaux expérimentaux de l'Institut Central pour la Restauration*, in Bréaud E. (ed.) *IVèmes Rencontres Internationales Monaco et la Méditerranée*, Monaco 22-24 Mars 2007. Monaco: Association Monégasque pur la Connaissance des Arts, pp. 105 - 116.
- PETTER G., *Nuove ricerche sperimentali sulla totalizzazione percettiva*, in 'Rivista di Psicologia', 50, 1956, pp. 213 - 227.
- PYLYSHYN Z. W., *Computation and cognition: Issues in the foundations of cognitive science*, in 'Behavioral and Brain Sciences', 3, 01, 1980, pp. 111 - 132.
- PYLYSHYN Z. W., *Mental imagery: In search of a theory*, in 'Behavioral and brain sciences', 25, 02, 2002, pp. 157 - 182.
- PHILLIPS P., *American Archaeology and General Anthropological Theory*, in 'Southwestern Journal of Anthropology', 11, 1955, pp. 246 - 250.
- PIERROT-DESEILLIGNY, M., CLERY I., *Apero, an open source bundle adjustment software for automatic calibration and orientation of set of images*, in 'International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', 38, 2011, pp. 5 - 17.
- PIERROT-DESEILLIGNY M., DE LUCA L., E REMONDINO F., *Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation*, in 'Geoinformatics FCE CTU', 6, pp. 291 - 299.
- PIGGOTT P., *Archaeological Draughtsmanship: Principles and Practice Part 1: Principles and Retrospect*, in 'Antiquity', 39, 155, 1965, pp. 165 - 176.
- PINNA B., *Riflessioni fenomenologiche sulla percezione delle qualità emergenti: verso una riconsiderazione critica della Teoria della Pregnanza*, in 'AnnalSS', 3, 2003 (2005), pp. 211 - 256.

- PISA C., ZEPPA F., FANGI G., *Spherical Photogrammetry for Cultural Heritage - San Galgano Abbey and the Roman Theater, Sabratha*, in 'ACM Journal on Computing and Cultural Heritage', 4, 3, 2011, pp. 1 - 15.
- POLLEFEYS M., KOCH R., VERGAUWEN M., VAN GOOL L., *Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images*, in 'ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing', 55, 2000, pp. 251 - 267.
- POLLEFEYS M., VAN GOOL L., VERGAUWEN M., CORNELIS K., VERBIEST F., TOPS J., *Image-based 3D Acquisition of Archaeological Heritage and Applications*, in 'ACM Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage, 2001, p. 255 - 262.
- POMEY P., *Le navire romain de la Madrague de Giens*, in 'Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres', 126e année, 1, 1982. pp. 133 - 154.
- PREUCEL R. W., *Archaeological Semiotics*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford 2006.
- PROTT L. V., SONG I. (eds), *Background Materials on the Protection of the Underwater Cultural Heritage. Volume 1*, UNESCO/Nautical Archaeology Society, Athenaeum Press Ltd., Gateshead 1999.
- PROTT L. V., PLANCHE E., ROCHA-HACHEM R. (eds), *Background Materials on the Protection of the Underwater Cultural Heritage. Volume 2*, UNESCO, Nord Graphique, Paris 2000.
- QUINN R., *The role of scour in shipwreck site formation processes and the preservation of wreck— associated scour signatures in the sedimentary record — evidence from seabed and sub-surface data*, in 'Journal of Archaeological Science', 33, 2006, pp. 1419 - 1432.
- QUINN R., BULL J. M., DIX J. K. E ADAMS J. R., *The Mary Rose site — geophysical evidence for palaeo-scour marks*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 26, 1, 1997a, pp. 3 - 16.
- QUINN R., BULL J. M., E DIX J. K., *Imaging Wooden Artefacts using Chirp Sources*, in 'Archaeological Prospection', 4, 1997b, pp. 23 - 35.
- QUINN R., ADAMS J. R., DIX J. K. E BULL J. M., *The Invincible (1758) site — an integrated geophysical assessment*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 27, 2, 1998, pp. 126 - 138.
- QUINN R., COOPER A. J. A. G., E WILLIAMS, B., *Marine geophysical investigation of the inshore coastal water of Northern Ireland*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 29, 2, 2000, pp. 294 - 298.
- QUINN R., FORSYTHE W., BREEN C., DEAN M., LAWRENCE M. E LISCOE S., *Comparison of the Maritime Sites and Monuments Record with Side-Scan Sonar and Diver Surveys: A Case Study from Rathlin Island, Ireland*, in 'Geoarchaeology: An International Journal', 17, 5, 2002a, pp. 441 - 451.
- QUINN R., BREEN C., FORSYTHE W., BARTON K., ROONEY S. E O'HARA, D., *Integrated Geophysical Surveys at The French Frigate La Surveillante (1797), Bantry Bay, Co. Cork, Ireland*, in 'Journal of Archaeological Science', 29, 2002b, pp. 413 - 422.
- QUINN R., DEAN M., LAWRENCE M., LISCOE S. E BOLAND D., *Backscatter responses and resolution considerations in archaeological side- scan sonar surveys: a control experiment*, in 'Journal of Archaeological Science', 32, 2005, pp. 1252 - 1264.
- QUINN R., FORSYTHE W., BREEN C., BOLAND D., LANE P., E OMAR LALI A., *Process-based models for port evolution and wreck site formation at Mombasa, Kenya*, in 'Journal of Archaeological Science', 34, 2007, pp. 1449 - 1460.
- RAAB M. L., GOODYEAR A. C., *Middle-Range Theory in Archaeology. A Critical Review of Origins and Applications*, in BABITS L. E., VAN TILBURG H. (eds), *Maritime Archaeology. A Reader of*

- Substantive and Theoretical Contributions*, Plenum Press, New York 1998, pp. 205 – 221. (Precedentemente pubblicato in ‘American Antiquity’, 49, 2, 1984, pp. 255 – 268).
- RAHTZ S. P. Q., *Possible Directions in Electronic Publishing in Archaeology*, in LAFLIN, S. (ed.), *Computer Applications in Archaeology 1986. Conference Proceedings*. Centre for Computing and Computer Science, University of Birmingham, Birmingham, pp. 3-13. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1986/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- RANSLEY J., *Boats are for Boys: Queering Maritime Archaeology*, in ‘World Archaeology’, 37, 4, 2005, pp. 621 - 629.
- RAO T. C. S., *Geophysical Techniques to locate historical sites and artefacts on the continental shelf*, in RAO S. R. (ed.), *Marine Archaeology of Indian Ocean Countries*, National Institution of Oceanography, Goa 1988, pp. 73 - 77.
- RATHJE W., *Integrated archaeology: a garbage paradigm*, in BUCHLI V., LUCAS G. (eds), *Archaeologies of the Contemporary Past*, Routledge, London/New York 2001, pp. 63 – 76.
- RATHJE W., *Garbology: The Archaeology of Fresh Garbage*, in LITTLE B. J., *Public Benefits of Archaeology*, University Press of Florida, Gainesville 2002, pp. 85 – 100.
- RATHJE W., MURPHY C., *Rubbish! The Archaeology of Garbage*, The University of Arizona Press, Tucson 2001.
- REDWEIK P., *Photogrammetry*, in XU G. (ed.), *Sciences of Geodesy - II. Innovations and Future Developments*, Springer, Heidelberg 2103, pp. 133 – 183.
- REILLY P., *Towards a Virtual Archaeology*, in RAHTZ, S., LOCKYEAR K. (eds.), *CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990 (BAR International Series 565)*, Tempus Reparatum, Oxford 1991, pp. 132 - 139. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1990/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- REILLY P., Three-dimensional modelling and primary archaeological data, in REILLY P., RAHTZ S. P. Q., (eds), *Archaeology and the Information Age. A global perspective*, Routledge, London 1992, pp. 92 - 106.
- REILLY P., RAHTZ S. (eds), *Archaeology and the Information Age. A global perspective*, Routledge, London 1992.
- REMONDINO F., *Introduzione alla fotogrammetria digitale*, in GIANOLIO S. (ed.), *Archeologia virtuale: la metodologia prima del software*, Espera s.r.l., Roma 2012, pp. 190 - 199.
- REMONDINO F., DEL PIZZO S., KERSTEN T. P., TROISI S., Low-Cost and Open-Source Solutions for Automated Image Orientation – A Critical Overview, in IOANNIDES M., FRITSCH D., LEISSNER K., DAVIES R., REMONDINO F., CAFFO R. (eds), *Progress in Cultural Heritage Preservation, Proceeding of the 4th International Conference, EuroMed 2012, Lemessos, Cyprus, October 29 - November 3, 2012*, pp. 40 - 54.
- REMONDINO F., SPERA M. F., NOCERINO E., MENNA F., NEX F., *State of the Art in High Density Image Matching*, in ‘The Photogrammetric Record’, 29, 146, 2014, pp. 144 - 166.
- REMONDINO F., EL-HAKIM S. F., *Image-based 3D Modelling: A Review*, in ‘The Photogrammetric Record’ 21, 115, 2006, pp. 269 - 291.
- REMOTTI F., *Contro l'identità*, Laterza, Bari 1996 (2009, 5° ed.).
- RENDE F. S., IRVING A. D., LAGUDI A., BRUNO F., SCALISE S., CAPPÀ P., MONTEFALCONE M., BACCI T., PENNA M., TRABUCCO B., DI MENTO R., CICERO A. M., *Pilot Application of 3D Underwater Imaging Techniques for Mapping Posidonia Oceanica (L.) Delile Meadows*, in ‘The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences’, Volume XL-5/W5, 2015, pp. 177 - 181.

- RENFREW C., *Towards an Archaeology of Mind*. Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- RENFREW C., *Mind and Matter: Cognitive Archaeology and External Symbolic Storage*, in SCARRE C., *Cognition and Material Culture: The Archaeology of Symbolic Storage*, McDonald Institute Monographs, Cambridge, 1998, pp. 1 - 6.
- RENFREW C., BAHN P., *Archaeology: Theories, Methods and Practice*, Thames and Hudson, London 1991 (trad. it., *Archeologia: teorie, metodi, pratica*, Zanichelli, Bologna 1995).
- RENFREW C., BAHN P., *Archaeology: the key concepts*, Routledge, London/New York 2005.
- RENFREW C., BAHN P., *Archaeology Essentials: Theories, Methods and Practice*, Thames and Hudson, London 2007 (trad. it., *L'essenziale di archeologia: teoria, metodi, pratiche*, Zanichelli, Bologna 2009).
- REPOLA I., MEMMOLO R., SIGNORETTI D., *Instruments and Methodologies for the Underwater Tridimensional Digitization and Data Musealization*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W5, 2015, pp. 183 - 190.
- RICHARDS J. D., *Standardising the record*, in COOPER M. A., RICHARDS J. D. (eds.), *Current Issues in Archaeological Computing*, BAR International Series 271, Oxford 1985, pp. 93 - 102.
- RICHARDS J. D., *Digital Preservation and Access*, in 'European Journal of Archaeology', 5, 3, 2002, pp. 343 - 366.
- RICHARDS J. D., *From Anarchy to Good Practice: The Evolution of Standards in Archaeological Computing*, in 'Archeologia e Calcolatori', 20, 2009, pp. 27 - 35.
- ROYAL J., *The 2005 Remote-Sensing Survey of the South-Eastern Bozburun Peninsula, Turkey: Shipwreck Discoveries and their Analyses*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 35, 2, 2006, pp. 195 - 217.
- ROYAL J., TUSA S., *The Levanzo I Wreck, Sicily: a 4th-century AD merchantman in the service of the annona?*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 41, 1, 2012, pp. 26 - 55.
- RULE N., *The direct survey method (DSM) of underwater survey, and its application underwater*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 18, 1989, pp. 157 - 162.
- RUPPÉ C. V., BARSTAD J. F. (eds), *International Handbook of Underwater Archaeology*, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York 2002.
- RUSSELL S. J., NORVIG P., *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1995.
- RUSSO M., GUIDI G., REMONDINO F., *Principi, tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in archeologia*, in 'Archeologia e Calcolatori', 22, 2011, pp. 169 - 198.
- RYAN N. S., *A Bibliography of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, in RAHTZ S. P. Q. (ed.), *Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1988. CAA88 (BAR International Series 446 (i))*, B.A.R., Oxford 1988, pp. 1 - 27. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1988/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- SAKELLARIOU D., *Remote sensing techniques in the search for ancient shipwrecks: how to distinguish a wreck from a rock in geophysical recordings*, in 'Bulletin of the Geological Society of Greece', 40, 2007, pp. 1845 - 1857.
- SALONIA P., SCOLASTICO S., POZZI A., MARCOLONGO A., LETI MESSINA T., *Multi-scale cultural heritage survey: Quick digital photogrammetric systems*, in 'Journal of Cultural Heritage', 10, 2009, pp. 59 - 64.

- SAMAAN M., HÉNO R., PIERROT-DESEILLIGNY M., *Close-Range Photogrammetric Tools for Small 3D Archaeological Objects*, in 'International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume XL-5/W2, 2013, pp. 549 - 553.
- SANTAGATI C., INZERILLO L., DI PAOLA F., *Image-Based Modeling Techniques for Architectural Heritage 3D Digitalization: Limits and Potentialities*, in 'International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2, 2013, pp. 555 - 560.
- SCHIFFER M. B., *Archaeological Context and Systemic Context*, in 'American Anthropologist', 11, 1972, pp. 156 - 165.
- SCHIFFER M. B., *Cultural Formation Processes of the Archaeological Record: Applications at the Joint Site, East-Central Arizona*, Unpublished PhD Dissertation, University of Arizona, 1973.
- SCHIFFER M. B., *Archaeology as Behavioural Science*, in 'American Antiquity', Vol. 37, No. 2, 1972, pp. 836 - 848.
- SCHIFFER M. B., *Towards the Identification of Formation Processes*, in 'American Antiquity', Vol. 48, No. 4, 1983, pp. 675 - 706.
- SCHIFFER M. B., *The Structure of Archaeological Theory*, in 'American Antiquity', 53, 3, 1988, pp. 461 - 485.
- SCHIFFER, M. B., MILLER A. R., *The Material Life of Human Beings: Artifacts, Behavior, and Communication*, Routledge, London/New York 1999.
- SCHMIDT V. E., RZHANOV Y., *Measurement of micro-bathymetry with a GOPRO underwater stereo camera pair*, in 'Oceans 2012', IEEE, 2012, p. 1 - 6.
- SCOGNAMIGLIO E., *Il rilievo di Baia sommersa: note tecniche e osservazioni*, in GIANFROTTA P. A., PELAGATTI P. (ed.), *Archeologia subacquea. Studi, ricerche e documenti I*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1993, pp. 65 - 70.
- SCOGNAMIGLIO E., *Aggiornamenti per la topografia di Baia sommersa*, in GIANFROTTA P. A., PELAGATTI P. (ed.), *Archeologia subacquea. Studi, ricerche e documenti II*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1997, pp. 35 - 45.
- SCOGNAMIGLIO E., *Nuovi dati su Baia sommersa*, in GIANFROTTA P. A., PELAGATTI P. (ed.), *Archeologia Subacquea Studi, ricerche e documenti III*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2002, pp. 47 - 55.
- SCOGNAMIGLIO E., *Archeologia Subacquea a Miseno (Campi Flegrei)*, in 'Archeologia Maritima Mediterranea', 3, 2006, pp. 65 - 78.
- SCOLLAR I., *Computer Image Processing for Archaeological Air Photographs*, in 'World Archaeology', 10, 1, Field Techniques and Research Design, 1978, pp. 71 - 87.
- SCOLLAR I., *Thirty years of computer archaeology and the future, or looking backwards and forwards at the same time while trying not to twist one's neck*, in LAFLIN S. (ed.), *Computer Applications in Archaeology 1982. Conference Proceedings*, Centre for Computing and Computer Science, University of Birmingham, Birmingham 1982, pp. 189 - 198. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1982/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- SCOLLAR I., *25 Years of Computer Applications in Archaeology*, in DINGWALL L., EXON S., GAFFNEY V., LAFLIN S., E VAN LEUSEN M. (eds.), *Archaeology in the Age of the Internet. CAA97. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 25th Anniversary Conference*, University of Birmingham, April 1997 (BAR International Series 750). Archaeopress, Oxford 1997, pp. 5 - 10. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1997/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).

- SCOTT-IRETON D. A., *Preserves parks and trails: strategy and response in maritime cultural resource*. Unpublished PhD dissertation, The Florida State University, Tallahassee 2005.
- SCOTT-IRETON D. A. (ed.), *Meeting challenges in the public interpretation of maritime cultural heritage — between the devil and the deep*, CORBIN, A., JOSEPH, J. W. (eds.), *When the land meets the sea Series*, Springer, New York 2014.
- SECCI M., *Underwater Cultural Heritage Management and its effectiveness in building public awareness; two Case Studies – Italy and Australia*. Unpublished Master Thesis, Flinders University, Adelaide, South Australia 2009.
- SECCI M., *Protection vs. Public Access: two concepts compared within the Italian underwater cultural heritage management system*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 6, 2, 2011, pp. 113 – 128.
- SECCI M., *Public interpretation of maritime cultural heritage in Sardinia: the value of outreach activities within the socio-cultural and economic fabric*, in BOMBARDIERI L., D'AGOSTINO A., GUARDUCCI G., ORSI V., E VALENTINI S. (eds), *Identity & connectivity, proceedings of the 16th symposium on mediterranean archaeology (Florence, 1–3 March 2012)*, British archaeological reports, Oxford 2013, pp. 1219 – 1224.
- SECCI M., "Public" and "the public" in Italian underwater archaeology: a Sardinian perspective, in SCOTT-IRETON D. A. (ed.), *Meeting challenges in the public interpretation of maritime cultural heritage— between the devil and the deep*, CORBIN, A., JOSEPH, J. W. (eds.), *When the land meets the sea series*, Springer, New York 2014, pp. 73 – 84.
- SECCI M., *Acoustic remote sensing as a research tool in underwater archaeology: its value and application in the Italian panorama*, in STEFANILE M., ZAZZARO C. (eds), *Atti dell'VIII International Symposium on Underwater Research*, Procida 27-29 March 2014, 2015, pp. 1 - 6 (in corso di stampa).
- SECCI M., SPANU P. G., *Critique of Practical Archaeology: Underwater Cultural Heritage and Best Practices*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 10, 2015, pp. 29 - 44.
- SEDLAZECK A., KÖSER K., KOCH R., *3D reconstruction based on underwater video from ROV Kiel 6000 considering underwater imaging conditions*, in 'OCEANS 2009', IEEE, 2009, pp. 1 - 10.
- SERNA C. G., PILLAY R., E TRÉMEAU A., *Data Fusion of Objects Using Techniques Such as Laser Scanning, Structured Light and Photogrammetry for Cultural Heritage Applications*, in TOMINAGA S., SCHETTINI R., TRÉMEAU A. (eds), *Computational Color Imaging*. Springer International Publishing, 2015, pp. 208 - 224.
- SETTIS S., *Paesaggio Costituzione Cemento: La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino 2010.
- SEVERINO E., *La filosofia moderna. I grandi problemi del pensiero moderno da Cartesio a Hegel*, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano 1997.
- SHANKS M., *Photography and Archaeology*, in MOLYNEAUX B. L. (ed.), *The Cultural Life of Images. Visual Representation in Archaeology*, Routledge, London 1997, pp. 73 - 107.
- SHANKS M. MCGUIRE R. H., *The Craft of Archaeology*, in 'American Antiquity', 61, 1, 1996, pp. 75 – 88.
- SHANKS M., TILLEY C., *Social Theory and Archaeology*, University of New Mexico Press, Albuquerque 1987a.
- SHANKS M., TILLEY C., *Re-constructing Archaeology: Theory and Practice*, Cambridge 1987b.
- SHAPIRO L., STOCKMAN G. C., *Computer Vision*, Prentice Hall, Englewood Cliffs 2001.
- SHAW I., JAMESON R. (eds), *A Dictionary of Archaeology*, Blackwell Publishers Ltd, Oxford 1999.

- SKARLATOS D., AGAPIOU A., ROVA M., *Photogrammetric support on an underwater archaeological excavation site: The Mazotos shipwreck case*, in 'Euromed 2010', 2010, pp. 8 - 11.
- SKARLATOS D., DEMESTICHA S., KIPARISSI S., *An 'open' method for 3D modelling and mapping in underwater archaeological sites*, in 'International Journal of Heritage in the Digital Era', 1, 1, 2012, pp. 1 - 24.
- SKIBO J. M., SCHIFFER M. B., *People and Things A Behavioral Approach to Material Culture*, Springer, New York 2008.
- SMILES S., MOSER S. (eds), *Envisioning the Past Archaeology and the Image*, Blackwell Publishing, Oxford 2005.
- SMITH B., *Austrian Philosophy. The Legacy of Franz Brentano*, Open Court Publishing Company, Chicago and La Salle 1994.
- SMITH L., CLARKE A. (eds), *Issues in management archaeology*, Tempus Archaeology and Material Culture Studies in Anthropology, vol. 5, Anthropology Museum, University of Queensland, Queensland 1996, pp. 3 - 5.
- SNAVELY N., SEITZ S. M., SZELISKI R., *Modeling the World from Internet Photo Collections*, in 'International Journal of Computer Vision', 80, 2008, pp. 189 - 210.
- SONNENBURG E. P., BOYCE J. I., *Data- Fused Digital Bathymetry and Side-Scan Sonar as a Base for Archaeological Inventory of Submerged Landscapes in the Rideau Canal, Ontario, Canada*, in 'Geoarchaeology: An International Journal', 23, 5, 2008, pp. 654 - 674.
- SOTOODEH S., NOVÁK D., SUERBIER M., SCARADOZZI D., CAITI A., CONTE G., ZANOLI S. M., DRAP P., CHAPMAN P., PASCOAL A. M., LONG L., HANKE K., *UPGRADE and IMODELASER: Tools and Best Practice for 3D Data Acquisition and Processing for CH in Different Environments*, in ARNOLD D., NICCOLUCCI F., PLETINCKX D., VAN GOOL L. (eds), *EPOCH Conference on Open Digital Cultural Heritage Systems*, 2008, pp. 1 - 7.
- SPILLMAN L. (ed.), *On Perceived Motion and Figural Organization*, The MIT Press, Cambridge, 2012.
- SPIREK J. D., SCOTT-IRETON D. A. (eds.), *Submerged cultural resources management: Preserving and interpreting our maritime heritage*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York 2003.
- STANIFORTH M., *Dependent colonies: The importation of material culture and the establishment of a consumer society in Australia before 1850*, in 'Australian Archaeology', 51, 2000, p. 73.
- STANIFORTH M., *The Archaeology of the Event - The Annales School and Maritime Archaeology*, in STANIFORTH M., HYDE M. (eds), *Maritime Archaeology in Australia: A Reader*, Blakwood, South Australia 2001, pp. 42 - 45.
- STANIFORTH M., *Material culture and consumer society*, Springer, New York 2003.
- STANIFORTH M., *Shipwreck Cargoes: Approaches to Material Culture in Australian Maritime Archaeology*, in 'Historical Archaeology', 43, 3, 2009, pp. 94 - 99.
- STEIN J. K., *A Review of Site Formation Processes and Their Relevance to Geoarchaeology*, in GOLDBERG P., HOLLIDAY V. T., E REID FERRING C. (eds), *Earth Sciences and Archaeology*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York 2001, pp. 37 - 51.
- STEWART D. J., *Formation Processes Affecting Submerged Archaeological Sites: An Overview*, in 'Geoarchaeology: An International Journal', 14, 6, 1999, pp. 565 - 587.
- STEWART D. J., *Formation Processes Affecting Submerged Archaeological Sites: An Overview*, in 'Geoarchaeology: An International Journal', Vol. 14, No. 6, 1999, pp. 565 - 587.
- SZELISKI R., *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, London 2010.

- TCHERNIA A., *Les urinatores sur l'épave de la Madrague de Giens*, in 'Navires et commerces de la Méditerranée antique: Hommage à Jean Rougé, Cahiers d'histoire', Lyon 1989, pp. 489 – 497.
- TCHERNIA A., POMEY P., HESNARD A., *L'épave romain de la Madrague de Giens*, in 'Gallia - Supplement 34', Paris 1978.
- TELEM G., FILIN S., *Photogrammetric modeling of underwater environments*, in 'ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing', 65, 2010, pp. 433 – 444.
- TELEM G., FILIN S., *Photogrammetric modeling of the relative orientation in underwater environments*, in 'ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing', 86, 2013, pp. 150 – 156.
- TERRENATO N. (a cura di), *Archeologia teorica. X Ciclo di Lezioni sulla ricerca applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano 1999)*, Edizioni all'insegna del Giglio, Firenze 2001. Disponibile all'indirizzo web: <http://www.bibar.unisi.it/node/311>.
- THAGARD P., *Mind. Introduction to Cognitive Science*, The MIT Press, Cambridge 2005.
- THOMAS J., *On The Ocularcentrism of Archaeology*, in THOMAS J., OLIVEIRA JORGE V. (eds), *Archaeology and the Politics of Vision in a Post-Modern Context*, Cambridge Scholars Publishing, Cambridge 2008, pp. 1 - 12.
- THOMAS J., OLIVEIRA JORGE V. (eds), *Archaeology and the Politics of Vision in a Post-Modern Context*, Cambridge Scholars Publishing, Cambridge 2008.
- THORNTON C., *Renewing the link between cognitive archeology and cognitive science*, in 'Journal of Archaeological Science', 39, 7, 2012, pp. 2036 - 2041.
- TILLEY C., *Archaeology as Socio-political Action in the Present*, in PINSKY V., WYLIE A. (eds.), *Critical Traditions in Contemporary Archaeology: Essays in the Philosophy, History and Socio-politics of Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 1989, pp. 104 – 116.
- TOCCO SCIARELLI L., *Inquadramento storico e topografico*, in TOCCO SCIARELLI L. (ed.), *Baia. Il Ninfo Imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Banca Sannitica, 1983, pp. 17 - 23.
- TORTORICI E., *Lo scavo subacqueo*, in VOLPE G. (ed.), *Archeologia subacquea. Come opera l'Archeologo sott'acqua. Storia delle Acque*, VIII Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata all'Archeologia, Certosa di Pontignano (Siena), 9-15 dicembre 1996, Firenze, 1998, pp. 29-62.
- TOSCHI I., CAPRA A., DE LUCA L., BERARDIN J.-A., COURNOYER L., *On the Evaluation of Photogrammetric Methods for Dense 3D Surface Reconstruction in a Metrological Context*, in 'ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences', Volume II-5, 2014, pp. 371 - 378.
- TSCHAUNER H., *Middle-Range Theory, Behavioral Archaeology, and Postempiricist Philosophy of Science in Archaeology*, in 'Journal of Archaeological Method and Theory', 3, 1, 1996, pp. 1 – 30.
- THIESE A.-M., *La Création des identités nationales. Europe XVIII^e-XX^e siècle*, Éditions du Seuil, Paris 1999 (trad. it., *La creazione delle identità nazionali in Europa*, Il Mulino, Bologna 2001).
- TRIGGER B. G., *A history of archaeological thought*, Cambridge University Press, Cambridge 1989.
- TRIGGS B., MCLAUCHLAN P. F., HARTLEY R. I., E FITZGIBBON A. W., *Bundle adjustment—a modern synthesis*, in TRIGGS B., ZISSERMAN A., SZELISKI R. (eds), *Vision algorithms: theory and practice*, Springer, Heidelberg 2000, pp. 298 - 372.
- TRUCCO E., VERRI A., *Introductory techniques for 3-D computer vision*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1998.
- TUDDENHAM D. B., *Maritime Cultural Landscapes, Maritimity and Quasi Objects*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 5, 2010, pp. 5 - 16.

- TUDDENHAM D. B., *Ship Finds and Their Management as Actor Network*, in 'Journal of Maritime Archaeology', 7, 2012, pp. 231 - 243.
- TURCHETTA R., *Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) sensors for high-performance scientific imaging*, in Durini D. (ed.), *High Performance Silicon Imaging: Fundamentals and Applications of CMOS and CCD sensors*, Woodhead Publishing, Elsevier, Cambridge 2014, pp. 281 - 311.
- TUSA S., LINO G. AND ZANGARA S., *Studi, ricerche e attività di archeologia subacquea in Sicilia*, Servizio per il Coordinamento delle Ricerche Archeologiche Sottomarine, Palermo 2003.
- UNITED NATIONS, *Understanding Knowledge Societies. In twenty questions and answers with the Index of Knowledge Societies*, Department of Economic and Social Affairs, Division for Public Administration and Development Management, New York 2005.
- UNESCO, *Towards Knowledge Societies*, UNESCO World Report, Paris 2005.
- UNESCO, *Renewing the Knowledge Societies Vision for Peace and Sustainable Development*, UNESCO Report, Paris, 2013.
- UNESCO, *Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage*, Resolution adopted on the report of Commission IV at the 20th plenary meeting, on 2 November 2001.
- UNESCO, *Charter on the Preservation of the Digital Heritage*, Adopted at the 32nd session of the General Conference of UNESCO, 17 October 2003.
- VAN DAMME T., *Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording in a Low-Visibility Environment*, in 'The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W5, 2015, pp. 231 - 238.
- VAN DAMME T., *Computer Vision Photogrammetry for Underwater Archaeological Site Recording*. Unpublished Master Thesis, Maritime Archaeology Programme, University of Southern Denmark, 2015.
- VANDIVER K. J., KENNEDY P., *Harold Eugene Edgerton 1903-1990, Biographical Memoirs*, The National Academic Press, Washington D.C. 2005.
- VANNINI G., *Informatica per l'Archeologia o Archeologia per l'Informatica?*, in 'Archeologia e Calcolatori', 11, 2000, pp. 311 - 315.
- VERHOEVEN G., *Providing an Archaeological Bird's-eye View - an Overall Picture of Ground-based Means to Execute Low-altitude Aerial Photography (LAAP) in Archaeology*, in 'Archaeological Prospection', 16, 2009, pp. 233 - 249.
- VERHOEVEN G., *Taking Computer Vision Aloft - Archaeological Three-dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan*, in 'Archaeological Prospection', 18, 2011, pp. 67 - 73.
- VERHOEVEN G., TAELEMAN D., VERMEULEN F., *Computer Vision-Based Orthophoto Mapping of Complex Archaeological Sites: The Ancient Quarry of Pitaranha (Portugal-Spain)*, in 'Archaeometry', 54, 6, 2012a, pp. 1114 - 1129.
- VERHOEVEN G., DONEUS M., BRIESE CH., VERMEULEN F., *Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs*, in 'Journal of Archaeological Science', 39, 2012b, pp. 2060 - 2070.
- VON EHRENFELS C., *On Gestalt Qualities*, in 'Psychological Review', 44, 6, 1937 (versione consultata, VON EHRENFELS C., *On "gestalt qualities"*, in SMITH B. (ed.), *Foundations of Gestalt theory*, Philosophia, Munich and Vienna 1988, pp. 82 - 117.
- VOLPE G. (ed.), *Archeologia subacquea. Come opera l'archeologo sottacque*. Storia delle acque. VIII Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata all'Archeologia, Certosa di Pontignano (Siena), 9-15 dicembre 1996, Firenze, 1998.

- VOORRIPS A., *Electronic Information Systems in Archaeology. Some notes and comments*, in 'Archeologia e Calcolatori', 9, 1998, pp. 251 - 267.
- WEBER M., *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*, Mohr, Tübingen 1922 (ed. it., *Il metodo delle scienze storico-sociali*, Einaudi, Torino 2003).
- WENGER R., *Visual Art, Archaeology and Gestalt*, in 'Leonardo', 30, 1, 1997, pp. 35 - 46.
- WESTERDAHL C., *The Maritime Cultural Landscape*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 21, 1, 1992, pp. 5 - 14.
- WESTERDAHL C., *Seal on Land, Elk at Sea: Notes on and Applications of the Ritual Landscape at the Seaboard*, in 'The International Journal of Nautical Archaeology', 34, 1, 2005, pp. 2 - 23.
- WHEATLEY D., *Making space for an archaeology of place*, in 'Internet archaeology', 15, 2004. Disponibile online: http://intarch.ac.uk/journal/issue15/wheatley_toc.html (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- WHEATLEY D., GILLINGS M., *Vision, perception and GIS: developing enriched approaches to the study of archaeological visibility*, in LOCK G. (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, IOS Press, Amsterdam 2000, pp. 1 - 27.
- WHEATLEY D., GILLINGS M., *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, Taylor and Francis, London 2002.
- WHITLEY D. S., *Cognitive Archaeology*, in SMELSER N. J., BALTES P. B. (eds), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, Elsevier Ltd., 2001, pp. 2085 - 2089.
- WILCOCK J. D., *A general survey of computer applications in archaeology*, in 'Science', 17, 1973, pp. 17 - 21.
- WILCOCK J. D., *Getting the Best Fit? 25 Years of Statistical Techniques in Archaeology*, in DINGWALL L., EXON S., GAFFNEY V., LAFLIN S., E VAN LEUSEN M. (eds.), *Archaeology in the Age of the Internet. CAA97. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 25th Anniversary Conference*, University of Birmingham, April 1997 (BAR International Series 750). Archaeopress, Oxford 1997, pp. 35 - 52. Disponibile online: <http://proceedings.caaconference.org/year/1997/> (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- WILLIAMS M. R., *Early Calculation*, in ASPRAY W., *Computers Before Computers*, Iowa State University Press, Ames 1990, pp. 3 - 58.
- WILLIAMS R., EDGE D., *The social shaping of technology*, in 'Research Policy', 25, 1996, pp. 865 - 899.
- WILLEY G. A., SABLOFF J. A., *History of American Archaeology*, Thames and Hudson, London 1974.
- WILLEY G. A., PHILLIPS P., *Method and Theory in Archaeology*, University of Chicago Press, Chicago 1958.
- WISE A., MILLER A. P., *Why metadata matters in archaeology*, in 'Internet Archaeology', 2, 1997. Disponibile online: http://intarch.ac.uk/journal/issue2/wise_toc.html (ultimo accesso, 5 novembre 2015).
- WITCHER R. E., *GIS and landscapes of perception*, in Gillings M., Mattingly D. J., e van Dalen J. (eds), *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology. The Archaeology of Mediterranean Landscapes 3*, Oxbow, Oxford 1999, pp. 13 - 22.
- WYNN T., *Archaeology and cognitive evolution*, in 'Behavioral and Brain Sciences', 25, 2002, pp. 389 - 438.
- YATES F. A., *The Art of Memory*, Routledge & Kegan Paul Ltd, London 1966 (trad. it., *L'arte della memoria*, Einaudi, Torino 1993).

YUDIN B. G., *Science in the Knowledge Society*, in 'Herald of the Russian Academy of Science', 76, 4, 2006, pp. 311-317.

ZEVI F., *Introduzione*, in TOCCO SCIARELLI L. (ed.), *Baia. Il Ninfeo Imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Banca Sannitica, 1983, pp. 9 - 16.

ZUBROW E. B. W., *Digital archaeology: a historical context*, in EVANS D. L., DALY P. (eds.), *Digital Archaeology. Bridging method and theory*, Routledge, New York 2006, pp. 8 - 26.